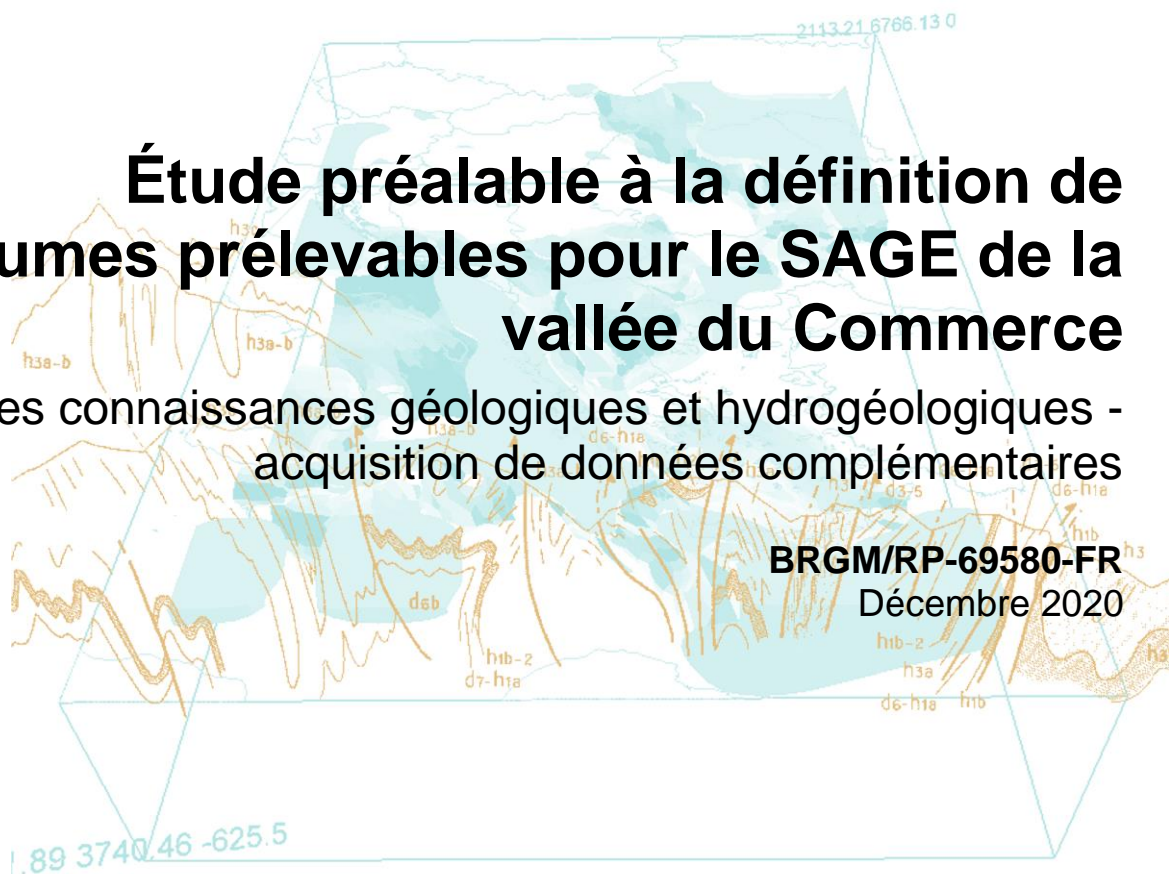




Étude préalable à la définition de volumes prélevables pour le SAGE de la vallée du Commerce

Volet 1 : Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques - acquisition de données complémentaires



BRGM/RP-69580-FR
Décembre 2020



Étude préalable à la définition de volumes prélevables pour le SAGE de la vallée du Commerce

Volet 1 : Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques - acquisition de données complémentaires

BRGM/RP-69580-FR

Décembre 2020

Étude réalisée dans le cadre des missions d'Appuis aux Politiques Publiques (APP) dans le cadre d'un projet de recherche et développement partagés (projet AP17HNO008)

Idee E., Jallais N., Meire B., David P.-Y., Bault V., Malcuit E., Paquet F.

Avec la collaboration de **Clermont G., Bellanger F., Thiery C.**



Vérificateur :

Nom : Marc Laurencelle
Fonction : Chercheur hydrogéologie
Date : 10/12/2020

Signature :

A handwritten signature in black ink that reads 'Marc Laurencelle'.

Approbateur :

Nom : Didier Pennequin
Fonction : Directeur Régional
Date : 17/12/2020

Signature :

A handwritten signature in blue ink that reads 'Didier Pennequin'.



Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr



Cette étude est constituée de deux rapports formant un tout indissociable :

- Le volet études : Rapport Final
- Le volet d'annexes

Ce travail a été réalisé avec l'appui de l'unité hydrométrie de la DREAL Normandie pour le volet Hydrologie.



DREAL Normandie

Direction Régionale de l'Environnement, de
l'Aménagement et du Logement de Normandie

Mots-clés : SAGE, Rivières, Commerce, Seine, Géologie, Faille, Craie, Alluvions, Nappe, Piézométrie, Jaugeage, Seine-Maritime, France

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Idée E., Jallais N., Meire B., David P.-Y., Bault V., Malcuit E., Paquet F. avec la collaboration de **Clermont G., Bellanger F., Thietry C.** (2020) - Étude préalable à la définition de volumes prélevables pour le SAGE de la vallée du Commerce. Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires. Rapport final. BRGM/RP-69580-FR, 469 p., 301 ill., 54 tabl., 8ann.

Synthèse

Les problèmes qualitatifs et quantitatifs sont malheureusement connus de longue date sur le bassin versant du Commerce et dans la vallée de la Seine au niveau de Lillebonne et Notre-Dame-de-Gravenchon (Seine-Maritime). Ils ont conduit les services de l'Etat et l'Agence de l'eau à classer, au titre de la Directive Cadre sur l'Eau, les masses d'eaux souterraines et superficielles de ce secteur en mauvais état.

Le SDAGE Seine-Normandie en cours et le SAGE de la vallée du Commerce prévoient la reconquête de ces masses d'eau afin d'y rétablir l'équilibre quantitatif et qualitatif nécessaire aux besoins de maintien des milieux naturels et de développement durable des activités humaines.

Pour permettre de répondre aux enjeux fixés par le SAGE, un programme d'étude a été conçu en 2017 par le BRGM et ses partenaires, l'Agence de l'Eau Seine Normandie et Caux Seine Agglomération, avec comme objectifs à terme de :

- **Améliorer la connaissance sur le fonctionnement des hydrosystèmes** : eaux souterraines et superficielles, zones humides et interactions hydrodynamiques ;
- **Fournir des éléments de réponse pour (1) mieux gérer les épisodes climatiques extrêmes** (crues – inondations et sécheresses) et **(2) aider à rétablir la continuité écologique des cours d'eau et à protéger/restaurer les zones humides** ;
- **Evaluer les réserves renouvelables et disponibles en eau permettant d'assurer une répartition équitable entre les usagers** : Déterminer des volumes prélevables compatibles avec les orientations du SDAGE. Etablir les modes de gestion garantissant des usages et un développement durable à l'échelle du territoire ;
- **Caractériser les foyers de pollutions diffuses et ponctuelles et tenter d'expliquer les mécanismes de transferts**. Déterminer les principales mesures correctives nécessaires à mettre en place pour préserver la qualité de ces ressources ;
- **Améliorer les connaissances sur la vulnérabilité des ressources en eau souterraines** pour permettre une meilleure protection des captages ;
- **Dimensionner les dispositifs de suivi de la ressource en eau** (quantité et qualité).

Afin de pouvoir répondre à l'ensemble de ces objectifs, une première étude a été lancée en 2015 sur les circulations complexes qui prennent place au droit du système faillé dit de Fécamp – Lillebonne (rapport BRGM/RP-69139-FR). Il est par ailleurs apparu nécessaire également de construire un modèle de gestion des ressources en eau (Illustration 8).

A cet effet, un programme en 5 phases a été conçu :

1. Etude préalable : synthèse géologique – hydrologique – hydrogéologique de l'hydrosystème craie/alluvions/rivières/zones humides/fleuve, établissement du/des modèles conceptuels du fonctionnement de la ressource ;
2. Acquisition de données complémentaires (option) ;
3. Construction d'un modèle géologique ;
4. Construction du modèle hydrogéologique de gestion de l'hydrosystème ;
5. Exploitation du modèle (définition des volumes prélevables, préservation des zones humides, protection contre les pollutions, ...).

La présente étude, préalable à la construction du modèle, représente les deux premières phases de ce programme et prévoit notamment :

- L'analyse du contexte géologique, hydrologique et hydrogéologique à l'échelle du territoire du SAGE Commerce et en s'appuyant sur des mesures réalisées en particulier sur le système cours d'eau/Seine/Alluvion/Craie ;
- Un bilan des prélèvements et des rejets, analyse du contexte climatique et l'évaluation de la recharge ;
- Une évaluation de l'état de la qualité des eaux (souterraines et superficielles) et des mécanismes qui ont conduit parfois à leur dégradation ;
- L'établissement du/des modèles conceptuels du fonctionnement du/des hydrosystèmes.

La réalisation de cette étude préalable s'est faite sur une durée de 3 ans : de Mars 2017 à Mars 2020, période nécessaire à la mise en œuvre de deux campagnes de mesures piézométriques/jaugeages/nivellement, à l'implantation d'un réseau piézométrique (dont la nécessaire création d'un piézomètre à St Antoine-la-Forêt) et au suivi/enregistrement des variations du niveau des eaux souterraines.

En termes de résultats, les récentes investigations géologiques et géophysiques réalisées par le BRGM dans le secteur de Bolbec autour de l'axe faillé de Fécamp-Lillebonne ont permis de mettre en évidence un système complexe de failles multiples dont la géométrie évolue dans l'espace. Les études (*Meire et al., 2019, David et al., 2020*) ont permis notamment de préciser la géométrie de celle-ci, notamment sa structure en faisceau ou tresses et sa relation avec un dôme anticlinal faillé sur son flanc oriental.

Chacune de ces structures faillées peut jouer le rôle de drain pour les écoulements, d'autant plus qu'elles traversent les formations carbonatées au sein desquelles la dissolution va agrandir les fractures et accentuer par karstification le rôle de drain.

Les données acquises sur les plateaux crayeux et dans les vallées, dont la vallée de la Seine, et leur analyse :

- Quantitatives, hydrologiques et hydrogéologiques : élaboration de cartes piézométriques, mesures des lignes d'eau et débit des cours d'eau, ainsi que d'autres observations sur les eaux souterraines (mise en œuvre d'un réseau de mesure des niveaux de nappes sur les plateaux et dans les vallées, analyse des traçages, variabilité de la productivité et des paramètres hydrodynamiques...);
- Qualitatives : mesures et suivi de la conductivité, synthèse des données disponibles sur les éléments mineurs et majeurs et analyse des principaux paramètres physico-chimiques.

ont permis notamment de préciser à l'échelle du territoire du SAGE :

- le fonctionnement des eaux souterraines (écoulements matriciels et karstiques notamment) ;
- les interactions entre eaux souterraines et eaux de surface notamment :
 - l'identification de zones de pertes en rivière au niveau des systèmes faillés rencontrés sur l'ensemble du territoire du SAGE Commerce.
 - caractériser les relations nappes/rivières, notamment d'identifier les secteurs où la nappe et les rivières sont a priori en équilibre ou déconnectées ;
- la relation entre les zones humides et les eaux souterraines ;

- les principaux facteurs influençant la qualité des eaux souterraines et superficielles du territoire d'étude, dont l'identification des principaux foyers de contamination (naturels ou anthropiques). NB : Les mécanismes conduisant à la dégradation de la qualité des différentes masses d'eau n'ont pour le moment pas pu être précisés faute de données disponibles suffisantes.

Les bilans réalisés, à partir des pluies efficaces, des prélèvements et rejets ont par ailleurs permis de souligner le déséquilibre quantitatif des principaux hydrosystèmes.

Cette étude a donc permis d'apporter des éléments nouveaux de connaissance et permis également, à partir d'hypothèses, de schématiser le fonctionnement des eaux souterraines et superficielles (= modèles conceptuels du fonctionnement des hydrosystèmes) du territoire du SAGE Commerce.

Ces principaux éléments seront repris pour l'élaboration du futur modèle de gestion quantitative de l'hydrosystème, afin de pouvoir reproduire au mieux son fonctionnement, ses interactions avec les compartiments extérieurs et les effets des déséquilibres constatés. Ces éléments serviront également à contrôler l'étalonnage du modèle, et à jeter les bases pour l'élaboration des principaux scénarii et tests de modélisation devant aboutir à la définition de volumes prélevables notamment.

Enfin pour rendre plus efficient cet outil et combler un déficit actuel, il a également été souligné la nécessité de mettre place (ou de poursuivre) les suivis quantitatifs et qualitatifs des différentes masses d'eau du territoire.

Sommaire

1. Introduction	27
1.1. CONTEXTE GENERAL	27
1.1.1. Périmètre d'étude	27
1.1.2. Organisation du territoire.....	28
1.2. ENJEUX ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	31
1.2.1. Historique : une ressource en eau au service des besoins des Hommes.....	31
1.2.2. Pressions sur les ressources	32
1.2.3. Des ressources en eau en mauvais état qualitatif et quantitatif	33
1.2.4. Conception d'un programme d'étude adapté aux enjeux et ses objectifs	36
2. Synthèse géologique et structurale	39
2.1. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE.....	39
2.1.1. Relief	39
2.1.2. Profils altimétriques.....	40
2.1.3. Pentas	41
2.2. CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL	42
2.3. DESCRIPTIONS ET REPARTITION SPATIALE DES FORMATIONS GEOLOGIQUES MESOZOIQUES ET CENOZOÏQUES.....	44
2.3.1. Jurassique supérieur.....	48
2.3.2. Crétacé inférieur	49
2.3.3. Crétacé supérieur	52
2.3.4. Tertiaire	56
2.4. DESCRIPTION ET REPARTITION SPATIALE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES.....	57
2.4.1. Limons des plateaux.....	59
2.4.2. Formation résiduelle à silex	59
2.4.3. Colluvions et dépôts de pente.....	61
2.4.4. Le complexe alluvionnaire.....	61
2.4.5. Log litho-stratigraphique synthétique	64
2.5. CONTEXTE STRUCTURAL DE LA ZONE D'ETUDE	67
2.5.1. Synthèse bibliographique.....	67
2.5.2. Apports des investigations menées depuis 2016 par le BRGM sur la structure de Fécamp-Lillebonne dans le secteur de Mirville – Bolbec – Gruchet-le-Valasse....	78
2.5.3. Synthèse cartographique des données - schéma structural	86
2.5.4. Coupes géologiques synthétiques	88

2.6. INDICES DE DEVELOPPEMENT D'UNE KARSTIFICATION.....	93
2.6.1. Généralités sur le Karst	93
2.6.2. Mise en place du karst de la craie	94
2.6.3. Karstification sur le territoire du SAGE Commerce	103
2.6.4. Recherche d'une corrélation litho-structurale.....	117
2.7. PERSPECTIVES ET PROPOSITIONS.....	119
2.7.1. Acquisitions géologiques complémentaires	119
2.7.2. Réalisation d'une doctrine locale « forage »	119
3. Fonctionnement Hydrologique	121
3.1. CONTEXTE GENERAL	121
3.2. PROFILS DES COURS D'EAU	123
3.2.1. La Seine	123
3.2.2. Autres cours d'eau.....	126
3.2.3. Obstacles à l'écoulement.....	127
3.2.4. Mesures des lignes d'eau	130
3.2.5. Nature du lit et des berges.....	134
3.2.6. Synthèse des principaux critères morphologiques des cours d'eau	137
3.3. EVALUATION DU DEBIT DES COURS D'EAU.....	139
3.3.1. Campagne de Jaugeages 2017-2018-2019.....	139
3.3.2. Résultats et comparaison aux valeurs connues.....	145
3.3.3. Interprétations	152
3.4. REGIME HYDROLOGIQUE ET VARIABILITE DU DEBIT DES COURS D'EAU.....	161
3.4.1. La Seine	161
3.4.2. La rivière de Bolbec/Commerce.....	166
3.4.3. Autres cours d'eau.....	170
3.4.4. Débits de référence des cours d'eau	172
3.5. SYNTHESE PARTIELLE SUR LE FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE	176
3.5.1. Fonctionnement de la Rivière de Bolbec/Commerce	176
3.5.2. Autres cours d'eau du territoire du SAGE	179
3.5.3. Cours d'eau de la plaine alluviale	183
3.5.4. Recommandations.....	184
4. Fonctionnement hydrogéologique	191
4.1. FORMATIONS AQUIFERES	191
4.1.1. Principales caractéristiques hydrogéologiques des entités géologiques représentées sur le territoire du SAGE	191
4.1.2. Log hydrogéologique	197
4.2. PIEZOMETRIE DE LA NAPPE DE LA CRAIE ET DES ALLUVIONS.....	199

4.2.1. Synthèse Bibliographique	199
4.2.2. Campagnes de Mesures 2017-2019	211
4.2.3. Résultats des interpolations des campagnes piézométriques	220
4.2.4. Interprétation des cartes piézométriques	228
4.3. SUIVI DES NIVEAUX DE NAPPE DE LA CRAIE ET DES ALLUVIONS	236
4.3.1. Données du réseau national	236
4.3.2. Mise en œuvre d'un réseau de suivi quantitatif des eaux souterraines du SAGE Commerce	240
4.3.3. Analyse des données collectées sur le réseau du SAGE	243
4.4. PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES ET PRODUCTIVITE	262
4.4.1. Méthodologie	262
4.4.2. Productivité des ouvrages	262
4.4.3. Paramètres hydrodynamiques	263
4.5. CIRCULATIONS KARSTIQUES	265
4.5.1. Généralités sur le fonctionnement du karst normand	265
4.5.2. Analyse des données de Traçages	270
4.6. RELATIONS NAPPE-RIVIERE ET ZONES HUMIDES	280
4.6.1. Relation entre la nappe/rivière	280
4.6.2. Relation supposées des zones humides avec la nappe	286
4.7. SYNTHESE PARTIELLE SUR LE FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE	289
4.7.1. Principales unités aquifères du territoire du SAGE Commerce	289
4.7.2. Variation des niveaux	289
4.7.3. Directions d'écoulements matriciels	291
4.7.4. Directions d'écoulements karstiques	297
4.7.5. Productivité des ouvrages et les paramètres hydrodynamiques	302
5. Calcul des pluies efficaces	303
5.1. GENERALITES	303
5.2. PRECIPITATIONS	303
5.2.1. Choix de stations de référence	303
5.2.2. Données mensuelles	304
5.2.3. Données interannuelles	305
5.2.4. Spatialisation des pluies annuelles	308
5.3. EVAPOTRANSPIRATION	309
5.3.1. Méthode de calcul	309
5.3.2. Données mensuelles	310
5.3.3. Données interannuelles	310
5.4. RESERVE UTILE DES SOLS	311

5.5. CALCUL DE LA PLUIE EFFICACE	314
5.5.1. Notion de pluie efficace	314
5.5.2. Données bibliographiques	314
5.5.3. Evaluation avec l’outil ESPERE.....	315
5.6. RUISSELLEMENTS	316
5.6.1. Généralités	316
5.6.2. Evaluation à partir de l’indice IDPR	316
5.6.3. Autres méthodes d’évaluation	319
5.7. CALCUL DE LA LAME D’EAU INFILTREE.....	321
5.7.1. Valeurs bibliographiques	321
5.7.2. Calcul à l’aide de l’outil GARDENIA.....	321
5.8. SYNTHESE PARTIELLE	329
6. Bilan des volumes prélevés et rejetés.....	331
6.1. METHODOLOGIE D’INVENTAIRE.....	331
6.1.1. Inventaire des données de prélèvements	331
6.1.2. Inventaire des données de rejet	331
6.2. BILAN DES PRELEVEMENTS	331
6.2.1. Localisation des points de prélèvements	331
6.2.2. Prélèvements Industriels	333
6.2.3. Prélèvements pour l’Alimentation en Eau Potable	340
6.2.4. Prélèvements Agricoles.....	345
6.2.5. Synthèse des données de prélèvements	355
6.3. BILAN DES REJETS	362
6.3.1. Localisation des rejets et milieux de rejets.....	362
6.3.2. Evolution des principaux rejets à l’échelle du SAGE Commerce (ESU).....	363
6.3.3. Evolution des (autres) rejets des eaux usées urbaines.....	365
6.4. SYNTHESE PARTIELLE	370
6.4.1. Bilan Global.....	370
6.4.2. Impacts des volumes prélevés et rejetés sur les débits des cours d’eau	372
7. Qualité des eaux	375
7.1. CONTEXTE.....	375
7.1.1. Etat qualitatif des masses d’eau – au sens de la DCE.....	375
7.1.2. Objectifs	376
7.2. ELEMENTS MAJEURS, MINEURS ET TRACES	376
7.2.1. Méthodologie proposée, données et outil de traitement.....	376
7.2.2. Validation des analyses.....	382

7.2.3. Données eaux souterraines et superficielles	384
7.2.4. Diagramme de Piper et faciès hydrochimiques des eaux	389
7.2.5. Diagramme de Schöeller-Berkaloff	393
7.2.6. Relations inter-éléments : Diagrammes binaires	396
7.3. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES <i>IN SITU</i>.....	403
7.3.1. Données eaux souterraines (ESO)	403
7.3.2. Données eaux superficielles (ESU).....	405
7.3.3. Campagne 2019 de mesures de la conductivité.....	407
7.4. ETAT DES LIEUX GLOBAL DE LA QUALITE DES EAUX SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES DU TERRITOIRE DU SAGE COMMERCE	410
7.4.1. Méthodologie	410
7.4.2. Difficulté de représentation de l'évolution des concentrations dans le temps	412
7.4.3. Analyse des dépassements des limites de référence.....	415
7.5. APPROCHE DE LA DYNAMIQUE DES AQUIFERES PAR LES POLLUTIONS ANTHROPIQUES IDENTIFIEES DANS LES ESO ET ESU	425
7.5.1. Salinisation de l'aquifère alluvial	425
7.5.2. Contamination à la MOR/N-MOR le long de la structure faillée Fécamp-Lillebonne	430
7.5.3. Nitrates et pesticides.....	431
7.6. SYNTHÈSE PARTIELLE SUR LA QUALITE ET PRECONISATIONS.....	433
7.6.1. Apports de l'analyse des éléments majeurs, mineurs et traces	433
7.6.2. Apport de l'analyse de la conductivité	435
7.6.3. Apport de l'analyse de la qualité des eaux souterraine et superficielles	437
7.6.4. Préconisations pour le volet qualitatif	439
8. Modèles Conceptuels.....	443
9. Conclusions et Perspectives	447
9.1. SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RESULTATS	447
9.1.1. Volet hydrogéologique	447
9.1.2. Volet hydrologique	450
9.1.3. Volet qualitatif	451
9.1.4. Volumes prélevés/rejetés.....	452
9.1.5. Bilan Hydro-Climatique	453
9.2. PROPOSITIONS D'AMELIORATIONS ET COMPLEMENTS.....	455
9.3. PROPOSITION D'UNITES HYDROLOGIQUES DE GESTION	456
10. Bibliographie	457

Liste des figures

Illustration 1 : Territoire d'étude du SAGE de la vallée du Commerce	27
Illustration 2 : Analyse de l'occupation des sols sur le territoire du SAGE Commerce	29
Illustration 3 : Evolution globale de la population des communes situées sur le territoire du SAGE Commerce entre 1982 et 2017 (source : INSEE, 2019).....	30
Illustration 4 : Répartition du nombre d'habitants par commune sur le territoire du SAGE commerce (source : INSEE 2017).....	30
Illustration 5 : Urbanisation historique autour du cours d'eau de Bolbec, Rue Alcide Amboise à gauche et Papavoine à droite, cartes postales anciennes (source : Office Tourisme Bolbec)	32
Illustration 6 : Surexploitation de la nappe des alluvions de la Seine au droit du site industriel de Port Jérôme ayant conduit à la salinisation de l'aquifère (Roux et De la Quèrièrè, 2005)	33
Illustration 7 : Extrait de l'Atlas hydrogéologique de Haute-Normandie (Mougin et al.,2011 modifié dans David et Pennequin, 2013)	34
Illustration 8 : Exemple d'étapes nécessaires pour la construction d'un outil de gestion de l'hydrosystème s'appuyant sur un modèle mathématique.....	37
Illustration 9 : Modèle Numérique de Terrain – MNT 5 m (source : IGN).....	39
Illustration 10 : Profil d'élévation de la topographie, la carte est établie à partir du MNT (source IGN)	40
Illustration 11 : Pentès estimées par traitement SIG à partir du MNT	41
Illustration 12 : Cadre géologique de la zone d'étude à l'échelle du Bassin de Paris. La zone d'étude est représentée par le rectangle rouge, et la position simplifiée de la coupe par le tracé rouge (sources : carte géologique de la France au 1/1.000.000 (BRGM) et coupe géologique du Bassin Parisien et du Fossé Rhénan (AGBP, 2014)).....	43
Illustration 13 : Répartition des formations du substratum et des dépôts tertiaires sur le secteur du SAGE Commerce (d'après la carte géologique harmonisée de la Seine-Maritime, Quesnel et al., 2008).....	45
Illustration 14 : Synthèse des données lithostratigraphiques disponibles dans la littérature pour les formations du Jurassique supérieur et du Crétacé (d'après Juignet, 1974 ; Ragot, 1988, Lasseur, 2008, Mortimore et al., 2004, Ménillet, 1969)	46
Illustration 15 : Coupe lithostratigraphique synthétique et simplifiée des assises du Jurassique supérieur (Kimméridgien), Crétacé inférieur et Crétacé supérieur de la zone d'étude (d'après les travaux de Lasseur, 2008 et Couëffé et Arnaud, 2008)	47
Illustration 16 : Faciès et épaisseur du Kimméridgien dans les secteurs de Triquerville et Notre-Dame-de-Gravenchon (dossiers BSS000FHNC et BSS000FHS).....	48
Illustration 17 : Affleurement du faciès des Sables ferrugineux (oxydés) de l'Aptien au Cap de la Hève (Seine-Maritime) – BRGM	49
Illustration 18 : Succession Aptien (Sables ferrugineux) – Albien inf. (Poudingue ferrugineux) et Albien sup. (Argiles du Gault) au niveau d'un affleurement du Cap de la Hève (Seine-Maritime) – BRGM	50
Illustration 19 : Faciès des Argiles du Gault de l'Albien supérieur rencontrés en fin de forage dans le sondage de la CODAH de Nointot (ici entre 159 m et 162 m de profondeur) – ouvrage BSS 00756X0209	51
Illustration 20 : Faciès des Gaize de l'Albien supérieur rencontrés dans le forage de la CODAH de Nointot (ici entre 150 m et 153 m de profondeur) – ouvrage BSS 00756X0209	51
Illustration 21 : Affleurement des « Sables de Lillebonne » de l'Albien supérieur dans la rue Fontaine Martel à Bolbec, à une centaine de mètres en amont de la structure de Fécamp-Lillebonne sur le bloc NE surélevé – BRGM	52
Illustration 22 : Géométrie de la Gaize supérieure du secteur entre Villequier à l'est et Radicatel à l'ouest, représentée par le faciès des « Sables de Lillebonne » (modifié d'après Ragot, 1988).....	52

Illustration 23 : Variations lithologiques et géométriques de la partie haute de la faciès de la Gaize supérieure « Sables de Lillebonne ») et du Cénomanien inférieur sur l' Axe de Lillebonne (modifié d'après Ragot, 1988)	53
Illustration 24 : Affleurement de la Pierre de Fécamp, faciès condensé du Cénomanien inférieur dans la rue Fontaine Martel à Bolbec, à une centaine de mètres en amont de la structure de Fécamp-Lillebonne sur le bloc NE surélevé – BRGM.....	54
Illustration 25 : Piégeages tertiaires dans le contexte karstique de la Basse Seine (Chedeville, 2015).....	56
Illustration 26 : Répartition schématique des formations superficielles sur substratum crayeux de l'Ouest du Bassin de Paris (modifié d'après Quesnel et al., 1996)	57
Illustration 27 : Répartition des formations superficielles sur le secteur du SAGE Commerce (d'après la carte géologique harmonisée de la Seine-Maritime, Quesnel et al., 2008)	58
Illustration 28 : Racine d'Altération de la craie et remplissage d'argile à silex, secteur de Tancarville SAFEGE (2012).....	60
Illustration 29 : Carte des isopaques de la formation résiduelle à silex (données CGG, 1998).....	60
Illustration 30 : Log lithostratigraphique synthétique du territoire du SAGE Commerce (Meire et al., 2019).....	65
Illustration 31 : Epaisseurs des formations alluviales dans les vallées du Commerce et de la Seine (d'après les données disponibles en BSS).....	66
Illustration 32 : Situation et contexte structural de la zone d'étude sur la bordure ouest du Bassin de Paris (sources : carte géologique de la France à 1/1.000.000 (BRGM), carte géologique de la France à 1/250.000, feuille de Rouen (BRGM), carte géologique de la marge continentale de la France à 1/250.000 (BRGM).....	67
Illustration 33 : Mouvements relatifs des blocs structures du Pays de Caux. Le secteur du SAGE Commerce est schématisé par les pointillés rouges. Modifié d'après Hauchard et Laignet, 2008	68
Illustration 34 : Estimation des valeurs des rejets verticaux de la faille de Fécamp-Lillebonne le long de son tracé entre Mirville et Notre-Dame-de-Gravenchon, basée sur la corrélation des coupes géologiques disponibles en BSS et atteignant les Argiles de Gault albiennes.....	70
Illustration 35 : Illustration de la compartimentation de la structure de Fécamp-Lillebonne entre Lillebonne au sud et Bolbec au nord (Ragot, 1988)	71
Illustration 36 : Géométrie de la structure de Triquerville, qui montre la présence de deux failles délimitant un bloc basculé à fort pendage (Ragot, 1988)	73
Illustration 37 : Géométrie de la structure de Triquerville en dôme anticlinal pincé à bord sud flexuré et faillé (Duran, 2015, d'après Pleuvret, 1997)	73
Illustration 38 : Carte structurale du secteur de Triquerville présente la géométrie de l'anticlinal de Triquerville (d'après la Compagnie Française du Pétrole, et Wazi, 1988).....	74
Illustration 39 : Coupe schématique représentant le synclinal de la Ste Gertrude, établie à partir de la carte géologique de Bolbec, Explore, (2016) modifié.	76
Illustration 40 : Schéma synthétique des différents affleurements dans le secteur des sources du hameau de Radicatel, qui met en évidence la présence de la faille du Moulin (Hanin, 2010)	77
Illustration 41 : Localisation du "horst" de Vattetot-sous-Beaumont (cadre noir), fond carte des pentes issue de l'analyse du modèle numérique de terrain 5 m (source : IGN).....	78
Illustration 42 : Mise en perspective des profils électriques orthogonaux au tracé de la structure de Fécamp-Lillebonne illustrant sa structure en faisceau (Meire et al., 2019)	79
Illustration 43 : Coupe géologique synthétique du vallon de Bolbec – Hypothèse 1 (v.juillet 2020). A noter que seules les failles couvertes par les investigations géophysiques ont été nommées (F1, F2 etc.). Les formations superficielles ne sont pas représentées (David et al., 2020)	80

Illustration 44 : Nouveau schéma structural du secteur de Bolbec, le long de la faille de Fécamp-Lillebonne, basé sur l'interprétation des données géophysiques, géologiques et morphologiques (Meire et al., 2019).....	80
Illustration 45 : Histogrammes de répartition du nombre de linéaments (axe ordonnées) par valeur d'azimut montrant les bornes utilisées pour déterminer les 3 ou 5 classes différentes.....	83
Illustration 46 : Rosace de distribution des orientations des linéaments identifiés dans le Pays de Caux Paquet F., (2019) à gauche ; CPGF, (1981) au centre et Hole et al. (1978) à droite	84
Illustration 47 : Carte des linéaments par classe d'azimut pour le secteur du SAGE Commerce	85
Illustration 48 : Schéma structural du SAGE Commerce	87
Illustration 49 : Localisation des coupes géologiques A-B, C-D et E-F	88
Illustration 50 : Coupe géologique interprétative longitudinale à la vallée du Commerce entre Bolbec au nord et Port-Jérôme au sud. Basée sur l'interprétation et la corrélation de logs géologiques disponibles en BSS.....	89
Illustration 51 : Coupe géologique interprétative transversale à la vallée du Commerce dans le secteur de Lillebonne. Basée sur l'interprétation et la corrélation de logs géologiques disponibles en BSS	89
Illustration 52 : Coupe géologique détaillée du remplissage alluvionnaire de la partie aval de la vallée du Commerce et de la vallée de la Seine, entre les falaises de la rive droite et Quillebeuf-sur-Seine (modifiée d'après la coupe établie par la SFAR en 1931).....	91
Illustration 53 : Formes de karstification du système crayeux de Normandie (source : BRGM).....	93
Illustration 54 : Cabllero Y. d'après les travaux de Király, 1975.....	94
Illustration 55 : Schéma d'un système karstique (Geyer, 2008).....	96
Illustration 56 : Modèle conceptuel des différentes configurations d'infiltration du karst, Gunn (1986)	97
Illustration 57 : Exemple de la perte de la rivière de Beau Soleil dans le Vallon Palfray dans une béttoire située au droit de la faille Fécamp-Lillebonne, Nointot.....	98
Illustration 58 : Schéma de principe du fonctionnement des sources de Radicâtel (SAFEGE, 2012).....	100
Illustration 59 : Organisation spatiale d'un réseau karstique de concentration dans la craie (Calba et al., 1979).....	100
Illustration 60 : Différentes géométries de conduits karstiques, liens supposés avec leur position par rapport au niveau de base (Jouves et al., 2017).....	101
Illustration 61 : Variations du niveau de base régional et ses conséquences sur le karst en basse Vallée de la Seine (Rodet, 2007), modifié. En Orange, la représentation schématique de l'emprise du SAGE de la vallée du Commerce.....	102
Illustration 62 : Perte du Bébec à Triquerville, Chedeville (2015)	103
Illustration 63 : Investigations EM34, mesures du champ vertical à gauche et horizontal à droite (Duran, 2015).....	104
Illustration 64 : Compilation des données de mesures de potentiel spontané autour de la zone de perte (Duran, 2015).....	104
Illustration 65 : Effondrements multiples survenus dans les bassins de stockage de Norville au début des années 1980 (source : BRGM).....	105
Illustration 66 : Représentation des conduits souterrains du système karstique du Bébec, hypothèses d'emplacement des conduits et exutoire du Hannelot (Duran L., 2015) modifié.	106
Illustration 67 : Plan et coupe des conduits karstiques du réseau de Villequiers (source : M.Lepiller, 1975 in Rodet J., 2016)	107
Illustration 68 : Hypothèse de mise en place du système karstique du Hannelot au cours du Quaternaire (Fournier, 2006)	108

Illustration 69 : Schéma de principe des lieux d'injection du multitraçage préconisé pour confirmer l'hypothèse de sectorisation des karsts d'introduction des systèmes karstiques d'Yport et de la vallée du Commerce (David et al, 2020).....	109
Illustration 70 : Localisation des endokarst, d'après David et al.(2020), modifié. NB : les grottes ou conduits topographiés par les spéléologues ne sont pas représentés sur cette figure.....	111
Illustration 71 : La source des Fontaines d'Yport est l'une des plus importantes résurgences karstiques connues en Normandie, si ce n'est la plus importante. Elle est située sur le platier littoral (source : SIGES Seine-Normandie)	113
Illustration 72 : Recensement des indices de bétouilles sur le BAC de Radicatel source : BRGM et SAFEGE (2020)	114
Illustration 73 : Relevés topographiques des cavités de Radicatel : a) Grotte de Radicatel, b) Grotte de la Chapelle de Radicatel (Rodet, 1991) in Hanin (2010).	115
Illustration 74 : Exemple d'endo-karst, fissure verticale dans la galerie capante du Moulin est, sources de Radicatel, exploitées par l'agglomération du Havre (SAFEGE, 2012).....	115
Illustration 75 : Schéma conceptuel de la position stratigraphique des émergences des sources de Radicatel (SAFEGE, 2012).....	116
Illustration 76 : Cartographie des indices karstiques (endokarst et exokarst), des principales structures tectoniques, des linéaments et des formations du substratum sur le secteur du SAGE Commerce.....	118
Illustration 77 : Toponymie des cours d'eau du SAGE Commerce (Hydratec, 2000) , modifié	121
Illustration 78 : Principales entités hydrologiques, fond : Modèle Numérique de Terrain (IGN)	122
Illustration 79 : Profil longitudinal de la Seine de Rouen au Havre (GIPSA, 2008), modifié. En jaune la portion du fleuve commune avec le territoire du SAGE Commerce	123
Illustration 80 : Profils transverses de la Seine de Caudebec à Tancarville (GIPSA, 2008), source : HAROPA -IGN.....	125
Illustration 81 : Profil d'élévation altimétrique des cours d'eau du SAGE Commerce exprimé en pourcentage total du linéaire (haut) ou en distance par rapport à la source (bas).....	126
Illustration 82 : Profil des cours d'eau mesuré en 2019 pour le SAGE Commerce	127
Illustration 83 : Obstacles à l'écoulement des eaux de la zone alluviale (source : ROE, 2014 et GIPSA, 2011).....	129
Illustration 84 : Profils des lignes d'eau du bassin du Commerce mesurées par le BRGM lors des campagnes de mesures de 2017 et 2019.....	131
Illustration 85 : Profils des lignes d'eau mesurées sur le Théluet par le BRGM lors des campagnes de mesures de 2017 et 2019.....	132
Illustration 86 : Formations superficielles et cours d'eau de la zone d'étude du SAGE Commerce (source : carte géologique harmonisée au 1/50 000 ^e de la Seine-Maritime, BRGM)	134
Illustration 87 : Zones riveraines de la Seine, différents types d'aménagements rencontrés Source : GIPSA (2011)	135
Illustration 88 : Typologie de l'état des berges et du lit des cours d'eau du SAGE Commerce, source : BRGM, PPRE (SOM, 2020) et (SAGE Vallée du Commerce, 2004).....	136
Illustration 89 : Exemple de berges construites en milieu urbain sur le cours de la rivière de la Vallée (crédit photo : Google Map).....	137
Illustration 90 : Période de réalisation des campagnes de mesures, comparaison de la piézométrie de divers ouvrages du compartiment est et débit de la rivière de Bolbec/Commerce à Gruchet le Valasse.....	140
Illustration 91 : Cumul des pluies mensuelles des stations de Goderville et de Saint-Romain-de-Colbosc entre 2017 et 2019	141

Illustration 92 : Carte des points mesurés entre 2017 et 2019 pour le jaugeage ponctuel des sources et des cours d'eau	143
Illustration 93 : Exemple de mesure de la vitesse à 3 points d'une section de cours d'eau source : Irstea in SCHAPI, (2017)	144
Illustration 94 : Mesure en cours d'eau à l'aide d'un courantomètre électromagnétique à perche, modèle MF PRO OTT (BRGM)	144
Illustration 95 : Profil des débits le long de la rivière de Bolbec/Commerce, résultat des campagnes de 2017 et 2019 (DREAL Normandie, BRGM)	145
Illustration 96 : Campagnes de jaugeages Hydratec de 1993 et Ingétec 2000 , (Servy J.-C., 2001)	146
Illustration 97 : Mesures ponctuelles réalisées sur la rivière de Bolbec en aval de Gruchet-le-Valasse source : CPGF(1978).....	147
Illustration 98 : Profils de débits le long des rivières des Aulnes et de la Vallée à Lillebonne, résultat des campagnes de 2017 et 2019 (BRGM et DREAL Normandie)	148
Illustration 99 : Profils de débits le long de la rivière du Théluet à Notre Dame de Gravenchon, résultat des campagnes de 2017 et 2019	150
Illustration 100 : Pourcentage des gains et pertes dans la partie amont de la rivière de Bolbec, campagnes 2017 à 2019 (les numéros indiqués en abscisse correspondent au numéro du point de jaugeage aval de chaque tronçon).....	152
Illustration 101 : Pourcentage de gains et de pertes par tronçon pour les campagnes d'avril 2017 et mars 2019 pour la totalité du Commerce (les numéros indiqués en abscisse correspondent au numéro du point de jaugeage aval de chaque tronçon)	154
Illustration 102 : (1) Contexte structural de la zone de perte constatée entre l'église Saint Michel et la rue Thiers et (2) faisceaux d'éléments confirmant la formation imperméable que représentent les formations superficielles sous la rivière à l'aval de la rue Thiers, dans David et al., (2020).....	155
Illustration 103 : Photographies de l'ouvrage artésien BSS002QAB/X situé dans les jardins de l'Abbaye du Valasse	156
Illustration 104 : Lit de la rivière du commerce (en bleu) à l'aval de l'Abbaye de Gruchet, au niveau du captage AEP du Becquet (00756X0138). La partie hachurée (bleu/orange) du Commerce correspond à la déviation du tracé du cours d'eau au moment de la création de la voie SNCF. La partie cerclée en rouge du ruisseau des Aulnes est celle qui s'est asséchée lors du pompage du Captage AEP du Becquet (rapport 73SGN230PNO), dans David et al., (2020).....	157
Illustration 105 : Gains et pertes par tronçon pour les campagnes d'avril 2017 et mars 2019 pour la rivière des Aulnes (les numéros indiqués en abscisse correspondent au numéro du point de jaugeage aval de chaque tronçon), dans David et al., (2020)	157
Illustration 106 : Pourcentage de gains et de pertes par tronçon pour les campagnes de 2017, 2018 et 2019 pour la Vallée (les numéros indiqués en abscisse correspondent au numéro du point de jaugeage aval de chaque tronçon).....	158
Illustration 107 : Bilan des pertes et gains calculés sur les tronçons de la rivière du Théluet, campagnes 2017 à 2019	159
Illustration 108 : Marégraphes de la Seine, suivi opéré par HARPOA.....	161
Illustration 109 : Niveau de la Seine entre le 20/12 03 :40 et le 21/12/2012 00 : 04, source : HAROPA	162
Illustration 110 : Distribution statistique des niveaux au niveau du marégraphe d'Aizier sur la période 2012-2019, source : HAROPA.....	162
Illustration 111 : Niveaux d'eau (a) et débits (b) mesurés sur la Seine à Aizier, Heurteauville et Rouen le 29 septembre 2015. Camenen et al. (2017), source : DREAL Normandie	164
Illustration 112 : Relation Débit/Niveau exprimé ici en mNGF à Tancarville à partir de la côte marine au Havre (m CMH) et du débit de la Seine à Poses (Artelia, 2013, modifié)	164

Illustration 113 : Localisation des stations de mesure hydrologique des rivières du territoire du SAGE Commerce	166
Illustration 114 : Chronique des débits journaliers de la station H9943420 du Commerce sur la période 1994-2019 (source : Banque Hydro)	167
Illustration 115 : Fréquences des débits en l/s à la station de Gruchet-le-Valasse sur la période 1994-2019 (source : Banque Hydro)	167
Illustration 116 : Débits moyens mensuels en l/s à la station de Gruchet-le-Valasse (source : Banque Hydro)	168
Illustration 117 : Ecoulements mensuels naturels - données calculées sur 25 ans (source : Banque Hydro)	168
Illustration 118 : Comparaison des chroniques de niveaux piézométriques et du débit enregistré à la station hydrométrique de Gruchet-le-Valasse.....	169
Illustration 119 : Distribution des débits enregistrés sur la perte du Bébec de Décembre 1999 à Novembre 2000 (source : Univ. Rouen)	171
Illustration 120 : Débit du Bébec et de la source du Hannetot sur la période 2012-2016 (source : Univ. Rouen).....	171
Illustration 121 : Carte de localisation des points de mesures ponctuelles des débits (DREAL) et hauteurs des cours d'eau (Caux Seine Agglomération) sur le territoire du SAGE Commerce.....	174
Illustration 122 : Synthèse des données acquises sur le fonctionnement de la rivière du Commerce. Source : David et al., (2020) modifié	178
Illustration 123 : Synthèse des données acquises sur le fonctionnement hydrologique de l'ensemble des rivières du territoire du SAGE Commerce.....	181
Illustration 124 : Rappel des mesures de débits actuellement opérationnelles sur le territoire du SAGE Commerce	184
Illustration 125 : Principaux cours d'eau et bassins versants sur le SAGE de la vallée du Commerce....	188
Illustration 126 : Principaux cours d'eau et leurs bassins versants et contexte géologique (fond géologique au 1/250 000) Attention, les structures faillées représentées sur ce schéma reprennent des hypothèses simplificatrices pour faciliter la lecture de la carte.....	189
Illustration 127 : Relation entre la présence de géométries sédimentaires et la situation de sources karstiques dans le secteur d'Étretat – Le Tilleul (Seine-Maritime) (Gaillard et al., 2018)	194
Illustration 128 : Diagramme porosité / perméabilité des faciès sédimentologiques de la craie (modifié d'après Saiag, 2016)	195
Illustration 129 : Log hydrogéologique des formations lithologiques du territoire du SAGE Commerce ..	197
Illustration 130 : Superposition des entités hydrogéologiques décrites dans la BDLISA.....	198
Illustration 131 : Extrait de la carte piézométrique de Moyennes Eaux de l'Atlas hydrogéologique de Haute Normandie (Mougin et al. 2011).....	201
Illustration 132 : Extrait de la situation piézométrique de moyennes eaux extrapolée à partir des situations de hautes et basses eaux de 1995 et 1974.	202
Illustration 133 : Extrait de la carte piézométrique de l'Atlas Hydrogéologique de Seine-Matitime de 1990 (Roux et al., 1990).....	204
Illustration 134 : Carte piézométrique du bassin versant du Commerce, CPGF (1982).....	206
Illustration 135 : Coupe interprétative entre le secteur de vallée de Seine-Radicatel et le secteur de Lillebonne, (Archambault,1955)	207
Illustration 136 : Piézométrie synchrone de la zone de Port Jérôme, situation de novembre 1972 (Burgéap, 1975).....	208

Illustration 137 : Chronique piézométrique de 1970 à 1975 de l'ouvrage BSS000FHCQ implanté sur la commune des Trois-Pierres (Seine-Maritime), souce ADES – données BRGM-OFB.....	209
Illustration 138 : Piézométrie dans la partie ouest de la plaine alluviale, secteur de Radicatel Août 1978, source : Roux et Tremembert,1979 (modifié dans SAFEGE, 2012)	210
Illustration 139 : Délimitation de la zone d'investigation piézométrique (a) bassins versants (BV) souterrains tracés à partir des différentes cartes piézométriques disponibles, bassin versant superficiel et emprise maximale retenue pour l'étude ; (b) zone d'étude de l'étude SAGE Commerce ; (c) zone d'étude de l'étude Fécamp-Lillebonne et zone d'étude totale de la campagne piézométrique	212
Illustration 140 : Ouvrages potentiels sélectionnés à partir de la BSS selon le type d'usage (Données de décembre 2016).....	213
Illustration 141 : Exemple de mesure manuelle réalisée à l'aide d'une sonde à ruban (BRGM)	214
Illustration 142 : Points de mesure validés et interpolés pour l'élaboration des cartes piézométriques. .	215
Illustration 143 : Périodes hydrogéologiques de réalisation des campagnes de mesures piézométriques	216
Illustration 144 : Secteur « Vallée de Seine » et mesures piézométriques 2017 et 2019 associées.....	217
Illustration 145 : Carte des failles prises en compte lors de l'interpolation de la piézométrie à Bolbec ...	218
Illustration 146 : Carte piézométrique 2017 du territoire du SAGE Commerce, version 1 « matricelle » à gauche, et version 2 « drainage karstique » à droite	221
Illustration 147 : Carte piézométrique 2017 de la vallée de la Seine	221
Illustration 148 : Carte piézométrique 2019 du territoire du SAGE Commerce, version 1 « matricelle » à gauche, et version 2 « drainage karstique » à droite	223
Illustration 149 : Carte piézométrique 2019 de la vallée de la Seine	223
Illustration 150 : Carte des écarts types (m) de 2017.....	225
Illustration 151 : Carte des écarts types (m) de 2019.....	225
Illustration 152 : Carte de l'indice de confiance de 2017.....	227
Illustration 153 : Carte de l'indice de confiance de 2019.....	227
Illustration 154 : Piézométrie détaillée de la plaine alluviale, secteur de Port-Jérôme – mesures 2017 .	230
Illustration 155 : Carte de la différence des niveaux piézométriques interpolés entre 2019 et 2017	232
Illustration 156 : Carte de la profondeur de la nappe en 2017 (épaisseur de la zone non saturée) – version 1 (haut) et version 2 (bas).....	233
Illustration 157 : Carte de la profondeur de la nappe en 2019 (épaisseur de la zone non saturée)	234
Illustration 158 : Différence entre niveau de nappe interpolé et modèle numérique de terrain.....	235
Illustration 159 : Variation du niveau de nappe enregistrée sur le piézomètre des Trois-Pierres (période de mesures de 1969 à 2020) source ADES.	236
Illustration 160 : Statistiques annuelles du piézomètre des Trois-Pierres, source : ADES.....	237
Illustration 161 : Cotes statistiques mensuelles du piézomètre des Trois-Pierres, calcul de l'indicateur piézométrique standardisé (IPS), source : ADES	237
Illustration 162 : Variation du niveau de nappe enregistrée sur les piézomètres d'Hattenville et de Yébleron (période de mesures de 1969 à 2015) source ADES.....	238
Illustration 163 : Statistiques annuelles du piézomètre d'Hattenville, source : ADES.....	239
Illustration 164 : Cotes statistiques mensuelles du piézomètre d'Hattenville, calcul de l'indicateur piézométrique standardisé (IPS), source : ADES	239
Illustration 165 : Suivi du niveau des nappes réalisé à l'échelle du territoire du SAGE Commerce	242

Illustration 166 : Pluviométrie mensuelle pendant la période de suivi des niveaux de nappe	243
Illustration 167 : Suivi piézométrique des ouvrages en situation de « plateau », positionnés de part et d'autre de la faille Fécamp Lillebonne	247
Illustration 168 : Suivi piézométrique des ouvrages en situation de « vallée » sur le territoire du SAGE Commerce	252
Illustration 169 : dispositifs de suivi de l'hydrosystème de la plaine alluviale proche de Tancarville, source : Burgéap (1963).....	255
Illustration 170 : Graphique et Tableau de distance des ouvrages au fleuve versus amplitude de marée observée. Les couleurs sont données en fonction de la nappe captée : Alluvions fines en bleu, Grave de fond en rouge, Craie en vert.....	256
Illustration 171 : Schéma de principe du logiciel CATHERINE Piézomètre situé dans un aquifère bordé par une rivière, un plan d'eau ou la mer (Thiéry, 2020 inédit).....	257
Illustration 172 : Variation de niveau en fonction du temps adimensionnel (Thiéry, 2020 inédit).....	258
Illustration 173 : Fonction erfc(u). (Thiéry, 2020 inédit).....	259
Illustration 174 : Haut détail de la chronique du piézomètre 00974X0128 pendant un mois (période de décembre 2012 à janvier 2013). Bas chronique observée et simulée à l'aide du logiciel CATHERINE (Thiéry, 2020 inédit).....	260
Illustration 175 : Débit spécifique des ouvrages du territoire du SAGE de la vallée du Commerce	262
Illustration 176 : Transmissivité et Emmagasinement des ouvrages du territoire du SAGE Commerce ..	263
Illustration 177 : Schématisation d'un système karstique (Dörfliger et al., 2010, modifié d'après Mangin A., 1975).....	265
Illustration 178 : Schéma représentatif de la zone épikarstique (Mangin, 1975)	266
Illustration 179 : Modèle conceptuel d'évolution de la perméabilité des formations superficielles en fonction de la profondeur ; le modèle proposé est fondé sur des mesures de perméabilité réalisées au laboratoire en fonction de quelques valeurs de pression ; en rouge passage de la base des limons aux argiles à silex (Dupont et al. 2009).....	267
Illustration 180 : Comparaison des cartographies 3D des mesures de PS, réalisées au printemps (a) et en été (b) (Thèse de A. Jardani – 2007 dans Dupont et al. 2009)	267
Illustration 181 : Comparaison des chroniques de piézométrie de l'aquifère superficiel (en rouge) et de piézométrie de l'aquifère de la craie (en bleu) – (Dupont et al. 2009).	268
Illustration 182 : Représentation schématique de l'effet piston et de l'effet de chasse (De la Vessière, 2002)	268
Illustration 183 : Conceptualisation du double rôle capacitif et transmissif des aquifères karstiques (d'après Mangin, 1975).....	269
Illustration 184 : Localisation des 16 opérations de traçage disponibles autour de la faille Fécamp-Lillebonne. Chaque couleur de trait correspond à une opération de traçage et son identifiant. Une opération de traçage peut comporter plusieurs points de suivis (plusieurs traits sur la carte). Seuls les résultats positifs de chaque opération de traçage sont affichés	271
Illustration 185 : Perte du Bébec en état de saturation lors de fortes pluies (à gauche) et à l'étiage (à droite) où la totalité du débit est engouffré (Duran, 2015).....	273
Illustration 186 : Schéma conceptuel de fonctionnement du système karstique du Bébec-Hannetot source : Founier, 2006	274
Illustration 187 : Temps de Distribution Normalisé, Duran (2015)	275
Illustration 188 : Analyse pluie-turbidité en haut (SAFEGE, 2012) et niveau-conductivité (Hanin, 2010) des sources de Radicatel	276

Illustration 189 : Coupe schématique illustrant le développement du système karstique de Radicatel autour des différents horizons lithologiques et objets structuraux (SAFEGE, 2012).....	277
Illustration 190 : Synthèse des traçages analysés dans le cadre de l'étude BAC de Radicatel (SAFEGE, 2012) source : BRGM - IDDEA.....	278
Illustration 191 : Haut : Interpolation des lignes d'eau en 2017 (à gauche) et en 2019 (à droite), Bas : zoom de 0 à 20 m.....	280
Illustration 192 : Estimation des secteurs où la rivière et la nappe sont en connexion par différence entre la surface piézométrique et les lignes d'eau des cours d'eau.....	282
Illustration 193 : Exemples de configurations de relations nappes/rivières possible (David et al., 2020)	285
Illustration 194 : zones humides reconnues à l'échelle du SAGE Commerce (source : DREAL Normandie 2018 et SAGE Commerce).....	286
Illustration 195 : Susceptibilité des zones humides aux échanges avec la nappe évalué à partir de la zone non saturée ou profondeur de la nappe par rapport au sol. En Bas, zoom sur la vallée de la Seine.	288
Illustration 196 : Directions d'écoulements matriciels d'après les cartes piézométriques de mars 2019 (a) et d'avril 2017 (b) dans leur version initiale (version 1).....	293
Illustration 197 : Directions d'écoulements matriciels d'après les cartes piézométriques de mars 2019 (a) et d'avril 2017 (b) dans la version 2 prenant en compte l'hypothèse de drainages karstiques.....	295
Illustration 198 : Mise à jour du schéma structural du secteur de Bolbec, à partir de l'interprétation des nouvelles données géologiques de 2020 et de l'étude de J. Ragot 2020 (inédit), in David et al., 2020..	298
Illustration 199 : Directions d'écoulements karstiques et fissurales supposées d'après David et al., (2020) modifié	301
Illustration 200 : Données disponibles des stations météorologiques (BRGM, source : Météo-France) .	303
Illustration 201 : Représentation en radar des précipitations moyennes mensuelles des différentes stations (source : Météo-France)	304
Illustration 202 : Statistiques mensuelles des précipitations de l'ensemble des 8 stations, représentation en « boîte à moustaches » (données : Météo-France période 1980-2019).	305
Illustration 203 : Distribution des précipitations mensuelles sur la période 1980-2019 (données : Météo-France).....	305
Illustration 204 : Evolution des cumul annuels de précipitation sur la période 1980-2019 (source : Météo-France).....	306
Illustration 205 : Statistiques interannuelles des cumuls de précipitation, représentation en « boîte à moustaches » (données : Météo-France).....	307
Illustration 206 : Fréquence des précipitations annuelles sur la période 1980-2019 (source Météo-France)	307
Illustration 207 - Précipitations normales spatialisées Aurelhy sur la période 1981-2010, grille de 5 km (source : Météo France)	308
Illustration 208 : Moyennes mensuelles d'ETP à la station de Rouen-Boos sur la période 1980-2019 (source : Météo-France)	310
Illustration 209 : Evolution de l'évapotranspiration potentielle sur la période 1980-2019 à la station de Rouen-Boos (source : Météo-France, évaluation par la méthode Penman-Monteith).....	311
Illustration 210 : carte pédologique et évaluation de la réserve utile des sols (source : CEN, 2018) valeurs de RU évaluées d'après SERDA (1988).	313
Illustration 211 : Calcul des pluies efficaces par différentes méthodes analytiques, source :CPGF (1978).....	314
Illustration 212 : Evaluation des pluies efficaces à l'échelle du Département de Seine-Maritime - Extrait de l'Atlas Hydrogéologique de 1990 (Chemin et al., 1992).....	315

Illustration 213 : Evaluation des pluies efficaces annuelles sur le territoire du SAGE Commerce à l'aide du logiciel ESPERE	316
Illustration 214 : Classes d'infiltration ou de ruissellement proposées à partir de la valeur de l'IDPR source : David (2016), adapté au contexte Normand d'après Mardhel et al. (2005)	317
Illustration 215 : Carte de l'Indice de Développement et de Persistance des Réseaux – IDPR v.2017 sur le territoire du SAGE Commerce (source : BRGM).....	318
Illustration 216 : Distribution de la recharge en fonction de la pluie efficace (Bessière et David, 2017), modifié, l'encadré rose matérialise le secteur de la vallée du Commerce.	320
Illustration 217 : schéma de principe du fonctionnement du Modèle GARDENIA	322
Illustration 218 : Niveaux et Débits simulés respectivement au piézomètre d'Hattenville (00753X0030/S1) et à la station de Gruchet de Valasse sur le Commerce (H9943420) – simulation 2	324
Illustration 219 : Principaux résultats obtenus avec l'utilisation du modèle GARDENIA	325
Illustration 220 : Bilan Hydrologique global au droit de la station hydrométrique de Gruchet le Valasse.	326
Illustration 221 : Comparaison des calculs de pluie efficace et de recharge par les outils ESPERE et GARDENIA (Modèle 1).....	328
Illustration 222 : Bilan Hydrologique annuel évalué par la méthode de Thornwaite pour le BAC de Radicatel, SAFEGE (2012).....	329
Illustration 223 : Ouvrages de prélèvements en eaux souterraines en fonction de leur usage : AEP, industriel ou agricole.....	332
Illustration 224 : Ouvrages de prélèvements en eaux de surface en fonction de leur usage : AEP, industriel ou agricole	332
Illustration 225 : Carte de localisation des points de prélèvements industriels sur la zone d'étude	333
Illustration 226 : Répartition des sources d'eau des prélèvements industriels	334
Illustration 227 : Volumes annuels prélevés par les ouvrages industriels en fonction de la source du prélèvement.....	334
Illustration 228 : Evolution des volumes annuels prélevés par les ouvrages industriels	335
Illustration 229 : Evolution du volume moyen prélevé par ouvrage industriel en fonction du type de prélèvement.....	335
Illustration 230 : Evolution des volumes prélevés en eaux de surface par les industriels	336
Illustration 231 : Volumes prélevés en 2015 pour les ouvrages industriels	337
Illustration 232 : Localisation de l'usine de Norville, des bassins de stockage, de la zone industrielle de Port-jérôme et des principaux réseaux de distribution (canalisations en orange, bleu ciel et violet).....	338
Illustration 233 : Consommation de l'eau produite par l'usine de Norville (en m ³).....	339
Illustration 234 : Principaux consommateurs industriels de l'eau produite par l'usine de Norville (moyenne des années 2015, 2016 et 2017).....	339
Illustration 235 : Proportion des ouvrages AEP actifs, abandonnés et suspendus avec projet de récupération à fin 2015 sur la zone d'étude	341
Illustration 236 : Carte de localisation des points de prélèvements AEP sur la zone d'étude	342
Illustration 237 : Evolution du nombre d'ouvrages actifs entre 1994 et 2018. Les données reçues après 2015 n'étaient pas totalement consolidées dans les différentes bases de données.	342
Illustration 238 : Evolution des volumes moyens annuels prélevés par ouvrages AEP entre 1994 et 2018 sur l'ensemble de la zone d'étude du SAGE Commerce, cf. illustration 236 pour la localisation des ouvrages.	343
Illustration 239 : Volumes prélevés en 2015 pour les ouvrages AEP	344

Illustration 240 : Détermination du coefficient de répartition des volumes annuels des ouvrages AEP ..	345
Illustration 241 : Evolution des volumes prélevés en fonction de la pluie, de l'ETP et des dose d'irrigation	347
Illustration 242 : Différents types d'exploitations d'élevage présentes dans la zone d'étude.....	349
Illustration 243 : Répartition des usages des ouvrages de prélèvements agricoles	349
Illustration 244 : Origine des prélèvements agricoles.....	350
Illustration 245 : Carte de localisation des points de prélèvements agricoles (irrigation et abreuvement) sur la zone d'étude (2015).....	350
Illustration 246 : Evolution des volumes totaux annuels prélevés (estimés) pour l'irrigation entre 1994 et 2015.....	351
Illustration 247 : Evolution théorique du volume moyen prélevé par ouvrage pour l'irrigation (en eaux souterraines pour la période 1994-2015)	351
Illustration 248 : Variation des volumes mensuels prélevés (cumulés) pour l'irrigation sur la période 1994 - 2015.....	352
Illustration 249 : Evolution des volumes annuels prélevés en eaux souterraines et en eaux de surface (données AESN) pour l'abreuvement, entre 1994 et 2015	352
Illustration 250 : Evolution du nombre d'ouvrages de prélèvement pour l'abreuvement.....	353
Illustration 251 : Volumes prélevés en 2015 par les ouvrages agricoles (irrigation et abreuvement)	354
Illustration 252 : Répartition des ouvrages de prélèvements par usage	356
Illustration 253 : Evolution du nombre d'ouvrages par usage pour les eaux souterraines (le nombre d'ouvrages indiqué dans les barres du diagramme représentent les usages AEP, eau industrielle et eau agricole dans son ensemble).....	357
Illustration 254 : Evolution du nombre d'ouvrages par usage pour les eaux de surface.....	357
Illustration 255 : Répartition des volumes prélevés en eaux souterraines et en eaux de surface entre 1994 et 2015	358
Illustration 256 : Répartition des volumes prélevés en eaux souterraines par usage	359
Illustration 257 : Répartition des volumes prélevés en eaux de surface par usage	359
Illustration 258 : Evolution des volumes annuels prélevés représenté en fonction des usages et de l'origine du prélèvement (ESO = eaux souterraines et ESU = eaux de surface).....	360
Illustration 259 : Evolution du cumul de volumes annuels prélevés en fonction de l'origine du prélèvement (Eaux Superficielles ou Souterraines)	360
Illustration 260 : Evolution des volumes prélevés en fonction des usages et de l'origine du prélèvement	361
Illustration 261 : Répartition mensuelle des volumes totaux d'eau souterraine prélevés par usage	361
Illustration 262 : Type de rejets des STEP de la zone d'étude (industrielles et communales)	362
Illustration 263 : Carte des points de rejets en fonction du milieu de rejet.....	363
Illustration 264 : Evolution des volumes rejetés par les STEP de Lillebonne, Gruchet et Notre-Dame-de-Gravenchon entre 2000 et 2016	364
Illustration 265 : Evolution des volumes rejetés par les STEP d'ORIL et d'EURIAL entre 2000 et 2016	364
Illustration 266 : Volumes annuels rejetés par les STEP communales en fonction du milieu de rejet... ..	365
Illustration 267 : Evolution des volumes rejetés en fonction du type de rejets entre 2009 et 2016	366
Illustration 268 : Volume moyen rejeté par ouvrage en fonction du type de rejet	366
Illustration 269 : Impact des rejets et prélèvements sur le débit des cours d'eau.....	373

Illustration 270 : Apports des STEPs de Gruchet et d'Eurial au débit du Commerce	374
Illustration 271 : Etat des lieux des masses d'eaux superficielles et souterraines du SAGE Commerce (PDM 2016-2021, Agence de l'Eau Seine-Normandie).....	375
Illustration 272 : Localisation des points d'eau souterraine (ESO) retenus sur fond de carte de carte géologique (carte géologique harmonisée au 1/50 000 du BRGM).....	380
Illustration 273 : Localisation des stations de mesure de qualité des eaux superficielles (ESU) de la zone du SAGE Commerce	381
Illustration 274 : Localisation des points d'eau souterraine (ESO) et des points d'eau superficielle (ESU) retenus sur fond de carte de carte hydrogéologique simplifiée.....	382
Illustration 275 : Conductivité vs TDS (g/L) pour l'ensemble des points d'eau souterraine et superficielle retenus dans le cadre de cette étude.	384
Illustration 276 : Diagramme de Piper pour les points d'eau souterraine (ESO) retenus dans le secteur du SAGE Commerce.....	389
Illustration 277 : Diagramme de Piper pour les points d'eau superficielle (ESU) retenus dans le secteur du SAGE Commerce.....	390
Illustration 278 : Diagramme de Piper pour les points d'eau superficielle (ESU) et les points d'eau souterraine (ESO) retenus dans le secteur du SAGE Commerce.	391
Illustration 279 : Compilation bibliographique de Diagramme de Piper sur les faciès hydrochimiques du secteur du SAGE Commerce	392
Illustration 280 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff de 4 points d'eau ESO sélectionnés.	393
Illustration 281 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff de 6 points d'eau ESU sélectionnés.	395
Illustration 282 : Cl vs Na (mmol/L) pour les points d'eau ESO et ESU retenus du secteur d'étude	396
Illustration 283 : K vs Cl (mmol/L) pour les points d'eau ESO et ESU retenus du secteur d'étude	398
Illustration 284 : Ca vs HCO ₃ et Ca + Mg vs HCO ₃ (mmol/L) pour les points d'eau ESO et ESU retenus du secteur d'étude	399
Illustration 285 : Ca vs SO ₄ (mmol/L) pour les points d'eau ESO et ESU retenus du secteur d'étude	400
Illustration 286 : Cl vs NO ₃ et SO ₄ vs NO ₃ (mmol/L) pour les points d'eau ESO et ESU retenus du secteur d'étude	401
Illustration 287 : Ca/Na vs Ca/Mg (mol/mol) pour les points d'eau ESO et ESU retenus du secteur d'étude	402
Illustration 288 : K/Na vs Ca/Na (mol/mol) pour les points d'eau ESO et ESU retenus du secteur d'étude.....	403
Illustration 289 : Mesures de la conductivité des eaux souterraines et superficielles, campagne BRGM 2019 et comparaison à la médiane des valeurs connues sur ADES et NAIADES.	408
Illustration 290 : carte de localisation des points de suivi qualitatifs des ESU et ESO dont certaines données sont bancarisées respectivement sur la BD Naiades et Ades.	412
Illustration 291 : Percentile 90 des teneurs en nitrates (bas) et chlorures (haut) des points d'eau superficielles et souterraines sur la période 1993-2017.....	414
Illustration 292 : Localisation des sites pollués ou potentiellement pollués, source : BD BASIAS et BASOL (2018)	417
Illustration 293 : Localisation des établissements ICPE (Aut./Enr./Sev. – source : DREAL) et des principaux points de rejets identifiés (SAGE Commerce).....	422
Illustration 294 : Comparaison des concentrations en sels (Na-Cl) dans les eaux souterraines prélevées et débits globaux d'exploitation, site de Port Jérôme, Burgéap (1962).....	425

Illustration 295 : Concentration en Na-Cl dans les eaux de la nappe alluviale du site de Port Jérôme, Burgéap 1962	426
Illustration 296 : Salinité moyenne dans l'estuaire de la Seine – variation temporelle des classes de salinité en différents points (GIP Seine-Aval, 2013).	429
Illustration 297 : Comparaison des concentrations moyennes en MOR et NMOR mesurées en 2012-2013 à celles mesurées 2017-2019 au niveau de l'ensemble de la zone d'étude NB : les points de suivi pour lesquels la NMOR est restée en dessous des seuils de détection sont indiqués avec une étiquette « 0 » sur la carte de droite (2017-2019) et sans étiquette sur la carte de gauche (2012-2013)	430
Illustration 298 : Schéma de principe de la répartition des concentrations en nitrates dans le profil de Goderville (Arnaud et al., 2009) modifié.	432
Illustration 299 : Modèle Conceptuel du fonctionnement de la plaine alluviale de la Seine.....	444
Illustration 300 : Modèle conceptuel du fonctionnement de l'hydrosystème de la vallée du Commerce .	445
Illustration 301 : Proposition d'unité de gestion des ressources en eau du territoire du SAGE Commerce	456

1. Introduction

1.1. CONTEXTE GENERAL

1.1.1. Périmètre d'étude

Le bassin versant du Commerce et ses petites vallées contiguës sont le siège d'une ressource en eau souterraine importante essentiellement constituée de craie altérée et des alluvions de la Seine dans sa partie aval. Cette ressource connectée étroitement aux rivières et à la Seine sus-jacentes est soumise à la fois à des tensions quantitatives et qualitatives.

En réponse, un Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) a été mis en œuvre. Le territoire du SAGE de la Vallée du Commerce couvre une superficie d'environ 305 km² répartis intégralement sur le département de la Seine-Maritime (Illustration 1).

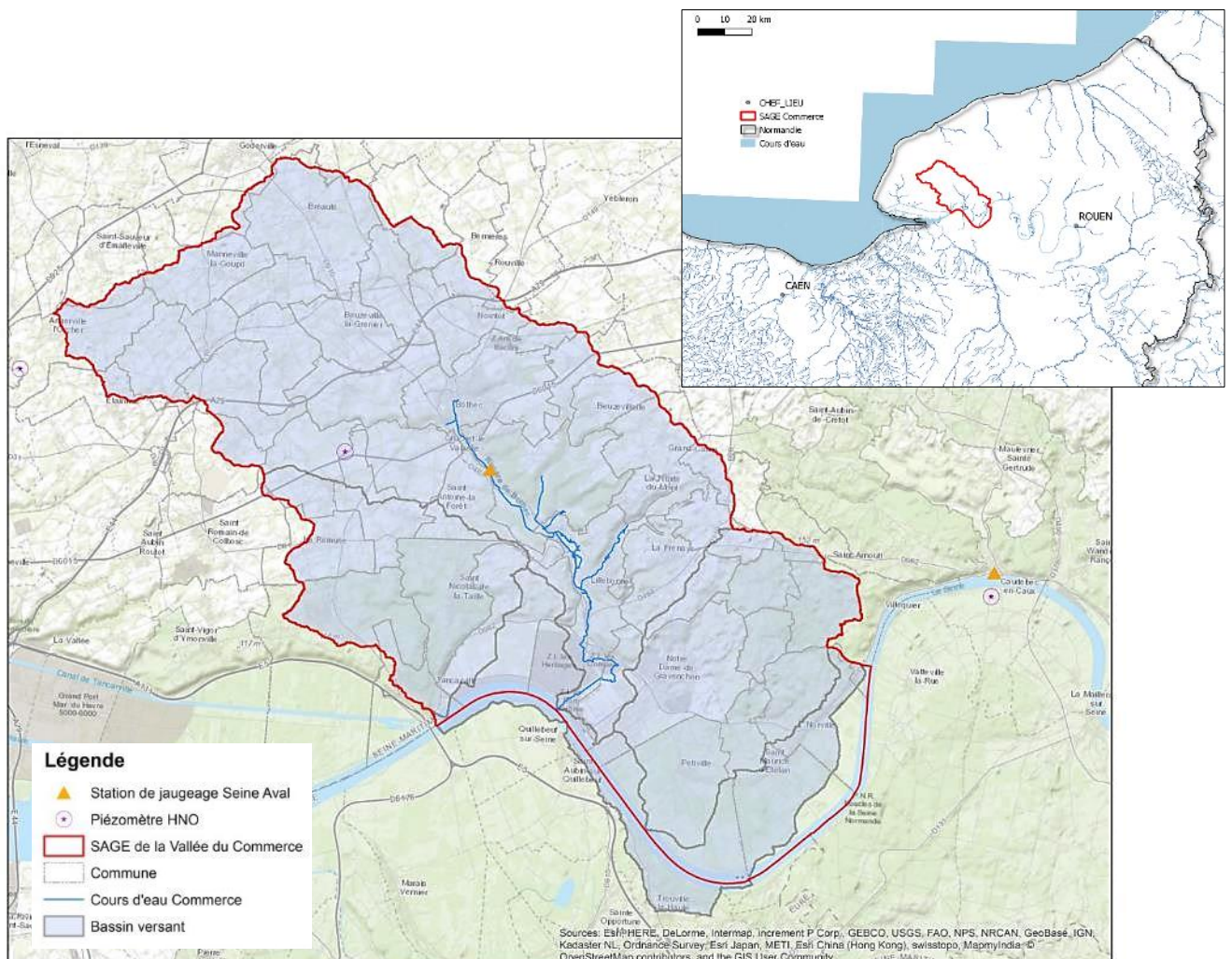


Illustration 1 : Territoire d'étude du SAGE de la vallée du Commerce

1.1.2. Organisation du territoire

Occupation des sols

Le territoire du SAGE Commerce présente de manière globale une majorité de surfaces dédiées à l'activité agricole (près de 80%). Ces surfaces, prairies et terres cultivées notamment, sont principalement réparties sur les plateaux, au nord du territoire, et également dans la plaine alluviale de la Seine (cf. Illustration 2). Sur la période 1990-2018, on constate une diminution de la part de ces surfaces à l'échelle du territoire.

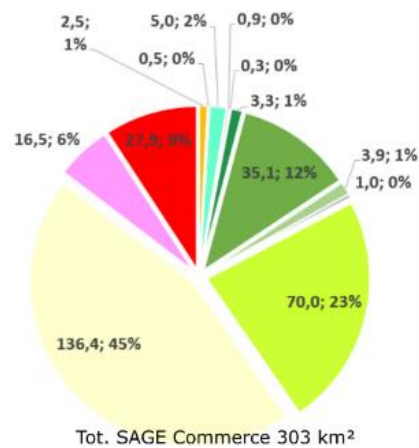
Les surfaces boisées sont principalement localisées sur les coteaux et versants des vallées. Elles représentent seulement 12 % du territoire d'étude contre près de 20 % à l'échelle de la Normandie orientale (Eure et Seine-Maritime).

A surface quasi équivalente, les espaces urbanisés et industriels/commerciaux représentent respectivement 8,1 % et 3,6 % du territoire et sont essentiellement concentrés dans les vallées (Commerce et Seine). Comme le souligne l'illustration 2, on constate sur la période 1990-2018 un étalement urbain/industriel principalement sur la zone de Port Jérôme au sud du territoire mais également autour de Bolbec (Tableau 1).

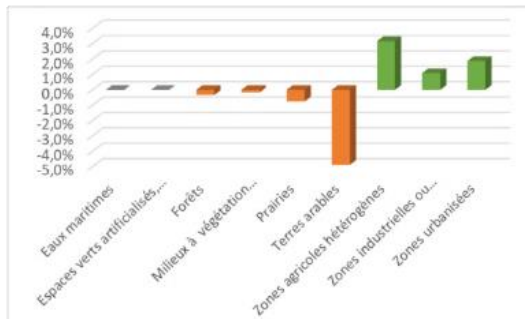
Il est particulièrement important de noter que le territoire du SAGE Commerce et plus particulièrement la zone industrielle et portuaire (ZIP) de Port Jérôme représente le **3ème pôle industriel de Normandie**. Elle regroupe notamment des industries « lourdes » des domaines de la chimie, de la parachimie, de la pétrochimie et du raffinage, mais aussi du plastique, du caoutchouc (secteur d'activité en contraction). Cette zone regroupe également des activités de logistique (secteur d'activité en développement). La majorité d'entre elles sont des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). Les premières activités ont été implantées en 1932, il s'agit donc d'activités anciennes pouvant impliquer un facteur de risque de pollution des sols et des nappes.

	1990		2018		Ecart 1990-2018 (28 ans)	
	Surface en km2	Pourcentage	Surface en km2	Pourcentage	Surface en km2	Pourcentage
Eaux maritimes	5,8	1,9%	5,8	1,9%	0,0	0,0%
Espaces verts artificialisés, non agricoles	0,5	0,2%	0,5	0,2%	0,0	0,0%
Forêts	37,0	12,2%	36,0	11,9%	-1,0	-0,3%
Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée	0,5	0,2%	0,0	0,0%	-0,5	-0,2%
Prairies	47,7	15,7%	45,4	15,0%	-2,3	-0,7%
Terres arables	180,0	59,3%	165,2	54,4%	-14,8	-4,9%
Zones agricoles hétérogènes	5,6	1,8%	15,2	5,0%	9,6	3,2%
Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication	7,6	2,5%	10,9	3,6%	3,3	1,1%
Zones urbanisées	18,9	6,2%	24,6	8,1%	5,7	1,9%
Total général	303,6	100,0%	303,6	100,0%		

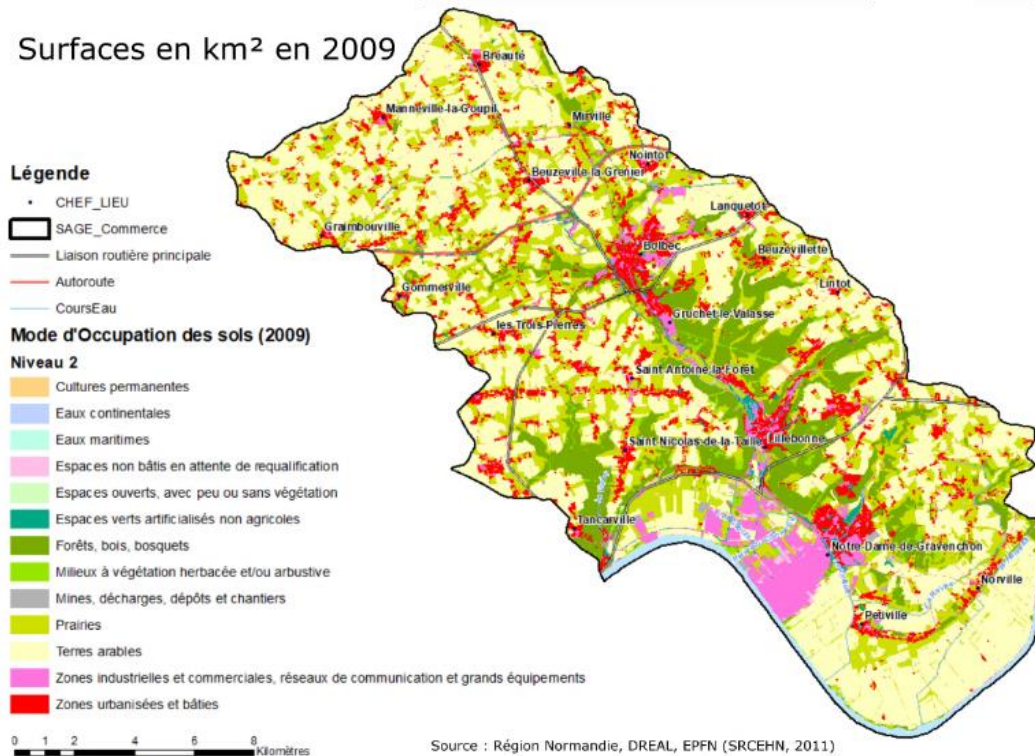
Tableau 1 : Evolution des surfaces sur 28 ans (1990-2018), source : Corine Land Cover (Copernicus)



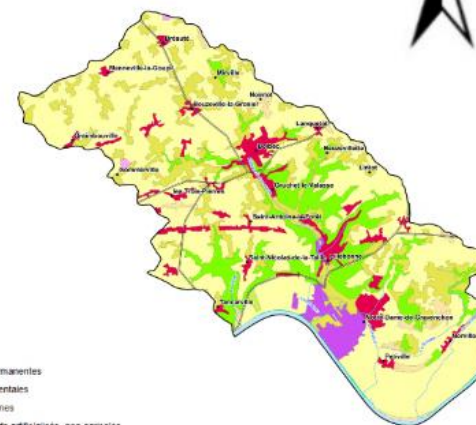
Evolution des surfaces entre 1990 et 2018



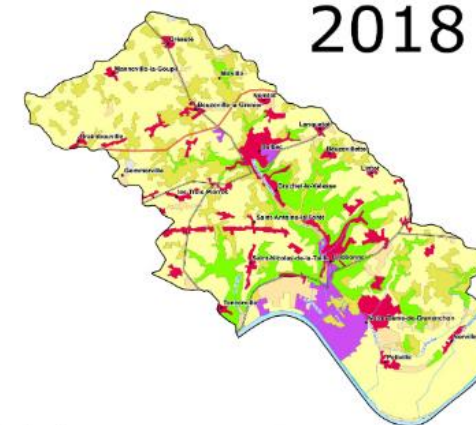
Surfaces en km² en 2009



1990



2018



Source : Région Normandie, DREAL, EPFN (SRCEHN, 2011)

Source : Corine Land Cover (Copernicus)

Illustration 2 : Analyse de l'occupation des sols sur le territoire du SAGE Commerce

Démographie

Le territoire du SAGE Commerce regroupe 49 communes¹. Selon les données de l'INSEE, la population au sein de ce territoire a connu une croissance importante entre le début des années 1980 et la fin des années 2010 comme le montre l'illustration 3 suivante. La croissance globale est supérieure à 10 % (~13%) avec un peu plus de 10 000 habitants en plus ces 30 dernières années.

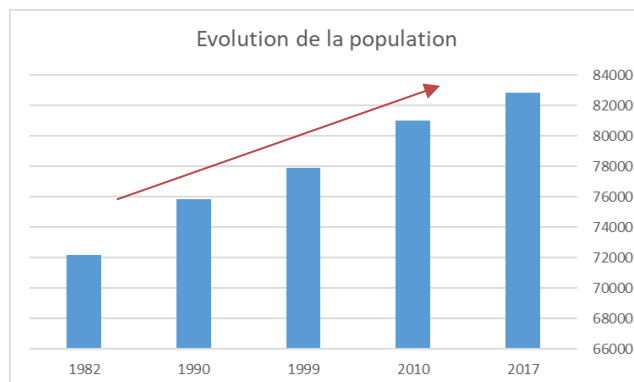


Illustration 3 : Evolution globale de la population des communes situées sur le territoire du SAGE Commerce entre 1982 et 2017 (source : INSEE, 2019)

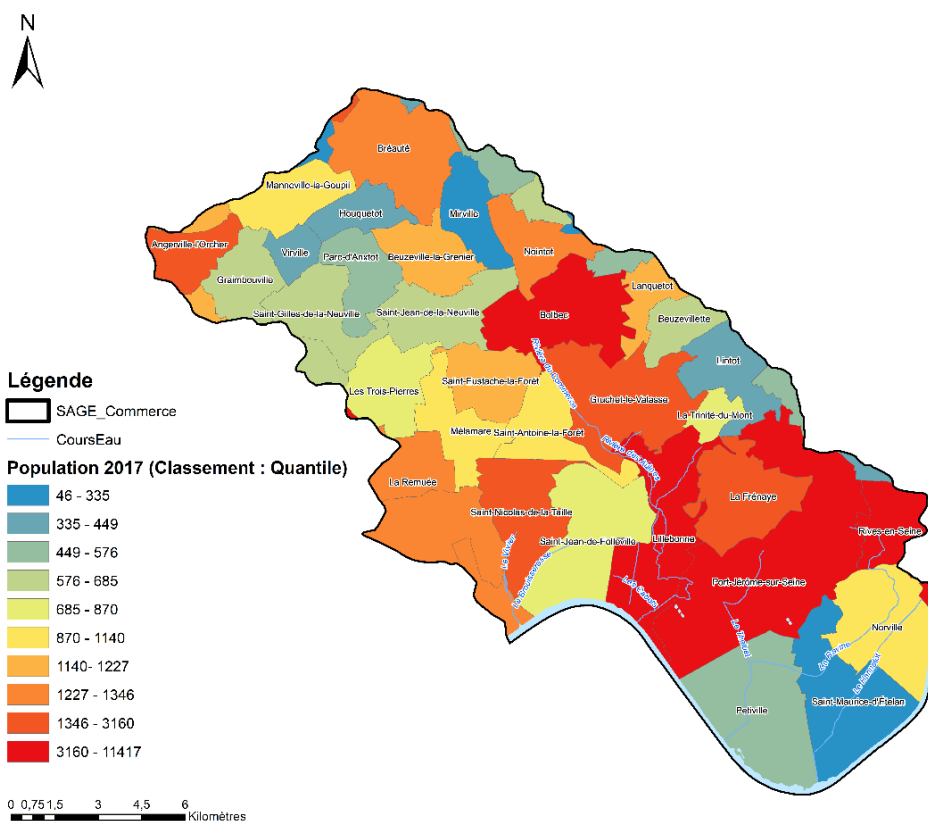


Illustration 4 : Répartition du nombre d'habitants par commune sur le territoire du SAGE commerce (source : INSEE 2017)

¹ Réparties en 2020 entre les intercommunalités suivantes : Caux Seine Agglomération, Le Havre Seine Métropole, C.C. Campagne de Caux.

La population est inégalement répartie sur le territoire (cf. Illustration 4) : environ 40 % du total d'habitants est concentré sur 3 communes (Bolbec, Lillebonne et Notre-Dame-de-Gravenchon). Celles-ci sont implantées autour des vallées du Commerce, de la Vallée et du Télhuet.

Le reste de la population du territoire se situe dans les petites communes rurales ou péri-urbaines, situées sur les plateaux. L'analyse des documents d'urbanisme² montre que l'augmentation actuelle de la population se fait davantage sur ces petites communes que dans les centres urbains.

1.2. ENJEUX ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

1.2.1. Historique : une ressource en eau au service des besoins des Hommes

La vallée du Commerce est occupée par l'homme depuis des périodes très anciennes, comme en attestent notamment les vestiges de constructions Gallo-Romaines encore visibles aujourd'hui sur la commune de Juliobona (Lillebonne). Les connaissances archéologiques ont démontré une utilisation des ressources en eau à cette époque pour les besoins de la cité : alimentation, sanitaire, loisir, ... (Le Maho, 2004).

Vers 1150, au Moyen-Âge, est fondée l'abbaye Notre Dame du Vœu (ou du Valasse, à Gruchet-le-Valasse). Le développement de ce centre religieux cistercien se fait à l'écart des bourgs de Bolbec et Lillebonne, au cœur de la vallée du Commerce. Les moines vont tirer parti de la rivière et son environnement pour assurer leurs besoins et pour exploiter au mieux les terres qui leur ont été confiées. De nombreux aménagements de la plaine alluviale et du cours d'eau de Bolbec seront réalisés, jusqu'à la révolution, pour alimenter par exemple les bâtiments en eau courante ou pour assurer les besoins agricoles : création de canaux, fossés, moulins, vannages, etc...³

Plus tardivement, les bourgs de la vallée du Commerce ont fait l'objet d'un développement humain et économique important autour des rivières, grâce notamment à ses moulins implantés le long du cours d'eau (Jaouen F., 2019 ; Hydratec., 2000). Ces aménagements ont permis aux industries textiles (lin et coton en particulier) de s'implanter dès le 14^e siècle, à l'image d'autres cités Normandes (Pont-Audemer, Louviers, Elbeuf,...) dans d'autres vallées voisines. Cette activité a connu son apogée au 19^e siècle, avec la création de nombreuses manufactures et usines, avant de connaître un rapide déclin et de prendre fin définitivement au milieu du 20^e siècle.

² source : Plan Local d'Urbanisme intercommunal <https://www.cauxseine.fr/cvs-urbanisme-plui.php>

³ L'abbaye connaîtra également une petite histoire industrielle puisqu'elle sera transformée partiellement en 1833 pour abriter des métiers à tisser (Fauquet-Lemaitre), elle sera revendue en 1960 pour devenir une laiterie... le cours d'eau sera une nouvelle fois aménagé au 19^es pour les besoins mécaniques et énergétiques de l'industrie.



Illustration 5 : Urbanisation historique autour du cours d'eau de Bolbec, Rue Alcide Amboise à gauche et Papavoine à droite, cartes postales anciennes (source : Office Tourisme Bolbec)

Au débouché de la rivière du Commerce, dans la plaine alluviale de la Seine, le site de Port Jérôme est choisi dès les années 1930 pour recevoir des industries pétrochimiques. Plusieurs raffineries et entreprises parapétrolières s'implantent sur les rives du fleuve à proximité de Notre Dame de Gravenchon entre le Havre et Rouen.

A ces périodes récentes, les ressources en eaux superficielles et souterraines sont exploitées pour assurer les besoins nécessaires aux différents procédés industriels (énergétique, refroidissement, raffinage, etc...). Les cours d'eau reçoivent également les rejets industriels et urbains, si bien que leur qualité est devenue avec le temps de moins en moins compatible avec une activité biologique. La rivière du Commerce se fait alors appeler la « rivière noire ».

1.2.2. Pressions sur les ressources

Le développement de l'urbanisation et l'implantation de nouvelles activités économiques dans la vallée du Commerce et autour de la vallée de la Seine, s'accompagnent de façon conjointe par une croissance de la population. Cette dynamique s'accompagne donc d'un étalement urbain.

Sur le secteur de Bolbec, cet étalement de l'urbanisation et des zones d'activités se fait même aujourd'hui vers les plateaux et ses versants nord et est : secteur du Nouveau Monde et de Roncherolles sur le plateau. C'est le cas également plus en aval avec l'implantation des Zones d'Activités (ZA) du Manoir à Lillebonne, ou Commerciale (ZAC) de Gruchet-le-Valasse dans la vallée du Commerce. De la Zone Industrielle et Portuaire (ZIP) de Port Jérôme, en croissance d'est en ouest ; ou encore la ZAC de la Grande Campagne à Notre Dame de Gravenchon en vallée de la Seine.

En conséquence, à titre d'exemple : l'amont de la rivière de Bolbec, siège des sources qui donnent vie à son cours, se trouve aujourd'hui cerné par un centre urbain et d'activités économiques. Ce développement s'accompagne donc d'une pression voire d'une compétition avec les ressources du territoire parmi lesquelles on peut citer :

- **Les ressources naturelles**, comme par exemple :
 - **les rivières et les zones humides** par destruction des habitats, prélèvements/assèchement, rejets/pollution, diminution des espèces faune et flore aquatique ;
 - **les eaux souterraines** par l'augmentation des prélèvements à partir des années

2000 pour satisfaire les besoins en eau potable et industrielle, pollution ;

- **les bois, forêts et espaces végétalisés** qui sont des espaces d'habitats et de vie pour de nombreuses espèces animales et végétales, des espaces de stockage du carbone et qui jouent un important rôle de filtre/tampon pour la qualité et quantité des milieux aquatiques ;
- **les sols**, imperméabilisation, pollution, érosion
- **Les ressources agricoles**, diminution des espaces dédiés aux cultures et mitage du parcellaire, tension pour les surfaces dédiées à l'élevage (y compris piscicole) et le maraichage, perte de biomasse et pollution/rejets sur les sols cultivés.

Ces tensions historiques (cf. paragraphes 1.2.1 et 1.2.3 suivants) ont parfois révélé des problèmes environnementaux et sanitaires importants dont les actions palliatives, mises en œuvre pour les résoudre, se sont avérées particulièrement coûteuses.

1.2.3. Des ressources en eau en mauvais état qualitatif et quantitatif

Le constat

Notons que dès les années 1960 – 1965, des prélèvements industriels d'eau souterraine importants dans la zone de Notre-Dame-de-Gravenchon ont conduit à la mise en place d'une réalimentation induite de la Seine dans la nappe alluviale entraînant une salinisation progressive de la ressource par des chlorures : de 40 mg/l, les concentrations en chlorures sont alors ainsi passées à 650 mg/l (cf. Illustration 6). On rappelle que le site se situe en domaine de transition estuarien et qu'à cette époque la Seine connaissait de nombreux rejets industriels au niveau de Rouen.

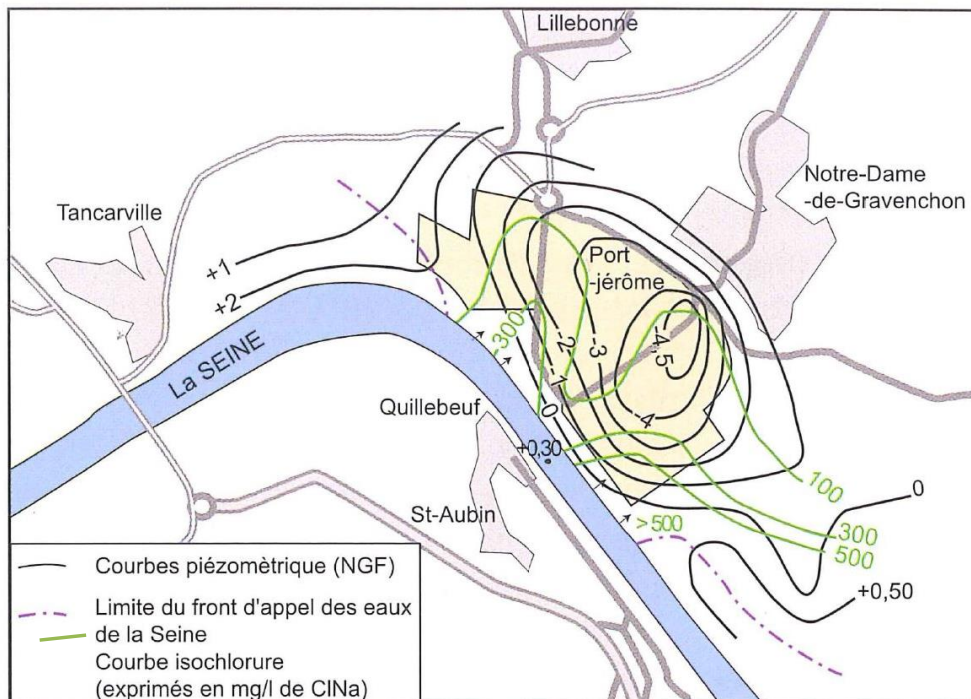


Illustration 6 : Surexploitation de la nappe des alluvions de la Seine au droit du site industriel de Port Jérôme ayant conduit à la salinisation de l'aquifère (Roux et De la Quèrièrè, 2005)

Plus récemment, en 2012, lors d'une campagne nationale de recherche de nouvelles substances indésirables dans les eaux destinées à la consommation humaine (captages AEP) menée par l'agence nationale de sécurité sanitaire (ANSES), la présence d'une molécule de la famille des nitrosamines (n-nitrosomorpholine - NMOR) a été décelée dans la nappe souterraine qui alimente en eau potable les villes de Bolbec et de Gruchet-le-Valasse et Yport, mettant en évidence l'existence de circulations souterraines entre le bassin versant du Commerce et le littoral (Illustration 7). La source principale présumée de la pollution a pu rapidement être identifiée sur le site de l'Usine ORIL à Bolbec (David et Pennequin, 2013).

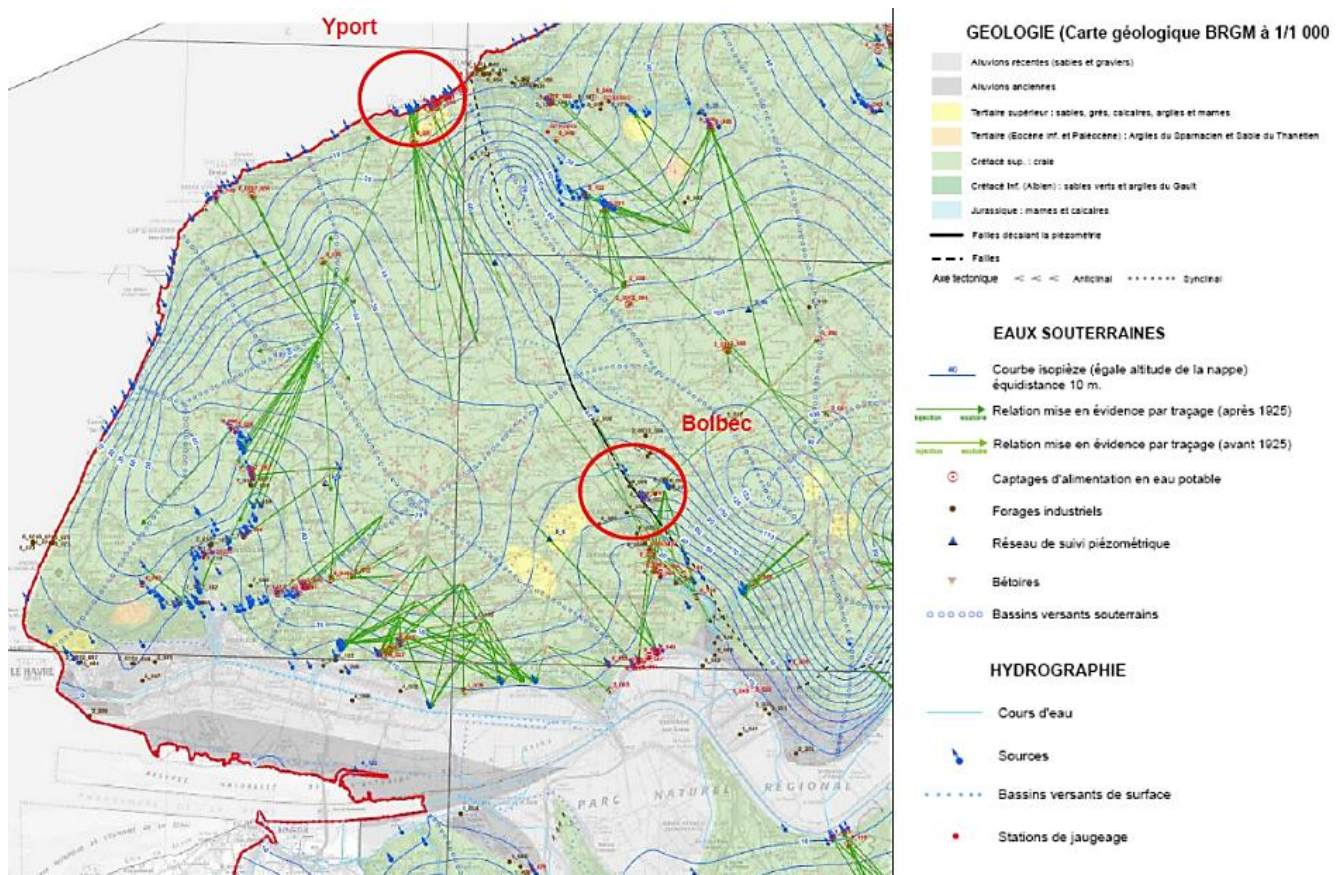


Illustration 7 : Extrait de l'Atlas hydrogéologique de Haute-Normandie (Mougin et al., 2011 modifié dans David et Pennequin, 2013)

Cette pollution a non seulement démontré encore une fois la fragilité de la ressource en eau, mais a aussi mis en évidence une configuration inhabituellement complexe des écoulements souterrains, et donc du cheminement des polluants, notamment dans le secteur de Bolbec et le long de la structure faillée de Fécamp-Lillebonne. Une étude menée par le BRGM, cofinancée par l'Agence de l'eau, Caux Seine Agglomération, Le Havre Seine Métropole (Communauté d'agglomération Havraise) et le BRGM, et visant à mieux comprendre ces écoulements et cheminements, a été réalisée spécifiquement sur ce sujet (David et al., 2020 – Rapport BRGM/RP-69139-FR).

Outre les menaces qui pèsent directement sur les eaux superficielles et souterraines, les zones humides présentes dans la vallée du Commerce et dans la plaine alluviale de la Seine sont également menacées par l'urbanisation croissante et le développement industriel (remblayages) ou encore par l'assèchement induit par les drainages ou les prélèvements excessifs, à titre d'exemples.

Rappelons en effet, concernant ces derniers, que les zones humides, comme les eaux de surface en général, sont pour la plupart soutenues par les eaux souterraines, directement ou indirectement.

Cette relation forte entre les eaux souterraines et de surface contrôle également les phénomènes d'inondation et de crues : une rivière qui déborde peut avoir pour origine des ruissellements importants et/ou des niveaux de nappe élevés (remontées de nappe). Les centres des agglomérations de la vallée du Commerce sont également exposés à ces risques.

Prise de conscience sur l'état de dégradation des ressources

Regroupés en syndicat mixte, les élus de la Vallée du Commerce prennent conscience dès 1980 de la mauvaise qualité des eaux de la rivière du Commerce et de la vulnérabilité de la ressource en eau souterraine, utilisée pour l'alimentation en eau potable.

En effet, les études des ressources en eau du bassin de la rivière du Commerce indiquaient l'existence d'échanges nappe – rivière entre Bolbec et Lillebonne, avec l'existence de zones de pertes et des transferts vers les lieux où la ressource est abondante, au niveau des captages de Saint-Marcel et du Becquet (SAFEGE, 2015 et SMI Port Jérôme, 2004).

En 1996, lors d'une réunion du Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions Industrielles (SPPPI) au sujet de la qualité des eaux du Commerce, les industriels proposent la réalisation d'une étude sur la partie aval de la rivière du Commerce afin de déterminer le fonctionnement hydraulique et la contribution des entreprises industrielles de Port-Jérôme [au déséquilibre quantitatif et qualitatif] de la rivière (SAFEGE, 2015 et SMI Port Jérôme, 2004).

Cet état de fait a progressivement conduit à l'élaboration du SAGE de la vallée du Commerce, approuvé en 2004 par arrêté préfectoral (SMI Port Jérôme, 2004). Ce document a fait l'objet d'un processus de révision entre 2009 et 2015 afin de le rendre compatible avec la Loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) et le SDAGE Seine-Normandie 2010 – 2015, au terme duquel sa version révisée a été approuvée par un Arrêté préfectoral en date du 15 octobre 2015 (SAFEGE, 2015). Il est porté depuis 2008 par l'intercommunalité Caux Seine Agglomération (anciennement Caux Vallée de Seine).

La réglementation

Les problèmes qualitatifs et quantitatifs, connus de longue date sur ce territoire, ont conduit les services de l'Etat et l'Agence de l'eau à classer les masses d'eaux souterraines et superficielles de ce secteur en mauvais état⁴.

Le SDAGE Seine – Normandie 2016 – 2021 reconnaît les tensions existantes dans le bassin versant du Commerce ; les masses d'eaux souterraines et superficielles sont pour la plupart classées en mauvais état ou en état médiocre ou moyen, et ont bénéficié d'un report de délai pour l'atteinte du bon état (2021 ou 2027 au lieu de 2015). Les paramètres déclassants sont autant d'origines industrielle (HAP, métaux lourds, OHV, ...) qu'agricole (pesticides, herbicides, nitrates, ...).

⁴ Au titre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) 2000/60/CE

Par ailleurs, les masses d’eaux souterraines sont également classées en tension quantitative dans le bassin du Commerce ; aussi le SDAGE dans sa disposition D7.115 concernant les modalités de gestion locales pour ce dernier stipule-t-il notamment qu’il convient de mettre en place une concertation en vue de prévenir les conflits d’usages, de limiter les prélèvements industriels dans les alluvions de la Seine et de mieux gérer le déséquilibre quantitatif observé actuellement dans la Craie altérée (cf. Tableau 2 ci-après).

Modalités de gestion locales pour les masses d’eau souterraine FRHG001, FRHG202 et FRHG211	Modalités de gestion locales pour la masse d’eau FRHG001 Alluvions de la Seine moyenne et aval	Modalités de gestion locales pour la masse d’eau FRHG202 Craie altérée de l’estuaire de la Seine
Il convient de mettre en place une concertation sur ces trois masses d’eau en vue de prévenir les conflits d’usages.	<p>Cette masse d’eau subit un déséquilibre quantitatif à l’échelle de l’estuaire de la Seine.</p> <p>Les prélèvements industriels sollicitent la nappe d’eau souterraine au détriment des prélèvements pour l’eau potable.</p> <p>L’objectif est de limiter l’utilisation de l’eau souterraine pour l’usage industriel.</p>	Cette masse d’eau subit un déséquilibre quantitatif à l’échelle des bassins versants du Cailly, du Commerce et de la Lézarde.

Tableau 2 : Disposition D7.115 du SDAGE Seine – Normandie 2016 – 2021

La nappe de la craie altérée est aussi classée comme étant une « nappe stratégique » qu’il convient de réserver pour l’alimentation en eau potable.

Lors de la révision du SAGE en 2015, les enjeux suivants ont été identifiés et inscrits dans le plan d’aménagement et de gestion durable (PAGD) du territoire (SAFEGE, 2015) :

- Enjeu 1 - Reconquérir les milieux aquatiques et accroître la biodiversité ;
- Enjeu 2 - Maîtriser les ruissellements, lutter contre les inondations et les pollutions diffuses ;
- Enjeu 3 - Améliorer la qualité des eaux souterraines ;
- Enjeu 4 - Améliorer la gestion quantitative de la ressource en eau et assurer un partage équitable et durable des ressources disponibles ;
- Enjeu 5 - Améliorer la collecte et le traitement des rejets pour reconquérir et préserver une qualité d’eau ;
- Enjeu 6 - Connaissance, Communication et Gouvernance.

1.2.4. Conception d’un programme d’étude adapté aux enjeux et ses objectifs

Pour permettre de répondre aux enjeux fixés par le SAGE, un programme d’étude a été conçu en 2017 par le BRGM et ses partenaires, l’Agence de l’Eau Seine Normandie et Caux Seine Agglomération, avec comme objectifs à terme de :

- **Améliorer la connaissance sur le fonctionnement des hydrosystèmes** : eaux souterraines et superficielles, zones humides et interactions hydrodynamiques ;
- **Fournir des éléments de réponse pour (1) mieux appréhender les épisodes climatiques extrêmes** (crues – inondations et sécheresses) et **(2) aider à rétablir la**

continuité écologique des cours d'eau et à protéger/restaurer les zones humides ;

- **Evaluer les réserves renouvelables et disponibles en eau permettant d'assurer une répartition équitable entre les usagers :** Déterminer des volumes prélevables compatibles avec les orientations du SDAGE. Etablir les modes de gestion garantissant des usages et un développement durable à l'échelle du territoire ;
- **Caractériser les foyers de pollutions diffuses et ponctuelles et tenter d'expliquer les mécanismes de transferts.** Déterminer les mesures correctives nécessaires à mettre en place pour préserver la qualité de ces ressources ;
- **Améliorer les connaissances sur la vulnérabilité des ressources en eau souterraines** pour permettre une meilleure protection des captages ;
- **Dimensionner les dispositifs de suivi de la ressource en eau** (quantité et qualité).

Afin de pouvoir répondre à l'ensemble de ces objectifs, une première étude a été lancée en 2015 sur les circulations complexes qui prennent place au droit du système faillé dit de Fécamp – Lillebonne (rapport BRGM/RP-69139-FR). Il est par ailleurs apparu nécessaire également de construire un modèle de gestion des ressources en eau (Illustration 8).

La mise en œuvre de cet outil a donc été prévue, en concertation avec l'ensemble des partenaires, et sa construction a été proposée dans le cadre d'un programme en cinq phases :

1. Etude préalable : synthèse géologique – hydrologique – hydrogéologique de l'hydrosystème craie/alluvions/rivières/zones humides/fleuve, établissement du/des modèles conceptuels du fonctionnement de la ressource ;
2. Acquisition de données complémentaires (option) ;
3. Construction d'un modèle géologique ;
4. Construction du modèle hydrogéologique de gestion de l'hydrosystème ;
5. Exploitation du modèle (définition des volumes prélevables, préservation des zones humides, protection contre les pollutions, ...).

Principales phases de la modélisation

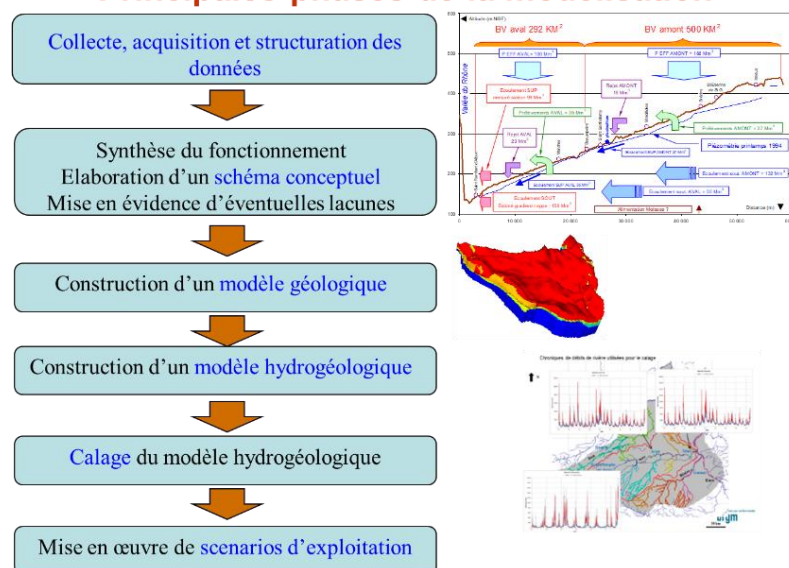


Illustration 8 : Exemple d'étapes nécessaires pour la construction d'un outil de gestion de l'hydrosystème s'appuyant sur un modèle mathématique

La présente étude s'inscrit dans les deux premières phases du programme ci-dessus établi pour la construction de ce modèle de gestion.

Celle-ci prévoit, dans le détail :

- L'analyse bibliographique du contexte géologique ;
- La synthèse du contexte hydrologique : mesures et jaugeages ;
- Une synthèse du contexte hydrogéologique, comprenant :
 - établissement de deux relevés piézométriques synchrones (Haute et Basses Eaux),
 - suivi en continu des niveaux de nappe,
 - étude des relations Seine/Alluvions/Craie,
 - analyse bibliographique ;
- Un bilan des prélèvements et de rejets dans l'hydrosystème ;
- L'analyse du contexte climatique et l'évaluation de la recharge ;
- Une évaluation de l'état de la qualité des eaux (souterraines et superficielles) et des mécanismes qui ont conduit parfois à leur dégradation ;
- La proposition d'un modèle conceptuel de fonctionnement des hydrosystèmes ;
- Une synthèse générale : Etat des Lieux et Enjeux.

La réalisation de cette étude préalable s'est faite sur une durée de 3 ans : de Mars 2017 à Mars 2020, période nécessaire notamment à la mise en œuvre de deux campagnes de mesures piézométriques/jaugeages/nivellement, à l'implantation d'un réseau piézométrique (dont la nécessaire création d'un piézomètre à St Antoine-la-Forêt) et au suivi/enregistrement des variations du niveau des eaux souterraines.

2. Synthèse géologique et structurale

Ce chapitre présente une synthèse des données bibliographiques disponibles sur le contexte géologique et structural de la zone d'étude. Cet « état des connaissances » contribue à une interprétation optimale des données hydrologiques et hydrogéologiques. Les connaissances nouvellement acquises par le BRGM ces trois dernières années seront mises en évidence de manière à contribuer utilement à la compréhension de la géométrie des aquifères et des écoulements souterrains.

2.1. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

2.1.1. Relief

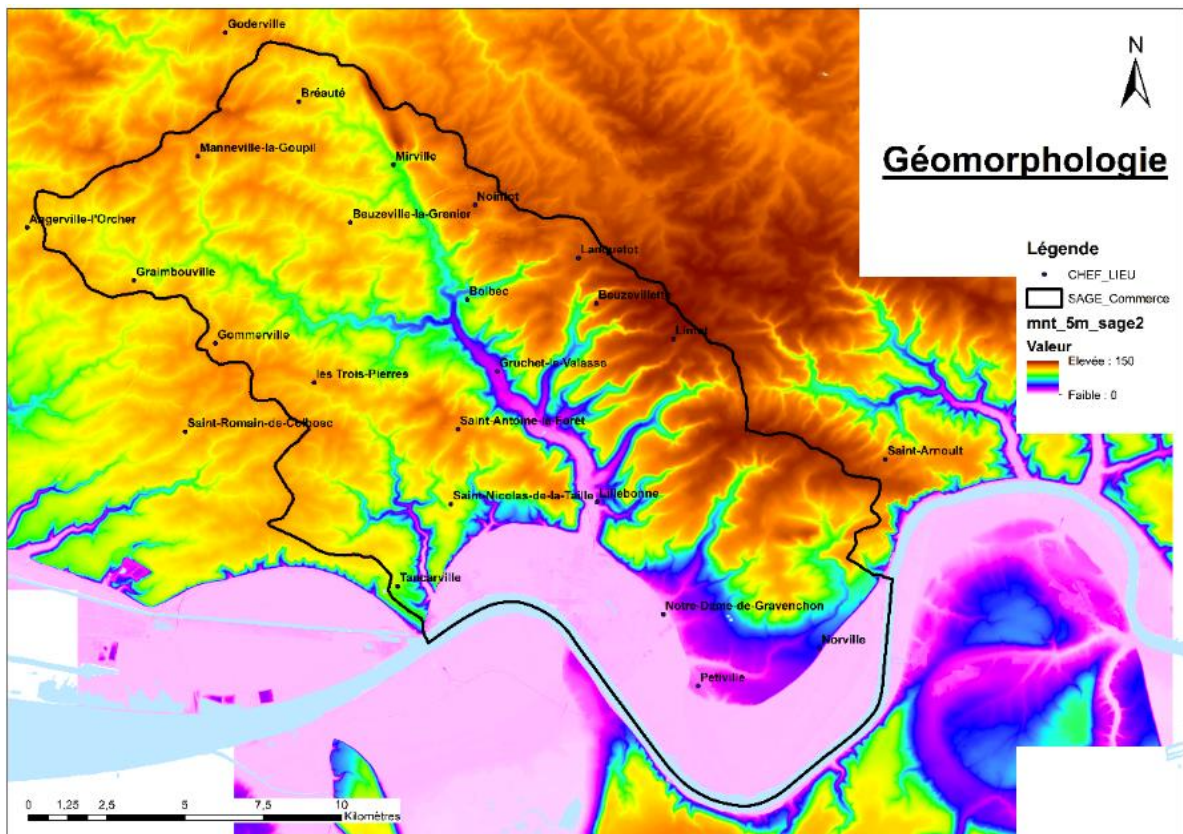


Illustration 9 : Modèle Numérique de Terrain – MNT 5 m (source : IGN)

Le territoire du SAGE de la vallée du Commerce est caractérisé par 3 principaux espaces, marqueurs géomorphologiques :

- Une **vallée principale**, formant une sorte de « Y » couché, dont la branche principale scinde presque le territoire en deux selon un axe NNW-SSE. La moitié sud de cette vallée est occupée par la rivière du Commerce qui s'écoule en direction de la Seine. A noter : les branches nord et ouest de cette vallée sont sèches.
- La présence de **vastes plateaux** dont l'altitude varie entre 120 et 150 m NGF, on note que l'altitude de ces derniers est plus marquée à l'est qu'à l'ouest de la vallée du Commerce ;

- Toute la partie inférieure du territoire est occupée par **la vallée de la Seine**. Le fleuve y a ciselé les plateaux au travers de larges méandres. Cette portion du territoire forme une véritable plaine (lit majeur), son altitude est inférieure à 5 m NGF. En rive droite, elle s'étire sur une vingtaine de kilomètres entre Tancarville à l'ouest à Villequier à l'est. A noter : d'anciennes terrasses du fleuve sont bien visibles sur le secteur jusqu'à une altitude de 50 m NGF (Saint Nicolas de la Taille, Petiville).

La coloration utilisée sur l'illustration 9 permet de distinguer assez facilement l'ensemble de ces 3 éléments.

2.1.2. Profils altimétriques

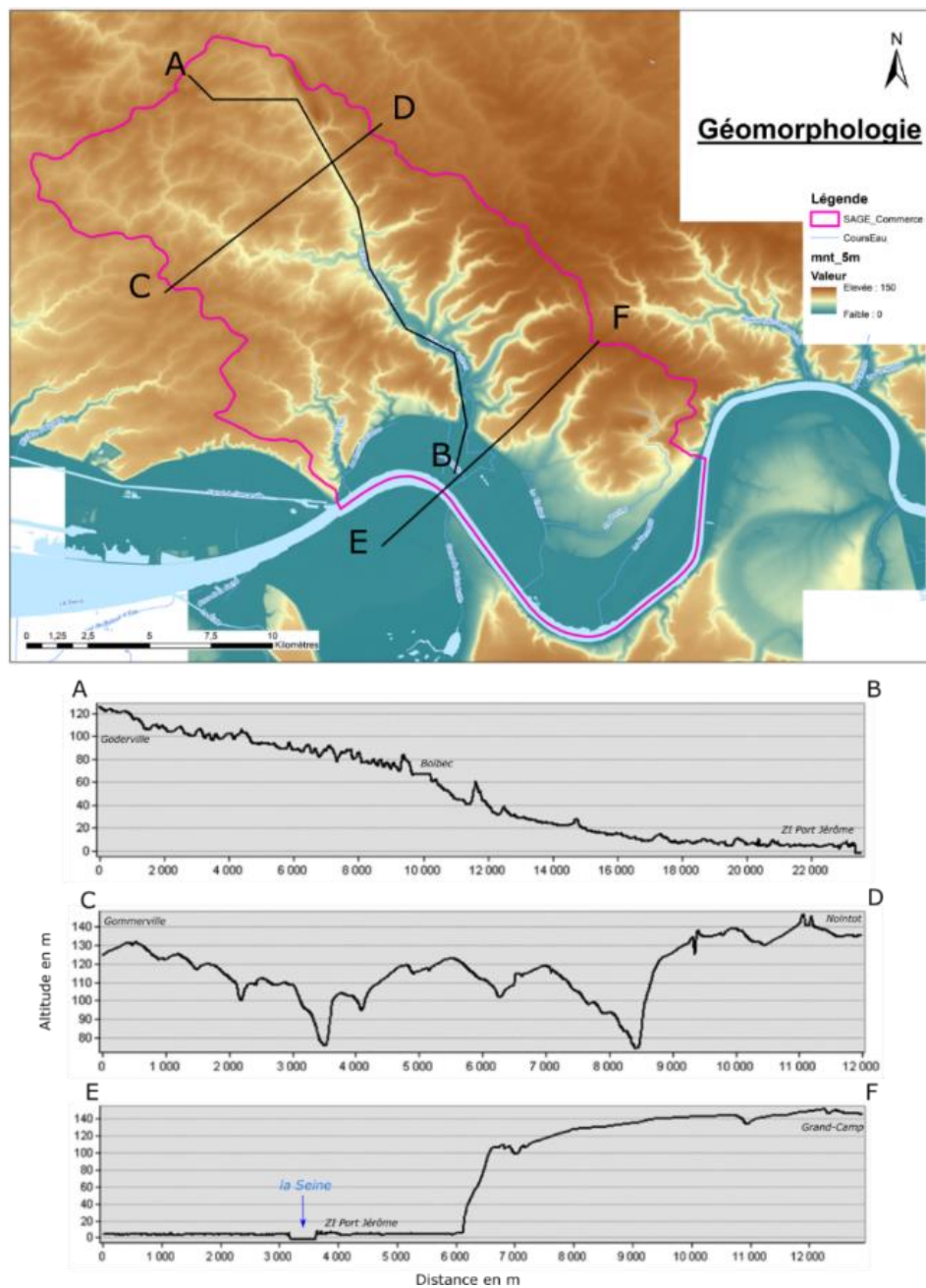


Illustration 10 : Profil d'élévation de la topographie, la carte est établie à partir du MNT (source IGN)

L'analyse de l'illustration 10 permet d'indiquer que :

- Le **premier profil (AB)** montre que la pente du bassin versant du Commerce est assez régulière en amont de la ville de Bolbec, au droit de laquelle on constate une rupture de pente assez nette. Le profil s'amortit ensuite doucement jusqu'au sud dans la vallée de la Seine.
- Le **second profil (CD)** réalisé montre que les deux « branches » de la vallée sont assez profondément encaissées. L'altitude du fond de ces talwegs est dans les deux cas inférieure à 80 m NGF ; **on y note l'absence de cours d'eau**. On fait remarquer que l'altitude des plateaux est plus importante à l'est qu'à l'ouest. La branche principale de la vallée montre un profil asymétrique avec un versant est abrupte (où l'on passe en moins d'un kilomètre de 130-140 m d'altitude à moins de 80 m) et un versant ouest en pente douce. Cette observation est valable également plus en aval, dans la vallée humide, près de Lillebonne par exemple.
- Le **dernier profil (EF)** montre l'existence d'une falaise fluviale sur la portion du territoire situé à l'ouest de Notre-Dame-de-Gravenchon. Cette dernière domine la plaine alluviale par plus de 120 m, ce qui témoigne d'un profond cisèlement/encaissement du fleuve. Sur ce profil, on distingue un très léger bourrelet alluvial près du fleuve, de part et d'autre des berges de la Seine.

A noter : la largeur des vallées et talwegs du territoire du SAGE Commerce est dans une grande majorité inférieure à 300 m. La vallée principale du Commerce se distingue toutefois, de ce point de vue : elle s'élargit nettement entre Bolbec et Gruchet le Valasse pour atteindre 800 m environ, sans pour autant recevoir d'affluents sur cette portion.

2.1.3. Pentés

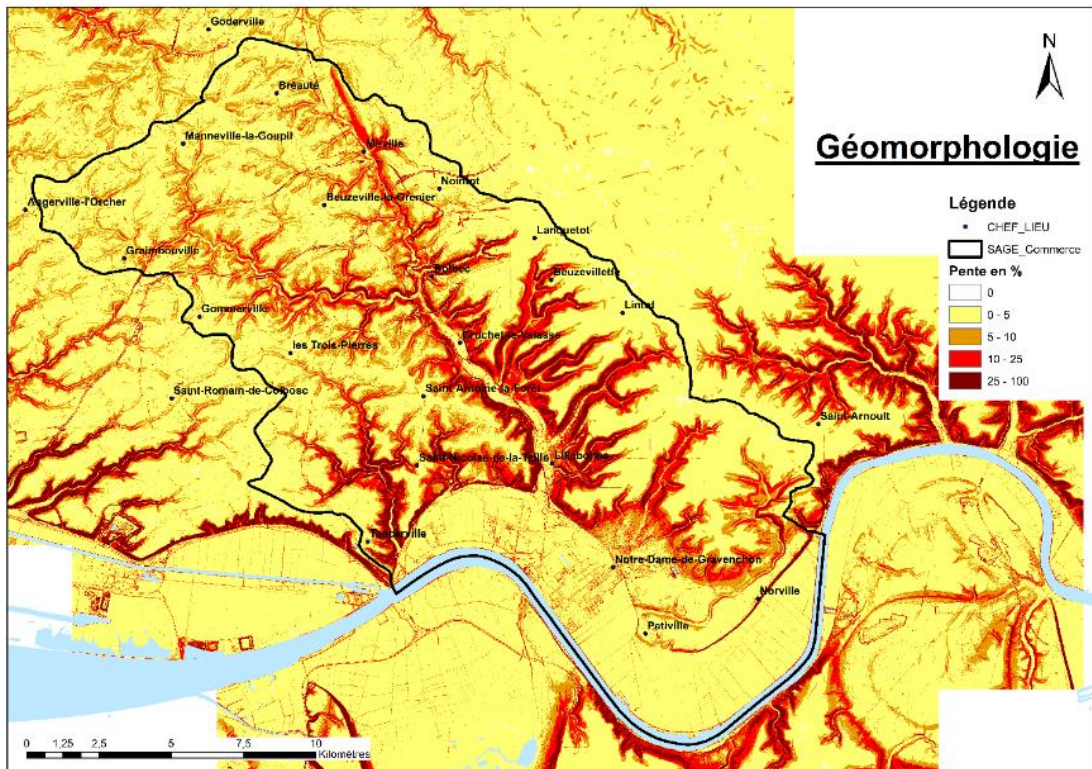


Illustration 11 : Pentés estimées par traitement SIG à partir du MNT

L'étude des pentes montre que celles-ci sont globalement presque nulles (<5 %) sur les plateaux et dans la plaine alluviale.

L'ensemble des vallées et talwegs possèdent des pentes relativement importantes, souvent supérieures à 10 %, qui s'adoucissent progressivement en remontant à leurs amorges. Comme déjà évoqué elles sont assez profondément encaissées.

A noter : la partie nord-ouest du territoire est découpée par un chevelu important de petits talwegs et vallons secs. Ce paysage plus vallonné est assez singulier dans le Pays de Caux. Cet élément intéressant sera souligné dans le volet géologique et structural, car il peut être un marqueur d'un développement karstique (cf. paragraphe 2.5.2).

2.2. CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

A l'échelle de la géologie de la France, le secteur du SAGE Commerce se situe sur la bordure ouest du Bassin de Paris qui correspond à une large cuvette sédimentaire centrée sur l'Île de France (Illustration 12). En Seine-Maritime et dans l'Eure, les formations sédimentaires qui le constituent sont, des plus anciennes aux plus récentes :

- les faciès calcaires et argileux du Jurassique supérieur ;
- en discordance, les formations sablo-argileuses du Crétacé inférieur (Aptien, Albien) ;
- en discordance également, la puissante série crayeuse du Crétacé supérieur (Cénomaniens – Turonien – Coniacien – Santonien) formant l'essentiel de l'ossature des plateaux du Pays de Caux. Ces craies sont aquifères de par leur importante porosité, et leur sensibilité à la karstification.

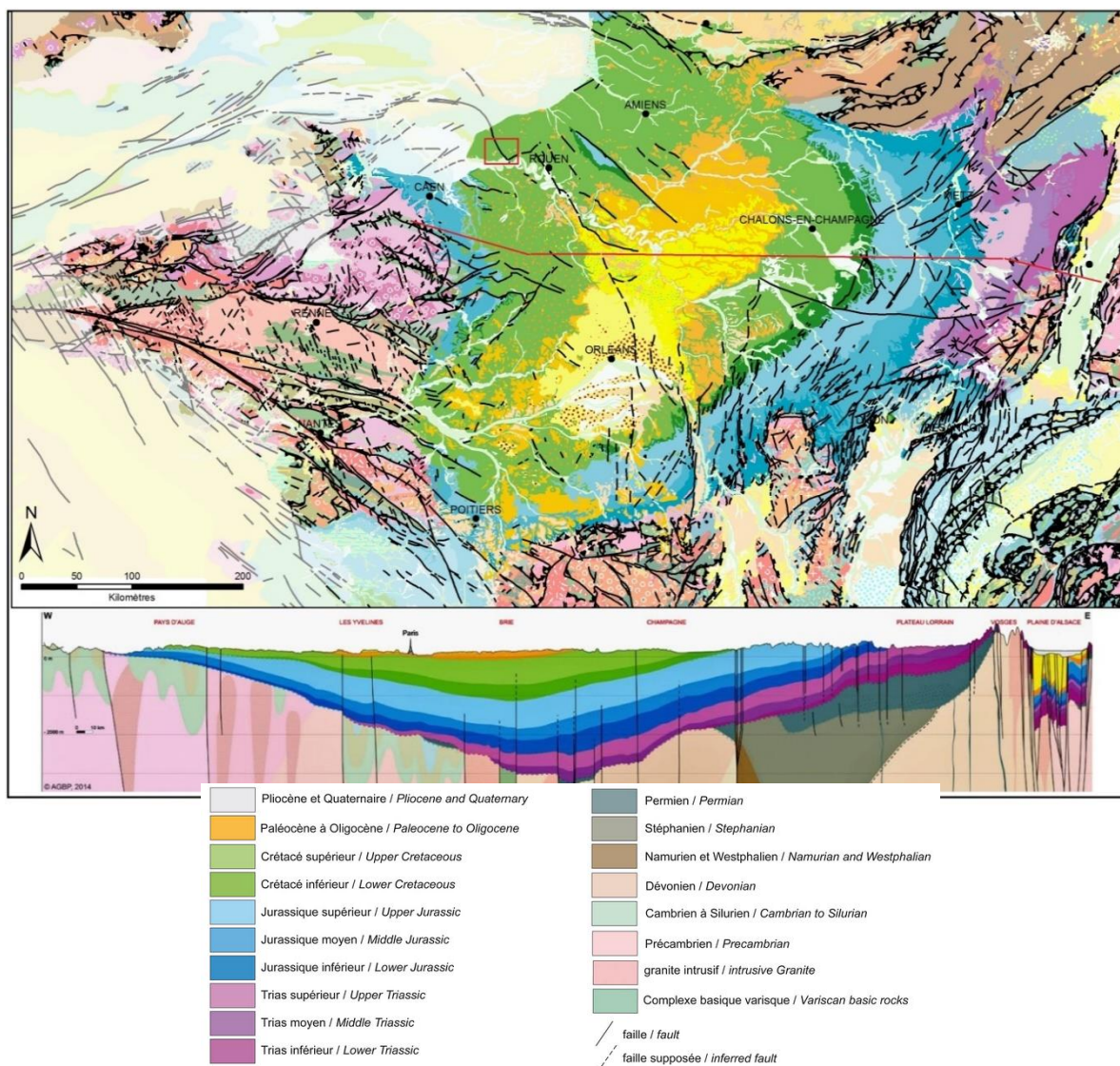


Illustration 12 : Cadre géologique de la zone d'étude à l'échelle du Bassin de Paris. La zone d'étude est représentée par le rectangle rouge, et la position simplifiée de la coupe par le tracé rouge (sources : carte géologique de la France au 1/1.000.000 (BRGM) et coupe géologique du Bassin Parisien et du Fossé Rhénan (AGBP, 2014))

La majeure partie du substratum est recouverte de formations superficielles diverses, parfois très épaisses (cf. paragraphe 2.4) :

- altérites à silex et limons des plateaux au sommet des plateaux ;
- colluvions et formations de pentes sur les versants ;
- complexe alluvionnaire en fond de vallées.

Structuralement, le secteur d'étude apparaît peu déformé et présente généralement une structure sub-tabulaire à monoclinale. La faille de Fécamp-Lillebonne reste l'accident géologique majeur de la région pouvant induire des perturbations dans le système aquifère de par :

- la complexité de sa géométrie (pouvant être à l'origine d'une compartimentation du réservoir) ;

- son rejeu synsédimentaire, notamment au cours du Crétacé, qui induit des variations locales de faciès et d'épaisseurs, particulièrement pour les formations albiennes et cénomaniennes ;
- sa ou ses réactivation(s) tectonique(s) dans le temps.

Les structures tectoniques connues ou supposées dans le secteur d'étude seront présentées dans le chapitre 4.4.

2.3. DESCRIPTIONS ET REPARTITION SPATIALE DES FORMATIONS GEOLOGIQUES MESOZOIQUES ET CENOZOÏQUES

Les formations sédimentaires qui constituent le soubassement du SAGE Commerce sont, des plus anciennes aux plus récentes :

- les faciès calcaires et argileux du Jurassique supérieur ;
- les formations sablo-argileuses du Crétacé inférieur (Aptien, Albien) ;
- la puissante série crayeuse du Crétacé supérieur (Cénomaniens – Turonien – Coniacien – Santonien) ;

Le découpage lithostratigraphique du Crétacé inférieur et des craies du Crétacé supérieur, initié en 1974 par Juignet (1974), poursuivi par Ragot (1988) et actualisé en 2008 par Lasseur (2008 – pour les craies uniquement), permet une description lithologique des différents étages de l'Aptien au Campanien. Ces descriptions se basent sur des observations effectuées en Normandie, et restent valables pour le secteur d'étude. Sur le terrain, ces formations mésozoïques affleurent peu. Généralement leur observation est possible uniquement à la faveur des ruptures de pentes sur les versants ou dans d'anciennes carrières souterraines ou à ciel ouvert.

La compilation de ces travaux a permis de dresser la pile stratigraphique « type » des différents faciès du Crétacé rencontrés dans le secteur d'étude (Illustration 14 et Illustration 15).

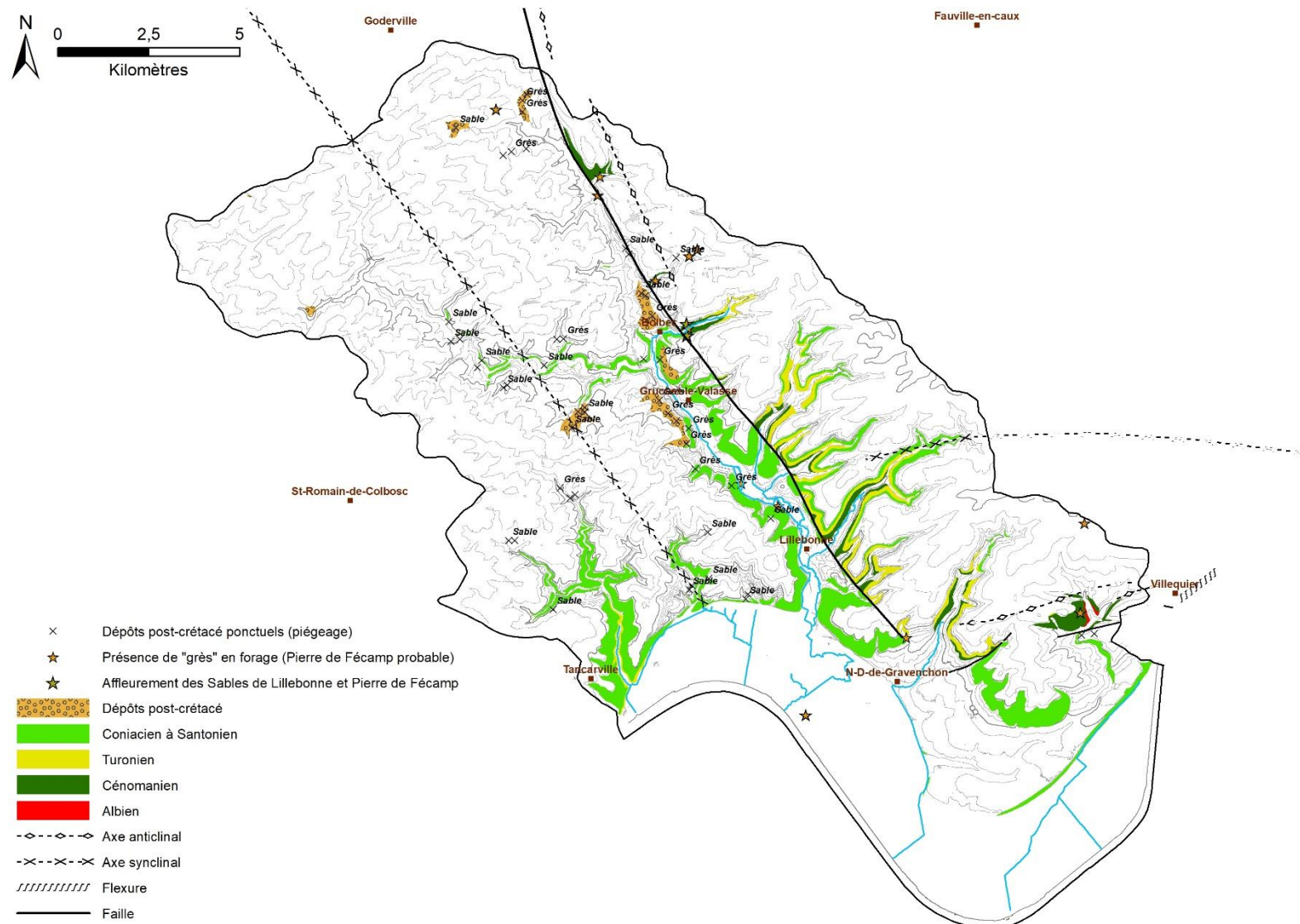


Illustration 13 : Répartition des formations du substratum et des dépôts tertiaires sur le secteur du SAGE Commerce (d'après la carte géologique harmonisée de la Seine-Maritime, Quesnel et al., 2008)

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

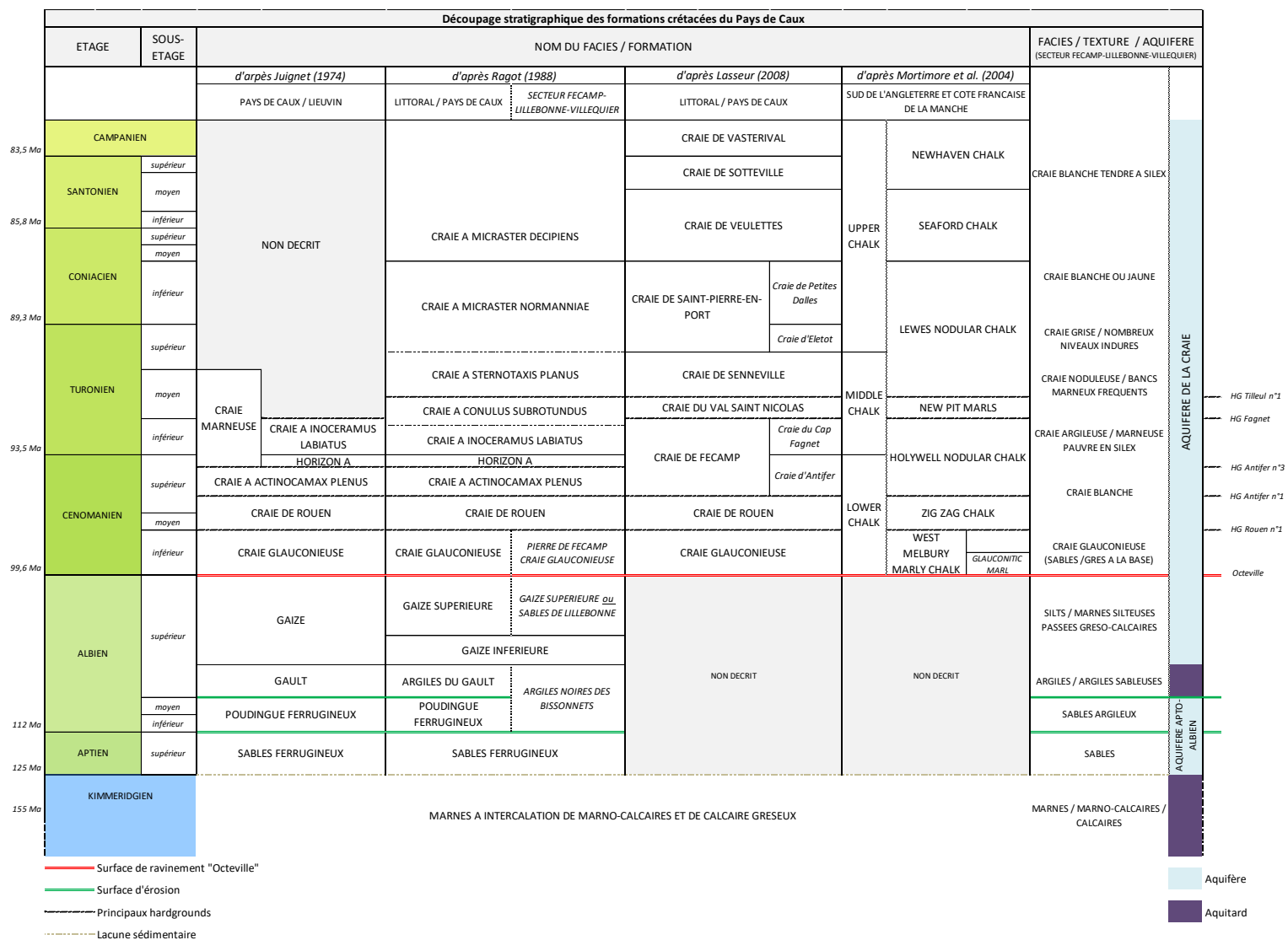


Illustration 14 : Synthèse des données lithostratigraphiques disponibles dans la littérature pour les formations du Jurassique supérieur et du Crétacé (d'après Juignet, 1974 ; Ragot, 1988, Lasseur, 2008, Mortimore et al., 2004, Ménéillet, 1969)

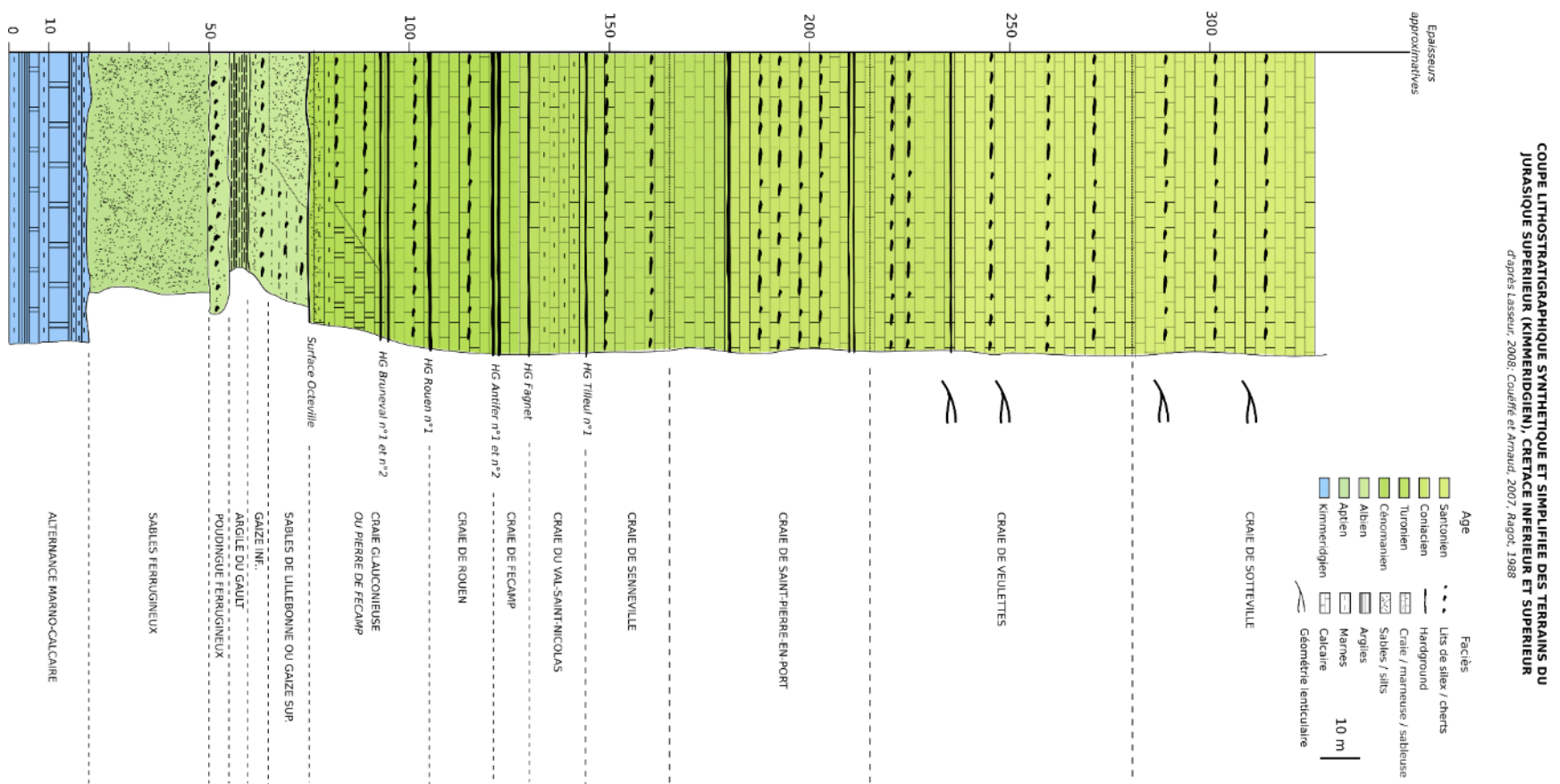


Illustration 15 : Coupe lithostratigraphique synthétique et simplifiée des assises du Jurassique supérieur (Kimméridgien), Crétacé inférieur et Crétacé supérieur de la zone d'étude (d'après les travaux de Lasseur, 2008 et Couëffé et Arnaud, 2008)

2.3.1. Jurassique supérieur

A l’affleurement, les terrains jurassiques sont uniquement représentés dans le secteur de Villequier à la faveur de la structure anticlinale. Ailleurs, le Jurassique est partout recouvert des formations crétacées, et n’est connu que par sondages.

Les derniers dépôts jurassiques, sur lesquels reposent les sédiments transgressifs du Crétacé inférieur (cf. paragraphe 0), datent du Kimméridgien et sont constitués d’argiles gris noir et de calcaires marneux gris (Ménillet, 1969). Les sondages pétroliers réalisés dans le secteur de Triquerville - Villequier donnent d’excellentes informations sur les épaisseurs et les faciès du Jurassique supérieur. Vers Triquerville, le sondage BSS000FHSB VILQ-1 (ancien code : 00758X0002), profond de 150 m et réalisé au nord de la faille de Triquerville, dans l’anticlinal du même nom, a rencontré sous 4 m d’argiles du Gault puis 25 m de faciès sablo-argileux albio-aptien :

- 58 m de marnes argileuses noirâtres parfois sableuses, avec intercalation de calcaires gréseux gris, de marno-calcaires grisâtres et de calcaires sublithographiques gris-beige ;
- 23,7 m de marnes argileuses noirâtres gréseuses et pyriteuses, avec intercalation de calcaires gréseux gris, de marno-calcaires grisâtres et de calcaires sublithographiques gris-beige.

Cet ensemble kimméridgien, puissant ici de 81,7 m, repose sur les faciès sablo-argileux à bancs calcaires de l’Oxfordien. Vers l’ouest, vers la faille de Fécamp-Lillebonne, les données de sondages semblent indiquer une diminution de l’épaisseur du Kimméridgien, puisque le sondage BSS000FHNC VILQ-5 (ancien code : 00757X0003) situé à Notre-Dame-de-Gravenchon a traversé 46,5 m de marnes à intercalation de marno-calcaires et de calcaires gréseux attribués au Kimmeridgien, et reposant sur les faciès plus sableux du sommet de l’Oxfordien.

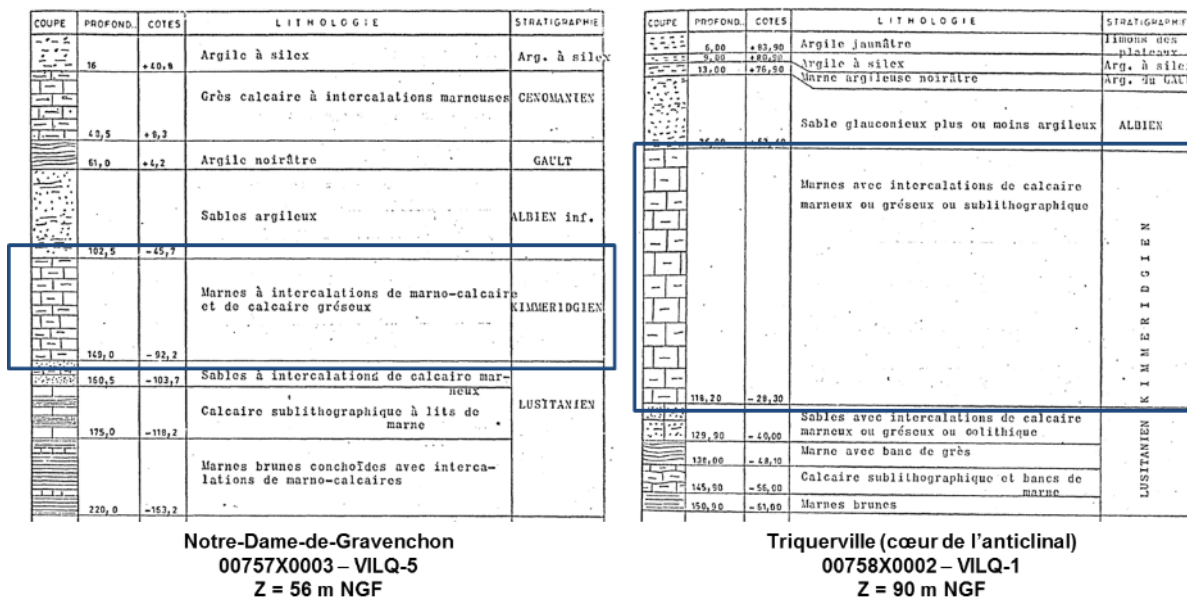


Illustration 16 : Faciès et épaisseur du Kimméridgien dans les secteurs de Triquerville et Notre-Dame-de-Gravenchon (dossiers BSS000FHNC et BSS000FHSB)

2.3.2. Crétacé inférieur

Les sables ferrugineux de l'Aptien

Les faciès de l'Aptien constituent les premiers dépôts mis en place lors de la transgression crétacée (Juignet, 1974). Ils reposent en discordance sur les formations kimméridgiennes (Jurassique supérieur) caractérisées par des marnes et des calcaires. D'un point de vue lithologique, les descriptions établies par Juignet (1974) et Ragot (1988) indiquent un faciès essentiellement sableux plus ou moins argileux et glauconieux et de granulométrie variable, dans lequel s'intercalent des niveaux d'argile ou de grès ferrugineux. Ce faciès caractéristique des Sables ferrugineux peut d'ailleurs être bien observé à l'affleurement dans le secteur du Cap de la Hève, au Havre (Seine-Maritime - Illustration 17).

D'après les sondages réalisés dans le secteur d'étude, l'épaisseur des Sables ferrugineux varie de 24 m dans l'anticlinal de Villequier (forage BSS 00758X0002, au sud-est de la zone d'étude) et dans le secteur de Mirville au sein de la zone faillée (forage BSS 00752X0006) à plus de 40 m à Port-Jérôme (forage BSS 00982X0005, où cette formation se termine par 4 m d'une argile noire sableuse). Cette variation d'épaisseur est probablement liée à une subsidence active et synsédimentaire le long de la zone de faille de Fécamp-Lillebonne (Ragot, 1988).

D'un point de vue hydrogéologique, cette formation est aquifère et sert de réservoir à la nappe albo-aptienne, majoritairement captive car scellée par les formations argileuses albiennes (argiles de Gault).



Illustration 17 : Affleurement du faciès des Sables ferrugineux (oxydés) de l'Aptien au Cap de la Hève (Seine-Maritime) – BRGM

Les faciès de l'Albien

Les premiers dépôts albiens reposent sur les Sables ferrugineux via une surface d'érosion. Dans le Pays de Caux et sur le littoral, la lithostratigraphie classique de l'Albien est définie par la succession Poudingue ferrugineux (Albien inf. et moy.) – Argiles du Gault (ou Gault) (début Albien sup.) – Gaize (fin Albien sup.).

D'après Ragot (1988), en approchant les abords de la structure de Fécamp-Lillebonne-Villequier, l'Albien présente des variations latérales de faciès qui concernent principalement :

- le passage latéral de la succession Poudingue ferrugineux / Argiles du Gault à des argiles noires dites « des Bissonnets » (dénomination locale), et ;
- le passage latéral de la gaize supérieure aux « Sables de Lillebonne » (Juignet, 1974 ; Ragot, 1988).

- **Le Poudingue ferrugineux et les Argiles du Gault**

Le Poudingue ferrugineux est décrit sur l'ensemble du Pays de Caux comme une formation détritique, grossière, de faible épaisseur (2 à 6 m en général, localement épais de 10 m vers Port-Jérôme) (*Juignet, 1974*). Le Gault repose sur le Poudingue ferrugineux via une surface d'érosion. Il est constitué essentiellement par des argiles ou des marnes sableuses, noirâtres et glauconieuses. L'épaisseur du Gault varie de 4 à 5 m sur le littoral à environ 12 m vers Villequier (11, 5 m d'argiles sableuses glauconieuses dans le forage BSS 00982X0005, situé dans la zone industrielle de Port-Jérôme) et dans le secteur de Bréauté (forage BSS 00752X0006).

Dans sa définition des « argiles noires des Bissonnets », Ragot (1988) attribue la partie inférieure de la formation à l'équivalent latéral du poudingue ferrugineux, et la partie supérieure à l'équivalent latéral du Gault. Ces deux ensembles sont caractérisés dans le secteur d'étude par un même faciès argilo-sableux gris-noir, glauconieux. Cette variation de faciès est également décrite dans d'autres secteurs du Pays du Caux ce qui témoigne du contrôle de la sédimentation par des mouvements synsédimentaires de cette faille au cours de l'Albien.

D'un point de vue hydrogéologique, le poudingue ferrugineux est aquifère tandis que le Gault, peu perméable est aquitard. Ce dernier joue un rôle majeur à l'échelle de la zone d'étude puisqu'il constitue à la fois le toit imperméable de la nappe captive du Crétacé inférieur, et la base imperméable de la nappe libre contenue dans les épaisses séries crayeuses. La communication verticale entre ces deux nappes d'eau n'est a priori pas possible sauf s'il existe des drains verticaux (e.g. faille verticale drainante) ou une série de Gault discontinue.



Illustration 18 : Succession Aptien (Sables ferrugineux) – Albien inf. (Poudingue ferrugineux) et Albien sup. (Argiles du Gault) au niveau d'un affleurement du Cap de la Hève (Seine-Maritime) – BRGM



Illustration 19 : Faciès des Argiles du Gault de l'Albien supérieur rencontrés en fin de forage dans le sondage de la CODAH de Nointot (ici entre 159 m et 162 m de profondeur) – ouvrage BSS 00756X0209

- **La Gaize et les « Sables de Lillebonne »**

La Gaize est caractérisée par des marnes silteuses ou des silts argileux souvent très glauconieux à bancs cherteux. Stratigraphiquement, elle correspond à l'Albien supérieur. Le forage de Nointôt, réalisé par la CODAH en 2015 et situé à l'ouest de la structure de Fécamp-Lillebonne (bloc affaissé) semble avoir traversé environ 37 m de gaize essentiellement représentée par des silts, parfois argileux et glauconieux (Illustration 20), tandis que le sondage SC-1, réalisé par le BRGM sur le bloc NE surélevé, a traversé 19,1 m d'une gaize caractérisée par des silts gris très glauconieux à gros cherts gris bleutés. Sur ces deux ouvrages, la base des Gaize, peu avant le passage vers le Gault, est caractérisée par un horizon très glauconieux, à faciès de glauconite, épais d'environ 1,5 m. Ce niveau de glauconite semble être un bon niveau repère du passage Gaize-Gault, puisqu'il a également été rencontré sur d'autres sondages réalisés dans le vallon de Bolbec.



Illustration 20 : Faciès des Gaize de l'Albien supérieur rencontrés dans le forage de la CODAH de Nointot (ici entre 150 m et 153 m de profondeur) – ouvrage BSS 00756X0209

Dans le secteur d'étude, cette formation silteuse de la Gaize (dite Gaize inférieure) est recouverte de terrains sableux verdâtres très glauconieux : les « Sables de Lillebonne ». La formation des « Sables de Lillebonne » est une spécificité locale puisqu'elle n'est connue qu'aux abords de la structure de Fécamp-Lillebonne, entre Bréauté, Notre-Dame-de-Gravenchon et Villequier, dans un secteur baptisé « sillon de Lillebonne » (Juignet, 1974 ; Ragot, 1988). D'un point de vue stratigraphique, elle correspond à un faciès spécifique de la partie supérieure de la Gaize, et est caractérisée par des sables verts, jaunâtres ou gris, glauconieux, fins et bien classés (Illustration 21). La présence et la répartition des « Sables de Lillebonne » semblent contrôlées par une dynamique synsédimentaire de la structure de Fécamp-Lillebonne (Ragot, 1988). L'épaisseur des

« Sables de Lillebonne » est de l'ordre d'une vingtaine de mètres dans le secteur de Bolbec, où ils constituent par exemple les terrains sous-jacents aux alluvions dans le vallon de Bolbec.



Illustration 21 : Affleurement des « Sables de Lillebonne » de l'Albien supérieur dans la rue Fontaine Martel à Bolbec, à une centaine de mètres en amont de la structure de Fécamp-Lillebonne sur le bloc NE surélevé – BRGM

La surface de ravinement « Octeville » signe le terme de la sédimentation du Crétacé inférieur, et marque le début de la longue sédimentation crayeuse qui perdurera tout au long du Crétacé supérieur.

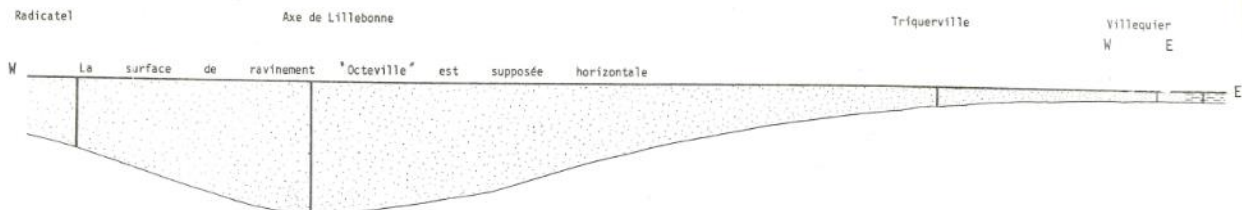


Illustration 22 : Géométrie de la Gaize supérieure du secteur entre Villequier à l'est et Radicatel à l'ouest, représentée par le faciès des « Sables de Lillebonne » (modifié d'après Ragot, 1988)

2.3.3. Crétacé supérieur

Les craies du Cénomaniens et la Pierre de Fécamp

- Cénomaniens inférieur : Craie glauconieuse et Pierre de Fécamp

Les premiers dépôts cénomaniens présentent la plupart du temps un faciès sableux, riche en glauconie (faciès de glauconitite), qui s'apparente à celui des « Sables de Lillebonne », rendant difficile la séparation entre les deux étages puisque la surface de ravinement « Octeville » n'est que très peu marquée (Ragot, 1988). Au-dessus, le Cénomaniens inférieur est représenté par les dépôts de la Craie glauconieuse caractérisée par des craies sableuses, entrecoupée de nombreux hardgrounds, riches en grains de glauconie et en éléments détritiques ce qui se traduit par une teneur en CaCO_3 voisine de 50 % (Juignet, 1988). La teneur en glauconie et en éléments détritiques diminue généralement de la base vers le sommet de la formation, et la teneur en CaCO_3 atteint rapidement 80 % (Juignet, 1988).

Le Cénomaniens inférieur des secteurs situés entre Fécamp au nord et Villequier au sud, le long de la structure Fécamp-Lillebonne-Villequier, est représenté par un faciès particulier : la Pierre de Fécamp. Il s'agit d'un calcaire gréseux, glauconieux, noduleux, sableux à la base, qui correspond à un horizon condensé (hardground complexe – *Ragot, 1988*). Dans le secteur de Bolbec, la condensation se traduit d'est en ouest (à mesure que l'on se rapproche de la faille), sur 1 kilomètre, par le remplacement d'un niveau crayeux par une glauconitite, associé à une diminution d'épaisseur (3,2 m à 2 m) (*Ragot, 1988*). D'après Juignet (1974) et Ragot (1988), le caractère condensé de ce faciès particulier est à rapprocher à une manifestation tectonique de la structure de Fécamp-Lillebonne, à l'origine des « Axes de Lillebonne » et de « Villequier » (*Juignet, 1974*). En effet, le faciès de la Pierre de Fécamp est bien différent de ceux observés ailleurs dans le Pays de Caux, ce qui indique une nouvelle fois le contrôle de la faille de Fécamp-Lillebonne sur la sédimentation.

La base de la Pierre de Fécamp est marquée par un banc lumachellique riche en huîtres (*Pycnodonte vesiculosa*), qui peut représenter un niveau repère stratigraphique intéressant. D'un point de vue sédimentologique, ce banc à huître indique une période propice pour le développement de ces organismes (haut fond, faible profondeur d'eau, arrêt de sédimentation) (*Ragot, 1988*).

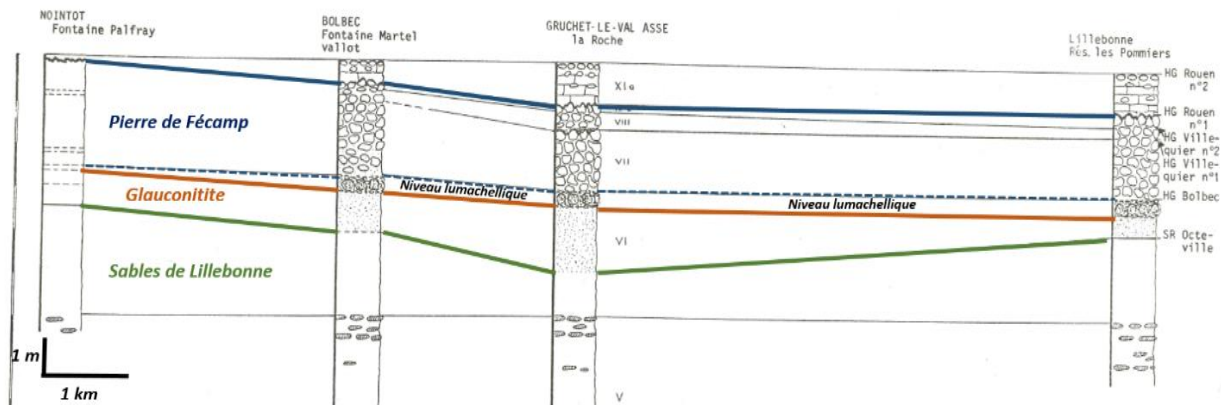


Illustration 23 : Variations lithologiques et géométriques de la partie haute de la faciès de la Gaize supérieure « Sables de Lillebonne » et du Cénomaniens inférieur sur l' Axe de Lillebonne (modifié d'après Ragot, 1988)

Dans la zone d'étude, entre Bolbec et Lillebonne, la Pierre de Fécamp et le niveau lumachellique ont pu être observés au niveau de plusieurs affleurements (Illustration 24), et sont également connus en forage (notamment au niveau du sondage carotté SC-1, qui a rencontré 3,3 m de calcaire gréseux très glauconieux (Pierre de Fécamp) ainsi que le banc lumachellique). Dans tous les cas, ce faciès singulier signale la proximité de la structure de Fécamp-Lillebonne. Le sommet du Cénomaniens inférieur est marqué par le hardground d'importance régionale « Rouen n°1 ».



Illustration 24 : Affleurement de la Pierre de Fécamp, faciès condensé du Cénomanien inférieur dans la rue Fontaine Martel à Bolbec, à une centaine de mètres en amont de la structure de Fécamp-Lillebonne sur le bloc NE surélevé – BRGM

- **Cénomanien moyen à supérieur : Craie de Rouen et Craie d’Antifer**

Les faciès de la craie de Rouen (Cénomanien moy. et début sup.) sont gris, à rares silex avec une proportion de glauconie diminuant vers le sommet de la série, ce qui diffère grandement des dépôts encore très détritiques du Cénomanien inférieur. L’épaisseur de cette formation est estimée à 10 m (Ragot, 1988). Elle se termine par le hardground d’importance régionale « Antifer n°1 ».

D’après le découpage lithostratigraphique proposé par Lasseur (2007), le sommet du Cénomanien supérieur est représenté par la Craie d’Antifer, qui est le membre inférieur de la Craie de Fécamp (cf. craies du Turonien). La différenciation lithologique entre cette formation et les craies du Cap Fagnet, qui correspond au membre supérieur de la Craie de Fécamp, est peu marquée : ces deux unités sont représentées par des craies noduleuses, pauvres en silex. Le sommet de la Craie d’Antifer marque le passage Cénomanien – Turonien.

Le sondage carotté SC-1, réalisé par le BRGM en 2019 sur le bloc nord-est surélevé de la faille de Fécamp-Lillebonne, a traversé 9,5 m d’une craie gris blanchâtre à silex, glauconieuse à la base, attribuée à la craie de Rouen.

Les craies du Turonien

Classiquement, les craies turoniennes sont décrites dans la littérature comme des craies marneuses ou argileuses, grises, massives, compactes, pauvres en silex dans la partie inférieure, et dont la teneur en argile peut atteindre 10 à 20 %. Dans la notice de la carte géologique de Bolbec (Ménillet, 1969), la description du sondage 00756X0065 mentionne à la base du Turonien, une craie blanche, granuleuse, plus ou moins dure avec des passées de calcaire dur à grains fins, et sans silex (Turonien inf.) puis des craies tendres avec alternance de bancs de silex

(Turonien moy.). La formation se termine par un faciès de calcaires durs, beiges à jaunâtres, noduleux à silex qui rappellent les dépôts du Coniacien inférieur (Turonien sup.). L'épaisseur du Turonien dans le secteur est de l'ordre de 25 à 30 m.

Les travaux de Juignet (1974) et de Ragot (1988) affinent le découpage lithostratigraphique du Cénomaniens supérieur - Turonien inférieur, en identifiant de la base au sommet :

- la craie à *Actinocamax plenus* de quelques mètres d'épaisseur, qui débute par le hardground régional Antifer n°1 et caractérisée par un faciès de calcaires très noduleux, riches en hardground,
- puis la craie marneuse plus homogène, noduleuse et sans hardground.

Les travaux les plus récents sur la craie du Bassin de Paris (*Lasseur, 2008*) actualisent et complètent ce découpage pour l'ensemble du Turonien, en identifiant trois unités lithostratigraphiques :

- La *Craie du Cap Fagnet* (Turonien inf., membre supérieur de la Craie de Fécamp) correspond à la craie à *Inoceramus labiatus* du découpage biostratigraphique, mentionné sur la plupart des cartes géologiques au 1/50.000. Ce sont les premiers dépôts turoniens, caractérisés par une série homogène de gros bancs d'épaisseur métrique de craie argileuse à niveaux noduleux et hardgrounds, généralement très pauvre en silex. C'est une craie très carbonatée (80 à 90 % de CaCO₃) ;
- La *Craie de Senneville* (Turonien moy. et sup.), caractérisée par plusieurs niveaux de craie noduleuse ainsi que de nombreux niveaux marneux dont certains sont particulièrement bien développés. Les derniers mètres de cette formation sont marqués par des niveaux indurés plus marqués et plus abondants associés à des craies plus grossières ;
- La *Craie d'Eletot* (fin du Turonien sup., membre inférieur de la formation des craies de Saint-Pierre-en-Port, qui se prolonge au Coniacien inférieur), caractérisée par des craies grises à niveaux de silex bien lités et riches en niveaux indurés. Cette unité stratigraphique est bien individualisée par ces caractéristiques lithologiques.

Notons que le sondage carotté SC-1 a rencontré, sous la couverture d'altérites, une craie grisâtre marneuse, noduleuse, sans silex sur une dizaine de mètres d'épaisseur (altérée dans sa partie supérieure), interprétée comme étant la Craie de Fécamp du découpage lithostratigraphique (*Lasseur, 2007*) ou la Craie à *Inoceramus labiatus* du découpage biostratigraphique (*Juignet, 1974 ; Ragot, 1988*) – Turonien inférieur (*Meire et al., 2019*).

Les craies du Coniacien et du Santonien

Classiquement, les craies coniaciennes sont décrites comme des craies dolomitiques, dures, blanchâtres à jaunâtres, qui se présentent en bancs épais séparés par des lits de silex. Dans la notice de la carte géologique de Bolbec (*Ménillet, 1969*), le Coniacien est divisé en deux parties : une partie supérieure (75 m) de craie blanche, en général tendre, granuleuse, disposée en strates séparées par des lits de silex, et une partie inférieure de craie blanche ou jaunâtre dure, très légèrement glauconieuse à silex peu nombreux disposés en cordons plus ou moins continus.

Ragot (1988) affine le découpage lithostratigraphique du Coniacien en identifiant la Craie à *Micraster normanniae* et la Craie à *Micraster decipiens*, qui d'un point de vue « faciès »

correspondent toutes deux à des craies blanc-grisâtre ou jaunâtre à silex noirs dispersés ou alignés en bancs.

D'après Lasseur (2008) le découpage du Coniacien est défini par deux unités lithostratigraphiques :

- La *Craie de Petites Dalles* (Coniacien inf., membre supérieur des Craies de Saint-Pierre-en-Port), caractérisée par des craies grises peu noduleuses à la base, suivies de craies plus noduleuses se terminant par un, voire plusieurs hardgrounds ;
- La *Craie de Veulettes* (Coniacien moy.-sup. et Santonien inf.), qui se présente à l'affleurement comme une craie blanche, localement très bioclastique, à nombreux bancs de silex très développés et dont l'épaisseur peut atteindre 50 cm. Notons que de nombreuses géométries lenticulaires d'extension kilométrique (contourites) sont visibles au sein de cette formation.

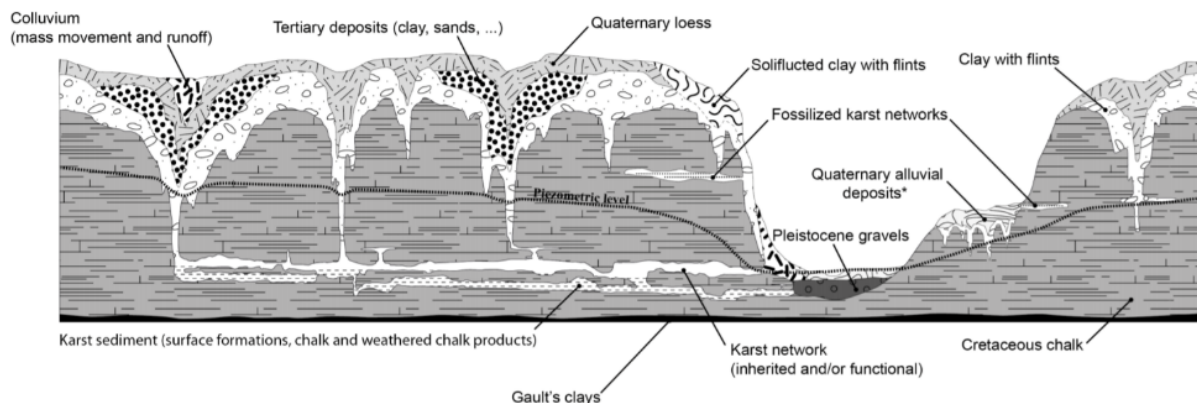
2.3.4. Tertiaire

Les formations tertiaires du secteur du SAGE Commerce sont essentiellement représentées par des grès (le Val aux grès à Bolbec) ou des sables quartzeux fins à grossiers, parfois argileux.

Ces formations sont la plupart du temps piégées dans des poches karstiques où elles sont associées à la Formation Résiduelle à silex (*Ménillet*, 1969). Ces poches sont relativement nombreuses sur le secteur (cf. Illustration 25).

En certains points, ces sables peuvent être observés à l'affleurement sur une épaisseur de l'ordre de 10 m (Saint-Eustache, *Maillary et al.*, 1970) et ont été jadis exploités (sablères d'Heruppès au nord de Bolbec, de Saint-Eustache notamment).

A noter que la présence de dépôts tertiaires dans le vallon du Mont-Criquet, dont les dimensions ne sont ni cohérentes avec l'hypothèse d'un piégeage karstique classique, ni avec l'hypothèse de dépôts sédimentaires marins en nappes, traduit probablement un piégeage tectonique, de type lanière effondrée (*Hanin*, 2010, *Wazi*, 1988).



Drawn not at scale

* Seine alluvial terraces are numerous and can be stepped or nested

Illustration 25 : Piégeages tertiaires dans le contexte karstique de la Basse Seine (Chedeville, 2015)

2.4. DESCRIPTION ET REPARTITION SPATIALE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES

Les formations superficielles recouvrent l'ensemble du secteur d'étude (Illustration 26 et Illustration 27). Les craies crétacées, les sables et argiles albiens ou les terrains jurassiques n'affleurent que ponctuellement au niveau des ruptures de pentes et des falaises fluviales de la vallée de la Seine.

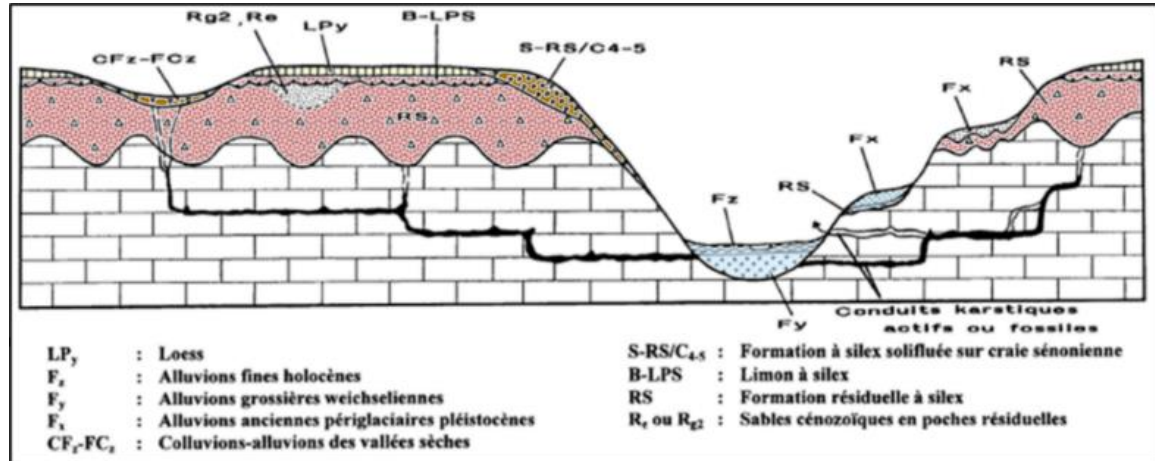


Illustration 26 : Répartition schématique des formations superficielles sur substratum crayeux de l'Ouest du Bassin de Paris (modifié d'après Quesnel et al., 1996)

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

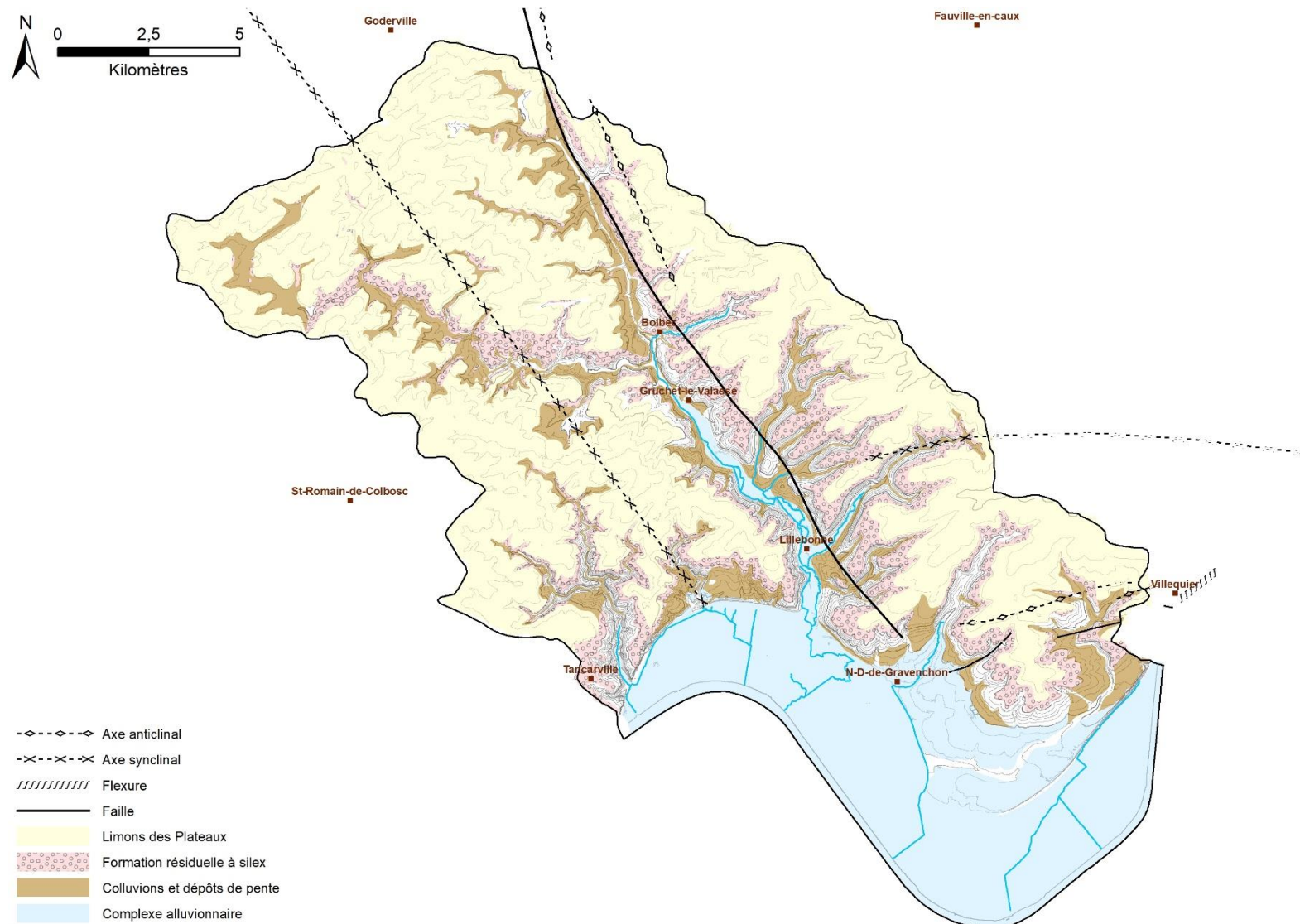


Illustration 27 : Répartition des formations superficielles sur le secteur du SAGE Commerce (d'après la carte géologique harmonisée de la Seine-Maritime, Quesnel et al., 2008)

2.4.1. Limons des plateaux

Le complexe des limons des plateaux recouvre une grande partie des plateaux situés dans la zone d'étude. Ce sont des terrains qui forment de bonnes terres arables, ce qui explique les grandes cultures caractéristiques des plateaux normands. Ces formations, décarbonatées, nécessitent d'être amendées pour augmenter la production agricole.

Il s'agit d'une formation allochtone éolienne, assimilée à des lœss, déposées par les vents catabatiques en contexte périglaciaire lors des périodes froides du Quaternaire. Cette formation se caractérise par un faciès limoneux relativement homogène, pouvant devenir plus argileux dans certains horizons (lœss-lehms) ou sableux. La teneur en argile varie de 40 % dans les lœss-lehms (limons anciens), à 20-30 % dans les autres horizons. La puissance de cette formation varie des bords des plateaux vers le centre, où elle peut atteindre une dizaine de mètres.

Cette formation meuble est perméable, laisse l'eau percoler lentement et possède un assez fort pouvoir de rétention (*Calba et al.*, 1979).

2.4.2. Formation résiduelle à silex

La Formation résiduelle à silex, ou résidus à silex, ou encore argiles à silex (nommés RS sur les cartes géologiques), recouvre l'ensemble des plateaux crayeux de la zone d'étude, et est également souvent solifluée sur les versants des vallées.

Les RS résultent de l'altération des différents niveaux crayeux du Crétacé supérieur et se sont formées après l'émersion fini-crétacée, au cours du Cénozoïque. Ce sont des formations globalement sub-autochtones, formées sur place aux dépens du substratum crayeux et sans l'intervention d'agents de transports. Elles sont parfois entrecoupées de poches tertiaires. Ces poches tertiaires peuvent contaminer les RS (contamination postérieure aux dépôts des sables tertiaires) en leur donnant une texture plus sableuse. La morphologie du mur des RS est karstique, marquée par une succession d'entonnoirs de dissolutions qui peuvent pénétrer la craie sur plusieurs dizaines de mètres, à l'origine d'une géométrie en « dents de scie ou racines » (Illustration 28). Cette géométrie particulière est à l'origine d'une grande hétérogénéité des épaisseurs des RS, qui varient sur la zone d'étude de quelques mètres à plus de 50 m localement (cf. Illustration 29).



Illustration 28 : Racine d'Altération de la craie et remplissage d'argile à silex, secteur de Tancarville SAFEGE (2012)

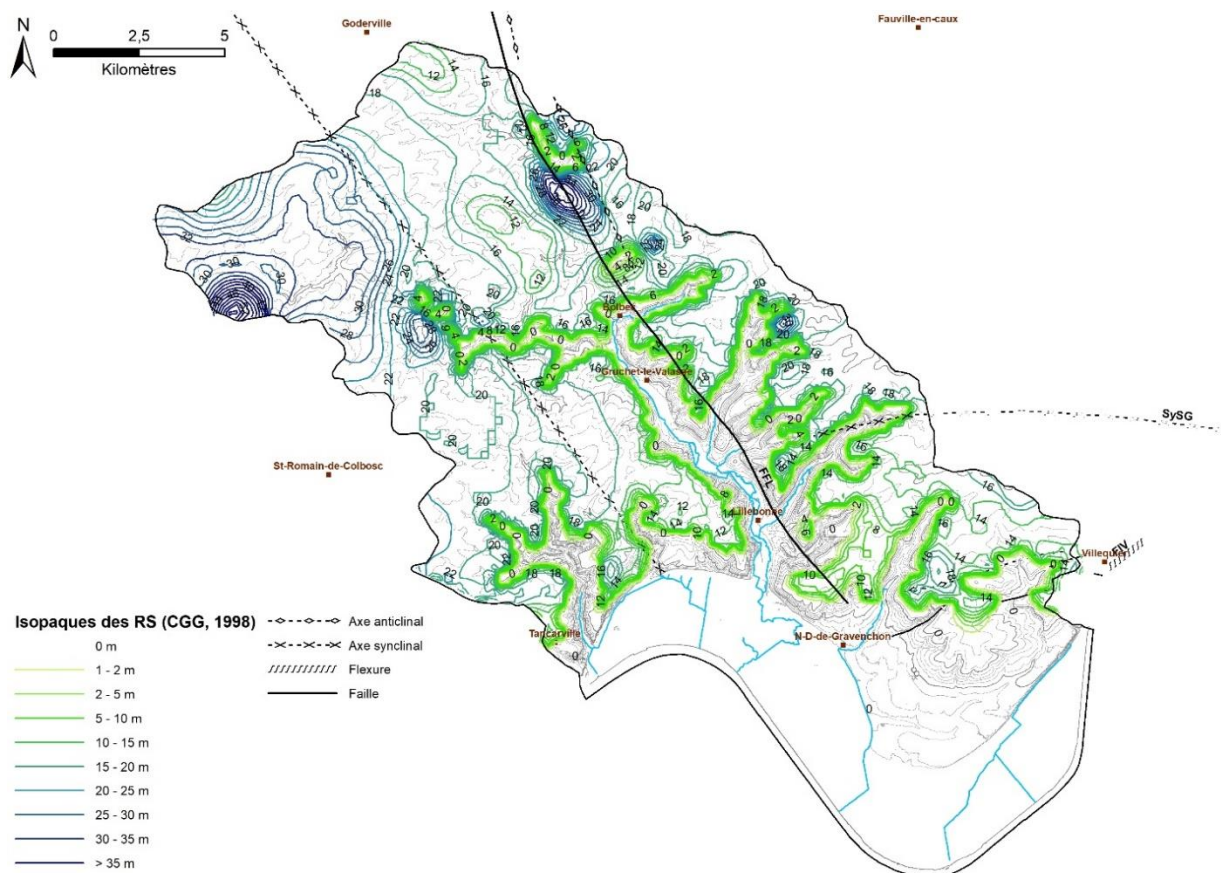


Illustration 29 : Carte des isopaques de la formation résiduelle à silex (données CGG, 1998)

2.4.3. Colluvions et dépôts de pente

Les colluvions sont constituées de matériaux remaniés par le ruissellement, la solifluxion et accumulés sur les versants ou dans les fonds de vallons durant le Quaternaire (*Kuntz, 1974*). Ces formations remanient les formations du tertiaire, les limons des plateaux, les limons à silex et les biefs à silex, les formations résiduelles à silex, les faciès crayeux du Crétacé et parfois d'anciennes terrasses alluviales.

Ce remaniement induit des très grandes variations de faciès, aussi bien latérales que verticales. Leur épaisseur est très variable : elle peut varier de un à quelques mètres et peut atteindre parfois plus de 10 mètres.

2.4.4. Le complexe alluvionnaire

Deux types d'alluvions sont connues dans le secteur d'étude : les alluvions « anciennes », disposées en terrasses successives au gré du creusement de la vallée de la Seine ; et les alluvions « récentes », qui tapissent le fond des vallées actuelles et déposées successivement depuis la dernière période glaciaire.

Les alluvions « anciennes » en terrasses

Ces alluvions sont caractérisées par des faciès essentiellement grossiers : galets, graviers et sables. Déposées par la Seine en climat périglaciaire, elles tapissent d'anciennes terrasses alluviales aujourd'hui perchées par rapport au niveau actuel du fleuve. En rive droite de la Seine, les terrasses alluviales anciennes s'étagent entre + 10 et + 55 m d'altitude. Ces alluvions ont parfois été exploitées comme c'est le cas à Saint-Nicolas-de-Bliquetuit où des alluvions du premier niveau, constituées de galets de silex émoussés mêlés dans des sables, ont été exploitées en carrière (*Ménillet, 1969*). Les plus hautes terrasses sont constituées d'alluvions épaisses de 5 à 6 m, grossières, à silex hétérométriques très émoussés emballés dans un sable rouge légèrement argileux, grossier à moyen (*Ménillet, 1969*). En rive gauche de la Seine, les épandages d'alluvions anciennes sont plus vastes, notamment dans le méandre de la commune nouvelle de Rives-en-Seine où elles constituent le soubassement de la forêt de Brotonne. Dans ce secteur, les dépôts s'étagent en plusieurs terrasses situées entre 12-15 m, 30-35 puis 55 m d'altitude (*Viallefond, 1967*).

Les alluvions actuelles et subactuelles du fond de la vallée de la Seine et de ses affluents

La composition des alluvions récentes peut varier localement, mais elles sont globalement caractérisées par des faciès relativement fins, argilo-sableux, et parfois tourbeux. Elles sont largement représentées dans la vallée de la Seine, ainsi que dans la partie aval de la vallée du Commerce (jusqu'à Gruchet-le-Valasse), et dans la vallée de Sainte-Gertrude à l'est de la zone d'étude.

Les dépôts alluvionnaires de la vallée de la Seine et de ses affluents sont classiquement classés en deux grands ensembles, caractérisés par des faciès différents : les « graves de fond »,

essentiellement graveleuses ou sableuses, qui constituent les premiers dépôts fluviaux reposant sur le substratum (crayeux pour l'ensemble, hormis dans les secteurs de Villequier où la Seine s'écoule sur des terrains argilo-sableux du Crétacé inférieur ou marno-calcaire du Jurassique), déposés sous climat périglaciaire ; et les alluvions plus récentes, plus fines et tourbeuses, qui reposent sur les alluvions grossières dans la vallée de la Seine, ou sur le substratum crayeux dans la vallée du Commerce ou de Sainte-Gertrude. Dans la vallée de la Seine, l'épaisseur des dépôts alluviaux varie de 4 à 5 m en bordure de la vallée, à près de 30 m dans le centre de la vallée, où l'on peut rencontrer 10 à 20 d'alluvions argilo-sableuses et tourbeuses, puis 5 à 15 m d'alluvions grossières (Maillary et De la Quèrière, 1970). Ces dépôts fluviaux sont issus de l'érosion des formations géologiques plus anciennes (substratum crayeux, Formation Résiduelle à silex) charriés par les cours d'eau, et peuvent être localement alimentés par des dépôts sédimentaires contemporains (Limon des Plateaux, colluvions etc.). Les coupes schématiques de la vallée de la Seine disponibles dans la littérature (Lefebvre et al., 1993 ; SFAR, 1931 - Illustration 52) indiquent des géométries lenticulaires des dépôts alluvionnaires.

A noter : Dans l'histoire récente, le secteur du Mesnil à Lillebonne aurait constitué sous l'antiquité et jusqu'au Moyen-Âge un port connecté à la Seine (baie de Lillebonne). Son fonctionnement serait attesté jusqu'en 1156. Celui-ci se serait progressivement comblé obligeant les habitants à trouver d'autres sites pour le transport fluvial. Une utilisation intermittente est connue jusqu'en 1430 (Mouchard J., 2008) jusqu'à son abandon définitif. Cet élément historique montre bien qu'il a pu exister jusqu'à des périodes historiques relativement récentes des échanges de sédiments entre la basse vallée du Commerce et la vallée de la Seine.

La structuration de ces dépôts aux épaisseurs et aux faciès très contrastés influence le comportement de la nappe des alluvions, elle-même en lien avec la nappe de la Craie sous-jacente. Il convient donc de décrire le plus précisément possible les dépôts alluvionnaires, en termes de géométrie et de lithologie, pour percevoir le rôle qu'elles peuvent avoir sur le comportement de l'hydro-système. Des coupes sont présentées au paragraphe 4.5.2 pour représenter l'agencement de ces dernières de manière synthétique.

Mise en évidence des variations de faciès et/ou d'épaisseurs des alluvions par corrélation de données BSS

Les sondages disponibles dans la Banque du Sous-Sol du BRGM donnent des informations sur les épaisseurs et les faciès des alluvions de la vallée de la Seine et de ses affluents (Illustration 31) :

- Vallée du Commerce – secteur Gruchet-le-Valasse :

Le sondage BSS000FHHG (ancien code : 00766X0066) a traversé 11,9 m d'alluvions sous 1 m de terre végétale, avec de haut en bas :

- | | |
|---|-------|
| ○ Gravier et gros silex | 2 m |
| ○ Gros galets | 1 m |
| ○ Gravier sableux à gros galets | 5,7 m |
| ○ Argile marron | 0,3 m |
| ○ Galets noirs emballés dans de l'argile marron | 2,9 m |
| ○ Craie | |

- Vallée du Commerce – secteur Lillebonne :

Le sondage BSS000FHFJ (ancien code : 00756X0018) a traversé 11 m d'alluvions sous 1,5 m de remblais, avec de haut en bas :

- Limons argileux et tourbeux 0,5 m
- Gravier fins à débris de bois et de coquillages 0,5 m
- Gravier noirs et de silex 3,1 m
- Tourbe 1,9 m
- Calcaire désagrégé 1 m
- Sables et très gros galets 4 m
- Mélange de marne et rognons de calcaire et silex

- *Vallée du Commerce – confluence avec la Seine*

Le sondage BSS000FHGN (ancien code : 00756X0048) a traversé 20,15 m d'alluvions composées des niveaux suivants (de haut en bas)

- Tourbe et argile 1,1 m
- « Glaise » verte 3,2 m
- Tourbe 2,4 m
- « Vase » 2,8 m
- Sables grossiers 1 m
- Tourbe 1,1 m
- Sables et de galets 5,1 m
- Argile 0,3 m
- Sables grossiers et de galets 1,15 m
- Argile à gros rognons de silex 2 m
- Craie fissurée

- *Vallée de la Seine – secteur Villequier :*

Le sondage BSS000FHSS (ancien code : 00758X0011), situé en rive droite de la Seine à quelques mètres de la berge, a rencontré :

- Galets et sables moyen jaunes 1,9 m
- Limons gris sableux 0,9 m
- Galets 2,7 m
- Limons noirs et galets 0,3 m
- Galets, silex noirs et éléments de craie roulés 2,9 m
- Limons gris et galets 1,9 m
- Marnes et calcaires du Kimméridgien

- *Vallée de la Seine – secteur Port-Jérôme*

Le sondage BSS000GKKA (ancien code : 00983X0192), situé à 600 m de la Seine en rive droite, sous Port-Jérôme, a rencontré sous 1,4 m de remblais et de terre végétale :

- Sable très fin gris vert, silteux coquillier, gris vaseux à la base 11 m
- Tourbe 1,1 m
- « Vase » grise et noire 1,1 m
- Sable fin argileux, silteux, coquillier, gris vaseux à la base 3,5 m
- Tourbe brune et noire 0,6 m
- « Vase » grise et noire 1,5 m
- Sable moyen à grossier gris vaseux 0,3 m
- Tourbe brune et noire 0,3 m

- Sable fin à moyen gris vert silteux coquillier 1,2 m
- Sable moyen à grossier gris blanc coquillier et graviers 4,4 m
- Craie grise

- *Vallée de la Seine – secteur Tancarville*

Le sondage BSS000GJVV (ancien code : 00982X0072), situé sur la berge gauche de la Seine, sous le pont de Tancarville, a rencontré 30 m d'alluvions avant d'atteindre la craie marneuse cénomaniennne :

- Sables jaunes très fin argileux 14,75 m
- Sables jaunes légèrement argileux et coquillard 7,75 m
- Sables fins jaunâtres 0,7 m
- Sables et graviers avec rognons de silex 2,3 m
- Tourbe 0,5 m
- Argile grise marneuse 1,8 m
- Sables jaunes et graviers 2,4 m
- Craie cénomaniennne

2.4.5. Log litho-stratigraphique synthétique

Le schéma présenté ci-dessous est issu de l'analyse géologique des investigations géophysiques réalisées par le BRGM sur le secteur du SAGE Commerce (Meire et al., 2019)

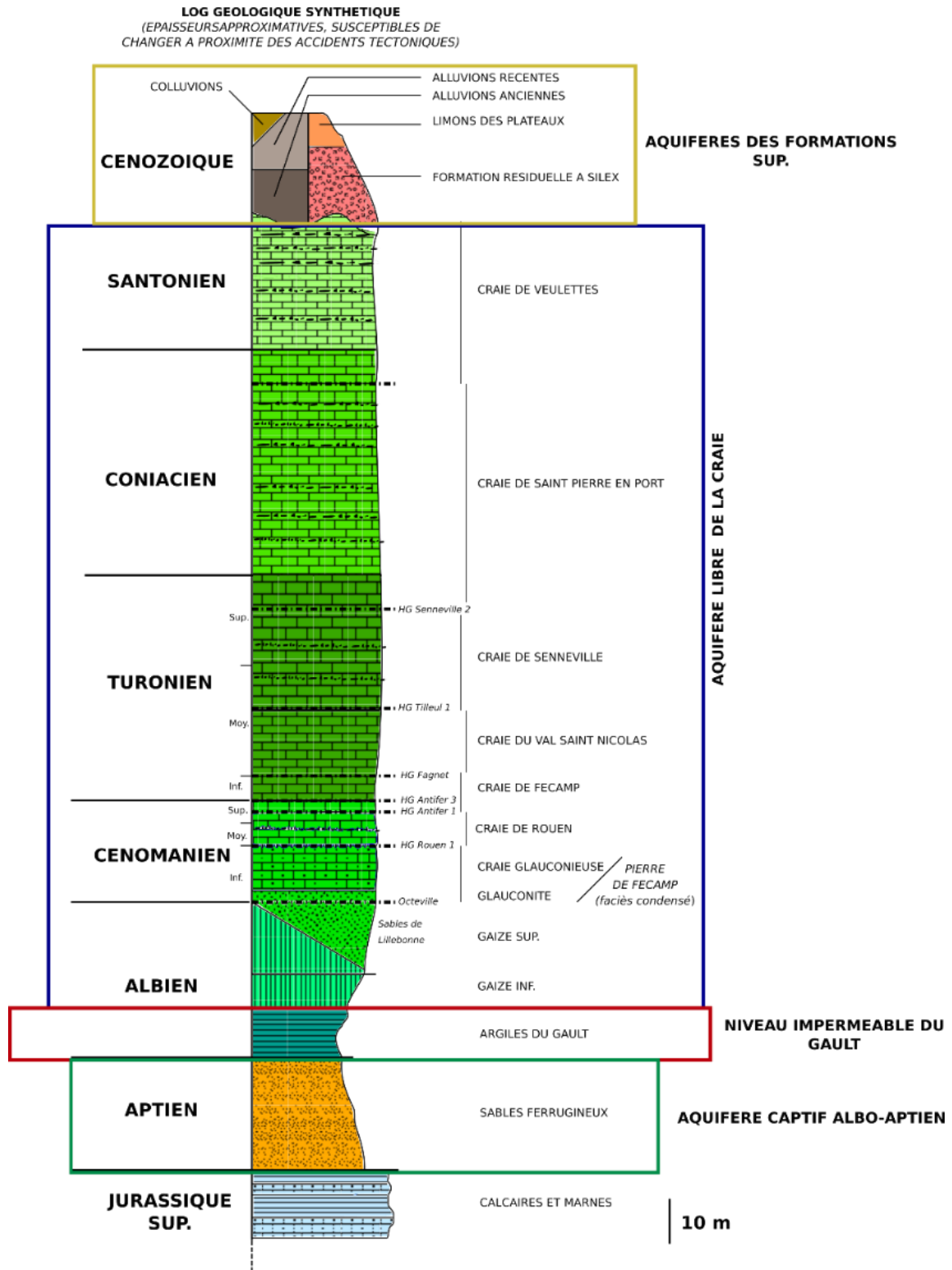


Illustration 30 : Log lithostratigraphique synthétique du territoire du SAGE Commerce (Meire et al., 2019)

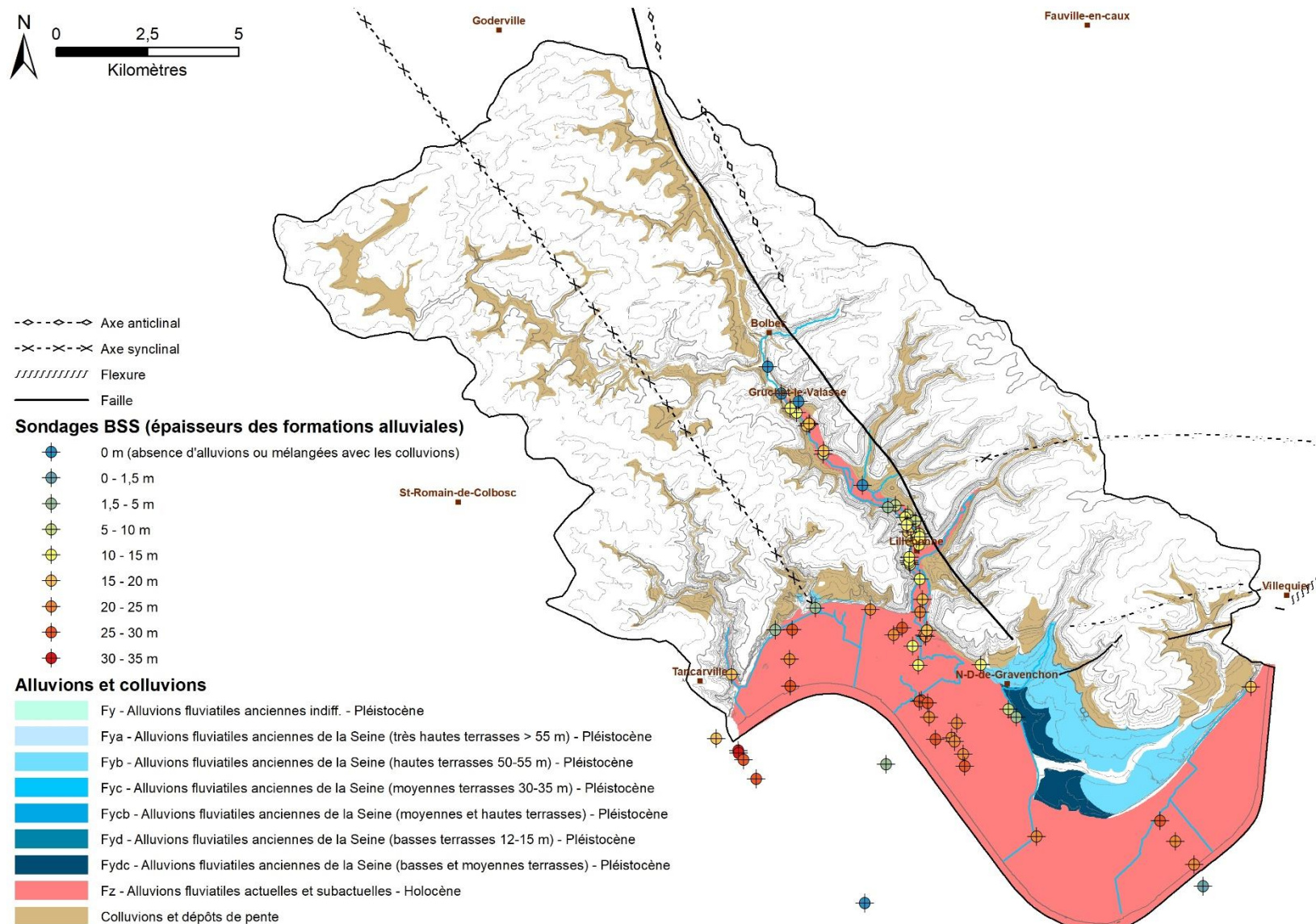


Illustration 31 : Epaisseurs des formations alluviales dans les vallées du Commerce et de la Seine (d'après les données disponibles en BSS)

2.5. CONTEXTE STRUCTURAL DE LA ZONE D'ETUDE

2.5.1. Synthèse bibliographique

A l'échelle du Bassin de Paris, la carte structurale des plateaux seino-marins (Illustration 32) ne fait état que de très peu de déformations affectant les dépôts crayeux : les principaux accidents d'extension régionale sont l'anticlinal faillé du Bray et la faille de Fécamp-Lillebonne (orientés N150°-N160° - orientation *armoricaine*), reliés à l'accident de la Seine (orientation *armoricaine*) par la structure de Villequier (N60°-N70° - orientation *varisque*) et les failles de Pavilly.

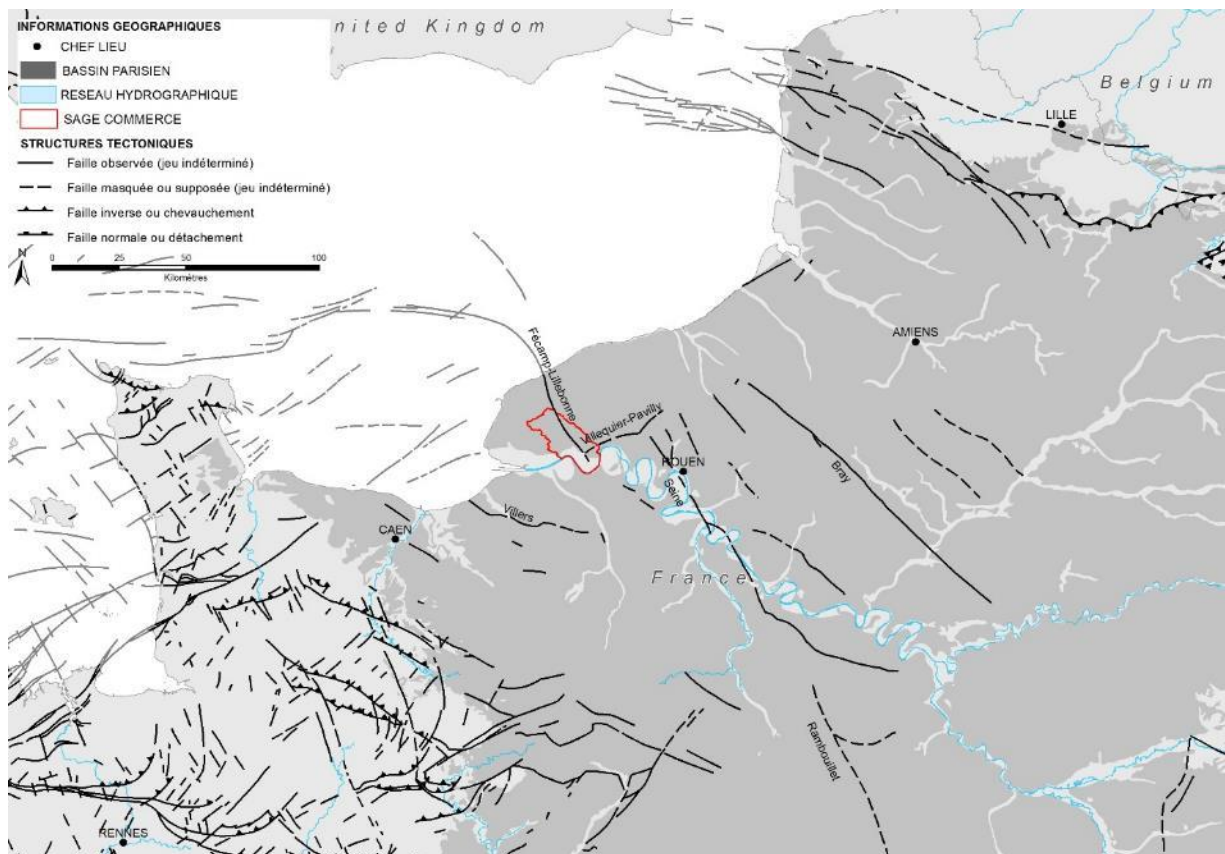


Illustration 32 : Situation et contexte structural de la zone d'étude sur la bordure ouest du Bassin de Paris (sources : carte géologique de la France à 1/1.000.000 (BRGM), carte géologique de la France à 1/250.000, feuille de Rouen (BRGM), carte géologique de la marge continentale de la France à 1/250.000 (BRGM))

Dans le détail, le cadre tectonique du Pays de Caux apparaît plus complexe. Aux grands accidents d'orientation armoricaine N150°-N160° (structure du Bray, faille de Fécamp-Lillebonne, faille de la Seine) s'ajoutent des structures d'orientation varisque N60°-N70° (accident de Villequier), ainsi qu'une structuration N090° mise en évidence essentiellement par l'analyse morphométrique du relief des plateaux (*Hauchard, 2002 ; Hauchard et Laignel, 2008*), confirmée en baie de Seine par les récentes investigations géophysiques et géologiques (*Benabdellouahed et al., 2014 ; Paquet et al., 2017*).

Ces structures sont héritées d'accidents anciens du socle principalement mis en place lors de l'orogénèse cadomienne et surtout hercynienne. Les orogénèses pyrénéenne et alpine ont ensuite réactivé une partie de ces structures en fonction de leurs orientations par rapport au champ de contrainte. Le soulèvement alpin et la subsidence de la Manche ont notamment achevé

le façonnement de la région en découpant les plateaux seino-marins en différents blocs tectoniques (*Hauchard et Laignel, 2008*). Ainsi, le secteur d'étude est segmenté en deux blocs par la faille de Fécamp-Lillebonne: le bloc affaissé de la pointe de Caux à l'ouest et le bloc soulevé du Caux central à l'est (*Hauchard et Laignel, 2008*) (Illustration 33).

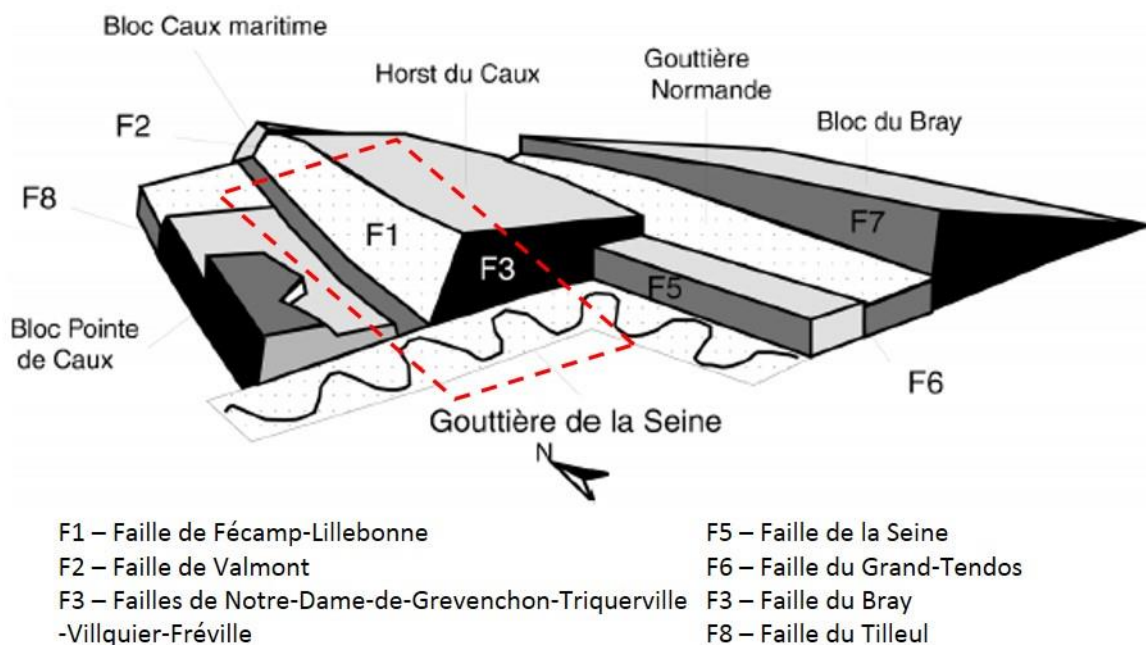


Illustration 33 : Mouvements relatifs des blocs structures du Pays de Caux. Le secteur du SAGE Commerce est schématisé par les pointillés rouges. Modifié d'après *Hauchard et Laignel, 2008*

La description des différents faciès présents dans la zone d'étude met en évidence des spécificités locales liées au jeu synsédimentaire de la structure de Fécamp-Lillebonne-Villequier au Crétacé. Ces rejeux ont induit notamment la mise en place des « Sables de Lillebonne » dans un secteur nommé « Sillon de Lillebonne » (*Juignet, 1974 ; Ragot, 1988*).

La faille de Fécamp-Lillebonne (FFL)

NOM	NATURE	ORIENTATION	JEU APPARENT ACTUEL	REJET VERTICAL	AGE DE MISE EN PLACE	ACTIVITE RECENTE	CONTACTS ANORMAUX	ROLE HYDROGEOLOGIQUE PROBABLE
FFL - Faille de Fécamp-Lillebonne	Faille / faisceau de failles	N150° - <i>armoricaine</i>	Normal / décrochant dextre	Bolbec : > 150 m Lillebonne : 40 m	Alpin Héritée du socle	Holocène (séismicité historique)	Sénonien / Cénomaniens inf.	Drain probable : développement de réseaux karstiques

Tableau 3 : Principales caractéristiques de l'accident de Fécamp-Lillebonne

Nommée faille de Fécamp-Lillebonne ou faille de Lillebonne-Bolbec selon les auteurs, il s'agit d'une structure géologique régionale majeure orientée N150° (orientation *armoricaine*), qui traverse tout le Pays de Caux sur plus de 25 km et se prolonge en Manche au large de Fécamp en prenant progressivement une orientation E-O. Au sud, cette structure n'atteindrait pas la Seine et viendrait buter contre l'accident N060° (orientation *varisque*) de Notre-Dame-de-Gravenchon – Triquerville – Villequier (*Ménillet, 1969 ; Wazi, 1988*). A l'échelle du Bassin de Paris, cette structure possède la même orientation que les failles de la Seine, de Rambouillet et d'Etampes, situées le long de l'anomalie gravimétrique du Bassin de Paris (Illustration 32).

La faille de Fécamp-Lillebonne est une faille normale-décrochante dextre (*Hauchard et Laignel, 2008 ; Juignet, 1991*), correspondant à la réactivation d'un accident du socle d'orientation similaire, et présentant une géométrie analogue aux grandes failles N150-N160° du Massif Armoricain. D'une manière générale, ces structures correspondent initialement à des accidents décrochants au tardi-hercynien ayant rejoué en faille normale lors de la phase distensive qui marque l'Europe à l'Eocène supérieur (*Vernhet et al., 1995*). Ils sont caractérisés par de grandes failles à fracturation ouverte et hydrauliquement très conductrices.

Les données disponibles sur la répartition et l'épaisseur des formations triasiques et jurassiques dans l'ouest du Bassin de Paris indiquent un jeu inverse (*AGBP, 2014*). A la fin du Crétacé inférieur et au début du Crétacé supérieur, le jeu synsédimentaire de la faille a été mis en évidence par *Juignet (1974)* puis *Ragot (1988)* à partir de l'étude lithostratigraphique des terrains de l'Albien et du Cénomaniens aux abords de la structure, et notamment de la présence d'un faciès particulier de l'Albien supérieur : les Sables de Lillebonne. La faille de Fécamp-Lillebonne semble avoir été réactivée après le Turonien au cours d'un épisode distensif NE-SO, encore actif au Coniacien, ce qui a eu un rôle sur les épaisseurs des dépôts crayeux aux abords de cet accident (*Duperret et al., 2012*). Plus récemment, les rejeux cénozoïques semblent être à l'origine de la géométrie actuelle de la faille, et de la mise en place des structures plissées associées (anticlinal de Fécamp, anticlinal de Bolbec etc.) (*Wazi, 1988, Hauchard et al., 2008*). A la fin du Cénozoïque, de(s) rejeu(x) post-pliocène de cette structure semblent confirmés par la présence, entre Bréauté et Lillebonne, de poches de sables plio-pléistocènes alignés et disposés dans le bloc sud-ouest affaissé (*Ménillet, 1969 ; Wazi, 1988*). Enfin, des décalages de la surface des plateaux et la sismicité historique du secteur semblent confirmer l'activité de la faille jusqu'à l'Holocène (*Wyns, 1977*), voir jusqu'à l'actuel.

Le rejet vertical de la faille de Fécamp-Lillebonne varie selon les secteurs : aux alentours de Bolbec, le rejet vertical est de l'ordre de 100 à 150 m (*Ménillet, 1969 ; Ternet, 1968 ; CPGF, 1980*), ce qui met en contact les craies du Coniacien (situées dans le bloc SO affaissé), avec les niveaux glauconieux de l'Albien et du Cénomaniens inférieur (situées sur le bloc NE surélevé), ce qui aurait un impact sur l'altitude piézométrique à l'est de la faille, et donc une influence sur le réseau hydrographique (*Ragot, 1988*). Vers le sud, le rejet diminue progressivement, où il est estimé à environ 40 m vers Lillebonne (*SAFEGE, 2012*). La corrélation de logs géologiques disponibles dans la Banque du Sous-Sol (BSS) du BRGM, et la réalisation de coupes géologiques orthogonales au tracé de la faille a permis d'apporter des précisions sur les rejets dans des secteurs clés. Ainsi, le rejet vertical serait de l'ordre de 120 m vers Bolbec, de 81 m dans le secteur de Mirville, et de 56 m dans le secteur de Port-Jérôme - Notre-Dame-de-Gravenchon, ce qui corrobore globalement les données disponibles dans la littérature (*Meire et al., 2019*).

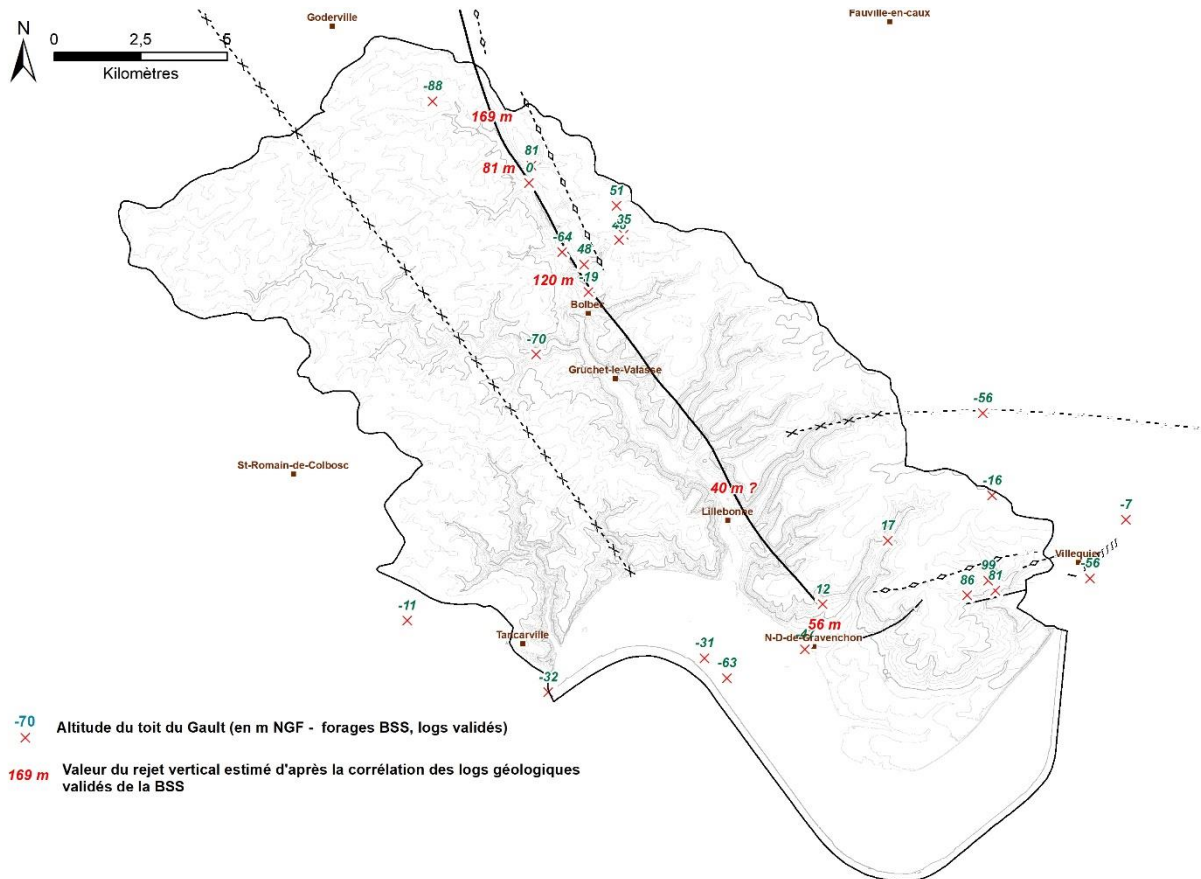


Illustration 34 : Estimation des valeurs des rejets verticaux de la faille de Fécamp-Lillebonne le long de son tracé entre Mirville et Notre-Dame-de-Gravenchon, basée sur la corrélation des coupes géologiques disponibles en BSS et atteignant les Argiles de Gault albiennes

Dans le paysage structural du Pays de Caux, la faille de Fécamp-Lillebonne est associée à de larges structures plicatives avec des axes environ N150° à faible pendage, globalement parallèles à la faille (Ragot, 1988) (cf. détails partie suivante).

Le détail de la structure entre Bolbec et Lillebonne, et sa relation avec les structures plicatives associées a été décrit par les travaux de terrain de Ragot et de Wazi (1988). D'après ces auteurs, la faille de Fécamp-Lillebonne ne s'apparenterait pas systématiquement à un simple plan de faille, mais ressemblerait davantage à une zone de failles, large d'environ 300 mètres, constituée d'un faisceau de 2 à 4 failles subparallèles orientées N150°, présentant des rejets variant de 10 à 30 m, pour un rejet vertical cumulé approchant 125 m. Ce faisceau de failles, associé à des cassures satellites orientées N060°, isolerait des compartiments prismatiques basculés, disposés en « marches d'escalier ». Entre Lillebonne et Bolbec, 4 compartiments ont ainsi pu être individualisés (Ragot, 1988 - Illustration 35) : le compartiment du « Vallon du Vallot » au nord de Bolbec ; le compartiment de la « Vallée de la Fontaine » à Bolbec, le compartiment du « Vallon de la Roche » à Gruchet-le-Valasse ; le compartiment de Lillebonne.

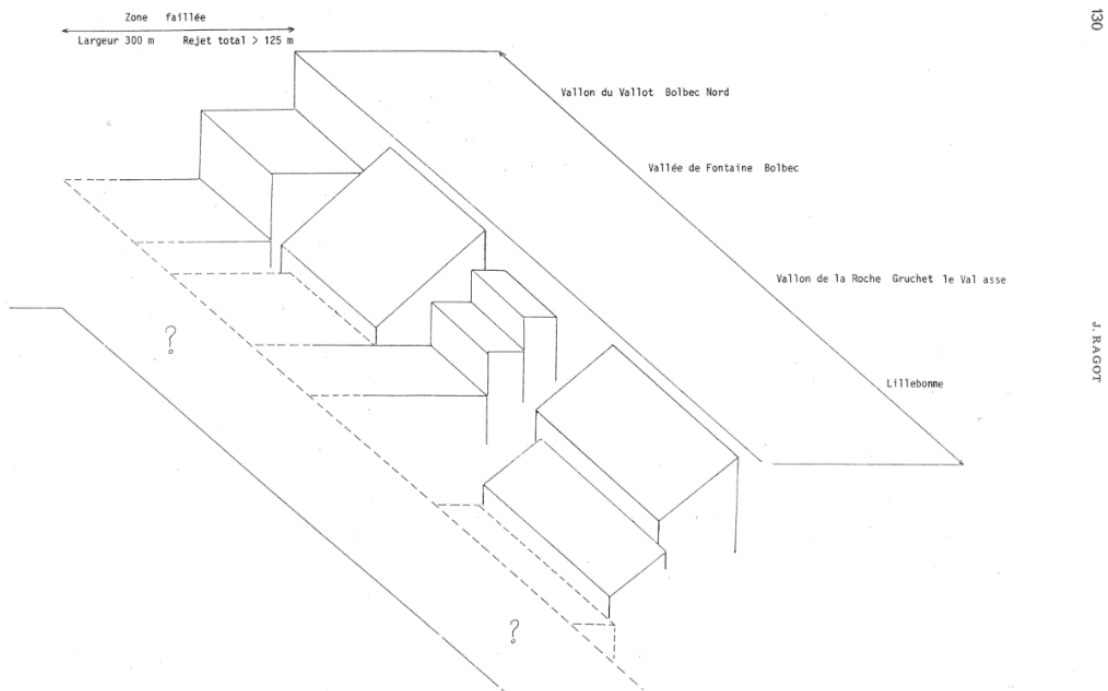


Illustration 35 : Illustration de la compartimentation de la structure de Fécamp-Lillebonne entre Lillebonne au sud et Bolbec au nord (Ragot, 1988)

La faille supposée du vallon du Mont-Criquet (FMC)

Cette faille supposée est mentionnée sur les cartes structurales de Wazi (1988) et Hauchard (2001). Sa présence serait responsable des dépôts tertiaires dans le vallon, notamment les Sables de Saint-Eustache qui furent l'objet d'une exploitation en carrière à ciel ouvert. La dimension surprenante de l'un de ces dépôts sableux (800 m de long (Hanin, 2010)) n'est pas cohérente avec l'hypothèse d'un piégeage karstique classique (cas des poches sableuses piégées dans des entonnoirs de dissolution) ou de dépôts sédimentaires marins en nappes (cas des dépôts tertiaires du Cap d'Ailly par exemple). L'hypothèse d'une origine tectonique est donc privilégiée pour expliquer la présence de grandes quantités de sables tertiaires dans le secteur (Hanin, 2010, Wazi, 1988). En effet, d'après Wazi (1988), le piégeage sédimentaire serait associé à une zone effondrée, de même nature que ce qui peut être observé dans le Roumois, et liée à la présence de diaclases majeures orientées N110 à N120°. Ces diaclases se seraient formées au cours d'une phase distensive de direction NE-SW, postérieure à la mise en place des systèmes tectoniques socle-couverture. Le jeu tectonique de ces diaclases serait à l'origine de la création de petits fossés d'effondrements à remplissage sableux anté-pliocènes, pliocènes ou pléistocène inférieur. Notons que cette hypothèse semble confirmée par des analyses photographiques qui mettent en évidence des linéaments dans ce secteur (Hanin, 2010).

Les failles de ND-de-Gravenchon (FNDG) – Triquerville (FT) – Villequier (FV)

NOM	NATURE	ORIENTATION	JEU APPARENT ACTUEL	REJET VERTICAL	AGE DE MISE EN PLACE	ACTIVITE RECENTE	CONTACTS ANORMAUX	ROLE HYDROGEOLOGIQUE
FT - Faille de Triquerville	Faille	N070° - varisque	Normal	125 à 200 m	?	Pléistocène ? Holocène	Sénonien / Albien	Drain probable : développement de réseaux karstiques
FNDG - Faille de ND-de-Gravenchon	Faille	N060° - varisque	Normal	> 40 m	?	Holocène	Sénonien / Cénomanién	Inconnu

Tableau 4 : Principales caractéristiques de l'accident de ND de Gravenchon – Triquerville, Villequier

Il s'agit d'un ensemble de structures cassantes, orientées globalement N060° à N070° (orientation *varisque*) et localisées entre Notre-Dame-de-Gravenchon à l'ouest et Villequier à l'est. Vers l'Est, ces structures s'amortissent en flexure (flexure de Villequier) (*Wazi*, 1988) mais rejoignent probablement les failles de Carville-la-Folletière et de Fréville, appartenant au secteur faillé de Pavilly, via la faille de Caudebec (*Hauchard et al.*, 2018).

Aux alentours de la Triquerville, la faille présente un rejet vertical remarquable de l'ordre de 125 m minimum (*Ragot*, 1988), à environ 200 m (estimé à partir de la corrélation des core-drills pétroliers du secteur de Villequier - *Ménillet*, 1969). Cette faille limite l'anticlinal de Villequier sur son flanc sud, ce qui met en contact les formations du Crétacé inférieur avec les bancs subhorizontaux du Coniacien (*Ragot*, 1988). A noter que la géométrie de cette faille est complexe, puisque les données de terrain indiquent qu'elle pourrait s'apparenter soit à une double faille délimitant un bloc basculé à fort pendage (Illustration 36), soit à une flexure du flanc sud de l'anticlinal associé à une seule faille (*Ragot*, 1988 ; *Pleuvret*, 1997). L'interprétation de récentes investigations géophysiques menées dans ce secteur (*Duran*, 2015) semble favoriser l'hypothèse de l'anticlinal flexuré et faillé, probablement associé à des structures secondaires (Illustration 37).

Vers l'ouest, cette faille se prolongerait jusqu'à Notre-Dame-de-Gravenchon où la carte géologique de Pont-Audemer (*Viallefond*, 1967) signale un contact anormal entre le Sénonien au sud, et le Cénomanién au nord, soit un rejet supérieur à 40 m. Le secteur de Notre-Dame-de-Gravenchon correspond également à la zone de croisement entre la faille de Fécamp-Lillebonne et les failles de ND-de-Gravenchon-Triquerville-Villequier. Ce contact est masqué par les formations alluviales de la Seine, mais le prolongement de la succession de failles de ND-de-Gravenchon-Triquerville-Villequier vers l'ouest, au-delà du croisement avec la faille de Fécamp-Lillebonne, semble confirmé par un décalage de 4 m identifié au niveau d'un horizon tourbeux dans la vallée de la Seine, au nord de Quillebeuf (*Lefebvre et al.*, 1974 ; *Wyns*, 1977). Il existerait donc une continuité OSO de la faille Notre-Dame-de-Gravenchon-Triquerville-Villequier, qui passerait au nord de Quillebeuf, avant de s'amortir sous le Marais Vernier.

Vers l'est, cette faille se prolonge vers Villequier où elle prend une orientation N100°. Elle a été identifiée sous le lit de la Seine à partir de la corrélation entre les affleurements de l'Albien à Villequier et les données du core-drill VIL-7 (sondage 75-8-8) (*Maillary et al.*, 1970). Dans ce secteur, son rejet vertical est estimé à 120 m. Vers Caudebec-en-Caux, cette faille s'amortirait en flexure.

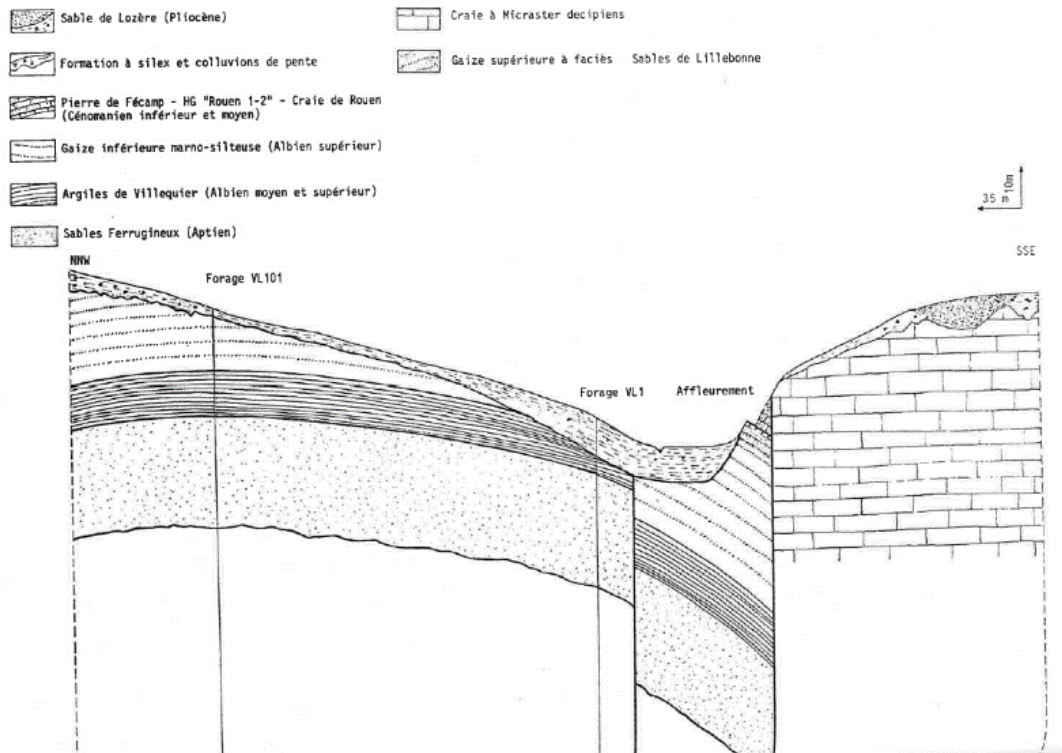


Illustration 36 : Géométrie de la structure de Triquerville, qui montre la présence de deux failles délimitant un bloc basculé à fort pendage (Ragot, 1988)

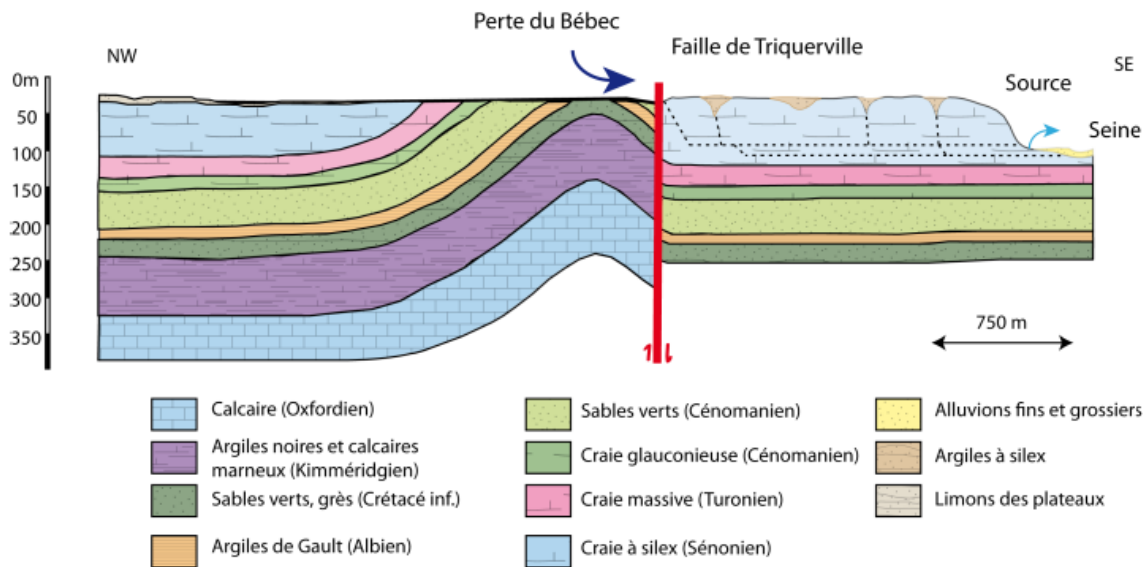


Illustration 37 : Géométrie de la structure de Triquerville en dôme anticlinal pincé à bord sud flexuré et faillé (Duran, 2015, d'après Pleuvret, 1997)

L'anticlinal de Triquerville – Villequier (AnT, AnV)

Le secteur de Triquerville-Villequier est marqué par plusieurs structures plicatives orientées N060° à N070° (orientation *varisque*), associées aux structures cassantes présentées précédemment.

L'anticlinal de Triquerville-Villequier est un accident assez exceptionnel pour la région. Il s'agit d'un pli anticlinal d'orientation varisque (globalement orienté N060° à N070°) associé au réseau des failles de ND-de-Gravenchon-Triquerville-Villequier (cf. 0). Il atteint son élévation maximale au nord de Triquerville, où les faciès de l'Albien (Gault) affleurent aux alentours de la cote + 100 m NGF dans le vallon du Bébec (*Ménillet*, 1969). L'Albien supérieur est également bien connu en sondage puisqu'un faciès de marne argileuse noirâtre glauconieuse et légèrement sableuse attribué au Gault a été reconnu dans le sondage pétrolier VL 101 (indice BSS BSS000FHSR ; ancien code : 00758X0010) de Triquerville à la cote + 100 m NGF. A 400 m au sud, au niveau du sondage pétrolier VILQ-1 (indice BSS BSS000FHSH ; ancien code 00758X0002) le Gault a été rencontré en surface à + 89 m NGF sous la forme d'un faciès altéré et remanié.

La carte structurale du toit du Cénomaniens réalisé par la Compagnie Française du Pétrole (C.F.N / N°229 – Illustration 38) présentée dans la thèse de Wazi (1988) donne des informations sur la géométrie de l'anticlinal de Triquerville. Sur cette carte, l'axe du pli présente une forme sigmoïde et il s'agit d'un anticlinal très asymétrique : le flanc sud est beaucoup plus raide que le flanc nord et est bordé par la faille de Triquerville.

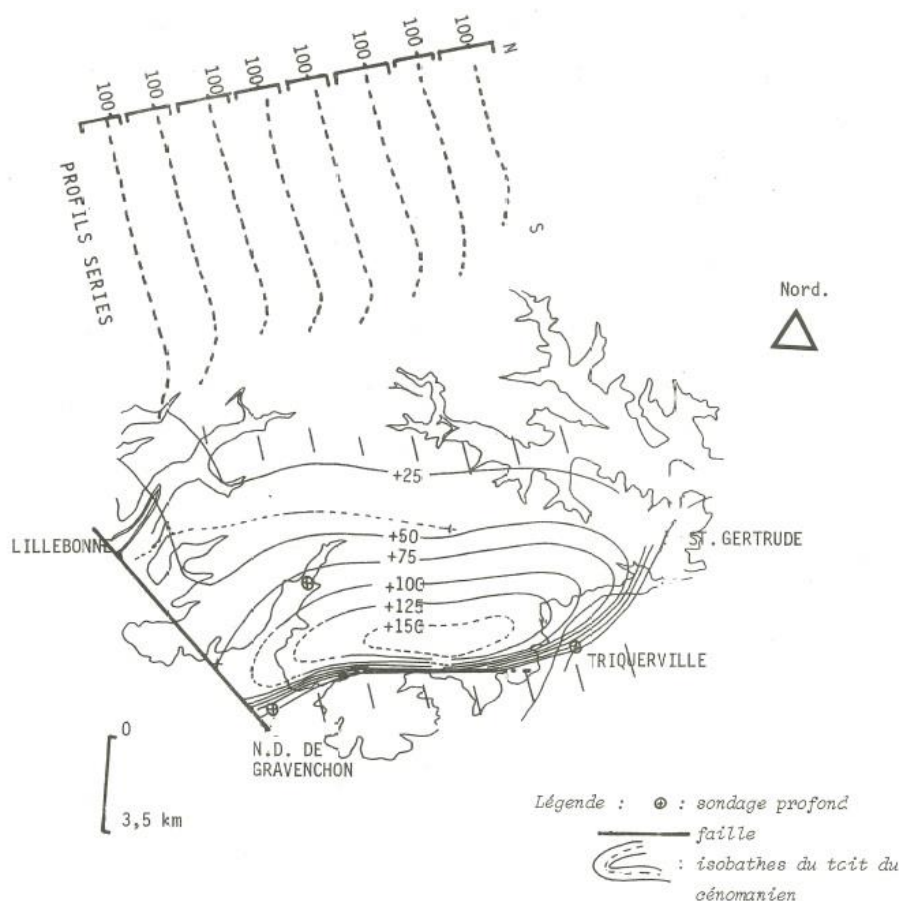


Illustration 38 : Carte structurale du secteur de Triquerville présente la géométrie de l'anticlinal de Triquerville (d'après la Compagnie Française du Pétrole, et Wazi, 1988)

Les structures anticlinales associées à la faille de Fécamp-Lillebonne (AnGY, AnB)

Il s'agit d'une succession de dômes anticlinaux globalement orientés N150° (orientation *armoricaine*), qui bordent la lèvre NE de la grande faille de Fécamp-Lillebonne. A l'instar de l'anticlinal de Triquerville-Villequier et du synclinal de Sainte-Gertrude, ces structures sont

connues grâce à la cartographie des isobathes du toit du Gault (issus de l'interprétation de données de la Compagnie Française des Pétroles). Au nord de Bolbec, entre Nointot et Grainville-Ymauville, les cartes géologiques au 1/80.000 (feuille Yvetot ; *Nicolesco*, 1964) et au 1/50.000 (feuille Bolbec ; *Ménillet*, 1969) indiquent en effet une élévation du toit du Gault au nord de Mirville, ce qui permet notamment de faire affleurer de la Gaize inférieure de l'Albien au fond du ruisseau de Mirville et porte à l'affleurement le Cénomaniens inférieur dans le vallon de Pétreval à Mentheville (*Ragot*, 1988). Ces dômes anticlinaux viennent buter vers l'ouest sur la structure faillée de Fécamp-Lillebonne.

Ces anticlinaux présentent une disposition et une géométrie analogue aux anticlinaux de Vernon et de Rouen, ainsi que celui cartographié au large de Fécamp, dans la mesure où toutes ces structures bordent les lèvres nord-est des failles majeures normandes orientées N150° (failles de Fécamp-Lillebonne et de la Seine). D'après Wazi (1988), il s'agirait de plis coniques, souvent organisés en échelons, hérités de décrochements liés à une compression horizontale subméridienne entre le Sénonien et l'Eocène supérieur.

Le synclinal de Sainte-Gertrude (SySG)

Situé au nord de l'anticlinal de Triquerville-Villequier, le synclinal de Sainte-Gertrude a été mis en évidence sur les cartes géologiques de la France au 1/80.000 (feuille Yvetot, *Nicolesco*, 1964) et 1/50.000 (feuille Bolbec ; *Ménillet*, 1969) par la cartographie des isobathes du toit du Gault (issus de l'interprétation des données de la Compagnie Française des Pétroles et des données BSS). En outre, le synclinal de Sainte-Gertrude est clairement cartographié sur la carte géologique de la marge continentale française au 1/250.000, feuille de Boulogne-sur-Mer – Rouen (BRGM, 1971). Hauchard et al. (2018) et Explor-e (2016) en ont proposé une représentation de cette structure sous forme de coupe (Illustration 39).

D'après ces éléments cartographiques, le synclinal de Sainte-Gertrude serait orienté N090°-N100°, ce qui correspond globalement à l'orientation de la vallée de Sainte-Gertrude. Les isobathes du toit du Gault indiquent une profondeur de l'ordre de -60 m au centre de la structure, soit globalement dans la vallée de Sainte-Gertrude qui occupe une place centrale dans le synclinal. Cette disposition singulière indique la relation qui peut exister entre la structure géologique et la morphologie du secteur. En effet, il n'est pas exclu que la « cuvette » géologique correspondant au synclinal de Sainte-Gertrude ait pu conditionner la mise en place de la vallée, notamment en jouant un rôle de drain pour les écoulements souterrains et/ou superficiels. A plus petite échelle, la dépression topographique de la vallée de Sainte-Gertrude semble être reliée à la petite vallée sèche du Mont-Criquet, localisée à l'est de la ville de Bolbec, qui est aussi probablement d'origine tectonique (cf. 1.2.7). Ces arguments morphologiques et géologiques semblent donc indiquer une potentielle structure faillée ou synforme orientée N090°-N100°, située approximativement entre le plateau de Gommerville à l'est et la vallée de Sainte-Gertrude à l'ouest. Cette grande structure N090°-N100° serait donc parallèle à la faille de Valmont identifiée par Hauchard et Laignel (2001, 2008).

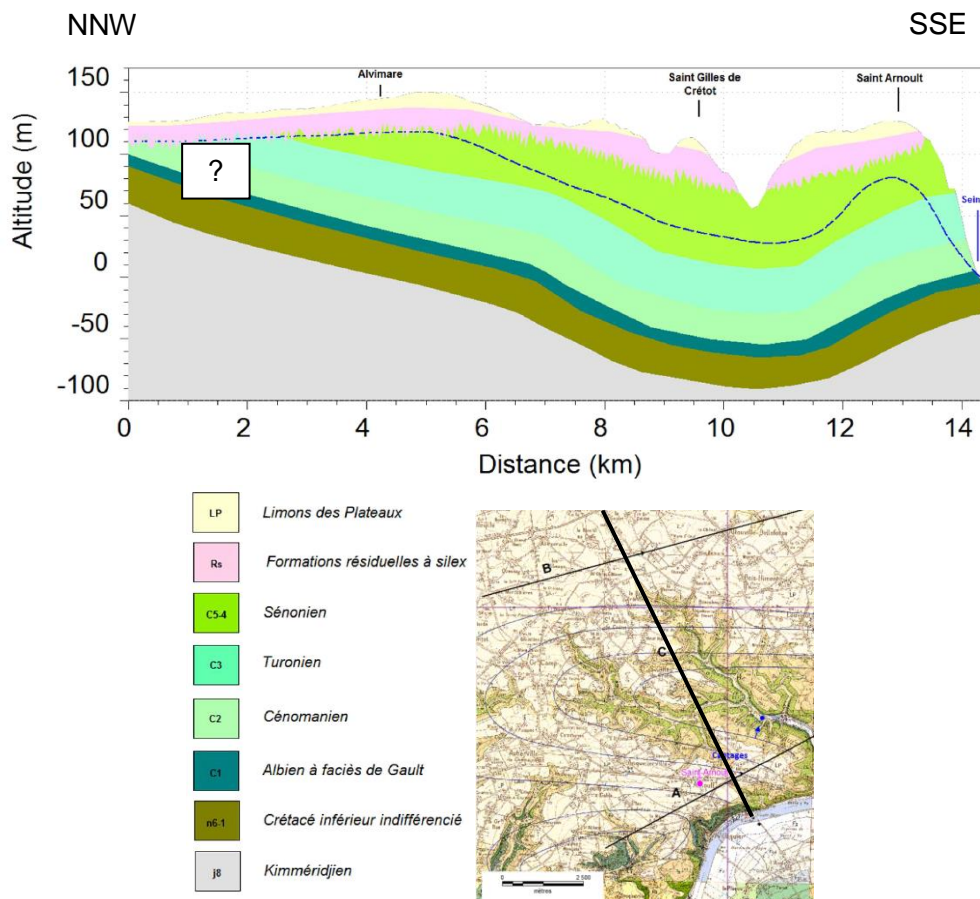


Illustration 39 : Coupe schématique représentant le synclinal de la Ste Gertrude, établie à partir de la carte géologique de Bolbec, Explore, (2016) modifié.

Le synclinal faillé de Radicatel / faille du Moulin (SyR)

Cette structure a été mise en évidence par Ragot (1988) par la corrélation de repères stratigraphiques dans la craie au sud de Saint-Nicolas-de-la-Taille (vallon du Pont-Navarre). D'après les observations effectuées par cet auteur, le rejet de la faille serait de l'ordre de 10 à 12 m (Ragot, 1988). Il est intéressant de remarquer que ce secteur est marqué par une activité karstique intense (sources de Radicatel, nombreuses fissures karstifiées dans les parois crayeuses du secteur), qui pourrait être liée au jeu tectonique de la structure. L'orientation et l'extension de cette structure ne sont pas connues avec précision, mais les travaux de Hauchard et Laignel (2008) la positionnent selon une orientation sub-parallèle à la faille de Fécamp-Lillebonne (orientation armoricaine), et une extension jusqu'aux sources d'Yport au Nord (Hauchard et Laignel, 2008 ; Hanin, 2010).

Les travaux récents de Hanin (2010) sur les affleurements présents au niveau des sources de Radicatel ont permis de préciser la géométrie de cette faille. En effet, de nombreux décalages verticaux de bancs repères et de forts pendages ont été mis en évidence entre les affleurements répartis sur une distance de 600 m (Hanin, 2010 – Illustration 38), ainsi qu'une zone de broyage située derrière la source du Moulin. Dans ce secteur, toutes les sources situées au pied de la falaise sont localisées au niveau des fractures de la craie.

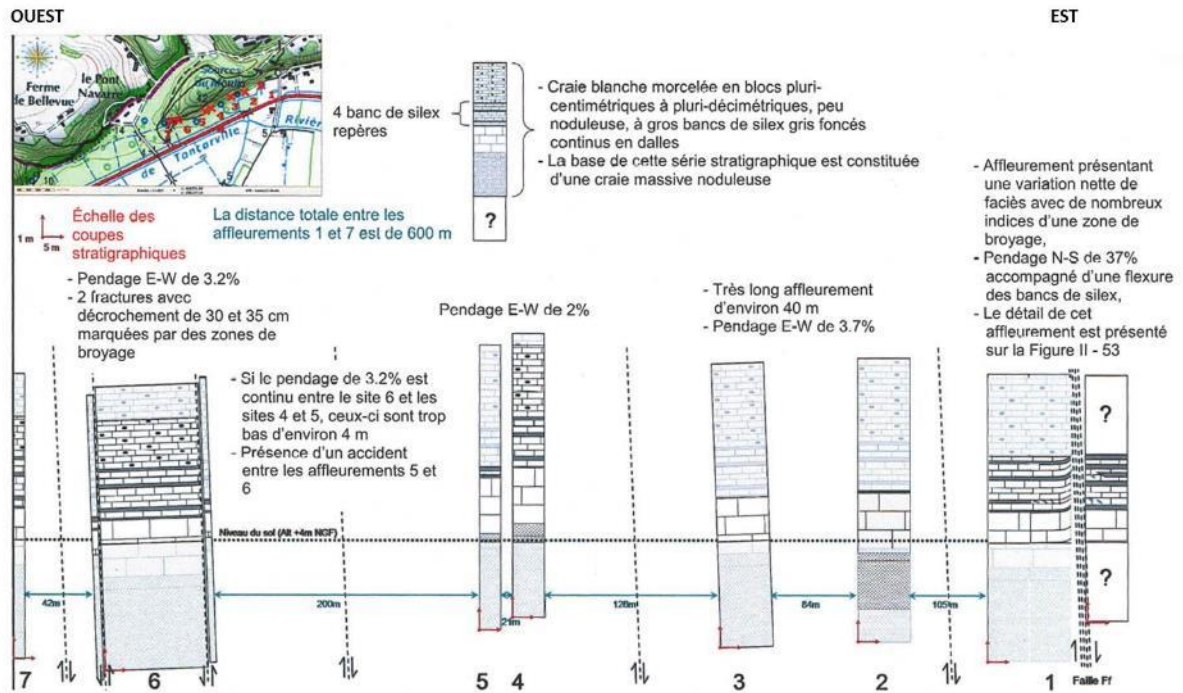


Illustration 40 : Schéma synthétique des différents affleurements dans le secteur des sources du hameau de Radicatel, qui met en évidence la présence de la faille du Moulin (Hanin, 2010)

Le horst de Vattetot-sous-Beaumont

Dans le secteur de Vattetot-sous-Beaumont, la présence d'une anomalie topographique particulièrement marquée et bien visible dans le paysage semble être liée à une structure tectonique de type « horst », orientée N150° et située sur la lèvre nord-est surélevée de la faille de Fécamp-Lillebonne. Ce horst serait responsable de l'affleurement des formations de l'Albien supérieur dans le vallon de Mirville (présence des gaizes inférieures, marneuses, dans le fond du vallon de Mirville et des Sables de Lillebonne dans le versant sud de la butte de Vattetot (Ragot, 1988). A noter que des sondages géotechniques réalisés par la société For et Tec en 2008 dans le village de Vattetot-sous-Beaumont (indice BSS BSS003LKHE), dans le cadre d'une recherche de cavité, ont rencontré, sous 21 m de formations superficielles (Limons des Plateaux et Formation Résiduelle à silex), 30 m d'une « argile verte compacte » qui pourrait être attribuée aux Sables de Lillebonne.

A l'échelle du SAGE Commerce, la position de ce horst s'inscrit globalement dans la continuité nord de l'anticlinal de Bolbec, et dans la continuité sud de l'anticlinal de Grainville-Ymauville (Illustration 48). En l'absence de coupes géologiques détaillées ou d'investigations complémentaires, il n'est pas possible de statuer sur la nature exacte de cette anomalie topographique (horst vs dôme anticlinal vs anticlinal faillé ou pincé).

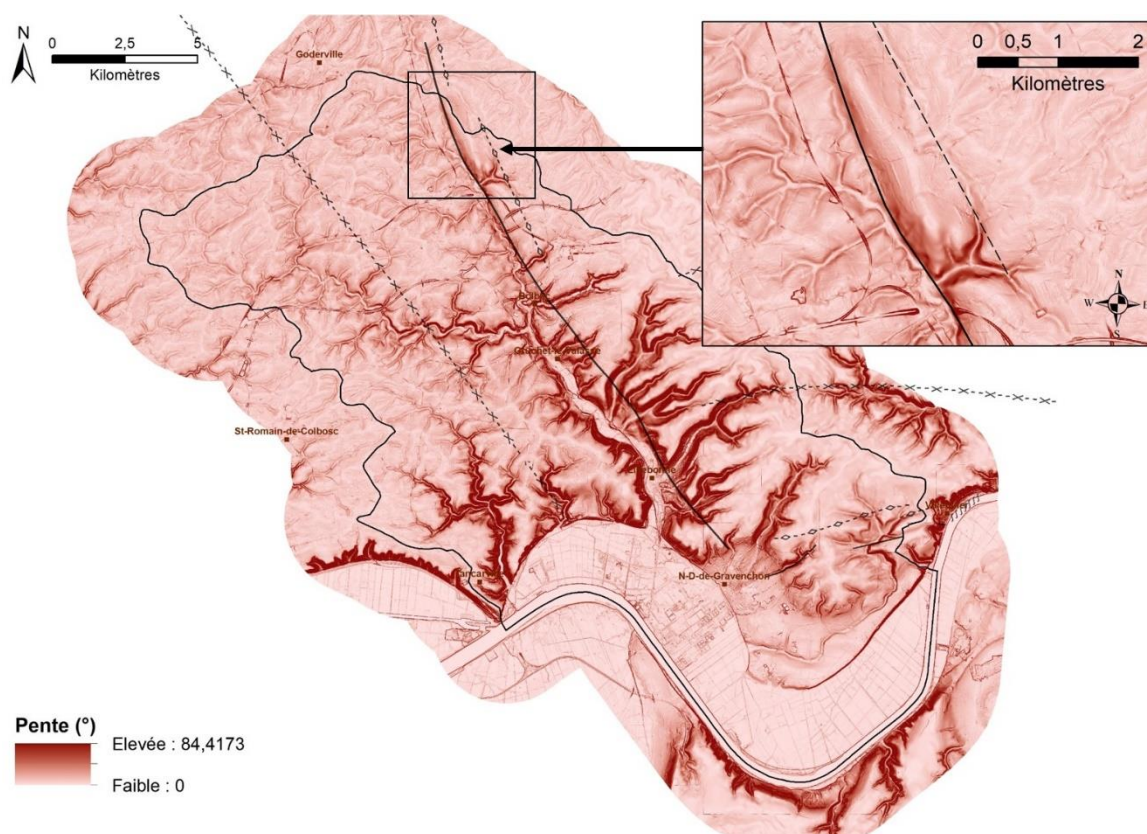


Illustration 41 : Localisation du "horst" de Vattetot-sous-Beaumont (cadre noir), fond carte des pentes issue de l'analyse du modèle numérique de terrain 5 m (source : IGN)

2.5.2. Apports des investigations menées depuis 2016 par le BRGM sur la structure de Fécamp-Lillebonne dans le secteur de Mirville – Bolbec – Gruchet-le-Valasse

Les résultats décrits dans ce chapitre sont issus des rapports BRGM/RP-67087-FR (*Meire et al.*, 2019) et BRGM/RP-69139-FR (*David et al.*, 2020). Le présent paragraphe n'en présente qu'un résumé succinct. Pour disposer de plus amples informations sur ce sujet, le lecteur est donc invité à se rapporter à ces deux rapports pour disposer de l'ensemble des informations.

La structure de Fécamp-Lillebonne à Bolbec

Les récentes investigations géologiques et géophysiques réalisées par le BRGM depuis 2016 sur la faille dans le secteur de Bolbec ont permis de préciser la géométrie de celle-ci, notamment sa structure en faisceau et sa relation avec un dôme anticlinal faillé sur son flanc oriental (*Meire et al.*, 2019, *David et al.*, 2020).

En effet, la corrélation et l'interprétation de 4 profils électriques et de deux profils sismiques disposés orthogonalement à la faille entre Lillebonne et Mirville, calés par plusieurs sondages géologiques profonds, semblent indiquer que la structure serait effectivement constituée de 3 à 4 familles de failles N150° (F1, F2, F3 et probablement F4 – Illustration 42), constituées chacune de plusieurs failles mineures de faible rejet. Le nombre des failles au sein d'une même famille et les valeurs des rejets verticaux varient le long de la structure (Illustration 43), ce qui isole des blocs parfois basculés.

Ce système de failles à regard vers le sud-ouest flanque le bord ouest d'une structure antiforme dissymétrique faillée, axée N150°, à l'origine de la remontée en sub-surface des formations de la

base du Crétacé supérieur et du Crétacé inférieur et d'un léger. Cette structure serait à l'origine d'un pendage vers l'ouest / sud-ouest des terrains compris entre F1 et F2 de l'ordre de 5 à 10° ainsi que d'un pendage général des couches vers le NNE (David et al., 2020 – Illustration 43). Cette structure s'intègre dans la continuité sud de l'anticlinal de Grainville-Ymauville, de Bolbec et du horst de Vattetot-sous-Beaumont (Meire et al., 2019).

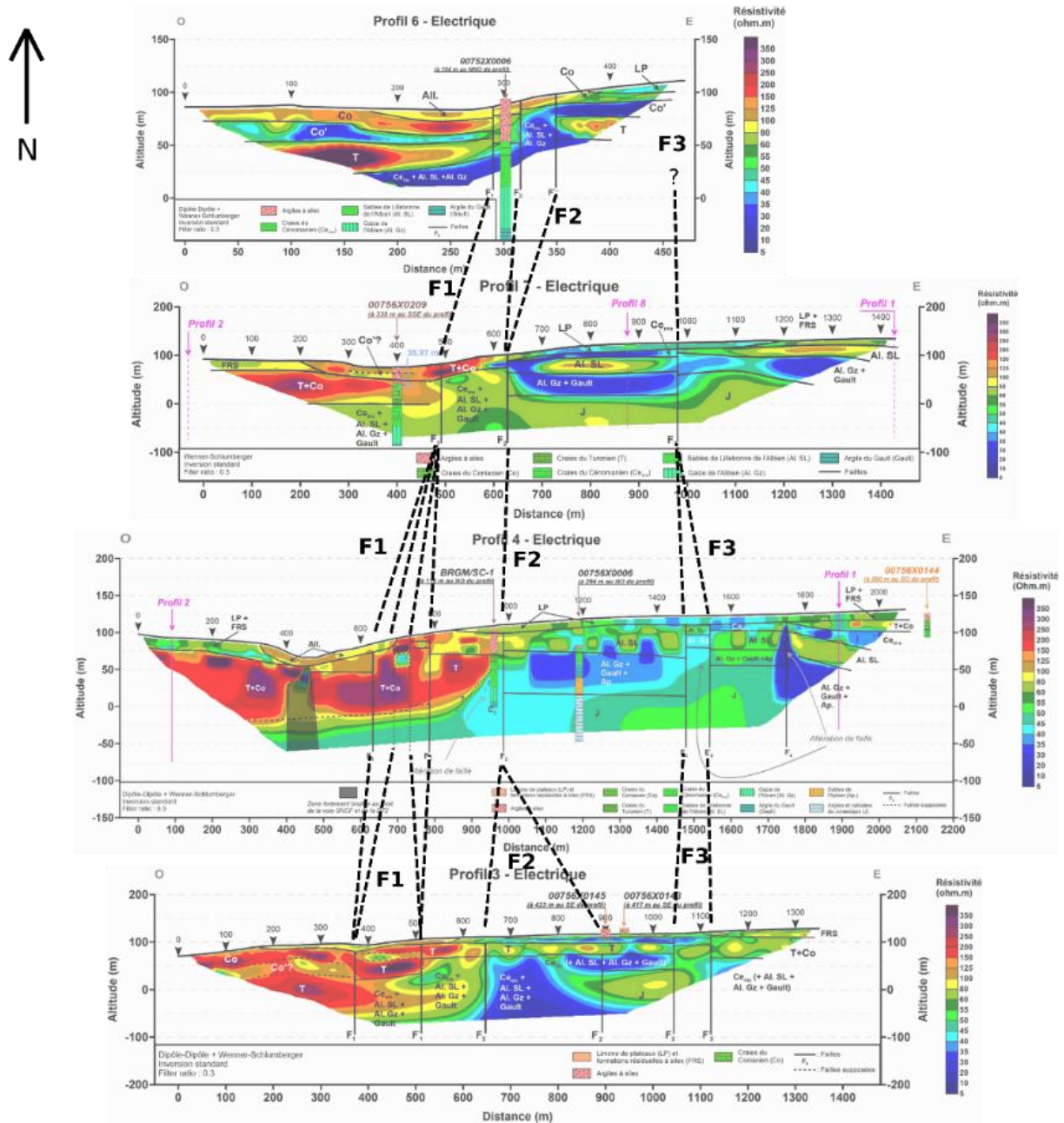


Illustration 42 : Mise en perspective des profils électriques orthogonaux au tracé de la structure de Fécamp-Lillebonne illustrant sa structure en faisceau (Meire et al., 2019)

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

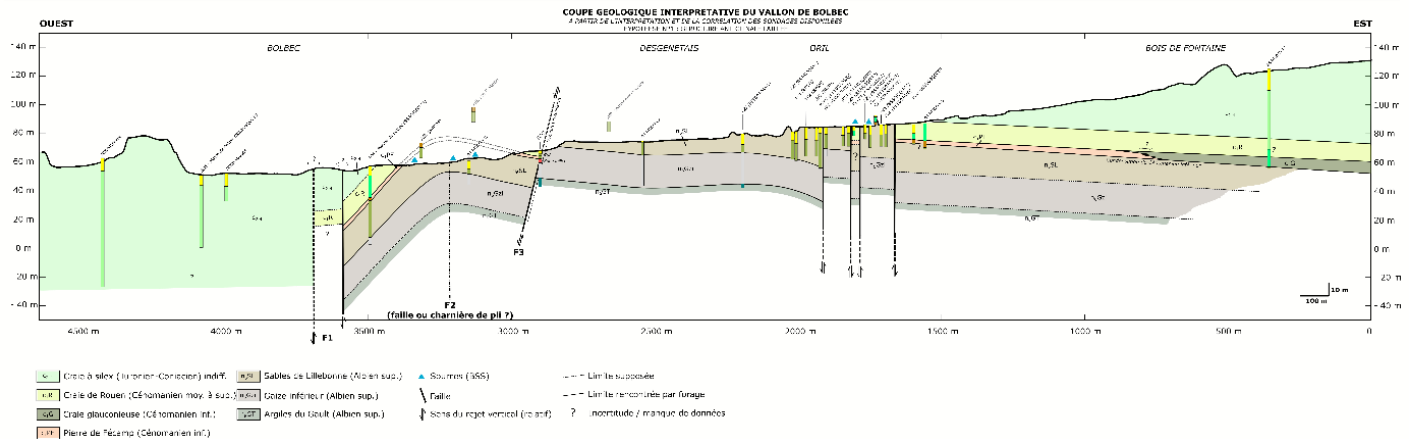


Illustration 43 : Coupe géologique synthétique du vallon de Bolbec – Hypothèse 1 (v.juillet 2020). A noter que seules les failles couvertes par les investigations géophysiques ont été nommées (F1, F2 etc.). Les formations superficielles ne sont pas représentées (David et al., 2020)

La carte suivante présente la géométrie de la faille de Fécamp-Lillebonne dans le secteur de Bolbec, et des structures NE-SO associées (Illustration 44).

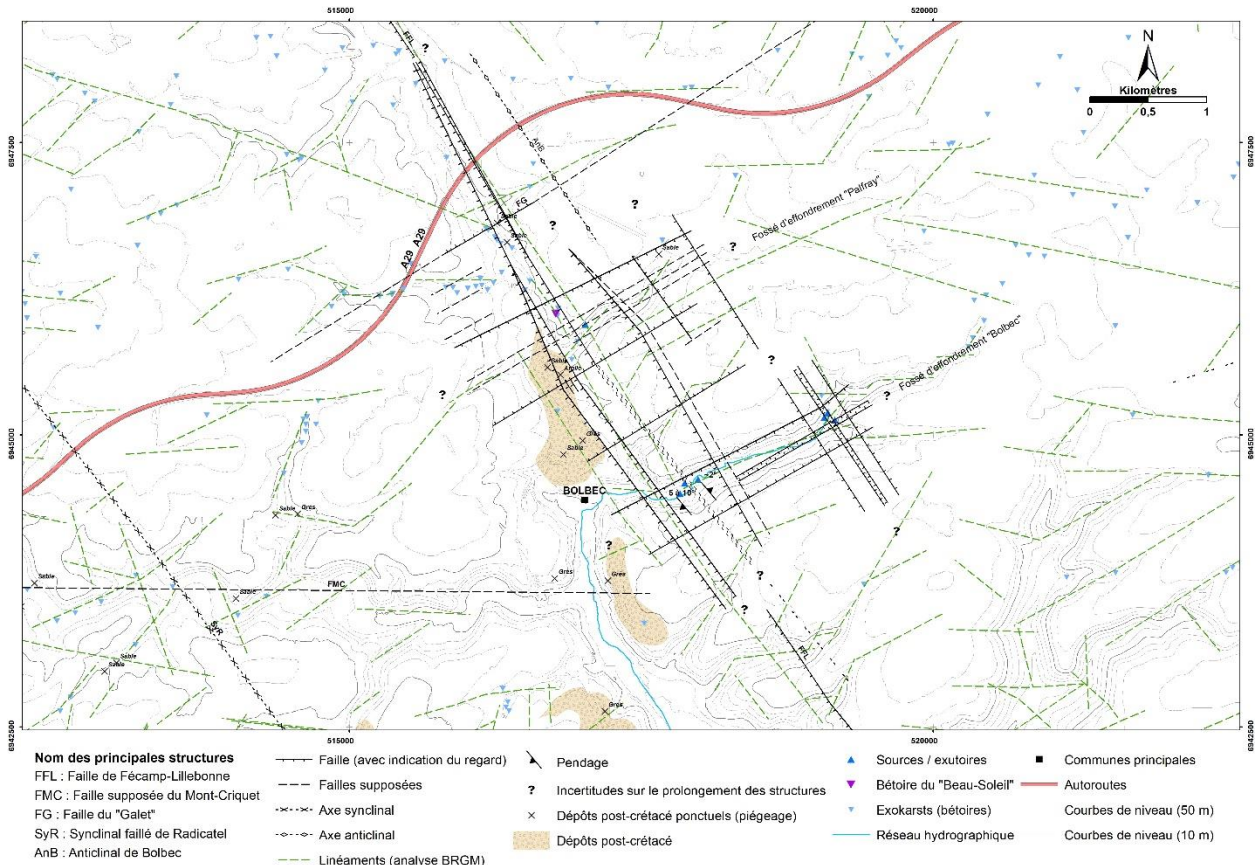


Illustration 44 : Nouveau schéma structural du secteur de Bolbec, le long de la faille de Fécamp-Lillebonne, basé sur l'interprétation des données géophysiques, géologiques et morphologiques (Meire et al., 2019)

A l'heure actuelle, nous ne disposons pas des données nécessaires pour préciser la géométrie de la structure de Fécamp-Lillebonne vers le nord et le sud, et notamment dans le secteur de ND-de-Gravenchon dans la zone de croisement avec les structures de Triquerville - Villequier.

La mise en place d'investigations géophysiques et géologiques complémentaires permettrait de combler cette lacune.

Les structures supposées orthogonales à la faille de Fécamp-Lillebonne

Entre Mirville et Bolbec, les structures N150° décrites précédemment seraient associées à la présence de deux fossés d'effondrement orientés NE-SO, axés sur le vallon de la Fontaine Palfray et sur la vallée de Bolbec (*Meire et al., 2019 ; David et al., 2020*), situés dans le prolongement de structures déjà identifiées sur le bloc sud-ouest affaissé (*Hanin, 2010*). Il s'agit :

- du faisceau de failles du Vallon de Beau Soleil (Fontaine Palfray) : ce faisceau de faille a été reconnu sur un profil électrique parallèle à la faille de Fécamp-Lillebonne situé sur le bloc NE surélevé. Il s'agit d'une succession de 4 failles de faible rejet (une vingtaine de mètres maximum) centrées sur le vallon et disposées en « graben ». L'orientation de ces failles ne peut être déterminé avec précision dans la mesure où elles ne sont visibles que sur un seul profil électrique, mais il est très probable qu'elles soient orientées N060° (orientation du vallon) et donc orthogonales à la faille de Fécamp-Lillebonne. La présence de ce vallon est donc très probablement d'origine structurale ;
- du faisceau de failles de la vallée de la Fontaine à Bolbec : à l'instar du faisceau de failles du Vallon de Beau Soleil, cette structure a été reconnue à partir d'un profil électrique parallèle à la faille de Fécamp-Lillebonne et situé sur sa lèvre NE surélevée, et *a priori* confirmée par les données de terrain et de sondage (*David et al., 2020*). Il s'agit d'un faisceau de 8 failles, également disposées en « graben », dont le rejet maximal avoisine 25 m. Les blocs situés entre les failles peuvent présenter de légers pendages orientés vers la vallée, qui est centrée sur ce « graben », ce qui semble une nouvelle fois attester son origine structurale.

Ces grabens sont probablement à l'origine du creusement de ces deux vallées, en ayant eu un rôle de drain préférentiel pour les écoulements souterrains et de surface (*Meire et al., 2019*).

Ces structures concernent les vallées situées en rive gauche du Commerce, dans un petit secteur situé entre Nointot et Gruchet-le-Valasse, mais il semble très probable que les autres vallons situés plus au sud, entre Gruchet-le-Valasse et Lillebonne (vallons à l'est de Gruchet-le-Valasse, vallon de la Fontaine Murée, vallons à l'est de Lillebonne etc.) ont également une origine structurale. Ces structures supposées sont régulièrement signalées dans les rapports, publications ou schémas structuraux du secteur (*CPGF, 1978 ; De la Quèrière et al., 1988 ; Ragot, 1988 ; Hanin, 2010 ; SAFEGE, 2012 ; Explor'E, 2013*), mais à l'heure actuelle, aucune de ces structures n'a pu être observée à l'affleurement. Les arguments permettant de supposer leur existence sont surtout d'ordre hydrogéologique ou morphologique, puisqu'il semblerait que ces accidents aient favorisé la fissuration de la craie et par conséquent, conditionné le creusement des vallées et le drainage de la nappe où des débits importants sont observés.

Il n'est donc pas exclu que les autres vallées d'orientation analogue aux vallons de Palfray et de Bolbec (Val Horrible, Fontaine Murée, la Vallée) puissent également être calées sur des structures cassantes, potentiellement en graben. Cette hypothèse était d'ailleurs déjà proposée sur le schéma structural de CPGF en 1982.

D'autre part, les investigations géophysiques menées par le BRGM dans le secteur de Bolbec ont permis d'identifier d'autres structures globalement orthogonales à l'axe de Fécamp-Lillebonne (*Meire et al., 2019*). Il s'agit notamment (du nord au sud) :

- de la faille du Galet à Nointot (FG) : orientée N060°, cette faille a été mise en évidence sur deux profils électriques parallèles à la faille de Fécamp-Lillebonne et situés de part et d'autre de la structure (un profil électrique positionné sur le bloc SO affaissé et un profil électrique positionné sur le bloc NE surélevé). D'après l'analyse des profils électriques, cette faille semble davantage marquée sur le compartiment NE surélevé, où elle induit un décalage d'une vingtaine de mètres des formations jurassiques, albiennes et cénomaniennes, avec une nette diminution des rejets dans le Turonien tandis que sur le compartiment SO affaissé, la présence de la faille est à peine perceptible dans les craies coniaciennes. Cette structure cassante aurait donc joué *a minima* jusqu'au Turonien, et pourrait expliquer la présence d'un petit vallon sec orienté N060° au SE de Nointot, au lieu-dit « Le Galet » ;
- Une petite faille mineure, probablement orientée NNE-SSO à NE-SO, identifiée sur un profil électrique réalisé longitudinalement à la vallée du Commerce dans le secteur de l'abbaye de Gruchet (Meire *et al.*, 2019). Cette faille, d'un rejet vertical plurimétrique, est globalement située dans l'axe de la vallée de la Fontaine Murée.

Ces résultats confortent l'hypothèse de l'origine structurale des vallons secs situés aux abords de la faille de Fécamp-Lillebonne.

Enfin, d'autres structures cassantes ont été identifiées sous les plateaux, notamment au niveau de la Plaine de Baclair au nord-est de la faille, ou au niveau de la Plaine des Deux Fosses au sud-ouest de la faille, sur le bloc affaissé. Notons que certaines des structures sous la Plaine des Deux fosses sont situées d'une part dans l'alignement du vallon de Beau Soleil, et d'autre part dans l'axe de petits vallons secs orientés N060°. Il n'est donc pas à exclure que la structure en « graben » du vallon Beau Soleil, probablement à l'origine du vallon, se retrouve également dans le bord sud-ouest affaissé, ce qui aurait également conditionné la mise en place de vallons secs.

Plusieurs de ces failles, supposées à partir de l'interprétation des profils électriques, peuvent correspondre aux directions identifiées dans le schéma structural de la zone d'étude proposé dans les travaux de Guillaume Hanin en 2010.

Nicolesco (1956) a décrit un pendage important du toit de l'Albien au niveau de la plaine alluviale de la Seine. En effet, entre le forage CH1 de l'usine de Radicatel et un forage en bordure de Seine, Nicolesco écarte l'hypothèse d'un pendage important du toit de l'Albien (1.5%), et avance l'hypothèse d'un accident entre ces deux points avec un rejet de 28 m. Cet accident peut être mis en relation avec la faille supposée présente sur le schéma structural de Ragot (1988).

Autres structures supposées

- **Nouvelle analyse des linéaments**

Une fracturation secondaire est également présente et révélée par photo-interprétation d'images satellites ou aériennes (étude partiellement et localement faite dans le cadre de diverses études dans le passé (Scanvic *et al.*, 1977 ; Scανvic, 1978 ; CPGF, 1978)).

Au cours de cette étude, une nouvelle analyse des linéaments dans le Pays de Caux a été effectuée par le BRGM. L'analyse se base sur le modèle numérique de terrain IGN (MNT) au pas de 25 m et sur le MNT RGE-ALTI IGN à 5 m pour lesquels un ombrage et une carte de pentes ont été réalisés sous le logiciel de SIG ArcGIS®.

Un total de 1635 linéaments ont été tracés manuellement à l'échelle du 1/25 000 sur la zone d'étude de Bolbec mais également sur une large zone du Plateau de Caux. Les linéaments tracés

correspondent, par ordre de représentativité, (i) aux thalwegs du réseau hydrographique, (ii) à des escarpements linéaires hors réseau, (iii) aux alignements de têtes de réseau (sources).

Une comparaison attentive entre le MNT et la cartographie du réseau de transport a permis d'identifier les linéaments liés aux talus, fossés, ou remblais du réseau routier ou ferroviaire.

L'azimut moyen de chacun des 1635 linéaments supposés « naturels » a ensuite été calculé entre le premier et le dernier point sur l'intervalle N0°-N180°.

L'histogramme de distribution des linéaments par valeur d'azimut montre trois ou cinq groupes de valeurs (Illustration 45). Les trois ou cinq classes d'azimut déterminées ont les valeurs de bornes suivantes (valeur d'azimut avec la plus forte représentativité par classe en gras) :

- **Trois classes** : [N10°-**N40**°-N75°] ; [N75°- **N105**°-N120°] ; [N145°-**N160**°-N180°]
- **Cinq classes** : [N10°-**N40**°-N50°] ; [N50°-**N65**°-N75°] ; [N75°-**N90**°-N100°] ; [N100°-**N105**°-N120°] ; [N145°-**N160**°-N180°]

Les intervalles d'azimuts [N0° - N10°] et [N120° - N145°] sont nettement sous représentés dans la région.

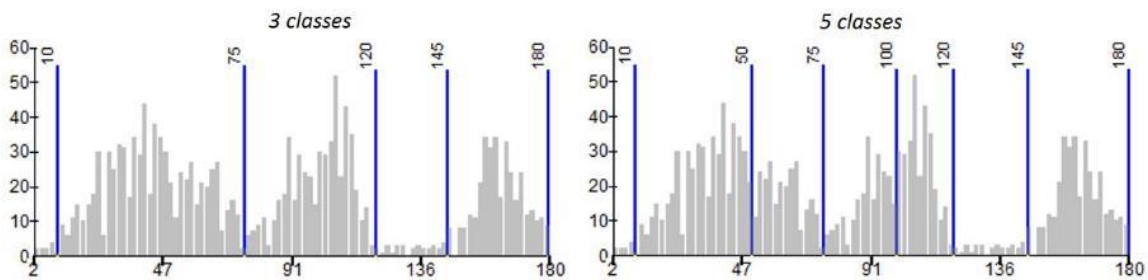


Illustration 45 : Histogrammes de répartition du nombre de linéaments (axe ordonnées) par valeur d'azimut montrant les bornes utilisées pour déterminer les 3 ou 5 classes différentes

Les 5 classes identifiées ne diffèrent que légèrement de celles habituellement identifiées dans la région Pays de Caux. Le Tableau 5 montre la comparaison entre les groupes de valeurs d'azimut de la présente étude et d'après d'autres auteurs.

Hole et al. (1978) Secteur Yport	CPGF (1981)	Hauchard et al. (2002, 2008) Pays de Caux	Rodet (1992) SAFEGE (2012) Tancarville à Oudalle	Nouvelle analyse BRGM Ensemble Pointe de Caux
N30-N40	N10-N20	N30-50	N20-N40	N10°- N40 °-N50°
N50-N60	N40-N60			N50°- N65 °-N75°
N90-N100	N80-N90 rare	N90-100		N75°- N90 °-N100°
	N110-N120			N100°- N105 °-N120°
		N120-130	N120-N150	Sous représentée
N150-N170	N170-N180 rare	N150-160	N180 rarement	N145°- N160 °-N180°

Tableau 5 : Comparatif entre les groupes de valeurs d'azimuts régionaux

Les 1635 linéaments identifiés permettent un échantillonnage correct avec ainsi une distribution représentative et fiable des azimuts (Tableau 5 et Illustration 46).

Le résultat de la cartographie et de la classification des linéaments par classe d'azimut (Symbologie-Quantités-Couleurs graduées dans ArcMap) sur la zone d'étude du SAGE Commerce est présenté sur l'illustration 47.

Les linéaments cartographiés et leur classification se corrèlent bien aux directions structurales dans la zone d'étude et sur l'ensemble du plateau de Caux. Les linéaments identifiés correspondent donc vraisemblablement à des failles ou fractures. Les linéaments associés à la faille de Fécamp-Lillebonne sont clairement visibles. Une étude sur l'ensemble du département de Seine-Maritime permettrait de compléter ce schéma structural, de mieux caractériser les classes de fractures et de mettre ainsi en évidence certaines relations entre écoulement/réseaux superficiels et réseaux karstiques.

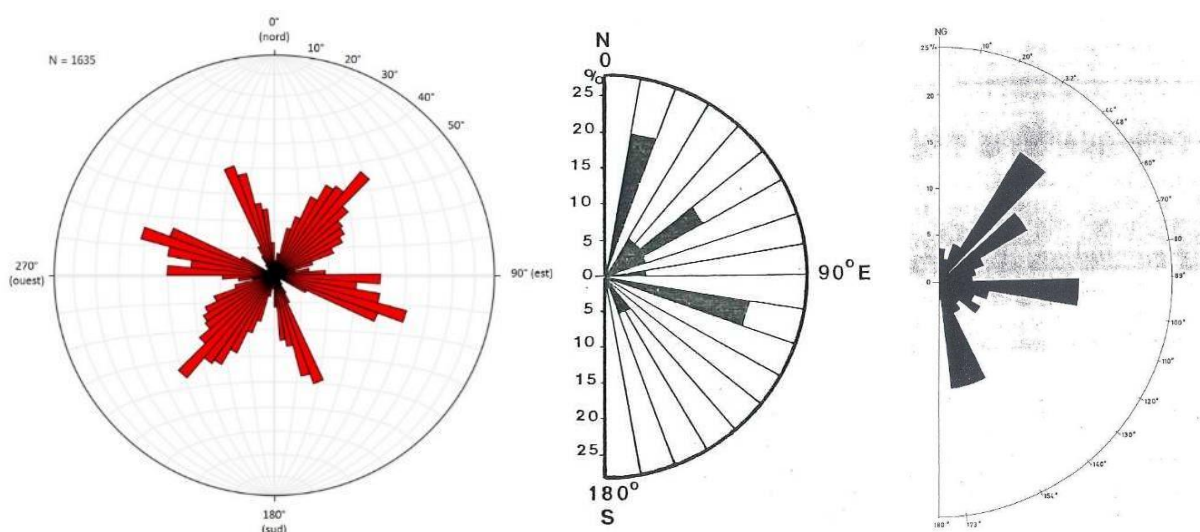


Illustration 46 : Rosace de distribution des orientations des linéaments identifiés dans le Pays de Caux Paquet F., (2019) à gauche ; CPGF, (1981) au centre et Hole et al. (1978) à droite

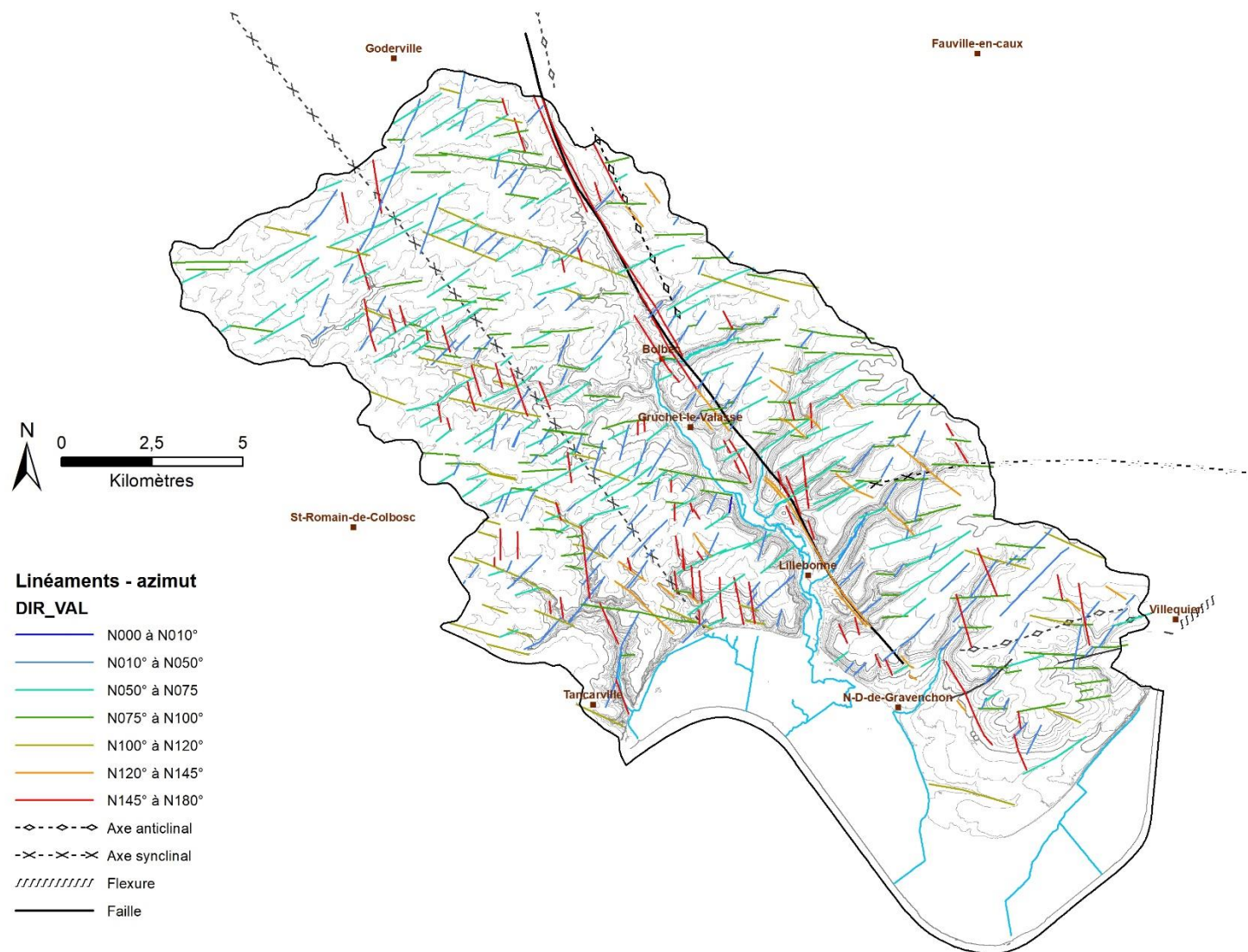


Illustration 47 : Carte des linéaments par classe d'azimut pour le secteur du SAGE Commerce

- **Structures supposées sur des arguments géomorphologiques ou hydrogéologiques**

Sur le secteur d'étude, d'autres structures peuvent être supposées à partir d'arguments morphologiques ou hydrogéologiques. Pour ces structures, aucune donnée de terrain n'a permis, à l'heure actuelle, de confirmer leur présence.

Le Tableau 6 suivant présente les principaux arguments qui ont permis de les tracer.

Structure	Arguments utilisés pour le tracé de la structure
Extension sud de la structure de FL entre Bolbec et la Seine	Argument hydrogéologique : présence de sources dans les principales vallées sèches, globalement alignées N150° dans la continuité sud des faisceaux F1, F2, F3 et F4 mis en évidence à Bolbec Argument géomorphologique : orientations et forme « sigmoïde » de vallées sèches entre Gruchet-le-Valasse et ND-de-Gravenchon
Extension sud de la structure de FL au-delà de la Seine	Argument hydrogéologique : présence de pertes alignées en forêt de Brotonne, karstification dans les secteurs de Vieux-Port, Le Flacq Argument géomorphologique : linéaments identifiés sur le MNT 5 m (IGN)
Extension sud du synclinal faillé de Radicatel / faille du Moulin	Argument hydrogéologique : alignement de bétouilles dans le secteur de Bourneville et présence de sources Argument morphologique : orientation du méandre de la Seine
Failles supposées des principaux vallons secs orientés NE-SO situés sur la lèvre NE surélevée de la faille de FL	Analogie avec les grabens « Palfray » et « Bolbec » : vallons calés sur des structures tectoniques drainantes Argument géomorphologique : orientations des vallées sèches et linéaments identifiés sur le MNT 5 m de l'IGN
Structure N100° passant par les sources de Radicatel	Argument géomorphologique : orientation des falaises fluviales entre Radicatel et la vallée du Commerce, linéaments identifiés sur le MNT 5 m de l'IGN Argument hydrogéologique : alignement des sources du Moulin à Radicatel
Structures N110°	Argument géomorphologique : linéaments N110° regroupés Correspond également à une fracturation régionale, de type microfailles ou diaclases, bien visible sur les falaises littorales

Tableau 6 : Principaux arguments utilisés pour représenter les failles supposées

2.5.3. Synthèse cartographique des données - schéma structural

Le schéma structural présenté en Illustration 48 recense l'ensemble des structures tectoniques connues ou supposées à ce jour sur l'emprise du SAGE Commerce. Nous avons différencié les structures tracées à partir d'arguments géologiques ou géophysiques (tracées en noir sur le schéma structural), des structures supposées par analyse géomorphologique, hydrogéologique, (représentées en rouge sur le schéma structural). Les linéaments sont représentés en vert.

Sur cette représentation, il apparaît que le territoire du SAGE Commerce est particulièrement compartimenté.

Important : De nouvelles investigations réalisées au cours de l'année 2020 par J. Ragot et B. Meire (non publiées) ont été partiellement reprises par David et al., (2020). Celles-ci seront complétées lors de la réalisation du modèle géologique associé à la réalisation du modèle hydrogéologique (cf. paragraphe 1.2.4)

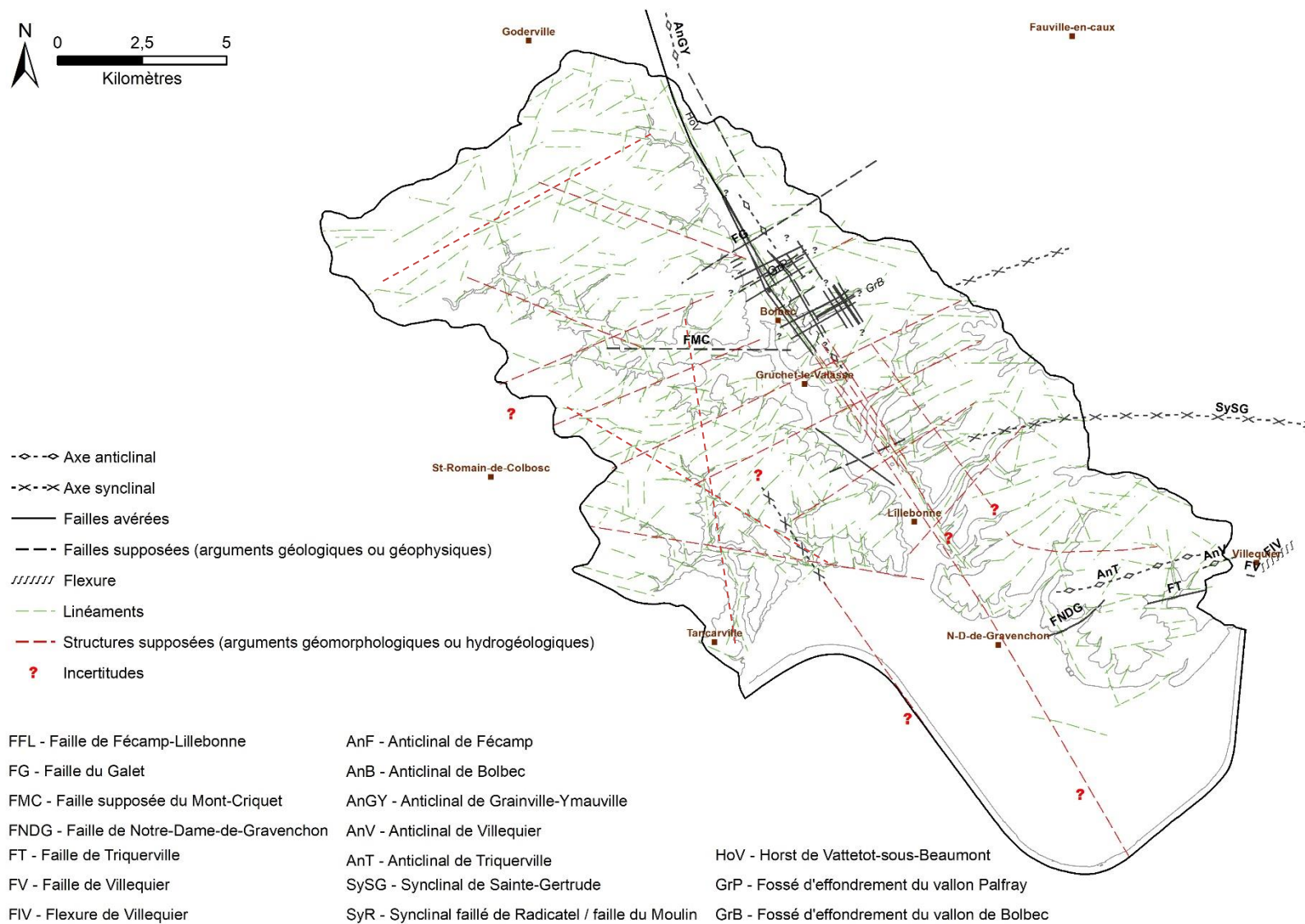
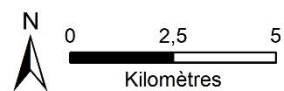


Illustration 48 : Schéma structural du SAGE Commerce

2.5.4. Coupes géologiques synthétiques

A partir de la corrélation de données de sondages disponibles dans la Banque du Sous-Sol, préalablement codées sous le logiciel de modélisation géologique GDM Multilayer®, trois coupes ont été réalisées pour visualiser la géométrie des alluvions dans les vallées du Commerce et de la Seine (Illustration 49) :

- Une coupe A-B (Illustration 50), orientée NNO-SSE, longitudinale à la vallée du Commerce entre Bolbec et Port-Jérôme, qui permet de :
 - o Présenter, dans les grandes lignes, les variabilités lithologiques des formations alluviales (alluvions fines et grossières) ;
 - o Situer l'interface entre les formations alluviales et le substratum,
 - o Caractériser la géométrie et la nature du substratum depuis Bolbec au nord jusqu'à Port-Jérôme dans la vallée de la Seine ;
- Une coupe C-D (Illustration 51), orientée OSO-ENE, transversale à la vallée du Commerce dans le secteur de Lillebonne, qui permet de préciser les variations latérales de faciès des alluvions récentes (alluvions tourbeuses, fines, ou grossières) ;
- Une coupe E-F (Illustration 52), orientée N-S entre Lillebonne et Quillebeuf-sur-Seine. Il s'agit d'une coupe transversale à la vallée de la Seine, proposée en 1931 par la S.F.A.R (Société Franco-Américaine de Raffinage), qui illustre les variations de faciès et d'épaisseur des formations alluviales de la vallée de la Seine ;

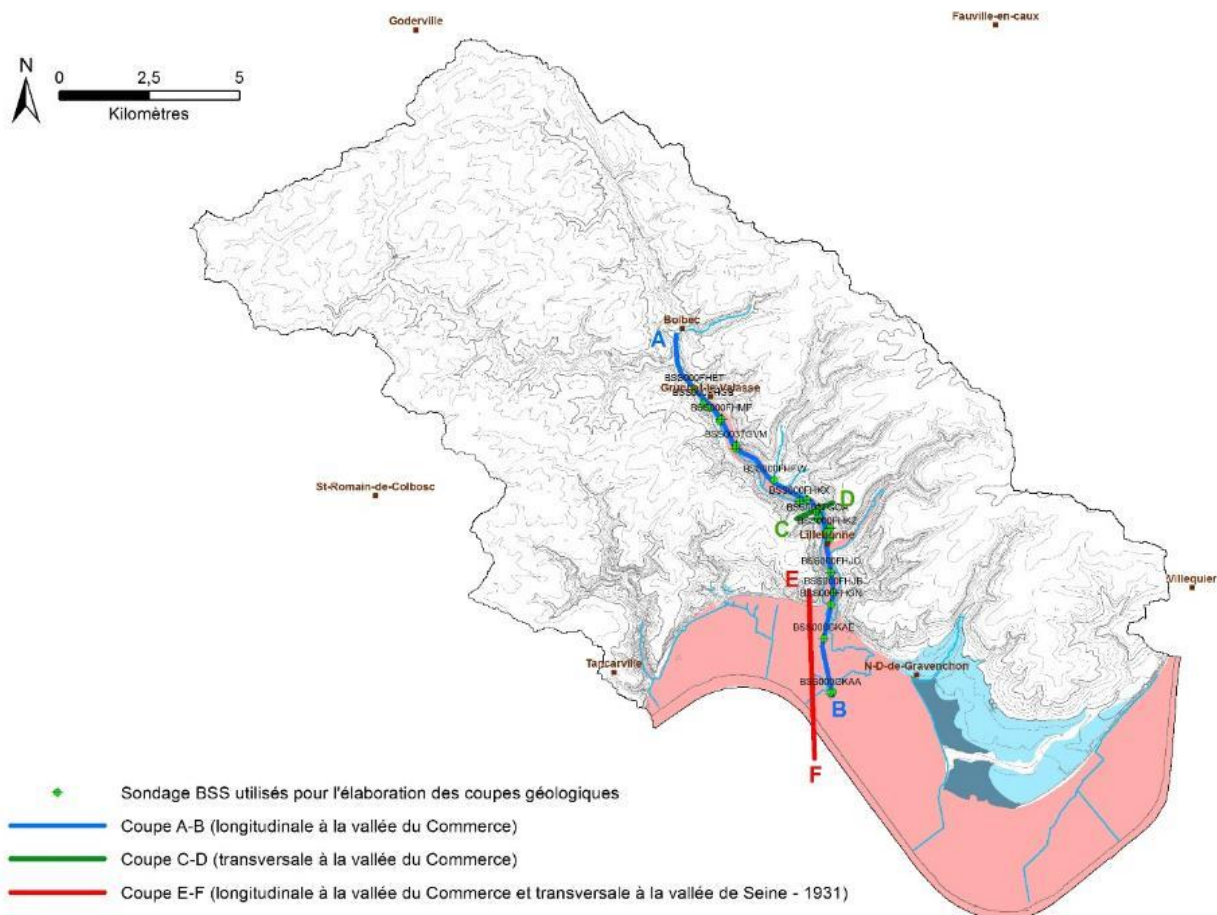


Illustration 49 : Localisation des coupes géologiques A-B, C-D et E-F

Vallée du Bolbec/Commerce

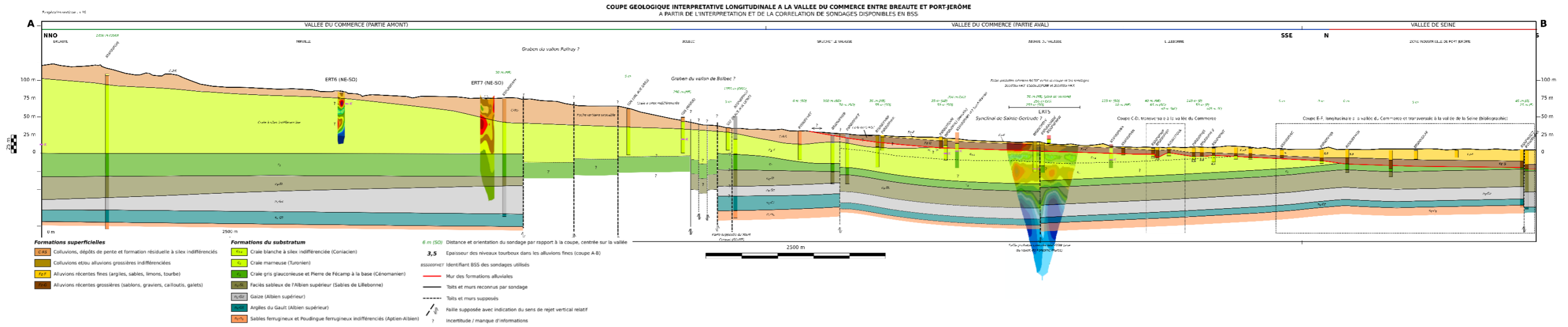


Illustration 50 : Coupe géologique interprétative longitudinale à la vallée du Commerce entre Bolbec au nord et Port-Jérôme au sud. Basée sur l'interprétation et la corrélation de logs géologiques disponibles en BSS

COUPE GEOLOGIQUE INTERPRETATIVE TRANSVERSALE A LA VALLEE DU COMMERCE DANS LE SECTEUR DE LILLEBONNE
A PARTIR DE L'INTERPRETATION ET DE LA CORRELATION DE SONDAGES DISPONIBLES EN BSS.

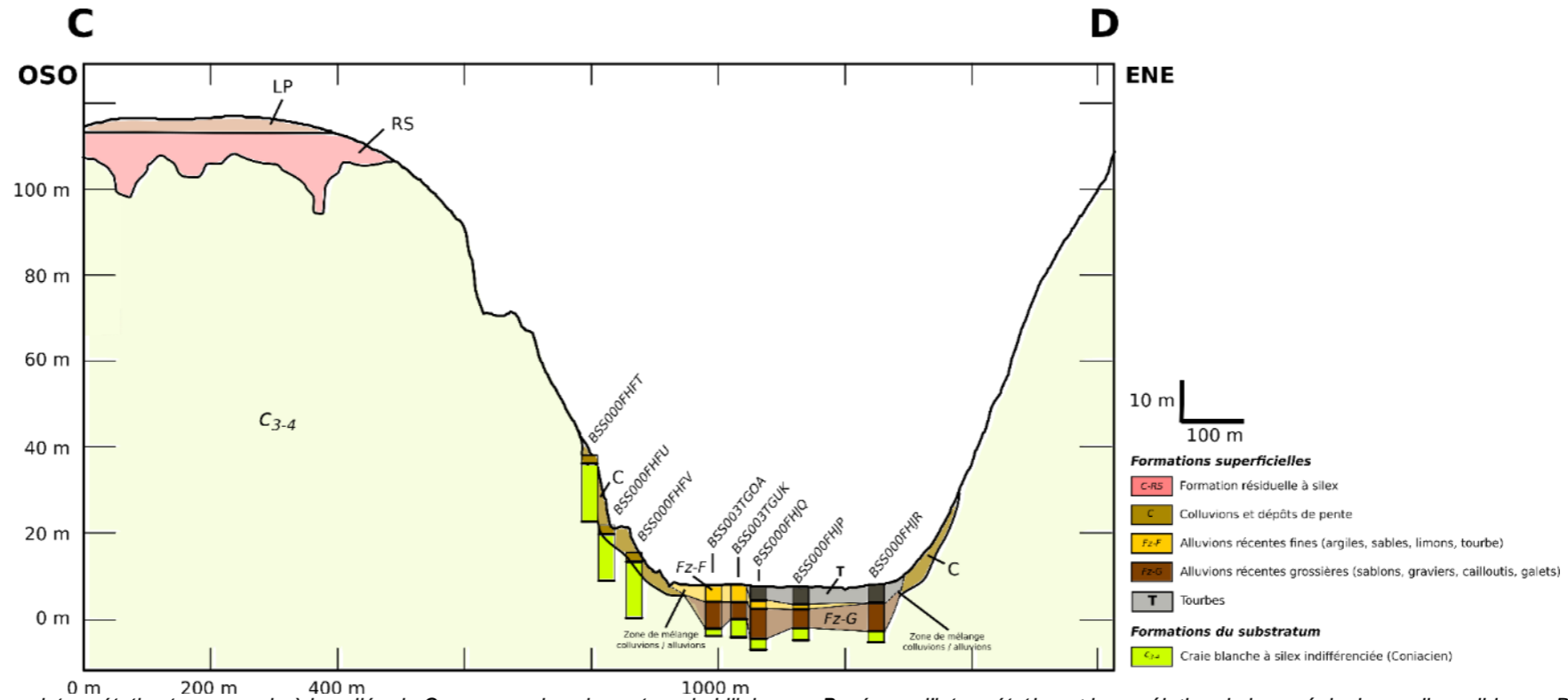


Illustration 51 : Coupe géologique interprétative transversale à la vallée du Commerce dans le secteur de Lillebonne. Basée sur l'interprétation et la corrélation de logs géologiques disponibles en BSS

Vallée de la Seine

COUPE GEOLOGIQUE DETAILLEE DU REMPLISSAGE ALLUVIONNAIRE DE LA PARTIE AVAL DE LA VALLEE DU COMMERCE ET DE LA VALLEE DE SEINE

MODIFIEE D'APRES LA COUPE GEOLOGIQUE PROPOSEE PAR LA SOCIETE FRANCO-AMERICAINE DE RAFFINAGE (1931)

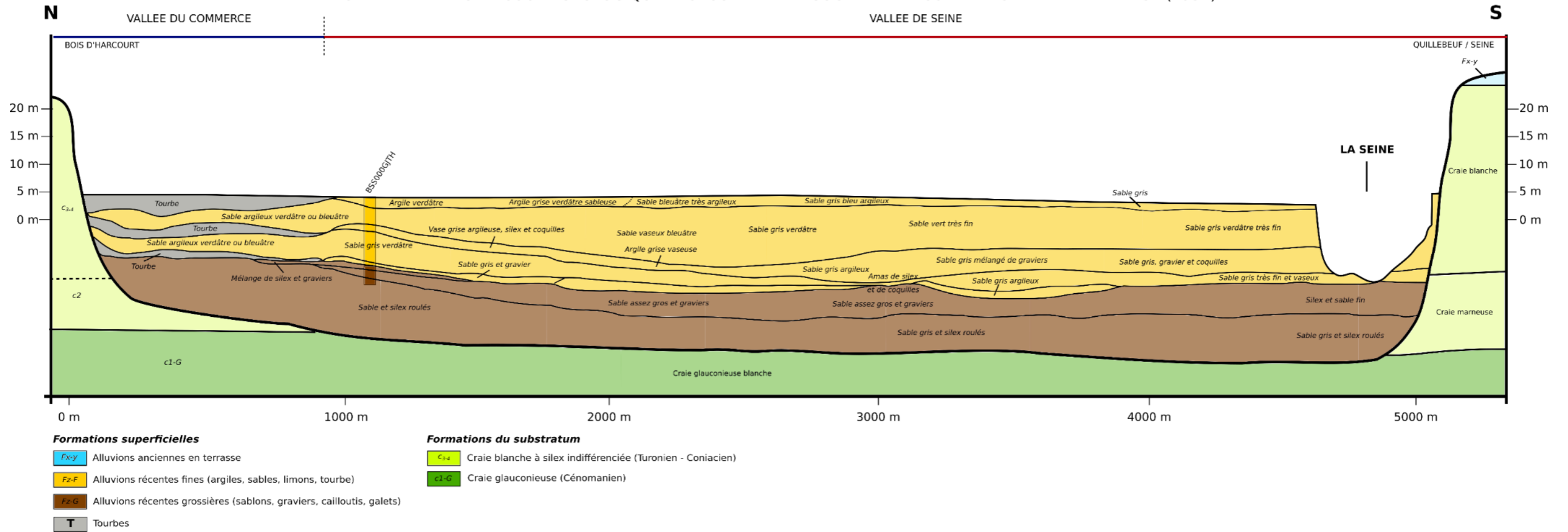


Illustration 52 : Coupe géologique détaillée du remplissage alluvionnaire de la partie aval de la vallée du Commerce et de la vallée de la Seine, entre les falaises de la rive droite et Quillebeuf-sur-Seine (modifiée d'après la coupe établie par la SFAR en 1931)

2.6. INDICES DE DEVELOPPEMENT D'UNE KARSTIFICATION

2.6.1. Généralités sur le Karst

Le karst est une structure géomorphologique résultant de l'altération chimique et mécanique sur toutes roches solubles, principalement des roches carbonatées. En Normandie, les formes de karstification sont particulièrement bien développées dans les formations crayeuses.

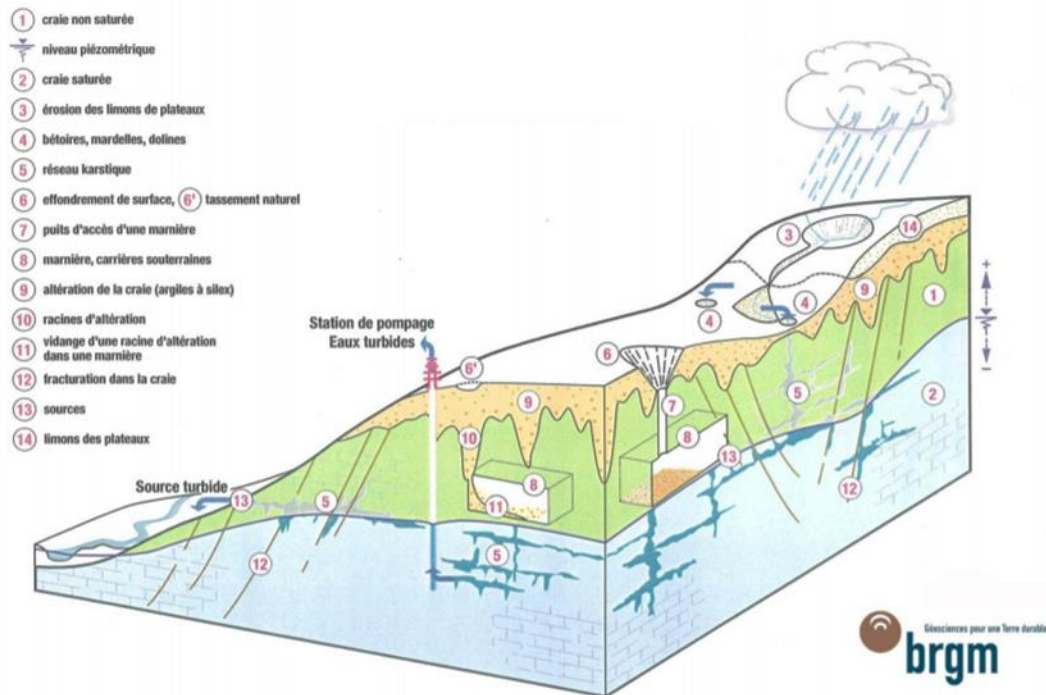


Illustration 53 : Formes de karstification du système crayeux de Normandie (source : BRGM)

Massei (2001) explique que les plateaux crayeux sont recouverts par des formations superficielles dont l'épaisseur varie spatialement tout en restant relativement importante. Ces formations superficielles sont constituées par des limons de plateaux recouvrant les altérites à silex (résidus à silex RS) qui correspondent au manteau d'altération de la Craie.

A certains endroits sur le plateau, des bétoires relient directement la surface au sous-sol. Ces figures morphologiques font partie du modelé karstique (exokarst) spécifique au Pays de Caux. Elles sont à rapprocher, par rapport aux modelés karstiques classiques, des dolines avec embuts (petits puits absorbants ou petits avens souvent présents dans le fond des dolines). Les bétoires peuvent avoir une origine naturelle (indentations ou racines du manteau d'altération dans la Craie connectées à l'épikarst) ou artificielle (puisarts, vestiges de marnières) (cf. Illustration 53).

Les formations d'altération et de recouvrement de la craie font partie intégrante du système karstique Normand et en font même sa spécificité. Elles sont en effet, toujours reliées à la zone épikarstique (Rodet, 1993). L'importance des formations superficielles et d'altération va donc jouer un rôle dans le drainage karstique en permettant la concentration des écoulements, favorisée par la morphologie plus ou moins enracinée de ces formations et des faciès plus ou moins drainants que l'on peut y rencontrer.

2.6.2. Mise en place du karst de la craie

Contrôle du développement du karst

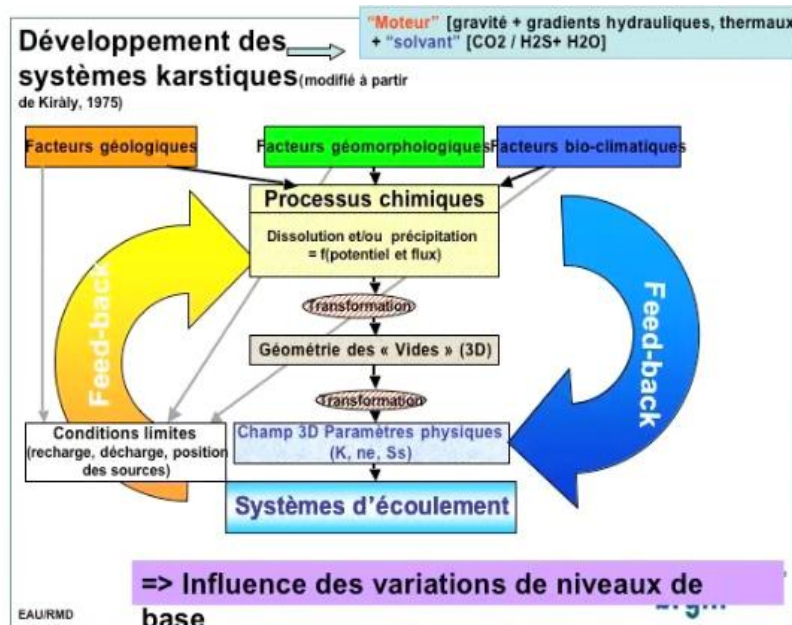


Illustration 54 : Cabllero Y. d'après les travaux de Király, 1975

La mise en place d'un système karstique dans les formations crayeuses dépend de plusieurs facteurs (Illustration 54) :

- **l'état de fracturation de la craie**, qui varie principalement selon les lithofaciès et selon la position géomorphologique (plateau, vallée etc.). Ce facteur joue un rôle prépondérant dans la mise en place des karsts puisque les processus d'écoulements souterrains, à l'origine de la dissolution de la craie et de la formation des karsts, se feront préférentiellement dans la craie fracturée. L'exemple des sources de Radicatel est un bon exemple de la relation entre fracturation et karstification. Deux familles de fractures affectent les formations crayeuses :
 - o les fractures liées aux déformations tectoniques (failles et diaclases), qui présentent une orientation similaire ou associée aux accidents régionaux ou locaux ;
 - o les fractures de détente, liées aux contraintes de décompression que subit le massif crayeux lors des phases de creusement des vallées. Cette fracturation présente globalement une orientation pseudo-parallèle aux vallées, et se retrouve préférentiellement en bordure de plateaux, mais également à la surface des plateaux et fond de vallées sèches ou humides, par érosion (Rodet, 1991, Massei, 2001) ;

La répartition de la fracturation, alliée aux caractères intrinsèques des formations crayeuses (porosité, perméabilité), influe sur les dynamiques hydrogéologiques (cf Tableau 7 ci-après).

- **Les variations du niveau de base** (Rodet, 1981), représenté la plupart du temps par le toit de la nappe de la craie (surface piézométrique), ou par un niveau stratigraphique peu perméable ou imperméable (*hard-ground*, lit de silex continu, niveau argileux). A noter que lorsque le niveau de base (toit de la nappe) est déconnecté de la rivière (cas des vallées suspendues), l'activité karstique semble plus intense (cas du Sec-Iton dans la vallée de l'Iton par exemple) ;
- **Le facteur altimétrique** (Rodet, 1981), qui permet de créer la dénivellation nécessaire aux processus de drainages par la fissuration, à l'origine du karst. La présence de forts contrastes morphologiques semble donc être un facteur favorable au développement du karst ;
- **Le facteur lithologique**, d'après Rodet (1981), le karst de la craie est principalement établi dans les faciès du Cénomanién supérieur, dans les assises peu marneuses du Turonien et dans les craies du Sénonien, qui présentent un comportement homogène en grand, favorable au drainage karstique. A l'échelle régionale, ces faciès crayeux présentent un comportement relativement homogène face à la karstification (Rodet, 1991), mais localement, un contraste entre deux niveaux crayeux de perméabilité différente (comme les *hard-ground*) peut induire la mise en place de drainages karstiques. Le niveau le moins perméable constituera un niveau sur lequel les écoulements vont se concentrer, facilitant les phénomènes de dissolution au sein de l'aquifère – cf. paragraphe 4.1.1. sur le développement du karst au niveau des figures sédimentaires de la craie (Gaillard et al., 2018).

Le Tableau 7 suivant récapitule certaines caractéristiques mécaniques des principales unités stratigraphiques du territoire d'étude.

Etage géologique	Faciès	Porosité	k (mildarcy) (Laignel, 2003)	%CaCO ₃	Etat de fissuration (Rodet, 1975)	Susceptibilité à la karstification	Type de porosité
Sénonien	Craie blanche à silex	30-40 %	1,1 – 6,5	94 - 97 %	Fissuration en maille serrée, de l'ordre du décimètre	Forte à très forte	Karstique Fissurale Matricielle
				93 - 98 %			
				87 - 98 %			
Turonien	Craie marneuse	25-50%	0,1 – 4,1	85 - 97%	Fissuration cassante et bien marquée sur le bord des vallées		
Cénomanién supérieur	Craie de Rouen	15-40%	0,1 – 13,1	70 - 95 %			
Cénomanién inférieur	Craie glauconieuse			70 %	Très fissuré, fissuration anarchique	Médiocre	

Tableau 7 : Caractéristiques des étages géologiques vis-à-vis de la fracturation et de la karstogenèse (rapport BRGM/RP-66861-FR ; 2017)

A noter : Ces généralités sont toutefois à relativiser aujourd'hui avec les éléments mis en avant dans cette étude, celle de David et al. (2020) et les études récentes de Gaillard et al., (2018).

Des études récentes tendent à montrer que la faille de Fécamp-Lillebonne, comme la faille de la Seine, connaissent encore une activité sismique ; témoignant ainsi que le paysage géologique de Normandie orientale n'est pas figé mais au contraire encore dynamique (Meire et al., 2019). Les mouvements tectoniques récents, alpins à actuels, ont en effet favorisé la karstification de l'ensemble du système crayeux, en particulier au niveau de secteurs ayant fait l'objet de mouvements verticaux.

Il a pu ainsi être mis en évidence des écoulements rapides même dans le Cénomaniens inférieur et au niveau de la gaize. Cette karstification dans les craies et formations cénomaniennes est connue ailleurs en Seine-Maritime : à Limesy par exemple, où ces mêmes unités lithostratigraphiques se trouvent dans un contexte tectonique relativement similaire et sont sub-affleurantes.

La formation de la Gaize inférieure (non décrite dans le tableau ci-dessus), bien que peu perméable⁵, semble également se comporter comme un milieu fracturé / karstifié au voisinage du système faillé de Fécamp-Lillebonne, puisque des fractures ouvertes aux épontes calcifiées et argilisées ont été observées sur un sondage carotté en vallée de Bolbec. Ces fractures ouvertes favoriseraient des circulations rapides dans cette formation, comme en témoigne le traçage réalisé dans le sondage BSS000FHLA (David et al., 2020).

Morphologie des systèmes karstiques crayeux

Les systèmes karstiques s'organisent généralement autour (Illustration 55) :

- D'un système d'introduction,
- D'un système de transport et de stockage,
- D'un système de restitution.

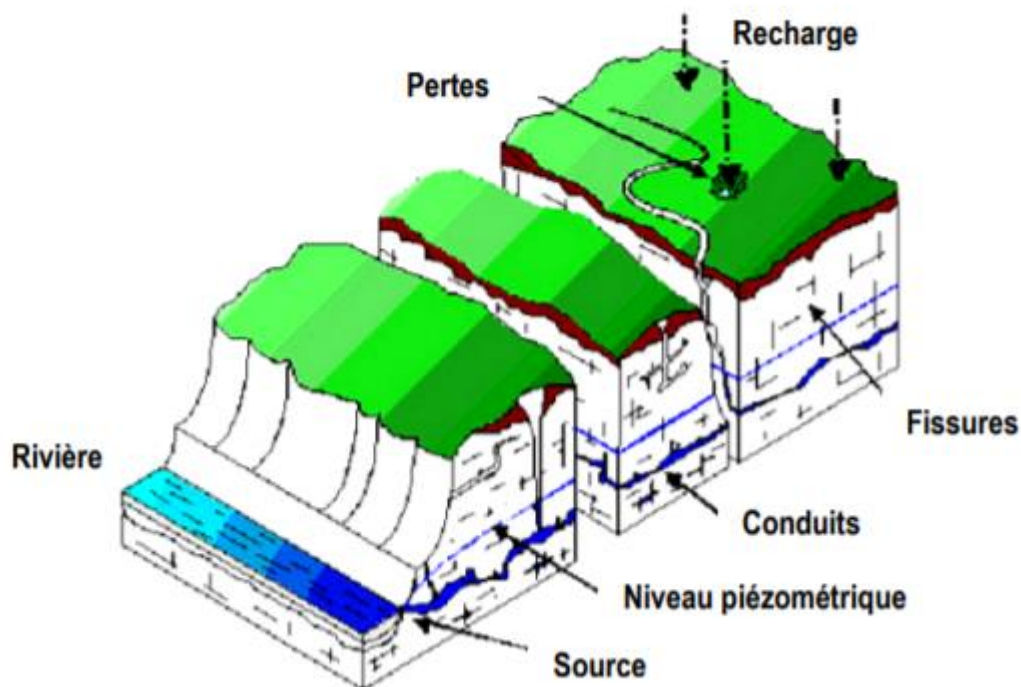


Illustration 55 : Schéma d'un système karstique (Geyer, 2008)

⁵ Des analyses de perméabilité réalisées sur deux échantillons de Gaize prélevés sur le sondage carotté (SC-3) donnent des valeurs comprises entre $3,5 \cdot 10^{-7}$ (et $1,2 \cdot 10^{-10}$ m/s pour les argiles du Gault sous-jacentes).

Points d'engouffrement rapides sur les plateaux : les bétoires

Le terme de bétoire est une appellation régionale pour désigner diverses structures ou formes particulières, appartenant à l'exokarst. C'est-à-dire qu'il s'agit de structures visibles en surface du système karstique. Elles prennent la forme de dolines de toute tailles (décimétriques à plurimétriques) : dépressions circulaires, le plus souvent en forme d'entonnoir, se formant par altération/érosion du massif crayeux et sont le plus souvent connectées au réseau karstique profond ou souterrain (endo-karst). Ces zones déprimées constituent alors des points d'infiltration préférentielle des eaux de surface vers la nappe phréatique, elles appartiennent au système d'introduction (Illustration 56).

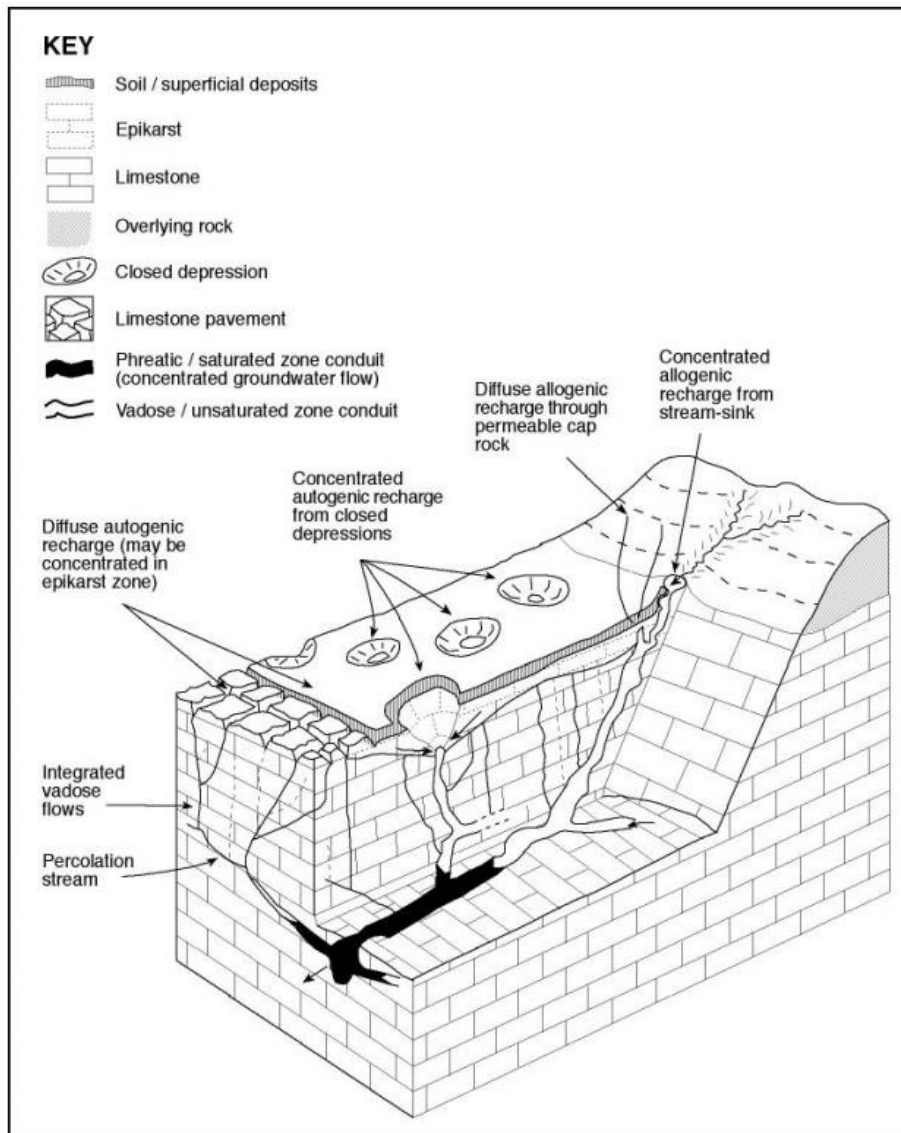
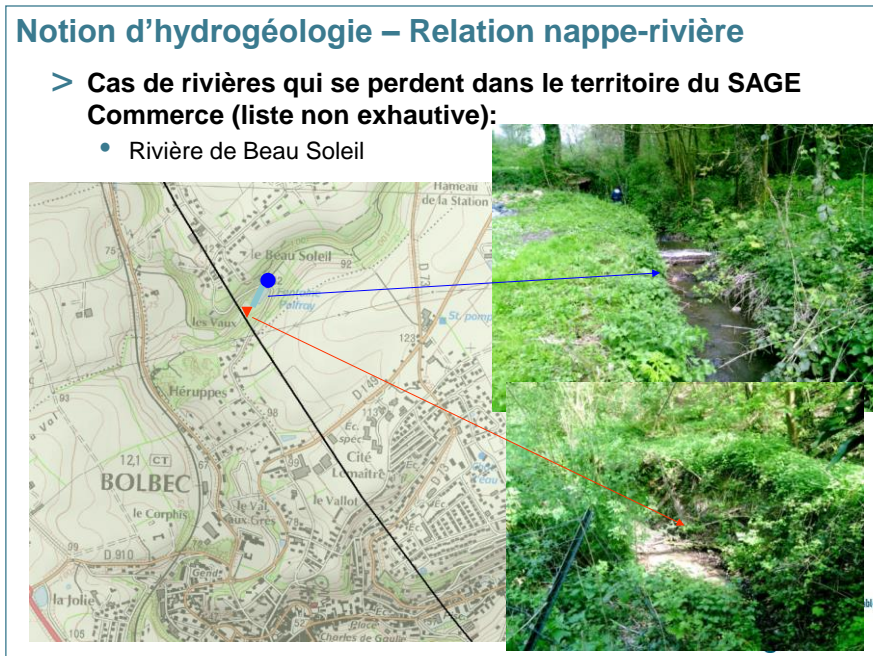


Illustration 56 : Modèle conceptuel des différentes configurations d'infiltration du karst, Gunn (1986)

Les bétoires pourraient par conséquent contribuer au développement des réseaux déjà formés dans d'autres conditions, accentuant ainsi le degré d'hétérogénéité du karst de la Craie (Masséi, 2001).

On remarque également que dans certains cas, les bétoires peuvent être réparties sur des axes tectoniques majeurs ; c'est le cas de la perte du Bébec (qui se situe à l'aplomb de la faille de

Triquerville), mais également d'autres situées le long de l'accident Fécamp-Lillebonne au nord de Bolbec (comme par exemple la béttoire « beau soleil » à Nointot (Illustration 57) ou encore la perte du ruisseau de Mirville).



vendredi 27 mars 2020

Illustration 57 : Exemple de la perte de la rivière de Beau Soleil dans le Vallon Palfray dans une béttoire située au droit de la faille Fécamp-Lillebonne, Nointot

Le système de transport et de drainage (endo-karst)

Massei (2001) indique que l'écoulement souterrain dans l'aquifère crayeux est assuré soit par la double-perméabilité de la Craie (matrice crayeuse et fracturation), soit par le karst, l'un et l'autre mode de transport pouvant se relayer mutuellement au cours du transfert vers l'exutoire. Le karst de restitution (i.e., les exutoires karstiques) est quant à lui contrôlé par l'altitude du niveau de base, dont les variations au cours des temps géologiques ont engendré la formation de plusieurs niveaux de drainage karstique aboutissant finalement à une structure de karst étagé. Dans le Pays de Caux, le niveau de base est directement contrôlé par le niveau de la mer pour les systèmes karstiques littoraux, alors qu'il correspond au niveau de la Seine pour les systèmes karstiques « continentaux » développés entre les plateaux et la vallée de la Seine.

Dans le cas du karst de la Craie, des études ont montré que la fracturation ne joue pas un rôle prépondérant dans la karstification (Maqsoud (1996), Lepiller (1993) in Maqsoud (1996) qui serait alors contrôlée presque exclusivement par le potentiel hydraulique. Dans ces conditions, le karst de la Craie est plutôt considéré comme un karst gravifique dont le développement est fonction du gradient hydraulique, de la production de CO₂ dans les sols, et d'une infiltration rapide liée à l'absence d'une couverture notable. Cependant, le cas du système karstique de Caumont dans l'Eure, Rodet (1992) montre clairement que comme pour les karsts de pays calcaires, la fracturation du massif favorise de manière non négligeable la karstification de la Craie. Dans les conditions actuelles, la quasi-totalité du réseau karstique est développée sur la fracturation.

L'évolution du karst de la Craie de plateaux du Pays de Caux comprend de cette manière deux étapes principales, Rodet (1991) :

1. une phase de mise en place du réseau, à laquelle contribuent plusieurs paramètres (fracturation, climat, potentiel hydraulique, lithologie, importance des formations de recouvrement...) dont les pourcentages de contribution sont variables et potentiellement différents pour chaque cas. Cette étape conduit elle-même à différents types de karsts, dont une typologie a été établie par l'auteur ;
2. une phase d'utilisation de drains pré-existants aboutissant à l'augmentation de l'hétérogénéité du réseau : les formations de recouvrement concentrent les introductions d'eaux de surface vers les bêtouilles en accentuant le phénomène de karstification différentielle dans l'épikarst puis dans l'endokarst.

Meire et al. (2019) indique que les conduits karstiques se développent préférentiellement autour de failles et fractures existantes (suivant le plus souvent, les plans de fracturations), mais aussi au niveau de la zone de contraste entre deux niveaux de perméabilité différente. Par exemple du contact entre une craie perméable sus-jacente à une craie argileuse, moins perméable ou au niveau de surface d'érosion : les fameux hard-ground ; le niveau le plus imperméable constituera le mur. Gaillard et al. (2018) indique que ces interfaces, où l'on retrouve les conduits karstiques, se concentrent au droit de zones sédimentaires aux géométries complexes (rides convexes) soulignant des zones de courant où les faciès vont se condenser et même parfois marquer des arrêts de la sédimentation et d'érosion.

Le karst de restitution : les sources

Massei, (2001) indique dans sa thèse que du point de vue morphologique, les exutoires karstiques peuvent être séparés en trois catégories (Rodet, 1991) : les sources de contact, où le toit de la nappe coïncide avec la topographie (l'écoulement souterrain devient superficiel), les sources de déversement (aussi appelées « à niveau de base suspendu ») et les sources de débordement. Ces dernières correspondent à des émergences en surface libre à un endroit où la nappe est mise en charge. C'est le cas de quelques sources de la vallée de la Seine, comme la source du Hannebôt (ou de Radicâtel où la ressource est exploitée par des sources et forages). La nappe de la Craie devient semi-captive, se retrouvant quasiment en charge sous les alluvions fines de la Seine (cf. Illustration 58).

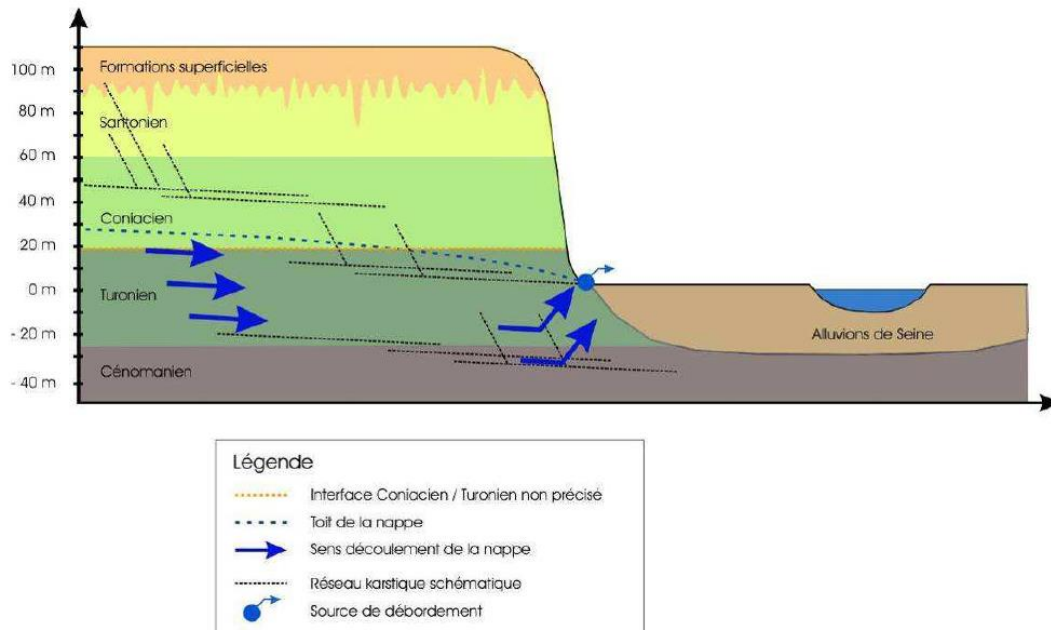


Illustration 58 : Schéma de principe du fonctionnement des sources de Radicâtel (SAFEGE, 2012)

Organisation spatiale

D'après Rodet (1981), les karsts de la craie sont des karsts de concentration et de restitution, c'est-à-dire qu'ils se forment par érosion régressive à partir des émergences situées dans la zone où la surface piézométrique rencontre la surface topographique.

La géométrie classique d'un karst de concentration a été reconnue notamment dans les conduits explorés le long de la vallée de la Seine, notamment le réseau karstique de Caumont dont le réseau très développé, 8 km de drains, et complexe illustre des fonctionnements de types réseau en tresses ou deltaïques pour le karst de restitution, au cours des variations du niveau de base (Masséi., 2001, Rodet., 1991, Calba., 1979). Elle est représentée sur l'illustration 59 et Illustration 60 suivantes.

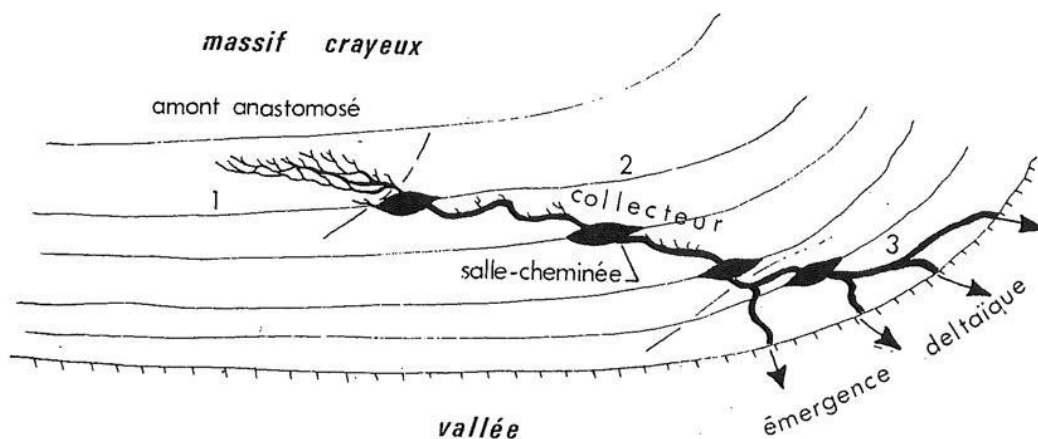


Illustration 59 : Organisation spatiale d'un réseau karstique de concentration dans la craie (Calba et al., 1979)

Toutefois, les différents types de morphologie karstique observables dans le Pays de Caux et dans le reste de la Normandie sont induits par des régimes de fonctionnement différents, et peuvent parfois représenter les différents stades de la formation d'un système karstique. Quelques exemples morphologiques généraux sont représentés sur l'illustration 60 suivante.

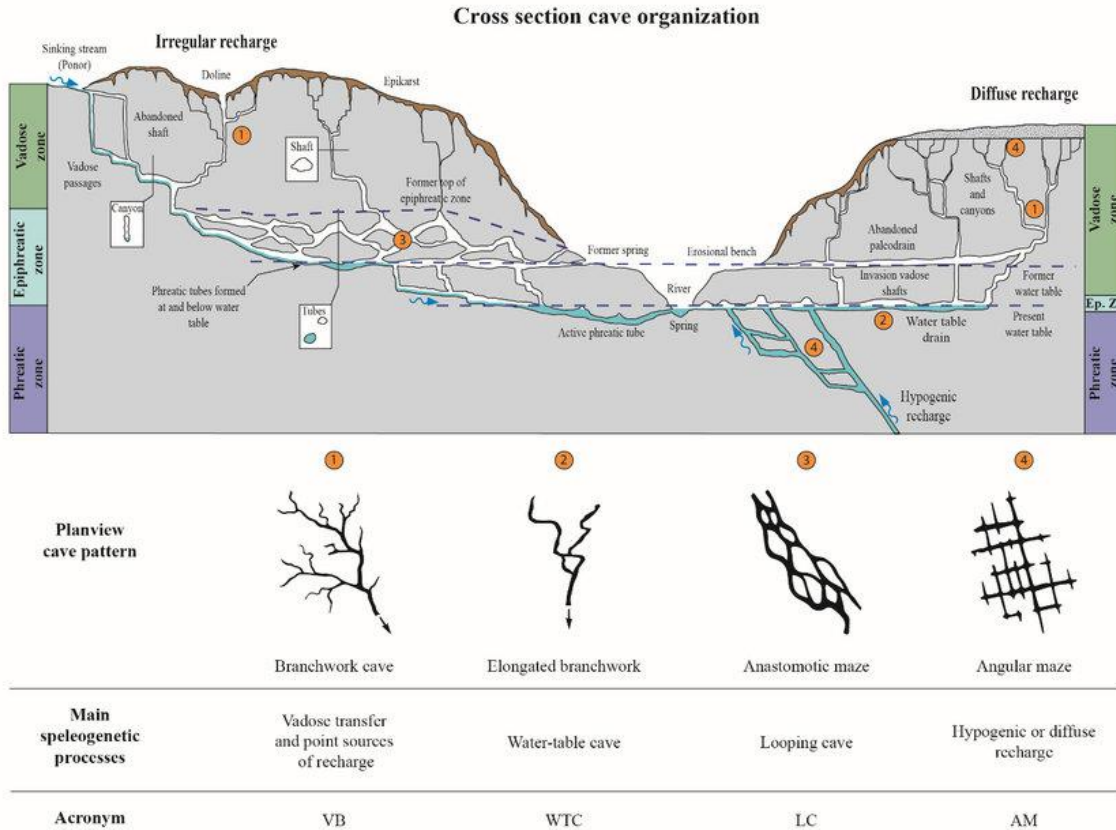


Illustration 60 : Différentes géométries de conduits karstiques, liens supposés avec leur position par rapport au niveau de base (Jouves et al., 2017)

Les phases successives de transgressions/régressions modifient la position du niveau de base et par là même, le gradient hydraulique. Ces variations ont pour conséquence d'engendrer un étagement des réseaux karstiques (Hanin., 2010, Rodet., 1991).

Sur le secteur du SAGE Commerce, Rodet 2007, Massei, 2001 indiquent qu'une partie des structures karstiques est située sous le niveau de base actuel depuis la fin de la transgression flandrienne (karst noyé). Une autre partie, parfois complètement déconnectée de l'activité hydrogéologique actuelle, se trouve aujourd'hui perchée au-dessus du niveau de base et va prendre en charge des circulations temporaires ou pérennes secondaires (cf. Illustration 61).

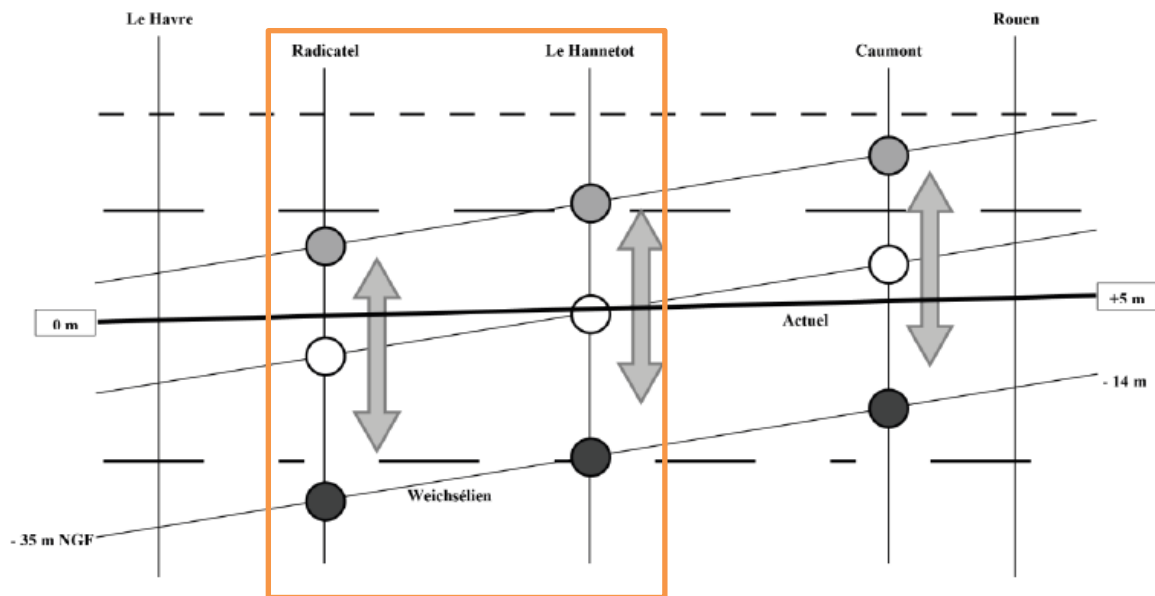


Illustration 61 : Variations du niveau de base régional et ses conséquences sur le karst en basse Vallée de la Seine (Rodet, 2007), modifié. En Orange, la représentation schématique de l'emprise du SAGE de la vallée du Commerce.

Pour la zone du SAGE Commerce, la morphologie des systèmes karstiques serait donc héritée des variations du niveau de base (niveau de la mer et de la Seine) en particulier au cours des périodes récentes de successions glaciaires/interglaciaires.

La présence d'accidents majeurs, comme la faille de Fécamp-Lillebonne, de Triquerville, et des failles associées comme celle du Moulin à Radicatel, a très certainement eu un impact sur la mise en place des réseaux karstiques (mise en contact de faciès très différents, modification des propriétés du réservoir par la fracturation, etc...). Toutefois, les accidents majeurs ne sont certainement pas les seules structures tectoniques à favoriser la mise en place de conduits karstiques. En effet, les observations effectuées en Normandie crayeuse, sur le littoral ou en cavités souterraines, tendent à démontrer que des structures mineures de type diaclase peuvent également être à l'origine d'un développement karstique important. Les travaux récents de Gaillard et al. (2018) ont permis de montrer que les conduits karstiques observés sur le littoral, se concentrent sur des discontinuités lithologiques observées au droit de zones sédimentaires aux géométries complexes (rides convexes) soulignant des zones de courant où les faciès vont se condenser et même parfois marquer des arrêts de la sédimentation et d'érosion favorisant le développement de *Hard-Ground*.

L'ensemble de ces paramètres expliquent probablement la complexité de l'organisation spatiale du karst de la craie.

On retrouve alors les conditions de mise en place de réseaux de restitution complexes, présentant des diffuences latérales et verticales de forme deltaïque (Lepiller., 1975 ; Calba et al., 1979 ; Rodet., 1991, Hanin., 2010).

2.6.3. Karstification sur le territoire du SAGE Commerce

Nous proposons de rapporter ci-après les principaux éléments caractéristiques des 3 systèmes karstiques emblématiques de ce secteur.

- **Système karstique associé à la faille de Triquerville**

Ce système a fait l'objet de plusieurs études détaillées par la faculté de Rouen, on dispose donc d'une littérature relativement abondante sur le fonctionnement de ce système karstique : Masséi (2001), Fournier (2006), Dupont (2008), Duran (2015),...

L'un des points les plus notoirement connus de ce système est la perte du ruisseau le Bébec au niveau du hameau du Quesnay sur la commune de Triquerville (Illustration 62). Les eaux de ce petit cours d'eau s'engouffrent totalement dans une bétoire, représentant le système d'introduction, et ne reprennent leur cours que lorsque la perte est saturée (prenant le cours de la Ravine).

L'un des exutoires connus de cette perte est la source du Hannetot située dans la vallée de la Seine à 2 km environ au sud-est (connexion mise en évidence par des colorations, voir paragraphe 4.5.2).

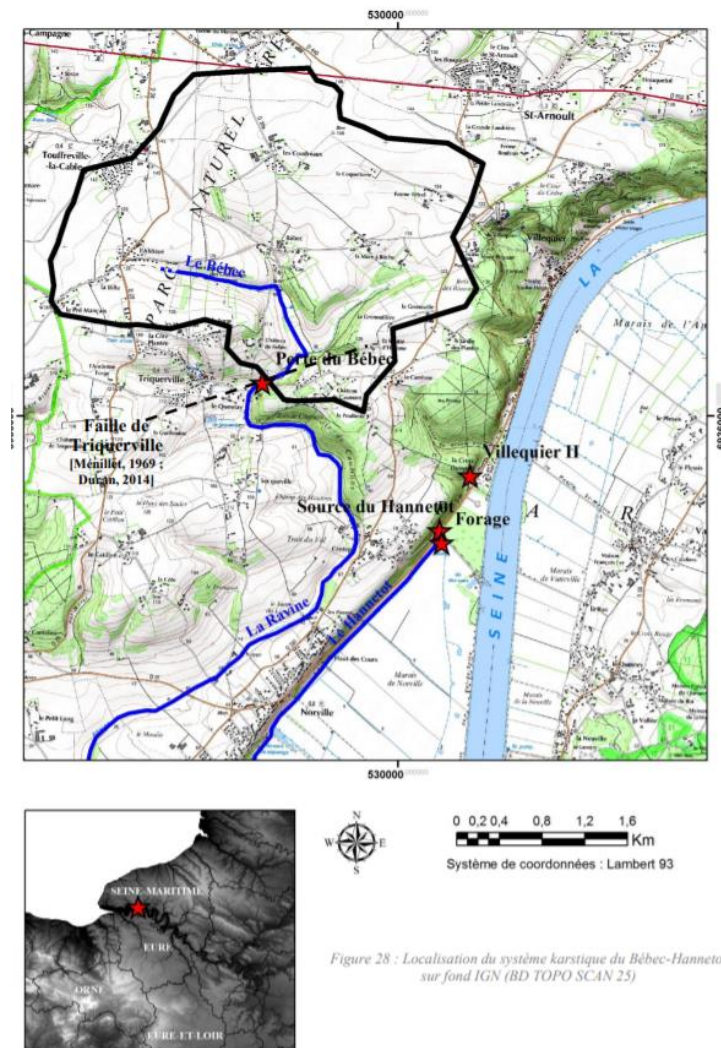


Illustration 62 : Perte du Bébec à Triquerville, Chedeville (2015)

Selon les informations fournies par la carte géologique, cette béttoire serait positionnée au droit du système faillé de Triquerville décrit au paragraphe 2.5.4.

Des résultats récents d'investigations géophysiques réalisées par L. Duran en 2015 sur cette zone montrent en effet que :

- Il existe un fort contraste sur les résultats des mesures d'EM34 (Illustration 63 électromagnétique) sur le champ vertical entre les formations affleurant au nord, représentées par des sables cénomaniens et argiles de Gault (très conductrices, couleurs orangées), qui s'opposent avec les formations du bloc sud de craie sénonienne (couleur verte, plus résistantes). Cette zone de contraste soulignerait la présence du système faillé de Triquerville-Villequiers mentionné sur la carte géologique.

Le champ horizontal montre lui aussi un décrochage dans les valeurs à l'ouest de la zone étudiée qui pourrait annoncer une structure secondaire ou la faille de Notre Dame de Gravenchon, située 1 km plus à l'ouest.

- Les profils électro-magnétiques et de mesure du potentiel spontané autour de la perte ont montré l'existence d'une fracturation secondaire, possiblement associée à un drainage karstique (Illustration 64 cf. flèches matérialisant les écoulements supposés).

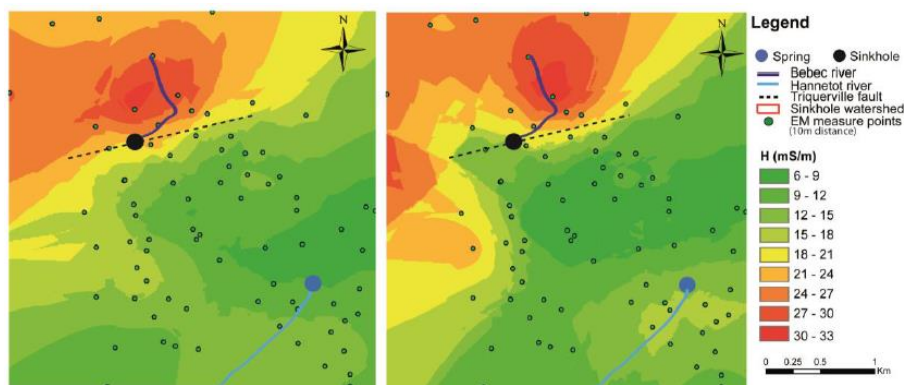


Illustration 63 : Investigations EM34, mesures du champ vertical à gauche et horizontal à droite (Duran, 2015).

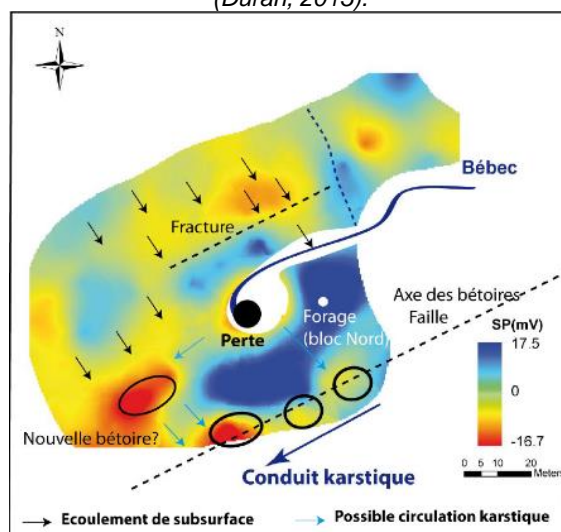


Illustration 64 : Compilation des données de mesures de potentiel spontané autour de la zone de perte (Duran, 2015)

Les indices présentés par L. Duran (2015) sur l'illustration 64 pourraient souligner l'existence d'un endokarst (système de drainage souterrain) connecté à la perte principale ainsi qu'à d'autres dépressions. Ces liens sont supposés pour le moment et n'ont pas fait l'objet d'investigations complémentaires (sondages notamment).

Un autre élément singulier est rapporté sur ce secteur : les effondrements multiples survenus, au niveau du hameau de Canteleu entre Notre Dame de Gravenchon et Norville, dans et autour des bassins de stockage des eaux de l'usine de traitement des eaux de Norville. Cette série d'effondrements spectaculaires sont intervenus au début des années 80. Les expertises menées par Mathon et al. (1981) et par Mathon (1987) ont conclu à la ruine d'une ou plusieurs cavités karstiques suffisamment importantes pour avoir pu engouffrer la quasi-totalité des 60.000 m³ d'eau contenus dans les bassins et également une quantité importante de matériaux (Illustration 65).

Les auteurs mettent en avant la proximité des systèmes faillés de Triquerville et de Fécamp-Lillebonne, dont la jonction est encore aujourd'hui inconnue, pour expliquer l'existence de tels systèmes karstiques.



Illustration 65 : Effondrements multiples survenus dans les bassins de stockage de Norville au début des années 1980 (source : BRGM)

L. Duran (2015) a estimé dans ses travaux l'emplacement des conduits, entre la perte et la résurgence principale du Hannetot. Ce travail a abouti à la proposition de 3 hypothèses de tracés, obtenus en croisant les données issues de la géophysique (notamment d'identification des structures d'infiltration), et de l'analyse des opérations de traçages réalisées entre la perte et sa résurgence.

L'analyse des données de traçage a notamment fourni des estimations sur le dénivelé et les longueurs des conduits dont la longueur est supposée de 3000 à 3500 mètres. Les 3 hypothèses de positionnement de l'endokarst sont présentées sur Illustration 66.

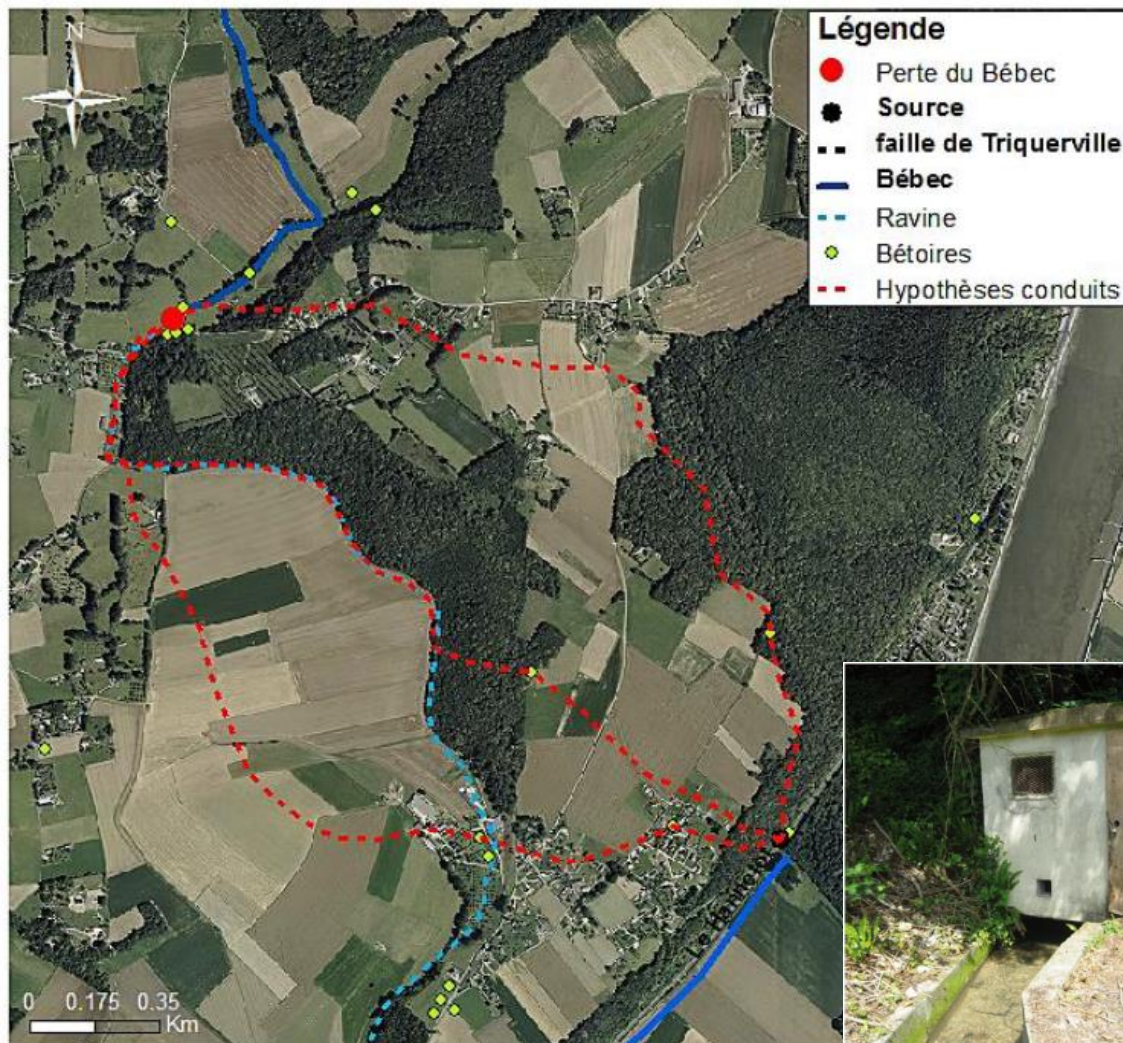


Illustration 66 : Représentation des conduits souterrains du système karstique du Bébec, hypothèses d'emplacement des conduits et exutoire du Hannetot (Duran L., 2015) modifié.

Le réseau karstique de Villequier est encore un autre cas emblématique de ce secteur. Ce système de conduits, exploré par les spéléologues serait selon toute vraisemblance, l'emprunte fossile d'un drain karstique développé lorsque le niveau de base du fleuve se situait à une cote légèrement supérieure à celle d'aujourd'hui (cf. Illustration 66). Il s'agirait donc d'un réseau fossile.

Néanmoins, ce réseau constitue probablement, encore aujourd'hui, un niveau de trop plein du réseau actuel. Des écoulements temporaires attesteraient de ce fonctionnement qui se produirait uniquement lors des fortes pluies (Rodet., 2016, Lepiller., 1975). Sa position se situe à proximité de la position la plus orientale des tracés proposés par L. Duran (lieu-dit la Croix Dussault).

NB : Ce réseau n'est plus aujourd'hui explorable suite à l'effondrement de l'entrée de la cavité.

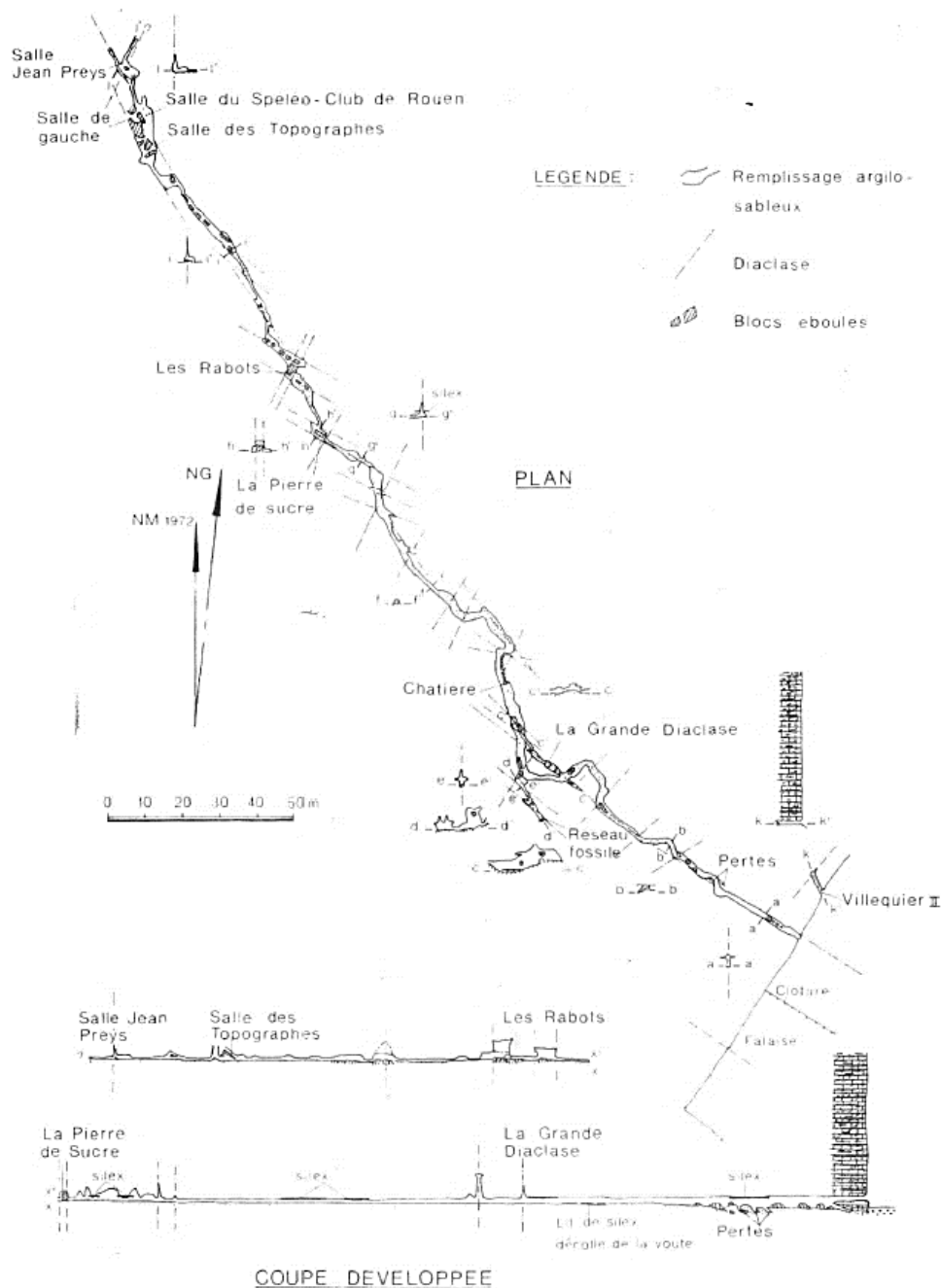
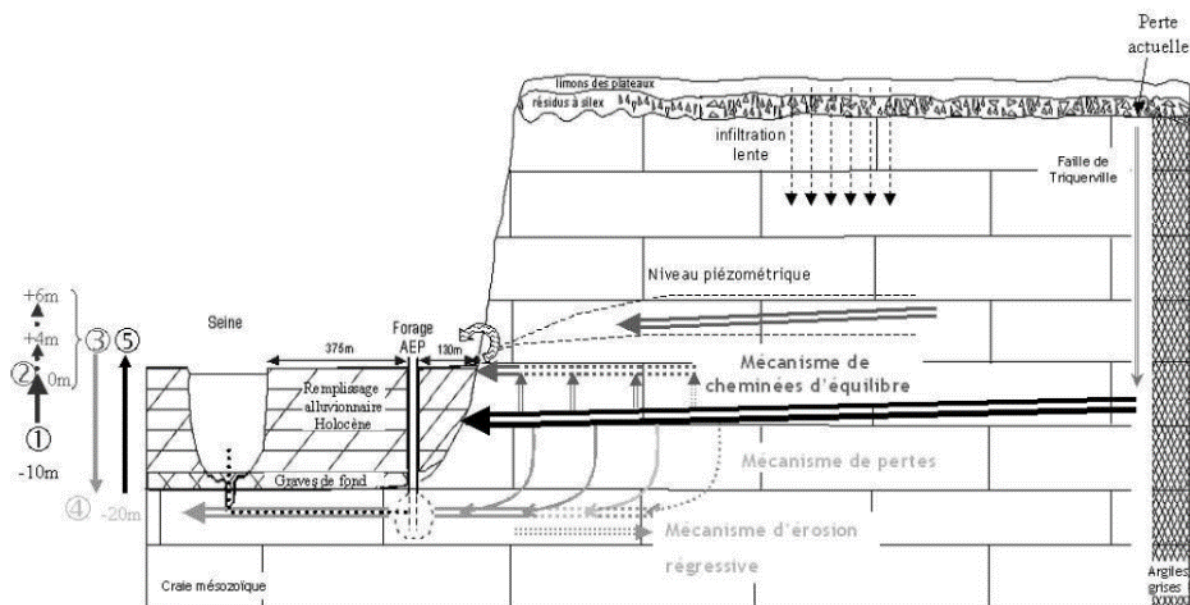


Illustration 67 : Plan et coupe des conduits karstiques du réseau de Villequier (source : M.Lepiller, 1975 in Rodet J., 2016)

Cet exemple illustre donc parfaitement les processus qui conduisent à l'étagement des conduits décrits plus avant au paragraphe 2.7.2.

Concernant le réseau de restitution, Masséi (2001) puis Fournier (2006) démontrent, à partir de mesures réalisées sur le forage d'AEP de Norville (BSS000GKRC), qu'une partie non négligeable des écoulements se fait aussi de manière diffuse dans le complexe alluvio-crayeux en aval de la source. Ainsi la source du Hannetot ne constituerait pas l'unique point de sortie du système de restitution, celui-ci serait probablement plus complexe et étagé comme le suggère l'illustration 68 suivante. Les auteurs émettent l'hypothèse de la présence de conduits noyés connectés avec la plaine alluviale via des sorties occultes.



Phase ① = percée hydrokarstique lors de la régression saaliennne (-10m NGF)

Phase ② = transgression eemienne

Phase ③ = delta karstique eemien (étagement et diffluence des émergences) => mise en place des conduits à 0m, +4m voire +6m NGF à Villequier.

Phase ④ = régression weichselienne (-20m NGF)

Phase ⑤ = transgression flandrienne => réutilisation en surverse et recalibrage du paléo-drain à +4m NGF voire +6m NGF en fonction des fluctuations du niveau piézométrique.

Illustration 68 : Hypothèse de mise en place du système karstique du Hannebot au cours du Quaternaire (Fournier, 2006)

• **Système karstique associé à la faille Fécamp/Lillebonne**

Plusieurs systèmes karstiques sont associés à la structure faillée dite « Fécamp/Lillebonne ». On peut en citer au moins deux qui ont été étudiés dans le cadre de l'étude liée à la pollution de Nitrosomorpholine (David et al., 2020-) :

- Le système karstique d'Yport : un des plus vastes système karstique de la région Normandie, dont le Nord du bassin versant du Commerce constitue la partie la plus méridionale du karst d'introduction de ce système. Le système karstique d'Yport a été récemment décrit dans deux publications⁶ (Roux J.-C., Gaillard Th. et Hauchard E. ; 2018). ;
- Le système karstique de la vallée du Commerce

⁶ https://www.cfh-aih.fr/images/DOCS/2-Colloques/Colloque_2012_aq_lit_cassis/articles/POSTER-GAILLARD-et-al.pdf

https://www.researchgate.net/publication/330839457_Le_système_hydrogéologique_karstique_crayeux_des_source_s_d'Yport_Seine-Maritime_Evolution_des_connaissances_et_exploitation_de_la_ressource_httpswwwgeosocfrpublicationgeologues_ommair-es-et-resumes1316/download

Concernant le karst d'introduction, on relève que de nombreuses bêtouilles s'alignent le long de la structure Fécamp Lillebonne et notamment entre les Faisceaux de faille F2 et F1 ainsi qu'au pied du faisceau F1 dans le compartiment effondré (cf. Illustration 131 du rapport RP-69139-Fr – David et al., 2020-). Les eaux de surface qui s'engouffrent dans les bêtouilles situées au Nord du bourg de Bolbec sur les lèvres des faisceaux de ce système faillé se dirigent vers l'exutoire du système karstique d'Yport capté pour l'eau potable comme l'ont montré les différentes expériences de traçages. On peut citer :

- à Mirville, le ruisseau qui franchit le système faillé avant de se perdre plus en aval au lieu dit « Le goulet » (cf. coupe sur l'illustration 92 du rapport RP-69139-Fr),
- à Nointot, dans le vallon Palfray, la rivière Beau Soleil qui se perd totalement dans une bêtouille positionnée au sein des faisceaux de failles (cf. coupe sur l'illustration 93 du rapport RP-69139-Fr);

En revanche, les eaux de surface qui s'engouffrent sur les lèvres des faisceaux de ce système au Sud du bourg de Bolbec se dirigent très probablement vers le Sud dans la vallée du Commerce en direction de la Seine, même si aucun traçage n'a jamais été réalisé pour le prouver. On peut citer notamment :

- Les deux ruisseaux de la Fontaine murée et du Val Horrible qui prennent naissance au niveau du faisceau F2 et se perdent de façon diffuse ensuite dans le compartiment affaissé.

Concernant la rivière « La Bolbec » (Commerce amont) le fonctionnement est plus complexe. Les traçages et les investigations de terrain (cf. David et al. (2020), rapport RP-69139-FR) ont montré que la rivière connaît plusieurs zones de perte dans le secteur faillé (cf. Illustrations 105 à 109 du rapport RP-69139-FR). Dans ce même rapport l'hypothèse est faite que les pertes de la rivière du Commerce se dirigeant vers le système karstique d'Yport sont celles identifiées au niveau des faisceaux F1 et F2 tandis que celles partant vers les captages AEP de la vallée du Commerce seraient plutôt situées au niveau de l'église de Bolbec au niveau du faisceau F0 (F0a et F0b) (Illustration 37 et Illustration 120 du rapport RP-69139-FR). Cette même étude préconise d'ailleurs de vérifier cette hypothèse par la réalisation d'un multitraçage avec un premier traceur injecté à l'aval des sources de la rivière et un second injecté à l'aval du faisceau F1 mais à l'amont du Faisceau F0 (Illustration 69).

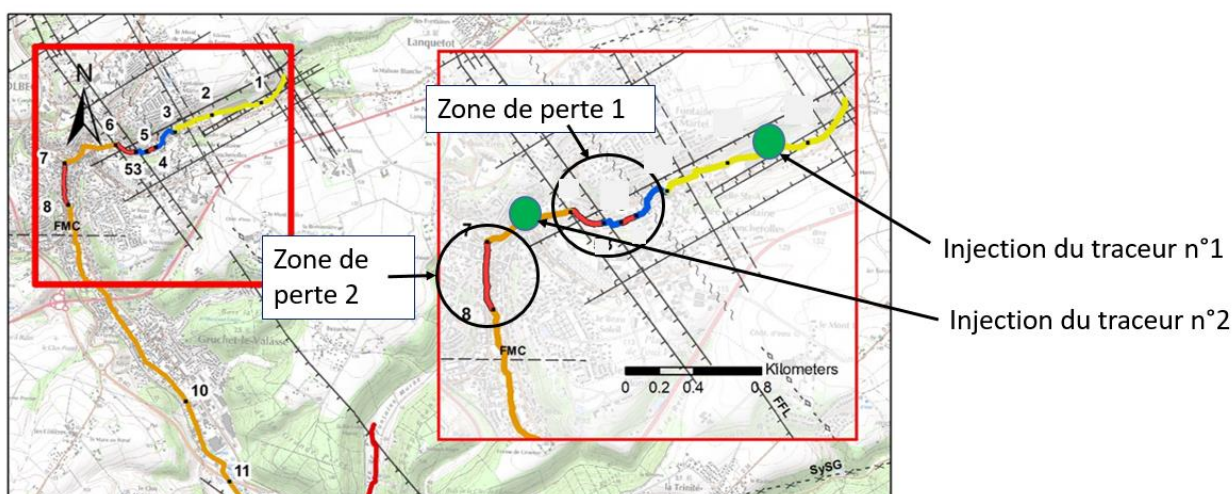


Illustration 69 : Schéma de principe des lieux d'injection du multitraçage préconisé pour confirmer l'hypothèse de sectorisation des karsts d'introduction des systèmes karstiques d'Yport et de la vallée du Commerce (David et al, 2020)

L'illustration 70 met en évidence que sur l'emprise de la zone d'étude, le karst d'introduction (bétoires) semble être distribué de façon préférentielle sur certains axes (vallées sèches, linéaments,...). Si le karst d'introduction du système karstique d'Yport a fait l'objet de nombreuses campagnes de traçages ces 10 dernières années sur de nombreuses bétoires de la pointe de Caux, le karst d'introduction du système karstique du Commerce, en revanche n'a pas été investigué de façon à évaluer son extension. En effet, seules les pertes de la rivière du Commerce ont fait l'objet de traçages, celles des autres cours d'eau n'ont jamais été testées (Fontaine Murée, Val horrible). De la même façon, les connexions des bétoires situées sur les plateaux en rives droite et gauche du Commerce n'ont jamais fait l'objet d'opérations de traçages pour évaluer l'extension latérale du système karstique du Commerce.

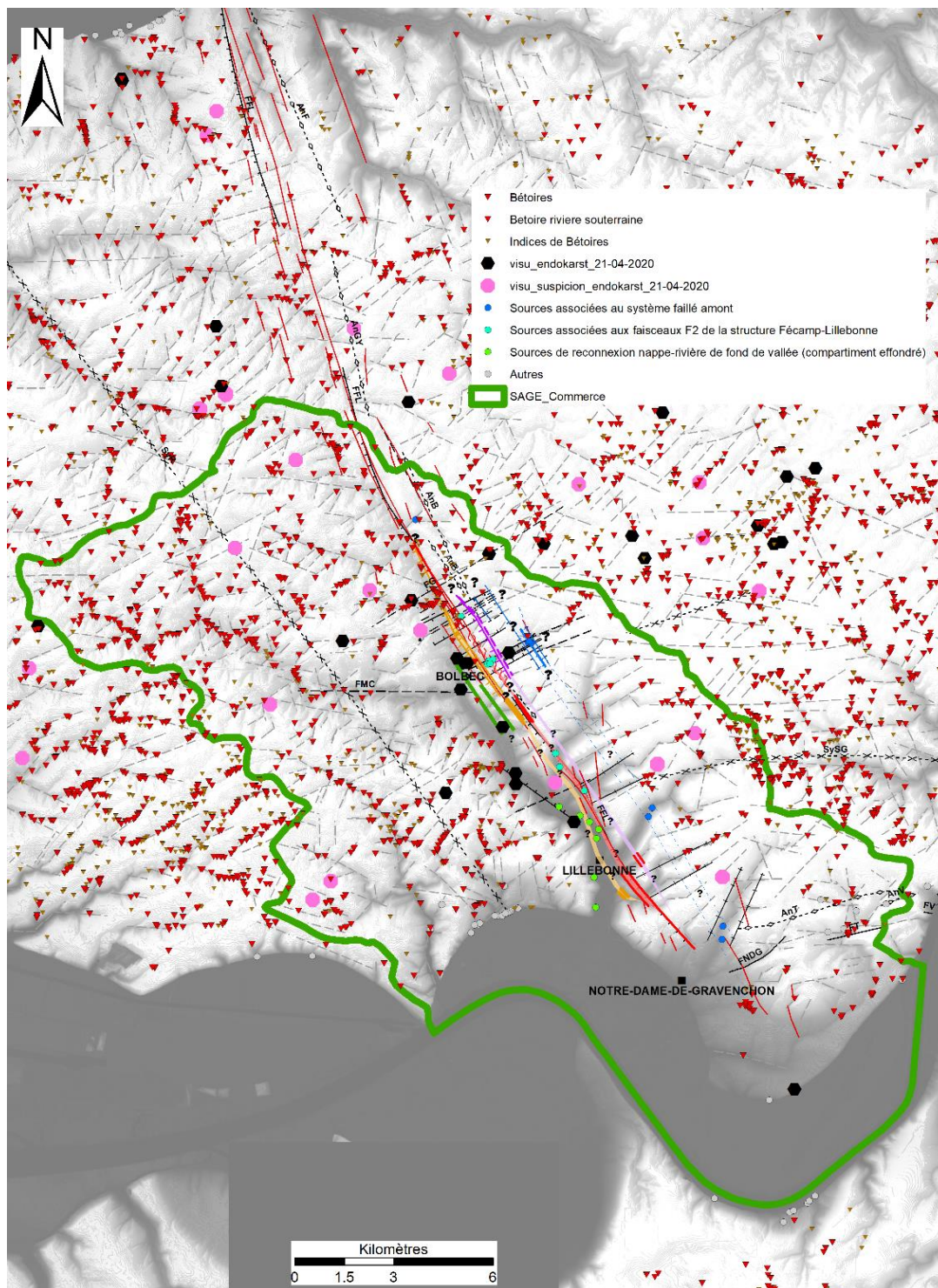


Illustration 70 : Localisation des endokarst, d'après David et al. (2020), modifié.

NB : les grottes ou conduits topographiés par les spéléologues ne sont pas représentés sur cette figure.

Concernant le karst rencontré dans le sous-sol (endokarst), David et al. (2020) décrivent les différents vides karstiques rencontrés par forage autour du système faille Fécamp-Lillebonne. Comme cela a été présenté pour l'exokarst précédemment, l'endokarst semble également s'aligner parfois le long de certaines structures. C'est le cas par exemple de 4 endokarsts rencontrés en forage qui semblent s'aligner sur la faille du galet (Faille « FG » sur l'illustration 48)

traversant les compartiments affaissés et surélevés (00755X0023, 00752X0052, 00752X0046, 00752X0045 et à proximité 00752X0061).

Au sein de la vallée du Commerce, David et al. (2020) font également remarquer que certains endokarsts rencontrés dans les sondages géologiques réalisés à Bolbec en 2019-2020 ont mis en évidence des conduits karstiques installés sur des niveaux indurés (notamment le cas sur les piézomètres SD5 et SD7 dans la vallée du Commerce à Bolbec et en direction de Gruchet). Cela met en évidence la présence de karsts développés non pas uniquement le long de failles mais également sur des plans horizontaux suivant la lithologie. Plusieurs autres conduits karstiques sont mentionnés au sein de la vallée du Commerce (cf. Tableau 8) dont certains faisant l'objet d'écoulements rapides avérés (forage du Becquet, mention « rivière souterraine » à l'aval de l'église de Gruchet,...). Ce rapport indique que les résultats des expériences de traçages réalisées par IDDEA en 2012 ont estimé un débit de 31.2 l/s pour le karst traversé par le forage AEP du Becquet. Ce chiffre semble corroboré par le diagnostic du forage du Becquet -00756X0138- (diagraphie au micromoulinet) réalisé par le Bureau d'études Explore en 2014 (76384-04 - Version A du 28 mai 2014) et qui estime le débit du karst de ce forage à 20 l/s. L'opération de traçage n°717 (identifiant de la BD traçage) réalisée en avril 1973 a montré que le traceur injecté dans le karst du forage du Becquet était restitué au niveau de la source dite de la tourbière dans Parc des Aulnes à Lillebonne. Rappelons que les jaugeages de avril 2017 et mars 2019 indiquaient un débit avant sa confluence avec le Commerce respectivement de 148l/s et 160l/s. Une partie de ce débit pourrait être apporté par les exutoires des réseaux karstiques de la vallée du Commerce. Toutefois, les exutoires naturels du système karstique de la vallée du Commerce demeurent toujours mal connus car n'ont pas fait l'objet de campagne de traçage hormis le traçage de 1973. Les seuls traçages existants dans la vallée avaient pour point de suivi le forage d'eau potable et non les exutoires naturels. Il est probable que ces exutoires non visibles pour la plupart car situés sous les alluvions de la vallée du Commerce et de la Seine.

Num_BSS	Prof début	Prof fin	Lithologie	Commentaire
BSS003QDIO (SD7) (places des lions, Bolbec)	16.5	17.2	craie	Vraisemblablement deux conduits karstiques mis en évidence sur le piézomètre SD-7 (BSS003QDIO) par les paramètres d'avancement du forage : deux vides francs ou zones très décomprimées à 16,5 m (H ~ 0,7 m) et à 21 m (H ~ 0,3 m) de profondeur (respectivement : 19 m NGF et 14,5 m NGF)
	21	21.3	craie	
« Riv. Souterraine »	?	?	craie	Effondrement karstique survenu lors de la construction d'une maison située en aval de l'église de Gruchet (X=518305m ; Y=6942590m, L93). Les travaux avaient dû être interrompus en raison de la présence d'écoulements souterrains importants. Il est fait mention de « rivière souterraine » (Ragot, 2020). Cet écoulement karstique se situe au sein du faisceau F0
00756X0150 (forage Senoble)	20.5	20.8	craie	Karst avec argile ; craie affectée d'une fissure horizontale (karst) ; le mur de la fissure est constitué par un banc de craie dure (hard ground)
00756X0139 (F3 St Marcel)	20	27	craie	Diaclase avec intercalations de banc de craie, présence de sables
00756X0138 (forage du Becquet)	20.9	21.5	craie	Karst rencontré entre 20.9m et 21.5m de profondeur

Tableau 8 : Endokarst recensé dans le compartiment affaissé, au Sud de Bolbec (vallée du Commerce) (David et al. 2020)

Concernant le système karstique d'Yport l'exutoire principale naturel est en revanche bien connu puisqu'il s'agit de la Source des Fontaines d'Yport située en mer (Illustration 71).



Illustration 71 : La source des Fontaines d'Yport est l'une des plus importantes résurgences karstiques connues en Normandie, si ce n'est la plus importante. Elle est située sur le platier littoral (source : SIGES Seine-Normandie⁷)

Comme évoqué précédemment le Nord du bassin versant du Commerce constitue la partie la plus méridionale du karst d'introduction de cette source karstique (cf. volet traçage paragraphe 4.5). La délimitation du Bassin d'Alimentation du Captage implanté à l'amont de cette source a notamment été étudiée par SAFEGE (2013) et s'appuie sur la réalisation de traçages hydrogéologiques non-décrits dans la présente étude.

- **Système karstique de Radicatel**

Les sources de Radicatel sont l'une des manifestations les plus importantes, à l'échelle régionale, en termes de flux (débit) restitué par le karst. La productivité remarquable de ces sources fait l'objet d'une exploitation pour les besoins d'alimentation en eau potable de l'agglomération du Havre (LHSM).

SAFEGE (2012) a déterminé la surface du bassin d'alimentation (BAC) de ces sources. Sur cette aire, on remarque la présence de très nombreux points d'infiltration (**karst d'introduction**). Celles-ci sont positionnées aussi bien sur les plateaux que dans ou aux abords des vallées sèches.

SAFEGE a pu compléter cet inventaire en 2020, que l'on a superposé aux informations de la base de données régionale extraite pour le territoire du SAGE Commerce (Illustration 72). Ainsi, à l'ouest de la vallée du Commerce, on dénombre, en effet, une densité particulièrement importante de ces indices.

⁷ <http://sigessn.brgm.fr/spip.php?article371>

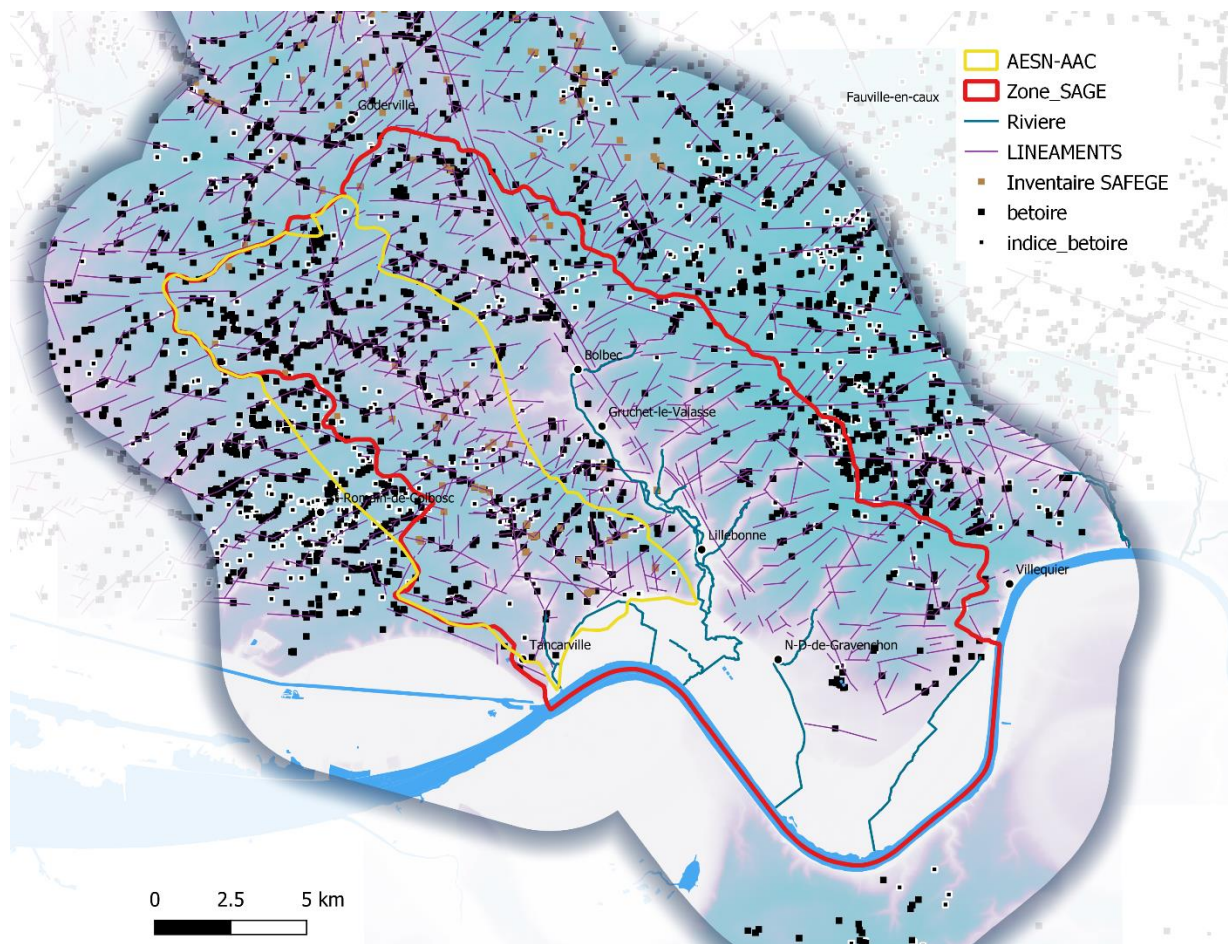


Illustration 72 : Recensement des indices de bétaires sur le BAC de Radicatel
source : BRGM et SAFEGE (2020)

A l'image du système du Hannetot, on possède quelques connaissances toutes relatives sur la position de l'endo-karst.

Le secteur de Radicatel présente le développement de quelques conduits karstiques. Hanin (2010) cite deux exemples décrits par Rodet (1991) de conduits horizontaux et SAFEGE (2012) sur l'illustration 74 qui nous livre la présence probable d'un conduit vertical. Nous reprenons ci-après ces quelques exemples :

- La grotte de Radicatel : conduit étroit dégagé sur 5 m, situé 2 m au-dessus d'une petite source karstique.
- La grotte de la chapelle de Radicatel : conduit installé sur une diaclase parallèle au front de falaise. La galerie se développe sur une distance de 42 m avec une succession de 3 salles. La genèse de cette cavité est associée à la fissuration dont l'expression a été favorisée par une phase d'ennoiement. Cependant les dépôts d'insolubles prouvent une circulation karstique réduite mais réelle. Cette cavité est également développée à proximité d'une petite source (Rodet., 1991).

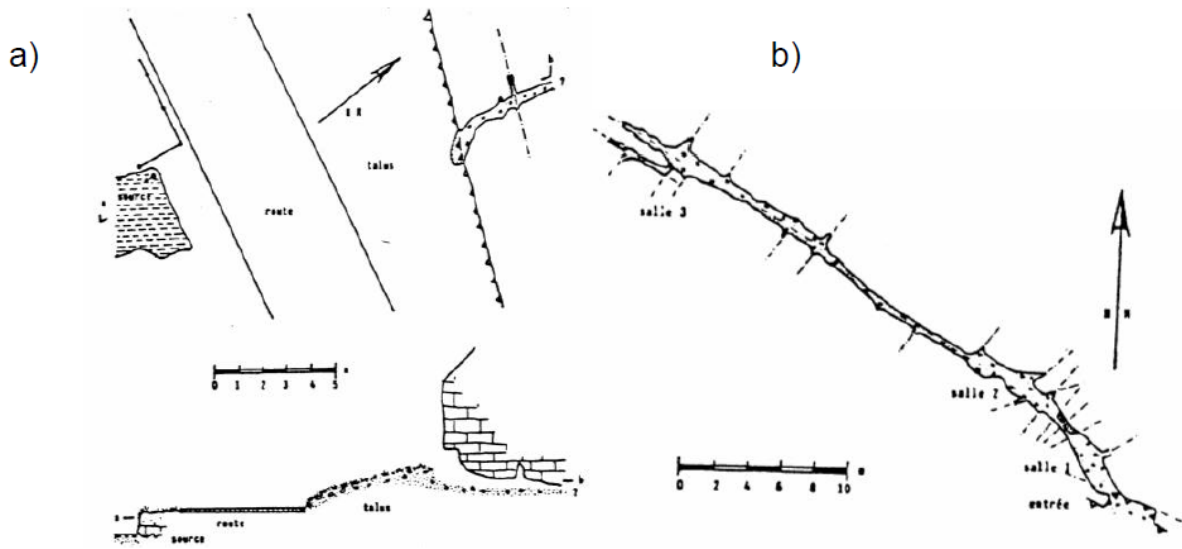


Illustration 73 : Relevés topographiques des cavités de Radicatel : a) Grotte de Radicatel, b) Grotte de la Chapelle de Radicatel (Rodet, 1991) in Hanin (2010).



Illustration 74 : Exemple d'endo-karst, fissure verticale dans la galerie capante du Moulin est, sources de Radicatel, exploitées par l'agglomération du Havre (SAFEGE, 2012)

Sur la position des sources de Radicatel, SAFEGE (2012) distingue deux unités de drainage principales entre Tancarville et Radicatel, hypothèses proposées notamment à partir

d'observations de terrain réalisées au niveau de la carrière de Pierre Gand près de Tancarville⁸. On distingue d'ouest en est (Illustration 75) :

- La première unité, serait identifiée à l'ouest de l'accident de Navarre/Belevue, décrit par Hanin (2010), cf. paragraphe 2.5.7. Elle montrerait les hard-grounds de Lillebonne, en position haute dans la falaise. La karstification de cette craie n'est alors envisageable que dans les surfaces de discontinuités inférieures (HG Beuzevillette 3 et Radicatel 2, voir Tilleul 1 et 2 du Turonien moyen – Craie de Senneville). La source de la Bruisseresse pourrait donc appartenir à cette unité.
- La seconde unité identifiée, à l'est de l'accident, montre un abaissement des surfaces de hard-ground (HG) Lillebonne mais aussi une très nette atténuation de leur rubéfaction, à tel point qu'elles deviennent difficiles à identifier (effet de la fracturation ?). Un peu plus à l'est on retrouve le développement des surfaces de hard ground de Lillebonne (visible au hameau de Radicatel). Les sources du Moulin appartiendraient à cette unité de drainage.

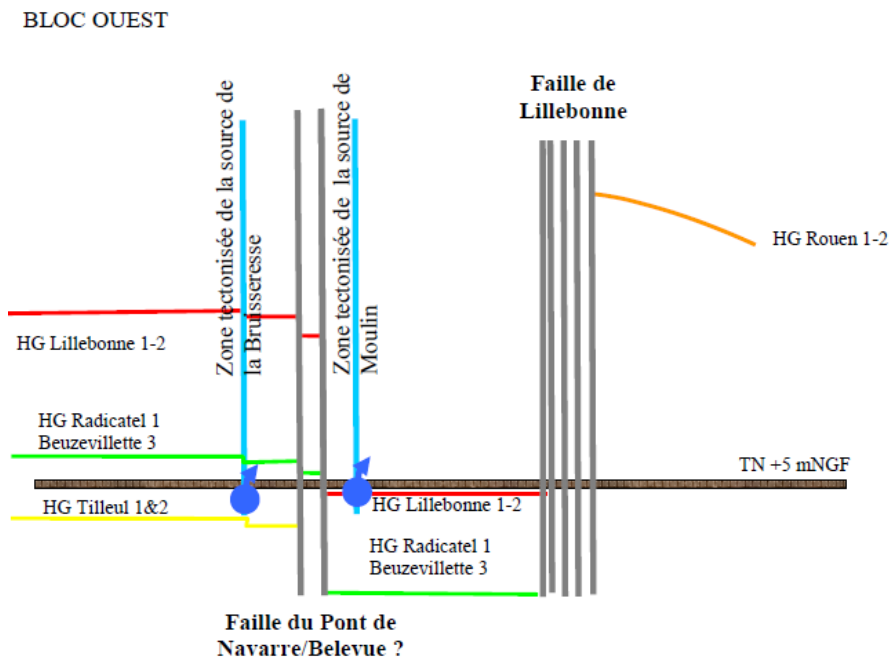


Illustration 75 : Schéma conceptuel de la position stratigraphique des émergences des sources de Radicatel (SAFEGE, 2012).

La position de ces sources serait donc guidée par la présence d'un accident tectonique, dont l'ampleur reste difficile à apprécier faute d'affleurements suffisants (cf. paragraphe 2.5.7), les réseaux de drainage s'établissant sur des marqueurs lithologiques : les hard-grounds, surfaces d'érosion durcies propices au développement d'une karstification. Enfin l'aspect géomorphologique n'est pas à mettre de côté non plus sur ce site puisque ces sources sont positionnées au droit d'un ancien méandre de la Seine (drainage orienté et développé vers le niveau de base, le plus proche).

⁸ Les surfaces de hard-ground décrites par SAFEGE font référence en particulier aux travaux de B.Hoyez (2008) : Falaises du pays de Caux, Lithostratigraphie des craies turono-campaniennes. PU de Rouen, 978-2-87775-463-7

2.6.4. Recherche d'une corrélation litho-structurale

La carte des données concernant les entonnoirs d'absorption d'origine karstique (bétoires, formes de l'exo-karst), recensés à ce jour dans la Base de données Bétoire du BRGM, les indices de vides karstiques rencontrés en sondage (endo-karst probable), les exutoires et les données de traçage sont présentés en Illustration 76.

Il en ressort que les entonnoirs d'absorption sont préférentiellement situés au niveau des vallons secs ou humides, là où la craie est a priori la plus fracturée (cf. 0). D'autre part, certains alignements de bétoires coïncident avec le tracé de linéaments. Les sources sont quant à elles situées dans les vallées principales, là où la topographie recoupe le niveau de base, ou sur les principales structures tectoniques (les sources de Radicatel calées sur le synclinal faillé de Radical (ou faille du Moulin) représentent le meilleur exemple). Ces exemples montrent bien que les processus de karstification dépendent essentiellement de l'état de fracturation du massif crayeux, et du niveau de base (ici l'altitude du toit de la nappe). Le facteur altimétrique étant plus difficile à discerner dans le secteur du SAGE Commerce.

D'un point de vue litho-tratigraphique, toutes les formations crayeuses semblent sujettes à la karstification puisque d'une part la grande majorité des bétoires sont situées sur les craies coniaciennes à santoniennes (qui affleurent très largement sur la zone d'étude), et que d'autre part la plupart des sources (karstiques) sont situées dans les formations turoniennes et/ou cénomanienne (cas des vallons situés sur le bord nord-est surélevé de la faille de Fécamp-Lillebonne notamment). Rappelons également le cas intéressant des sondages BSS000FHLA et SC-3 du BRGM (BSS004ANXQ), situés dans le vallon de Bolbec, et qui ont rencontré des larges fissures ouvertes, hydrauliquement conductives, dans les niveaux de la Gaize inférieure (dans le contexte particulier d'affleurement et de proximité du système faillé).

On rencontre une quantité plus importante de bétoires à l'Ouest du système faillé de Fécamp-Lillebonne : dans la craie sénonienne (Coniacien-Santonien), surmontée d'une épaisseur plus importante d'argiles à silex (d'avantage préservée de l'érosion dans le compartiment effondré). Deux hypothèses pourraient expliquer à ce stade cette susceptibilité plus importante à la karstification : la première est la nature lithologique des craies du Coniacien-Santonien, plus aptes à l'apparition de ces phénomènes.

La seconde hypothèse concerne la profondeur de nappe (cf. paragraphe 4.2.3), l'épaisseur de zone non saturée est plus importante à l'ouest du système faillé qu'à l'est et donc le gradient pour atteindre le niveau de base de l'aquifère, depuis la surface du sol, serait donc plus important. Ce paramètre joue donc probablement un rôle dans le développement de ces manifestations karstiques.

Leur développement semble clairement suivre certaines directions de linéaments notamment N120 et N60, plus rarement sur du N20 et N150-170. Plus près de la faille, les bétoires s'alignent sur des axes N150 et semblent se développer presque exclusivement dans la zone affectée par le système faillé (pertes de beau soleil, le goulet etc..).

Sur le compartiment surélevé, on retrouve corrélativement parlant moins d'indices de bétoires. Si on reprend les hypothèses citées précédemment, d'un point de vue lithologique : le Turonien et Cénomanien se portent moins à la karstification et l'épaisseur d'argiles à silex serait moins importante sur ce côté de la structure faillée. Par ailleurs, l'épaisseur de la zone non saturée est moins importante : le « gradient » est donc plus faible entre la surface du sol et le niveau de base de l'aquifère – (cf. paragraphe 4.2.4).

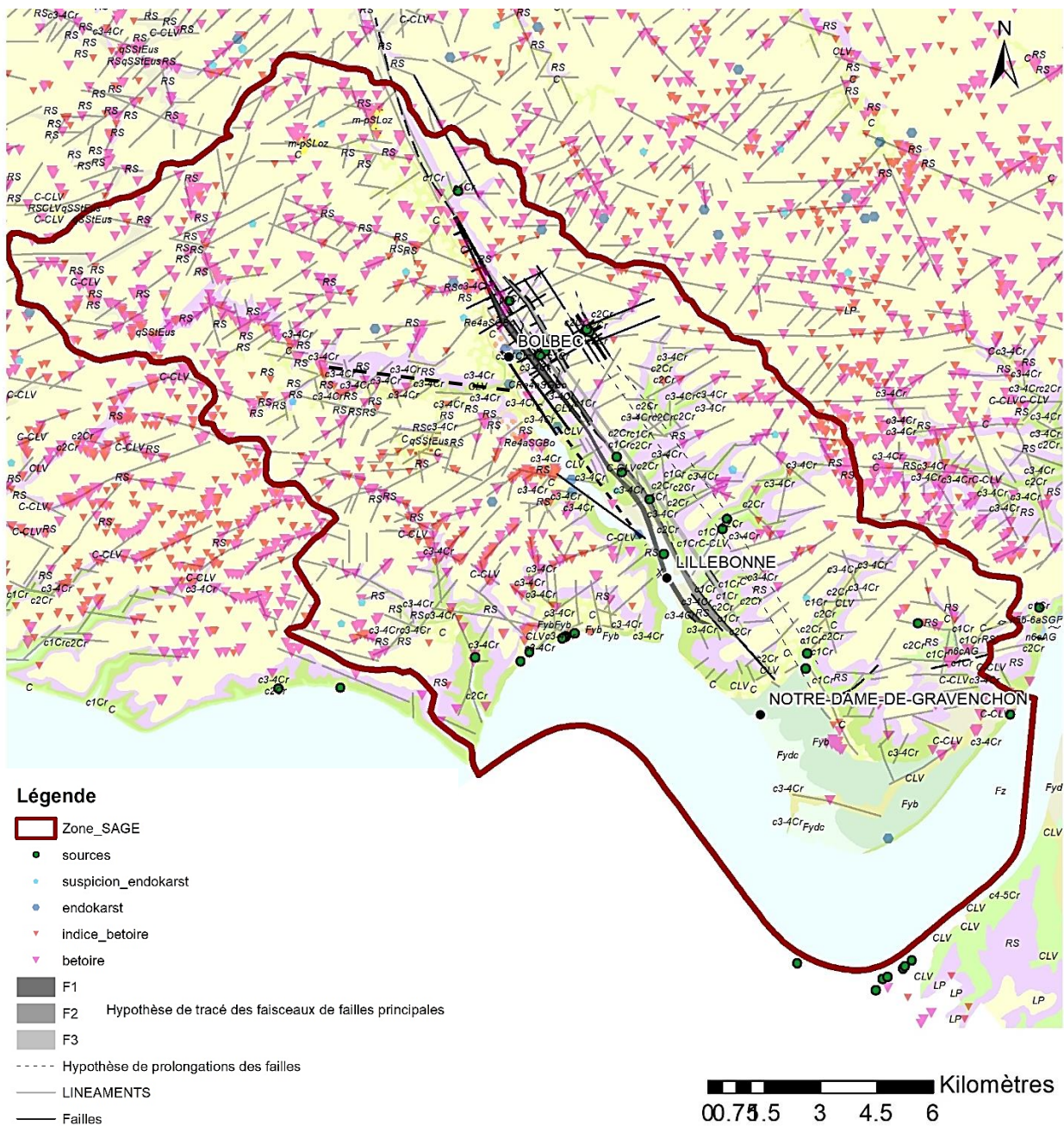


Illustration 76 : Cartographie des indices karstiques (endokarst et exokarst), des principales structures tectoniques, des linéaments et des formations du substratum sur le secteur du SAGE Commerce.

NB : Pour la description des unités géologiques on se référera aux éléments décrits au paragraphe 2.4

2.7. PERSPECTIVES ET PROPOSITIONS

2.7.1. Acquisitions géologiques complémentaires

Pour assoir le futur modèle géologique sur des données et informations aussi fiables que possible ou tout simplement pour lever dans le futur les incertitudes les plus importantes, le BRGM propose la réalisation d'acquisitions géologiques complémentaires afin de :

- Préciser la géométrie des structures vers Notre Dame de Gravenchon, à la jonction de la structure faillée de Fécamp-Lillebonne et de Triquerville. Pour cette dernière on peut en effet s'interroger sur sa géométrie : hypothèse d'une faille unique ou non et de sa continuité vers Villequier et de sa relation avec la gouttière tectonique de la Ste Gertrude. La réalisation d'une campagne géophysique ciblée, calée avec des sondages géologiques pourrait utilement compléter les connaissances sur ce secteur.
- Réaliser des sondages de calage sur le secteur ouest-nord-ouest, où il y a très peu de données géologiques de référence, de manière à confirmer ou non la présence de structures faillées orthogonales, sécantes ou parallèles à la structure faillée de Fécamp-Lillebonne. On citera par exemple le synclinal faillé de Radicatel, la faille du Mont Criquet, etc...
- Dans la vallée du Commerce a été évoquée l'existence de rejeux récents autour de petites structures, le long de vallées du Bolbec/Commerce, la Vallée et le Theluet... Ces structures pourraient avoir un rôle hydrogéologique important dans le positionnement des systèmes karstiques par exemple, en faisant remonter localement la surface piézométrique (sources ou reconnexion avec la rivière) ou au contraire en l'abaissant (pertes, déconnexion avec le lit de la rivière). Des investigations géophysiques pourraient mettre en évidence ces petites structures.

2.7.2. Réalisation d'une doctrine locale « forage »

Compte tenu de la structure géologique complexe et spécifique de ce territoire et des risques importants de pollution et contamination du sous-sol, il nous semblerait utile de rédiger un guide à destination des élus, des aménageurs, des foreurs et entreprises de génie-civil intervenant sur le territoire du SAGE pour :

- Informer sur la complexité du sous-sol sur le plan géologique et structural, signaler la présence de karst et d'aquifères superposés et rappeler les enjeux liés à la protection des eaux souterraines ;
- Dans le cas de travaux souterrains, rappeler succinctement la réglementation et la nécessité de lever une coupe géologique précise, de relever les paramètres de foration, de noter les indices de présence de **karst/vides** (et des risques géotechniques associés), de bien renseigner ces investigations dans la BSS, et idéalement de disposer de diagraphies gamma ray et résistivité pour bien identifier les horizons lithologiques traversés ;
- Enfin, pour rappeler les bons usages dans le cas de détection de vides ou de cavités karstiques ou en présence de conduits souterrains. Par exemple : ne pas injecter des coulis de béton, des fluides organiques ou de nature polluante, etc. Et, le cas échéant, pour orienter les entreprises vers les organismes ou guides techniques qui seront à même de répondre à leurs questions.

Ce guide ou doctrine pourrait, le cas échéant, prendre une portée « règlementaire » locale.

3. Fonctionnement Hydrologique

3.1. CONTEXTE GENERAL

Les principaux ensembles hydrologiques du territoire du SAGE Commerce sont les suivants, avec indication de leur superficie :

- 1- Bassin versant du Commerce : 176 km²
- 2- Bassin versant du Vivier et de la Brouisserresse : 53 km²
- 3- Bassin versant du Théluet, la Ravine/Bébec et du Hannebot : 77 km²

Les trois ensembles hydrographiques coulent vers le sud en direction de la Seine. Cette dernière s'écoule vers l'ouest en direction de l'embouchure de l'estuaire et de la Manche située à 10 km environ du pont de Tancarville. Le fleuve constitue la limite sud structurante : exutoire de l'ensemble des cours d'eau.

Le fleuve Seine, a une « dimension hydrologique » qui dépasse de loin celles de ces trois systèmes (note : la classification de Strahler est de 1 pour la Seine, de 4 pour le système Commerce, de 6 pour le système du Vivier et de 5 pour le système du Théluet).

Les principaux cours d'eau du territoire sont représentés sur l'illustration 77 ci-après.

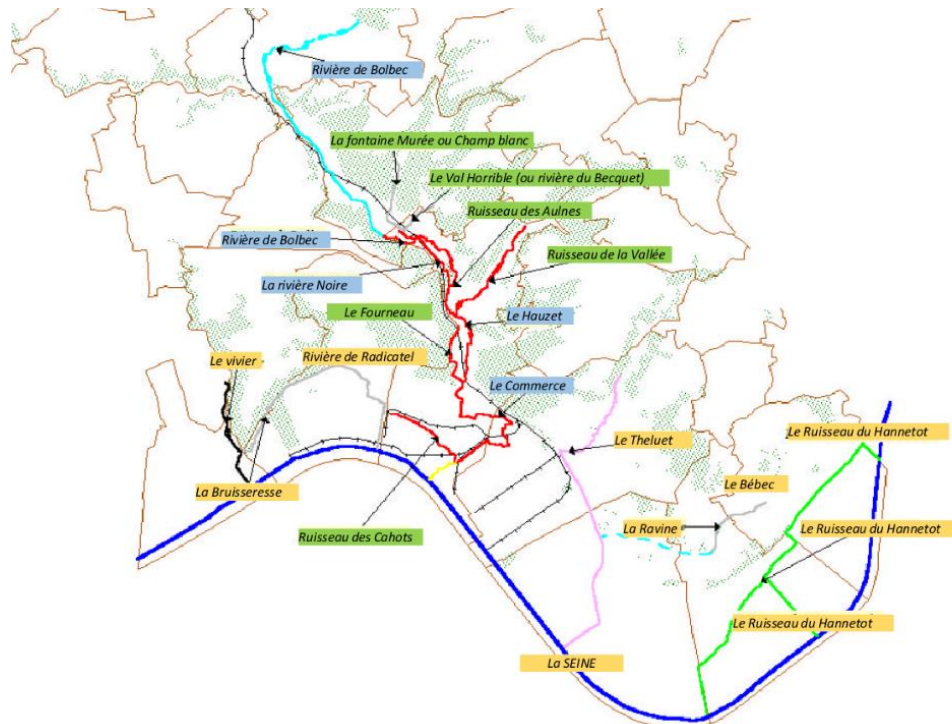


Illustration 77 : Toponymie des cours d'eau du SAGE Commerce (Hydratec, 2000) ⁹, modifié

⁹ La rivière du Commerce, ne porte en fait ce nom que sur son tronçon aval. Dans la toponymie locale, ce cours change de nom plusieurs fois depuis sa source jusqu'à sa confluence avec la Seine : de sa source jusqu'aux environs du captage AEP du Becquet, elle est nommée « La Bolbec », puis jusqu'au bourg de Lillebonne « La rivière noire », puis de l'aval de Lillebonne jusqu'à l'entrée de la vallée de Seine « Le Hauzey » et enfin dans la vallée de Seine « Le commerce ». Pour des raisons de simplicité et conformément à la BD Carthage, dans ce rapport, nous nommons ce cours d'eau « Le commerce » depuis sa source jusqu'à sa confluence avec la Seine.

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

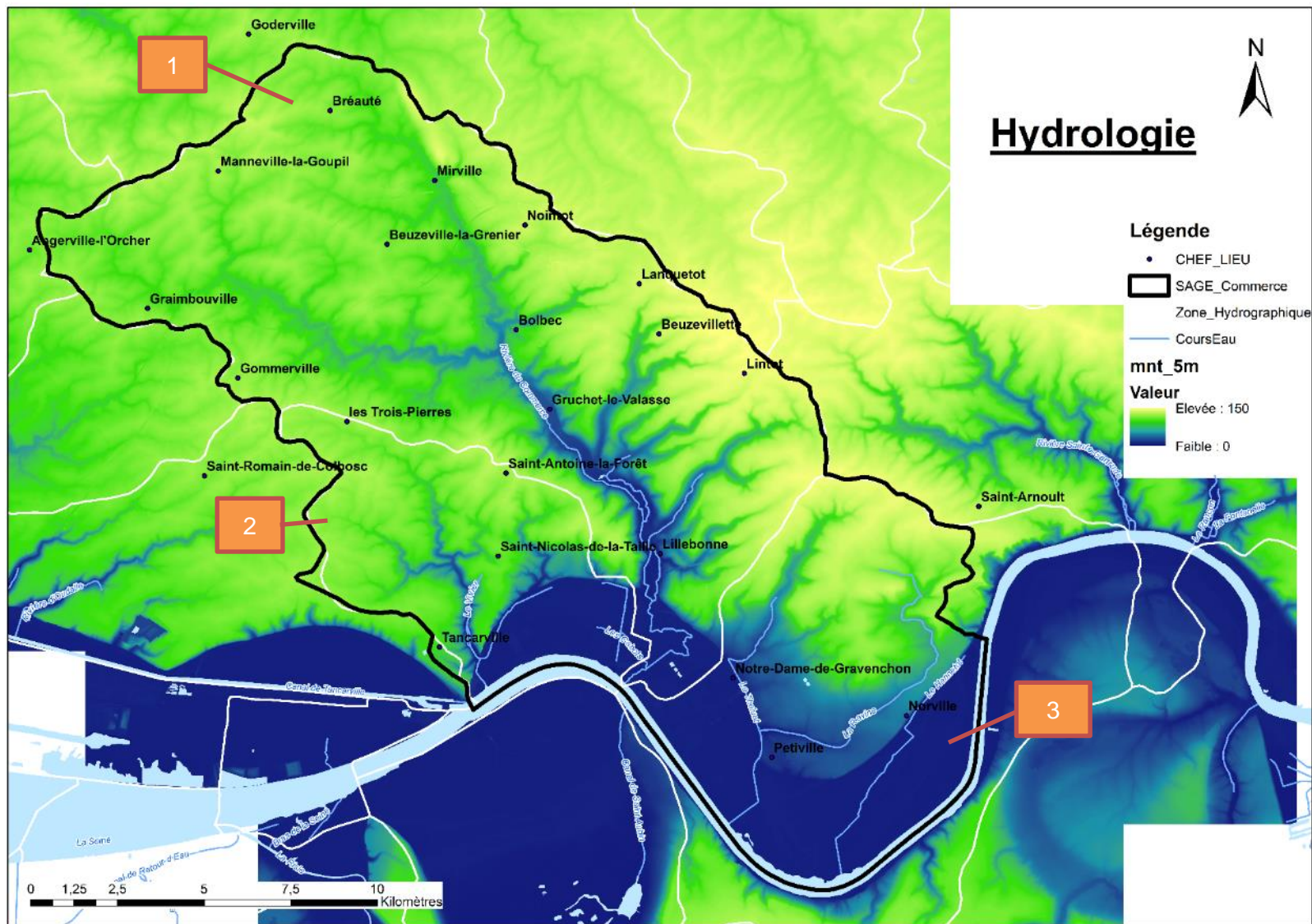


Illustration 78 : Principales entités hydrologiques, fond : Modèle Numérique de Terrain (IGN)

3.2. PROFILS DES COURS D'EAU

Le modèle hydrogéologique développé par le BRGM permet d'intégrer les échanges avec les ressources en eaux superficielles. Il est pour cela nécessaire d'intégrer, outre les données de débit, la géométrie des cours d'eau et du fleuve ainsi que les caractéristiques du fond et de leurs berges. Ainsi, dans les paragraphes suivants est présentée une synthèse des données disponibles ou acquises dans le cadre de cette étude pour répondre au futur besoin de représentation du réseau hydrographique dans le futur outil de modélisation

3.2.1. La Seine

Profil d'élévation

Sur le territoire du SAGE Commerce, la Seine s'écoule d'est en ouest sur 22 km entre Villequier et Tancarville. La portion du fleuve située dans l'estuaire est soumise aux marées. Aussi il n'est pas possible, compte tenu de la diffusion de l'onde de marée mais également de la présence de vagues et d'un trafic commercial, d'effectuer de mesure d'élévation.

Il est à noter que la mesure du niveau de la Seine est assurée par le réseau de marégraphes du port HAROPA (cf. paragraphe 3.4.1). Lors de la marée basse, la différence de niveau entre l'amont et l'aval est de l'ordre du mètre, ce qui impliquerait une pente globale de l'ordre de 0,0045% (quasi nulle).

Profondeur

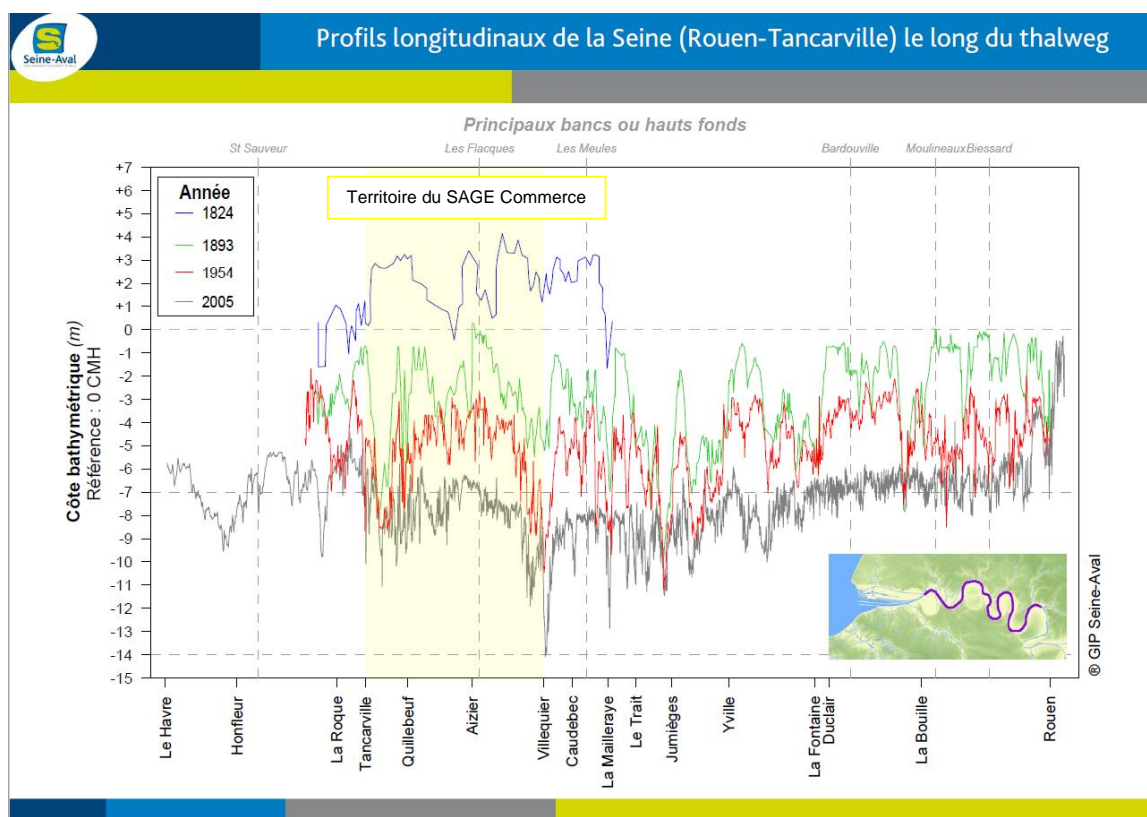


Illustration 79 : Profil longitudinal de la Seine de Rouen au Havre (GIPSA, 2008), modifié. En jaune la portion du fleuve commune avec le territoire du SAGE Commerce

D'après les données disponibles (cf. Illustration 79), la cote moyenne du fond du fleuve se situe autour de -7 m CMH soit environ - 11,3 m NGF (avec un minimum à -18,3 m NGF à Villequier) en 2005 au droit de la zone d'étude (de Caudebec à Tancarville, encadré jaune sur la figure).

Profil transversal

A la lecture de l'illustration 80, on constate que le profil de la Seine est dans son ensemble très asymétrique aussi bien à l'amont que vers l'aval : la berge la plus abrupte et profonde se situe en rive gauche à hauteur de Villequier-Caudebec (-13 m CMH / ~ -17,4 m NGF) alors qu'à l'inverse la berge la plus pentue se trouve en rive droite sur le secteur de Tancarville (-8 m CMH / ~ -12,4 m NGF). La géométrie du profil ne se corrèle pas au profil concave ou convexe de ses méandres.

La géométrie du fleuve est donc très changeante, bien qu'elle ait fait l'objet de plusieurs campagnes de travaux pour essayer de chenaliser son parcours afin de rendre celui-ci accessible, en toutes périodes, à la navigation des grands navires de commerce (GIPSA, 2008 ; Foussard et al., 2010).

Ces informations seront reprises dans le cadre de la réalisation du modèle hydrodynamique pour établir un profil moyen. Par ailleurs, il sera particulièrement intéressant de préciser la nature des berges et si possible de leur associer un coefficient de colmatage.

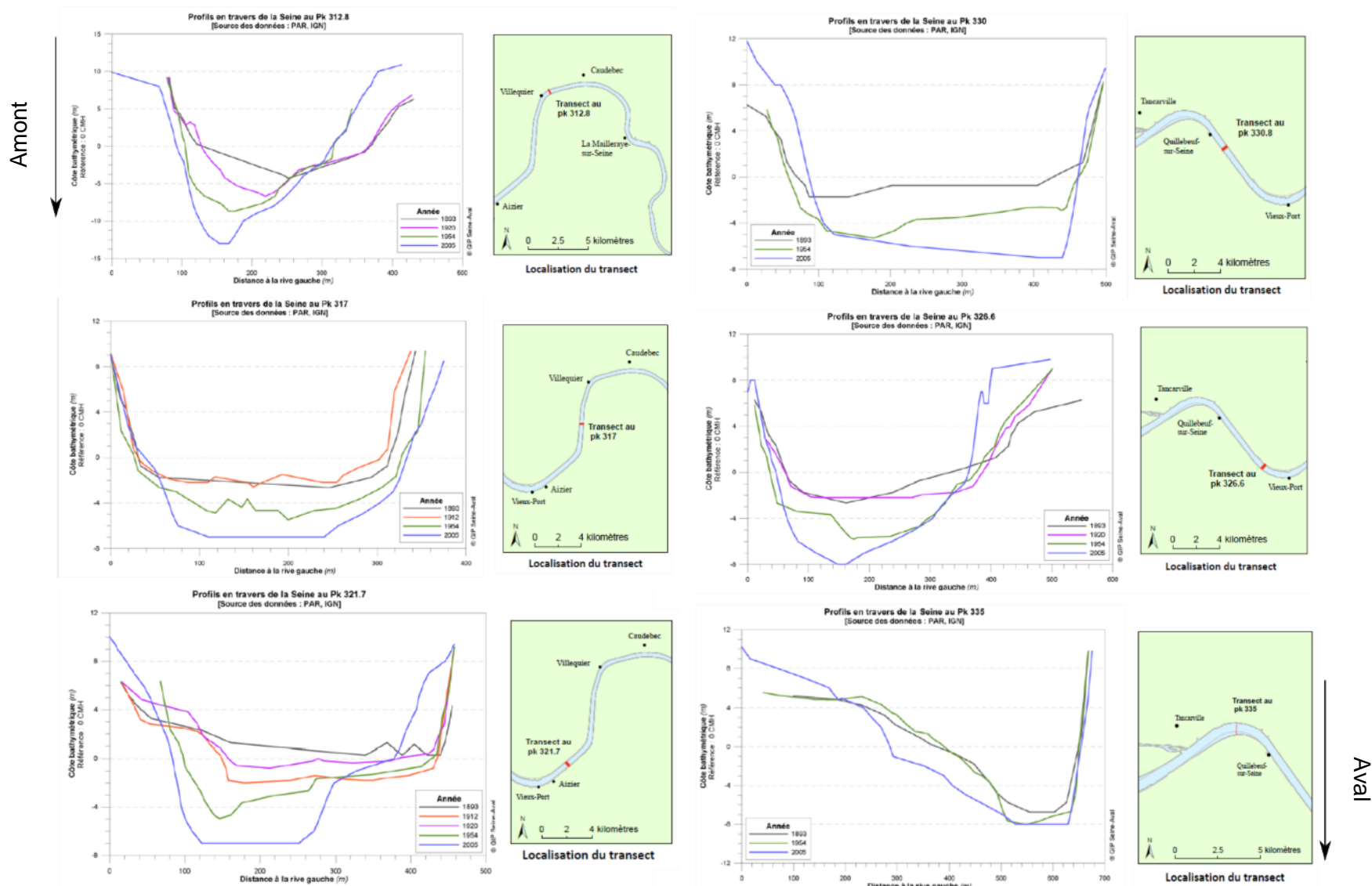


Illustration 80 : Profils transverses de la Seine de Caudebec à Tancarville (GIPSA, 2008), source : HAROPA-IGN

3.2.2. Autres cours d'eau

Profil d'élévation

Les profils présentés sur l'illustration 81 ci-dessous ont été obtenus à partir des données des modèles numériques de terrain (MNT) de précisions verticales de 1 ou 5 m, disponibles sur la zone d'étude. L'altitude des cours d'eau a été extraite tous les 50 mètres à l'aide d'un SIG.

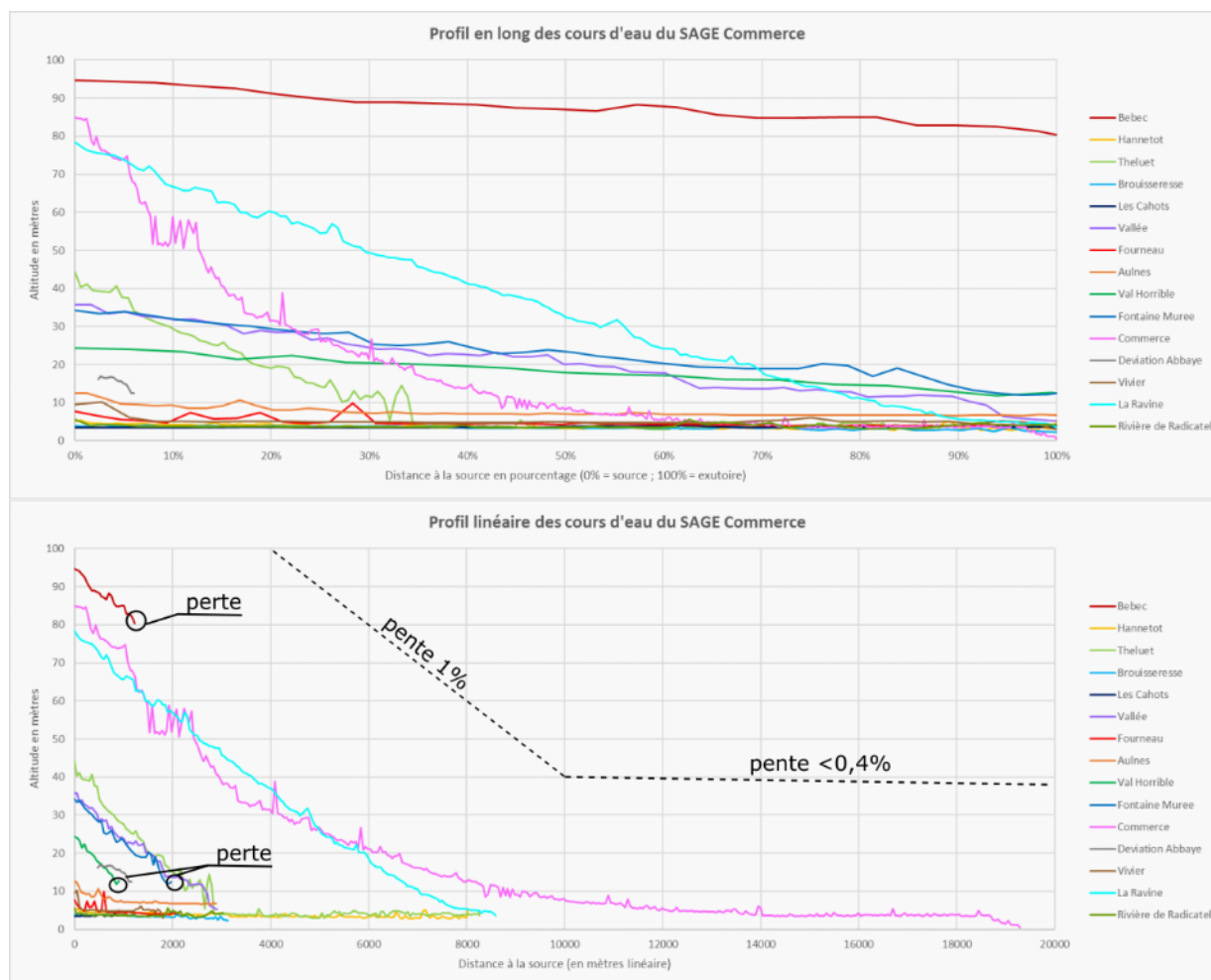


Illustration 81 : Profil d'élévation altimétrique des cours d'eau du SAGE Commerce exprimé en pourcentage total du linéaire (haut) ou en distance par rapport à la source (bas).

On constate que l'ensemble des cours d'eau prenant naissance sur le bloc surélevé a des pentes importantes, supérieures ou égales à 1%. Il est à noter que ces cours d'eau connaissent des pertes totales ou partielles sur leur parcours (cf. paragraphe 3.3).

Dans la vallée principale du Commerce (sur le bloc abaissé) ou dans la vallée de la Seine, les pentes sont faibles : inférieures à 0,4 %.

La rivière de Bolbec/Commerce voit une troisième classe de pentes intermédiaires, comprises entre 1 et 0,4 %, que l'on peut interpréter comme un profil de rattrapage d'équilibre hydraulique entre la partie amont du cours d'eau, qui circule sur le bloc surélevé, et la partie centrale et aval du cours d'eau, qui circule dans le bloc abaissé.

Largeur et profondeur

Il est à noter que le SAGE a fait procéder à des mesures de profil des cours d'eau du territoire Cerene Services, (2019), SOM (2020) – (cf. Illustration 82).

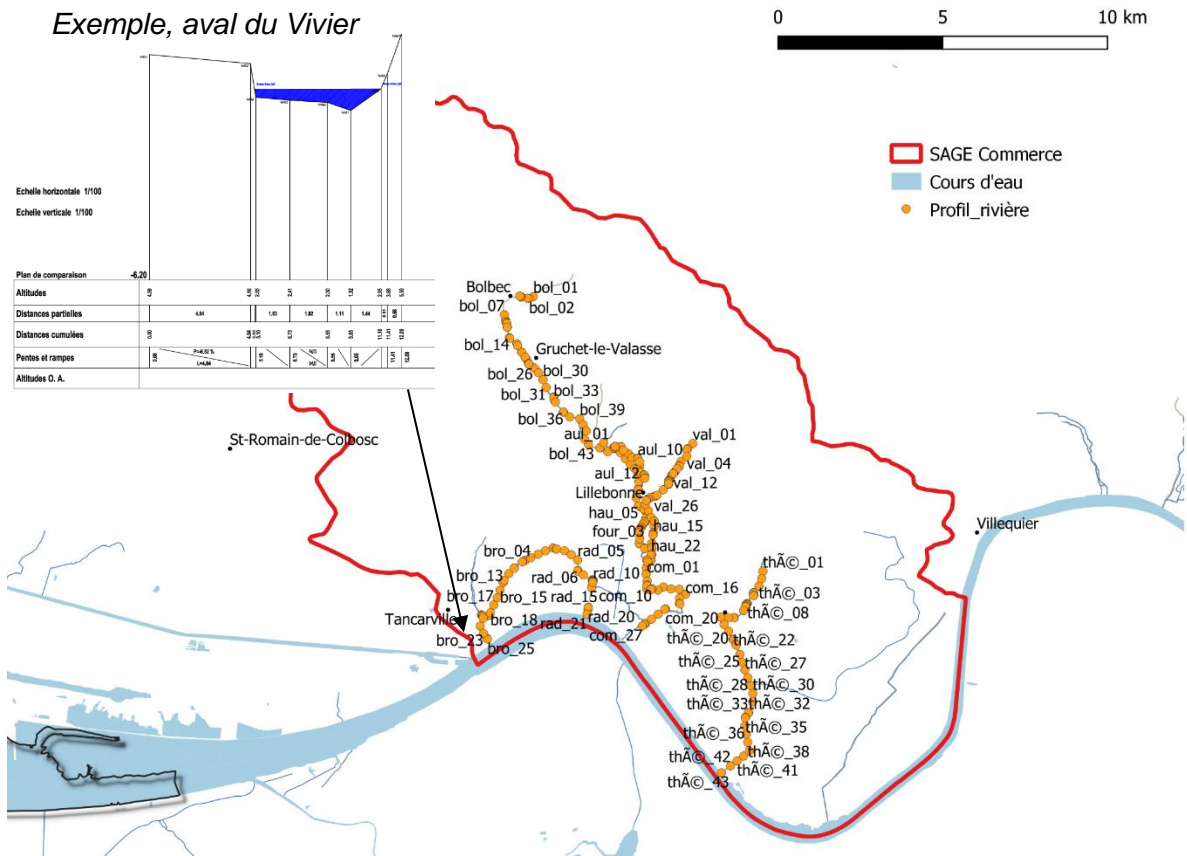


Illustration 82 : Profil des cours d'eau mesuré en 2019 pour le SAGE Commerce

Ces données ne seront pas présentées directement dans ce paragraphe mais ont été extraites des mesures de jaugeages réalisées sur les cours d'eau. Ces informations ont été reprises de manière synthétique dans le Tableau 11 page 138.

3.2.3. Obstacles à l'écoulement

Les cours d'eau du territoire du SAGE ont été modifiés dans leur histoire par la présence d'ouvrages hydrauliques depuis l'amont jusqu'à son exutoire en vallée de Seine. Comme c'est le cas par exemple sur le Commerce entre la source située sur le site Oril et la zone industrielle de Port Jérôme (cf. paragraphe 1.2.1).

Ces ouvrages peuvent être des seuils, des roues de moulin, des passes à poisson, des vannes de décharge, etc... ils modifient et créent des ruptures plus ou moins importantes de la ligne d'eau de la rivière (différence d'altitude).

La description technique et la localisation de ces ouvrages sont recensées dans des guides ou référentiel nationaux : référentiel des obstacles à l'écoulement sur les cours d'eau (ROE – version 2014) de l'OFB, mais également dans l'atlas de recensement (papier et numérique) réalisé par les bureaux d'études pour le SAGE (SOM, 2020 ; Ingetec, 2007 ; Hydratec, 2000).

Ces informations ont donc permis d'identifier les structures artificielles et d'identifier les ouvrages ayant les hauteurs de chute les plus importantes (dénivelé amont/aval).

Dans la vallée de la Seine, les obstacles à l'écoulement des eaux ont été recensés par le Parc Naturel des Boucles de la Seine et le GIP-SA (2011).

L'ensemble est représenté sur l'illustration 83 page suivante.

Il est à noter que la présence de ces obstacles fait aujourd'hui l'objet d'une politique volontariste de suppression ou d'aménagement dans le cadre de la continuité écologique des cours d'eau. La présence de ces obstacles est donc amenée à évoluer dans le temps.

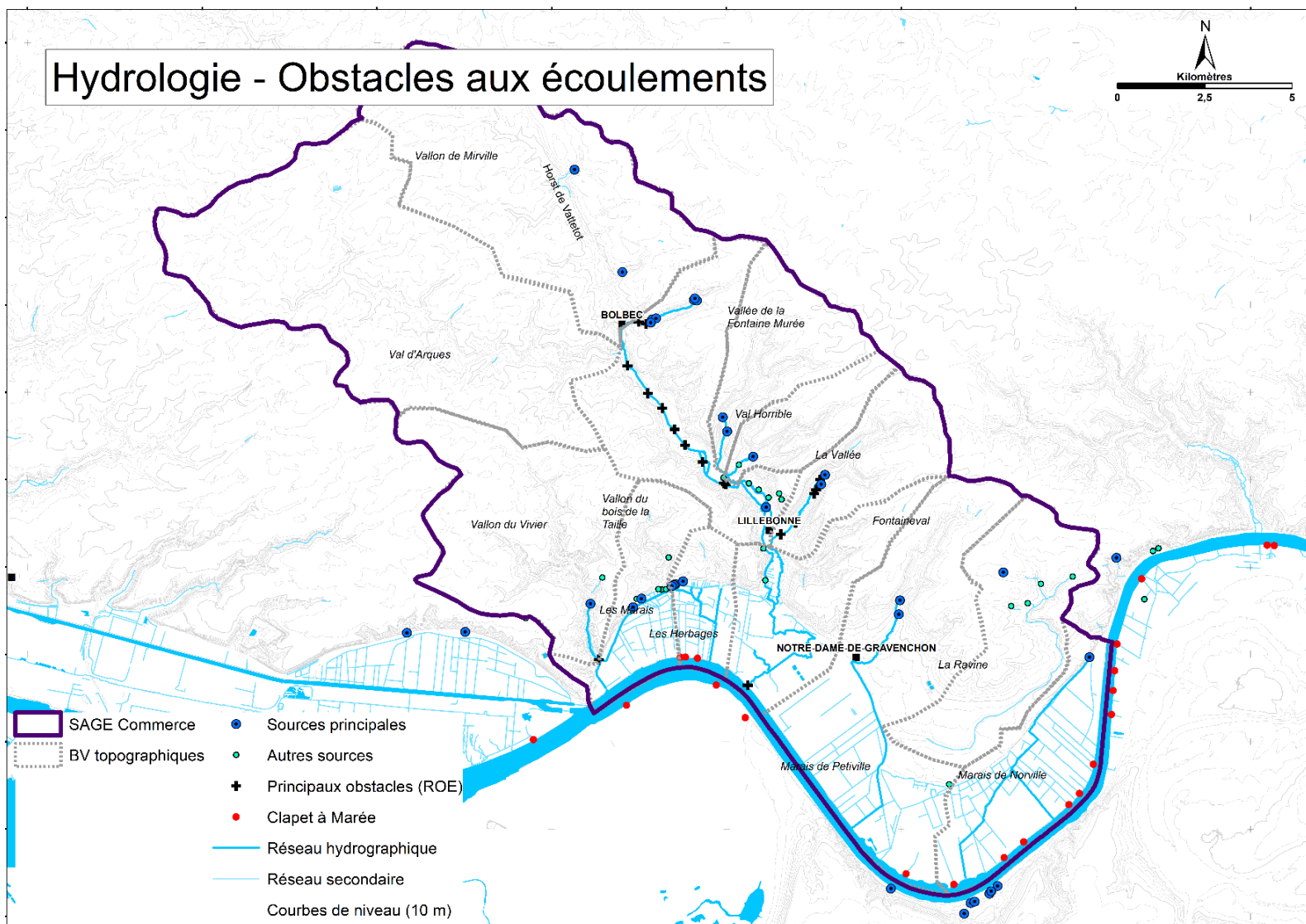


Illustration 83 : Obstacles à l'écoulement des eaux de la zone alluviale (source : ROE, 2014 et GIPSA, 2011)

3.2.4. Mesures des lignes d'eau

Lors des campagnes de mesures réalisées en 2017 et 2019, une mesure de l'élévation de la ligne d'eau a été réalisée sur l'ensemble des cours d'eau de la zone d'étude (Tableau 9). Ces mesures ont été effectuées à l'aide de GPS de précision centimétrique, principalement à l'amont et l'aval des principaux obstacles à l'écoulement. La carte de l'ensemble des mesures a été reportée en annexe 1.

Cours d'eau	Nombre de points de mesures
Aulnes	7
Bébec	6
Commerce	45
Fourneau	2
Hannetot	8
Haut-Commerce et Mirville	3
Théluet	13
Val Horrible et Fontaine Murée	4
Vallée	14
Vivier et Brouisseriesse	14
Autres (Villequier et Cahot)	2
TOTAL	118

Tableau 9 : Répartition des points de mesures sur les cours d'eau de la zone d'étude

Par la suite, nous avons cherché à comparer, lorsque cela était possible, les profils mesurés sur les cours d'eau avec la position connue des obstacles d'une part, et des failles supposées d'autre part (cf. chapitre 2.5 sur l'aspect structural, volet géologique).

Rivière de Bolbec/Commerce

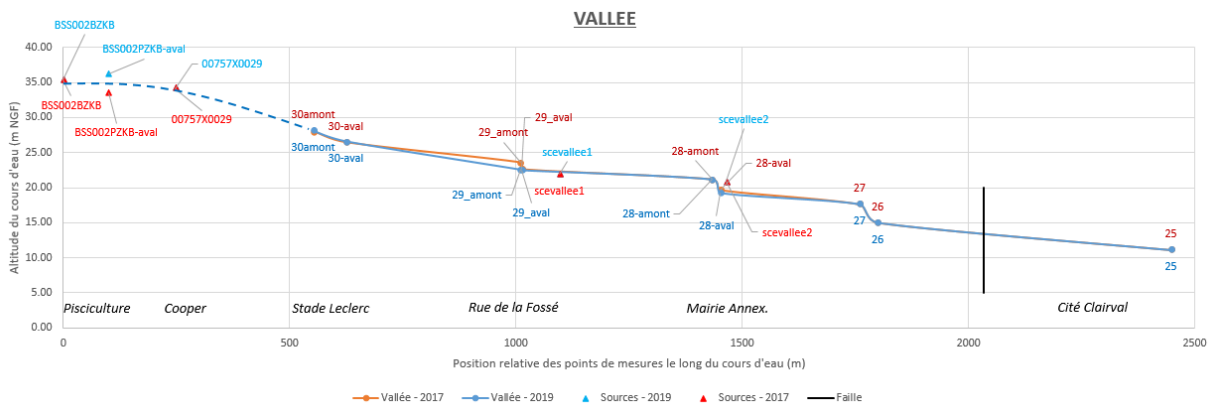
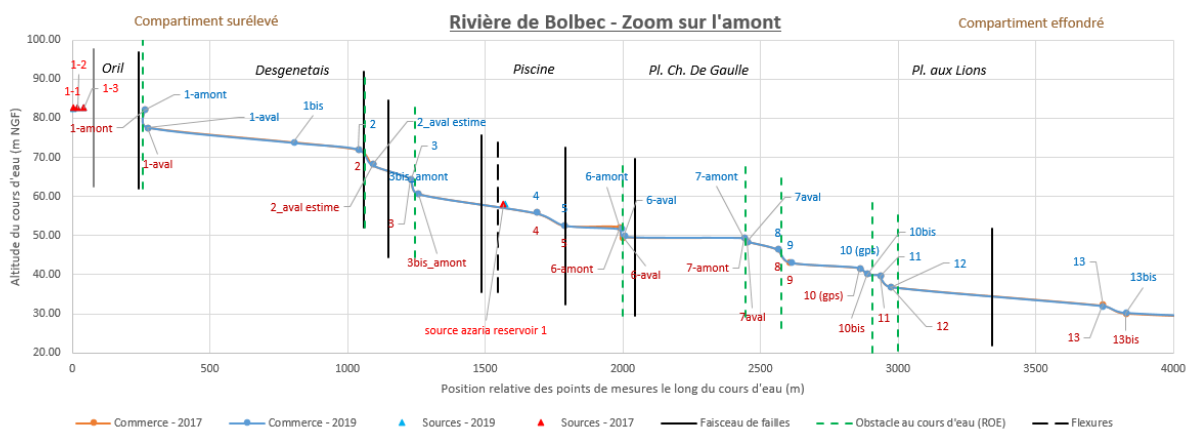
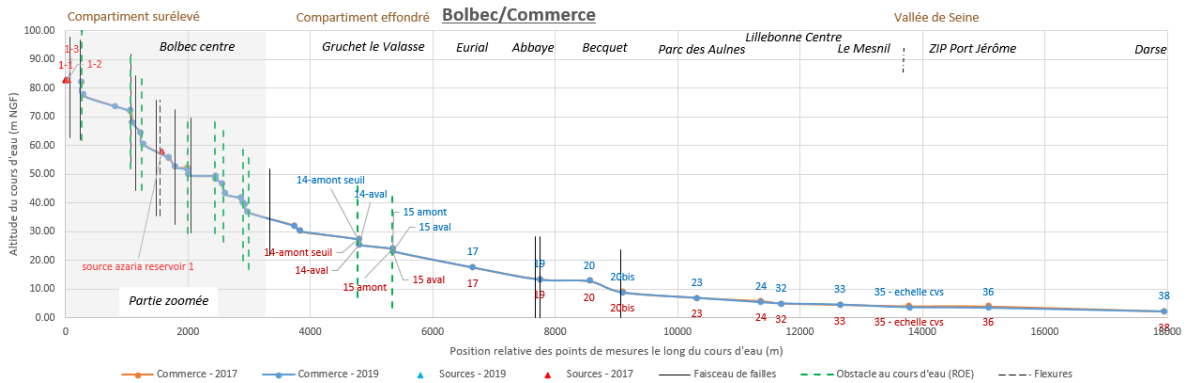


Illustration 84 : Profils des lignes d'eau du bassin du Commerce mesurées par le BRGM lors des campagnes de mesures de 2017 et 2019.

A la vue des profils de la rivière de Bolbec et de la Vallée présentés sur l'illustration 84, on peut s'interroger sur l'analogie possible entre la position des failles, des obstacles à l'écoulement et leur position située le plus souvent au droit de ruptures de pentes.

A partir du constat suivant : pour les besoins industriels ou agro-alimentaire, l'homme a cherché à tirer parti des cours d'eau et notamment de l'énergie qui pouvait en être « extraite ». Celle-ci est plus importante notamment au droit des zones de ruptures de pente. Ces ruptures peuvent être le fait de la main de l'homme, ou naturelles alors du fait de la géomorphologie des vallées.

Dans le contexte géologique et structural que nous connaissons aujourd'hui, nous pouvons faire l'hypothèse que ces ruptures de pentes aient pu être générées par affaissements des terrains autour de failles par exemple. Cette dernière hypothèse impliquerait toutefois l'existence de rejeux récents du faisceau de faille. En effet, cela nécessite que ces rejets aient pu impacter les formations récentes, sans être complètement effacés par l'érosion quaternaire (alternance des périodes glaciaires-interglaciaires). Les secteurs où il existe une pente du cours d'eau importante (> 2%) semblent le suggérer : points de mesure 2 – 3 – 4 – 5 puis 8 – 9 et encore 12 – 13 pour la rivière de Bolbec, ou autour des points 26 – 27 et 29 pour la rivière de la Vallée par exemple.

Si on considère cette hypothèse géomorphologique, alors à la lecture des profils, il apparaît probable qu'il existe encore d'autres compartiments tectoniques qui n'ont pas encore été mis à jour par des investigations géophysiques ou des sondages.

A noter sur les figures présentées en annexe 1 :

- La différence de niveau mesurée sur l'ensemble des tronçons amont et aval des cours d'eau n'a pas montré de différence significative entre les mesures de 2017 et 2019 sauf dans la vallée de la Seine où les niveaux dans les tronçons connectés avec le fleuve n'ont pas été pris à des moments similaires : exemple du Hannetot et de la Brouisseresse. Notons que dans les deux cas les débits au mois de mars étaient proches de la médiane. Ces variations de niveaux, inférieures à 0,5 m, ne pourront pas être modélisées dans le futur outil.
- Pour la rivière du Vivier on constate une différence notable de niveau (dénivellation de 3 m environ en une centaine de mètres ~3%) dans la partie amont entre les sources, mesurées près de la Fontaine du Four à Vaux, et la cressonnière. Cet indice géomorphologique pourrait, là également, souligner la présence d'une structure géologique ou structurale.

Autres cours d'eau

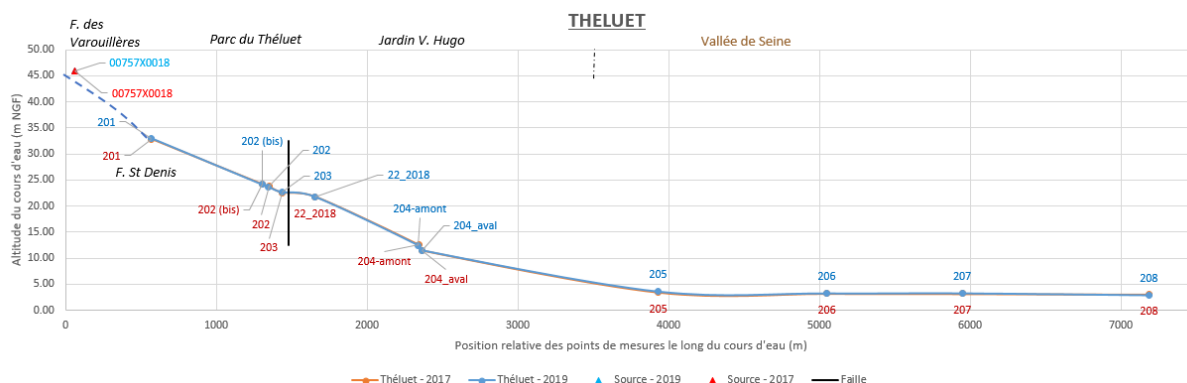


Illustration 85 : Profils des lignes d'eau mesurées sur le Théluet par le BRGM lors des campagnes de mesures de 2017 et 2019

Le profil des lignes d'eau du Théluet (Illustration 85) montre l'existence de pentes importantes dans la partie amont du cours d'eau mais sans rupture marquée (sauf entre les points 202-203). Il est pourtant probable que ce cours d'eau traverse un nœud tectonique de première importance, comme le laisse suggérer la synthèse structurale (croisement du système faillé de Fécamp-Lillebonne et de ND de Gravenchon-Triqueriville).

Si on transpose l'hypothèse soulevée pour le Bolbec-Commerce au Théluel, cette complexité ne transparaît pas dans la géomorphologie du cours d'eau dans ce cas de figure.

Vallée de la Seine

Dans la vallée de la Seine, on note que certains fossés de drainage de la plaine alluviale sont équipés de clapets. Leur ouverture se fait mécaniquement à marée basse et, inversement, se ferme à marée haute. Ce système hydraulique imprime un fonctionnement de montée en charge des canaux et fossés à marée haute (stockage) puis de libération progressive de l'eau lors de la marée descendante. Ce mécanisme a permis d'assécher progressivement la plaine alluviale (anciens marais alluviaux) ce qui, historiquement, a permis de gagner des terres agricoles mais aussi de pouvoir implanter, plus récemment, des activités industrielles.

A noter : il n'existe pas, a priori, d'ouvrages de ce type sur les cours d'eau dont la portion aval est soumise au cycle des marées de l'estuaire de la Seine.

Enfin notons que la Seine n'a pas, sur ce secteur, d'éléments faisant obstacle aux écoulements (cf. Illustration 83).

3.2.5. Nature du lit et des berges

Les échanges entre eaux superficielles et souterraines peuvent être influencés par la nature du fond ou des berges.

Ces données sont importantes car elles serviront à définir un coefficient de colmatage du lit et des berges du cours d'eau. Ce qui permettra ainsi d'ajuster les paramètres caractéristiques du cours d'eau dans le futur outil de modélisation.

Faute de pouvoir faire des mesures de perméabilités dans les formations constituant le lit de la rivière, le coefficient de colmatage pourra notamment être apprécié à partir de la lithologie des formations qui le supportent (Illustration 86).

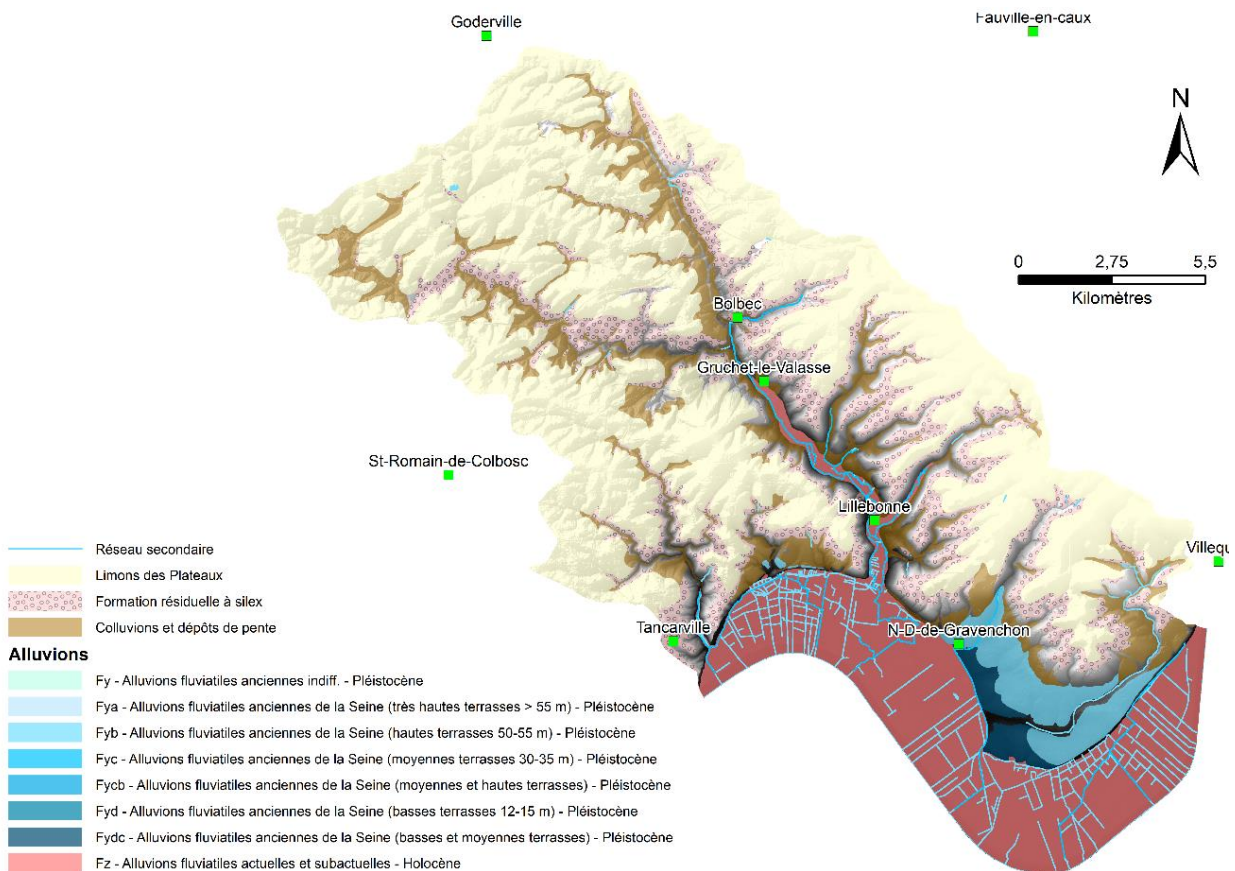


Illustration 86 : Formations superficielles et cours d'eau de la zone d'étude du SAGE Commerce (source : carte géologique harmonisée au 1/50 000^e de la Seine-Maritime, BRGM)

Les paragraphes suivants détaillent, par zone géographique, les hypothèses qui pourront être choisies par la suite lors de la construction du futur outil de modélisation.

Vallée de la Seine

On constate que certains tronçons des berges du fleuve sont endigués, d'autres présentent des berges naturelles sablo-graveuleuses ou encore limono-argileuses (Illustration 86). La nature des matériaux, naturelle ou non, perméable ou non, va influencer les échanges entre les eaux de la Seine et les eaux souterraines (Illustration 87).

Une large majorité des berges en rive droite est fortement anthropisée (~79% sur 22,8 km). Seule la portion des berges située entre le Théluet et le Hannetot et quelques menus tronçons des berges situées à l'aval du Commerce et de la Brouisseresse est semi-naturelle à naturelle (~21%).

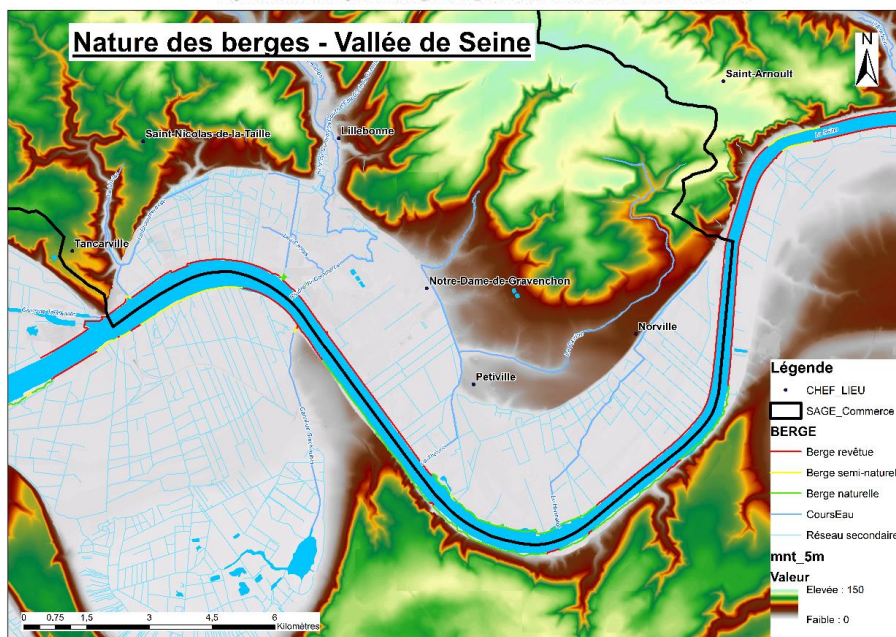
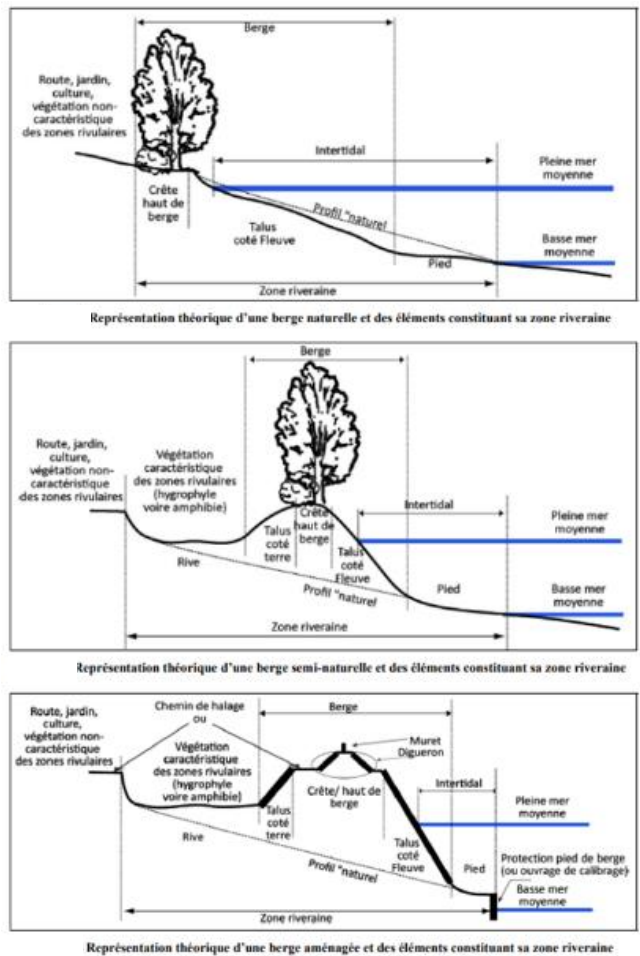


Illustration 87 : Zones riveraines de la Seine, différents types d'aménagements rencontrés
Source : GIPSA (2011)

Rivière de Bolbec/Commerce

Le lit de la rivière de Bolbec repose sur des colluvions dans la partie amont du cours d'eau jusqu'au sud du bourg de Gruchet-le-Valasse. Celle-ci repose ensuite sur des alluvions fines jusqu'à son débouché en Seine. La rivière de la Vallée repose intégralement sur des formations alluviales.

Le Théluet et la Ravine ont une configuration différente puisque leur lit repose sur d'anciennes terrasses de la Seine. La lithologie de ces formations est plus grossière (limons, sables et graviers) – (Illustration 86).

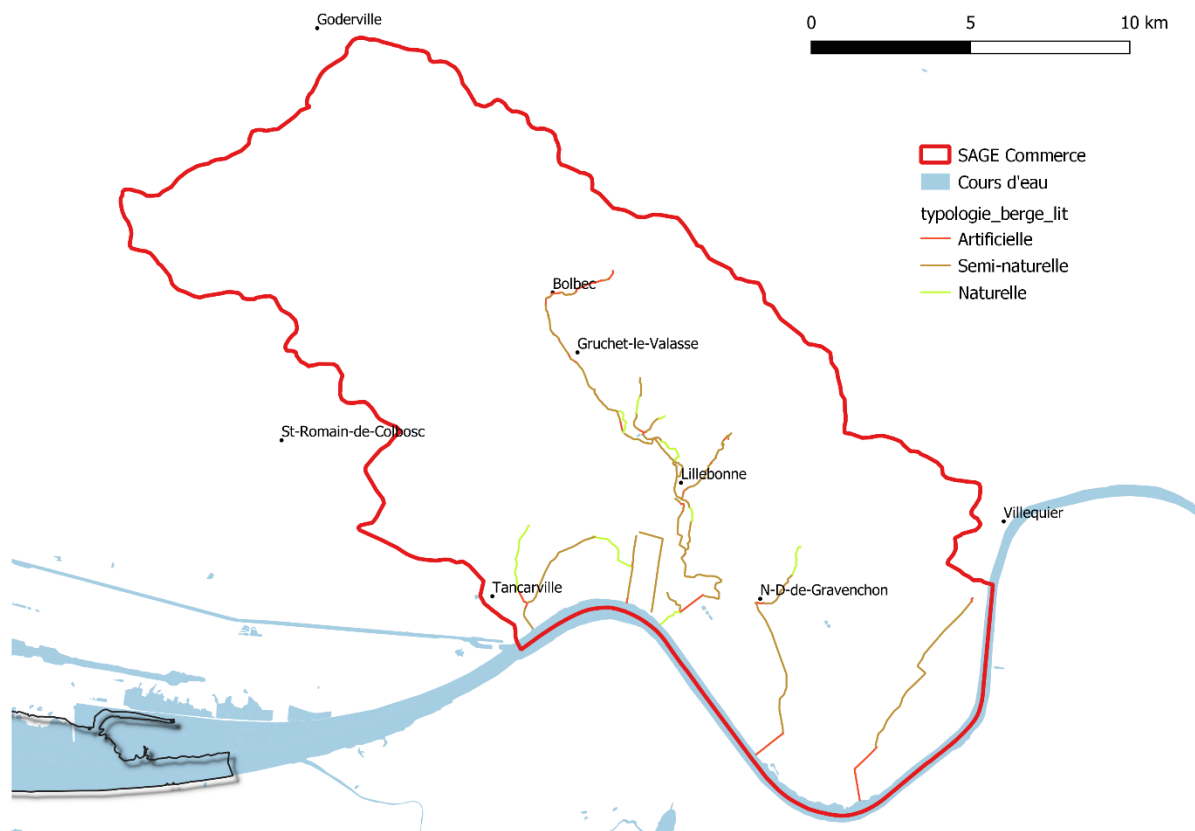


Illustration 88 : Typologie de l'état des berges et du lit des cours d'eau du SAGE Commerce, source : BRGM, PPRE (SOM, 2020) et (SAGE Vallée du Commerce, 2004)

L'illustration 88 montre que plusieurs tronçons de cours d'eau présentent des profils très artificialisés : c'est le cas notamment de la rivière de Bolbec dont le cours disparaît complètement ou partiellement sur plusieurs centaines de mètres lors de sa traversée du centre-ville de Bolbec (de sa source chez Oril Industries jusqu'à la Place aux Lions).

La rivière disparaît à nouveau partiellement à Gruchet-le-Valasse au niveau de l'entreprise Omyacolor, rue Desgenetais, jusqu'à l'impasse Fauquet (friche Forthomme/SLIC).

La rivière de la Vallée et la partie médiane et aval du Théluet traversent les centres urbains, respectivement, de Lillebonne et Notre Dame de Gravenchon.

Au niveau de l'entreprise Eurial et également au passage dans le parc de l'abbaye jusqu'au centre-ville de Lillebonne, on remarque que la rivière de Bolbec ne coule pas dans son lit naturel. On suppose donc que les berges du cours d'eau sont semi-naturelles à artificielles.

Enfin, la traversée de la zone industrielle a également nécessité par endroit de déplacer les cours d'eau pour contourner les espaces occupés par les entreprises.

On estime, sur la base des connaissances du BRGM et du service rivière de Caux Seine Agglomération, que la répartition entre berges naturelles, semi-naturelles et artificielles se fait de la façon suivante sur le territoire d'étude (Tableau 10) :

Types de berges	Longueur estimée (km)	Ratio en %
Naturelles	9,1	15,2
Semi-naturelles	41,2	68,4
Artificielles	9,8	16,4

Tableau 10 : Nature des berges et répartition sur le territoire du SAGE Commerce

A la lecture du Tableau 10, il apparaît que les rivières du territoire possèdent un lit et des berges relativement artificialisés. Cet état de fait implique, probablement, une limitation des échanges entre les cours d'eau et le milieu environnant dont les nappes : colmatage, lit perché ou déconnecté du niveau de nappe par exemple (cf.paragraphe 4.6).

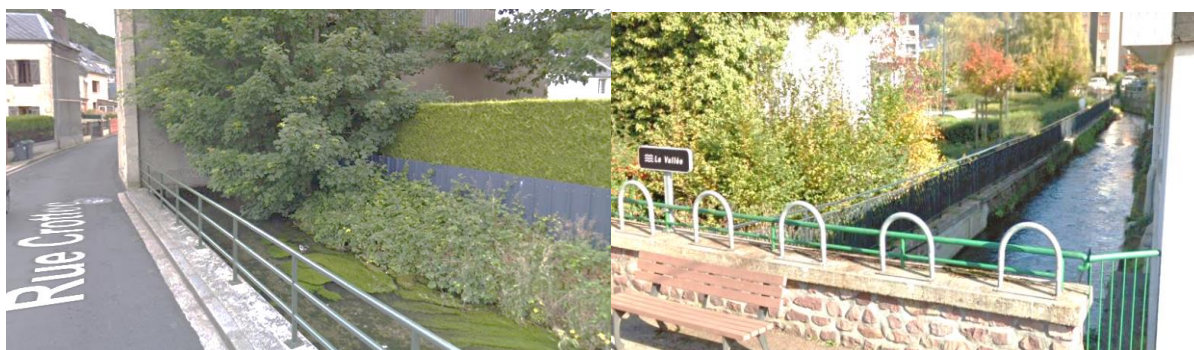


Illustration 89 : Exemple de berges construites en milieu urbain sur le cours de la rivière de la Vallée (crédit photo : Google Map).

Autres cours d'eau

A l'instar du Bolbec/Commerce, la rivière de la Vallée apparaît comme très artificialisée lors de son parcours dans Lillebonne. Elle disparaît même lors de son passage derrière l'église jusqu'au centre culturel/médiathèque (souterrain).

Dans la vallée de la Seine, le Hannebot, le Théluet, la Brouisseresse, la rivière de Radicâtel ont toutes été aménagées pour répondre aux besoins agricoles ou plus tard industriels de ce secteur. Les cours d'eau sont connectés à de nombreux fossés de drainage. Les berges sont semi-naturelles (cf. Illustration 88).

3.2.6. Synthèse des principaux critères morphologiques des cours d'eau

Dans le Tableau 11 en page suivante sont regroupées les principales caractéristiques morphologiques des cours d'eau.

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

Nom du cours d'eau	Longueur du profil (km)	Largeur (m)	Profondeur (m)	Pente globale (%)	Principaux obstacles (nbre)	Nature des berges
La Seine	22,9	400-600 m	Jusqu'à 18	0,01	-	Naturelles à Chenalisées
Rivière de Bolbec	12	Min : 0,7 (point 7 décharge moulin) Max : 3,5 m (aval du point 13)	Min : 0,53 (point 7-amont) Max : 3,22 (point 3)	-0,66	11	Canalisées en partie, semi-naturelles
Le Commerce	5,4	Min : 2,2 m (aval 33) Max : 9,5 m (point 35)	Min : 1,69 (point 32) Max : 2,10 (point 38)	-0,08	0	Naturelles à semi-naturelles
Rivière des Aulnes	2,1	Min : 1,1 m (aval 20 bis) Max : 4,5 m (aval point 22)	Une seule mesure : 0,91 (point 22)	-0,1	0	Naturelles à semi-naturelles
La Fontaine Murée	1,9	Pas de mesures	Pas de mesures	-1,13	0	Naturelles à semi-naturelles
Le Val Horrible	0,9	Pas de mesures	Pas de mesures	-1,48	0	Naturelles à semi-naturelles
Rivière de la Vallée	3	Min : 1,4 m (quartier hamel) Max : 4 m (pisciculture)	Min : 0,74 (point 28-amont) Max : 2,90 (point 26)	-1,01	5	Naturelles à semi-naturelles
Le Fourneau	2,9	Min : 1 m (Rd pt RD173) Max : 7 m (voie ferrée)	Une seule mesure : 3,31 (point 34)		0	Naturelles à semi-naturelles
Le Vivier	1,8	Une seule mesure : 2,70 (point 34)	Min : 0,41 (point vivier branche est) Max : 1,65 (point 104)	-0,13	1	Naturelles à semi-naturelles
La Brouisseriesse	4	Min : 4,20 (point 46) Max : 7,20 (point 47)	Min : 1,28 (point 108) Max : 1,75 (point 101)	-0,06	0	Naturelles à canalisées
Le Théluet	8,2	Min : 1,0 (point 20_2018) Max : 2,8 (point 39)	Min : 0,44 (point 208) Max : 2,57 (point 202)	-0,46	0	Naturelles à canalisées
Le Hannetot	8	Min : 0,30 (point 43) Max : 1,25 (point 45)	Min : 1,05 (point 303) Max : 1,79 (point 305)	-0,02	0	Naturelles à canalisées
Rivière de Radicatel	2,9	Une seule mesure : 3,40 (point 59)	Pas de mesures	-0,03	0	Naturelles à canalisées
La Ravine	10,1	Pas de mesures	Pas de mesures	-0,99	0	Naturelles à semi-naturelles

Tableau 11 : Synthèse des données morphologiques sur les cours d'eau,

source : les données de largeurs et profondeurs moyennes ont été estimées à partir des informations collectées lors des jaugeages ou s'appuient sur l'étude Hydratec (2000), SOM (2020) et de compléments apportés par le service rivière de Caux Seine Agglomération (communication orale)

Les principaux obstacles sont issues de la BD ROE (2014)

3.3. EVALUATION DU DEBIT DES COURS D'EAU

La connaissance des débits naturels des cours d'eau (et leur évolution tout au long du profil des rivières) et des secteurs en pertes/gains est importante à plusieurs titres :

- Elle permet de mieux apprécier le bilan hydrologique global et notamment les échanges nappes-rivières, ce qui permet notamment de fournir des données utiles au calage de futur(s) modèle(s) de l'hydrosystème.
- Elle apporte des informations utiles pour la gestion et la protection des ressources en eau, en particulier pour évaluer le caractère plus ou moins vulnérable de celles-ci et enfin adapter la stratégie de lutte contre 1) les tensions quantitatives et 2) les pollutions des milieux aquatiques.

Pour permettre cette évaluation, le BRGM s'est appuyé sur des mesures de terrain, qui ont été comparées et complétées par des données bibliographiques.

3.3.1. Campagne de Jaugeages 2017-2018-2019

Période de réalisation

Deux campagnes principales de jaugeages ont été réalisées en Avril 2017 et Mars 2019. Elles ont mobilisé des équipes du BRGM et du service Hydrométrie de la DREAL Normandie. Ces campagnes ont été complétées en 2018, sur la période de Mars à Juillet, par des mesures ponctuelles réalisées sur les cours d'eau traversant le faisceau de failles de la structure Fécamp-Lillebonne : amont de la rivière de Bolbec, la rivière de la Vallée et du Théluet (fréquence mensuelle, de 3 à 5 mesures supplémentaires ont donc pu être réalisées sur ces tronçons).

L'illustration 90 ci-après permet de visualiser les périodes hydrologiques de réalisation des différentes campagnes de mesure. La première, réalisée au printemps 2017, a donc été menée avec des débits de cours d'eau particulièrement faibles (< 100 l/s, valeur du QMNA5), les niveaux de nappe étaient modérément bas. La campagne de mesures réalisée en 2018 s'est faite à une période de l'année où les débits du cours d'eau et les niveaux des nappes étaient relativement hauts. Enfin la campagne de 2019 s'est quant à elle déroulée en niveau modérément haut des nappes et pour des débits moyens du cours d'eau, proches de 150 l/s (la médiane journalière est proche de 160 l/s, cf. paragraphe 3.4.2).

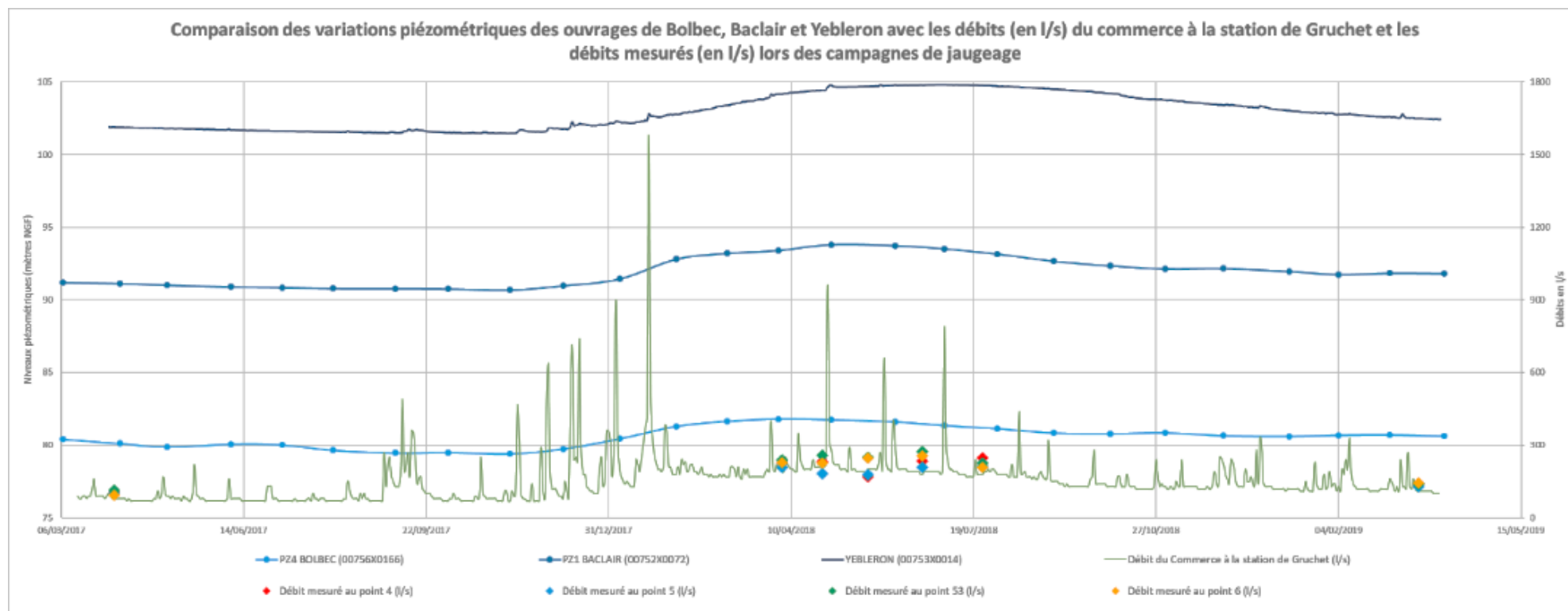


Illustration 90 : Période de réalisation des campagnes de mesures, comparaison de la piézométrie de divers ouvrages du compartiment est et débit de la rivière de Bolbec/Commerce à Gruchet le Valasse.

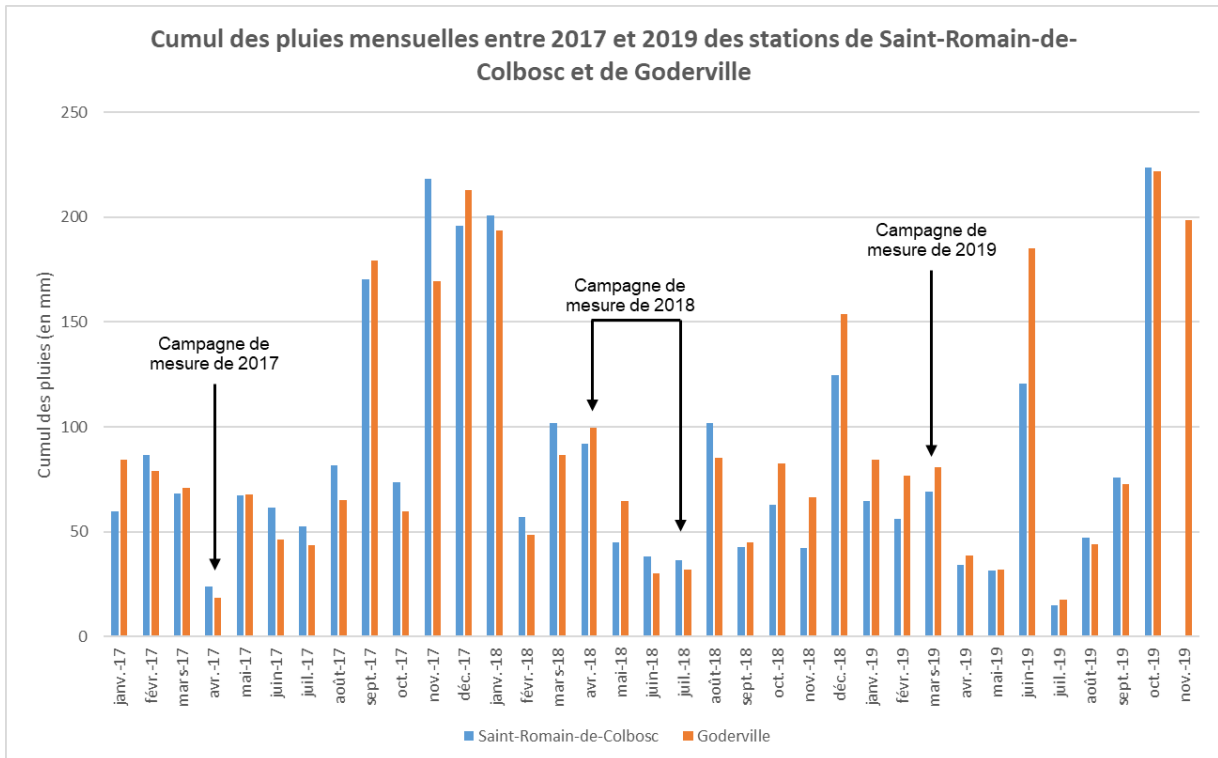


Illustration 91 : Cumul des pluies mensuelles des stations de Goderville et de Saint-Romain-de-Colbosc entre 2017 et 2019

On rappelle que les données des campagnes de jaugeage (de 2017, 2018 et 2019) sont synchrones avec les campagnes piézométriques et les campagnes des lignes d'eau.

Les 5 campagnes complémentaires qui ont été réalisées mensuellement en 2018 (de mars à juillet) avaient un double objectif :

- Confirmer les tendances de gain et de perte de débits des rivières au passage des zones faillées. En effet, lors de la première campagne (avril 2017), de faibles pertes ou gains avaient été observés nécessitant une confirmation du fait de la complexité de ces secteurs urbanisés (nombreuses sources canalisées mais sans plan de ces réseaux, nombreux rejets d'eaux pluviales et de tronçon de cours d'eau canalisés...).
- Etudier le comportement des échanges nappes/rivières en situation de hautes eaux piézométriques constatées suite à la forte recharge de l'hiver (2017/2018).

Sélection des points de mesures

Pour pouvoir évaluer au mieux les gains et pertes de débit sur les cours d'eau, le BRGM a sélectionné en particulier les tronçons de cours d'eau situés à l'aval de : sources connues, confluences avec d'autres cours d'eau, zones de pertes ou passages de secteurs faillés identifiés en bibliographie, zones de prélèvements ou de rejets.

Dans la mesure du possible les mesures effectuées par le BRGM et la DREAL Normandie ont été réalisées, en domaine public, au droit de ponts ou ouvrages hydrauliques ou de linéaires dont les sections étaient compatibles avec les normes de mesures.

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

Nom du cours d'eau	Longueur du cours d'eau (km)	Nombre de points de mesures Campagne 2017	Nombre de points de mesures Campagne 2018	Nombre de points de mesures Campagne 2019
La Seine	22,9	Non évalué		
Rivière de Bolbec/Commerce	17,4	30	12	25
Rivière des Aulnes	2,1	10		10
La Fontaine Murée	1,9	3		2
Le Val Horrible	0,9	4		4
Rivière de la Vallée	3,0	7	6	12
Le Fourneau	2,9	3		3
Le Vivier	1,8	2		3
La Brouisseriesse	4,0	6		6
Rivière de Radicatel	2,9	2		2
Bébec/La Ravine	10,1	4		4
Le Théluet	8,2	5	5	8
Le Hannetot	8,0	2		3
Autres	Non précisé	7		9
Total		85	23	91

Tableau 12 : Bilan du nombre de mesures réalisées au cours de la période 2017-2019

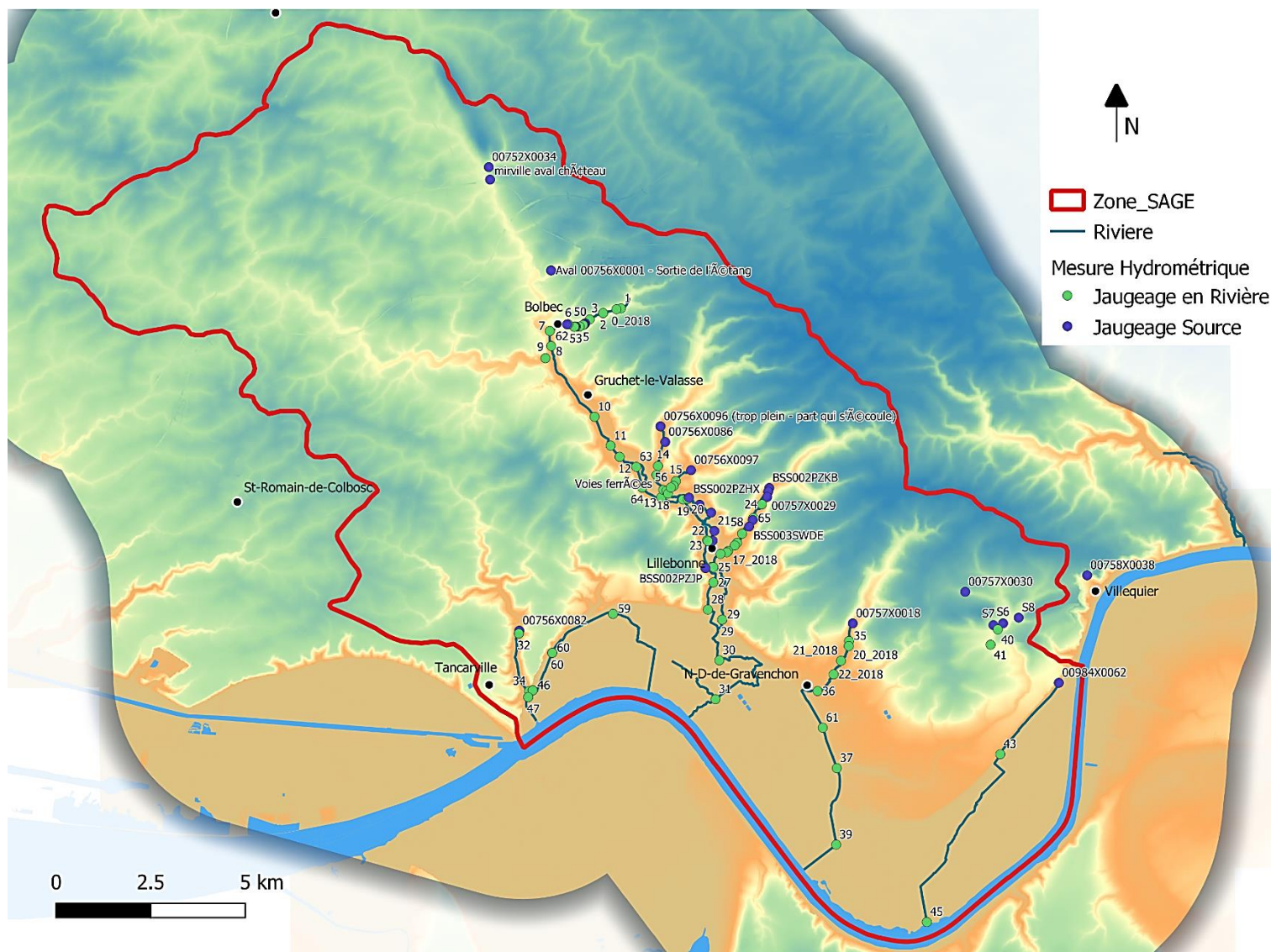
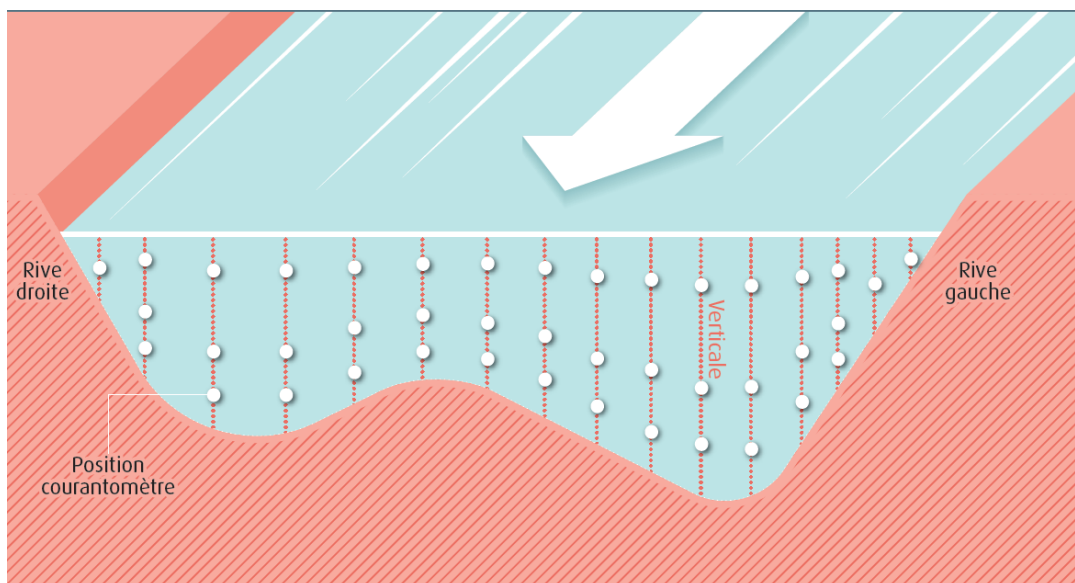


Illustration 92 : Carte des points mesurés entre 2017 et 2019 pour le jaugeage ponctuel des sources et des cours d'eau

Matériels et méthodes de mesure

Les jaugeages des sources et rivières et de certains points de rejet significatifs ont été réalisés à l'aide d'un courantomètre électromagnétique par la méthode d'exploration du champ de vitesses (cf. Illustration 94). Les mesures ont été réalisées en suivant la norme NF EN ISO 748 (cf. Illustration 93), standard de référence.



*Illustration 93 : Exemple de mesure de la vitesse à 3 points d'une section de cours d'eau
source : Irstea in SCHAPI, (2017)*

Les débits les plus faibles ont été estimés à l'aide de plusieurs mesures réalisées au seau gradué.



*Illustration 94 : Mesure en cours d'eau à l'aide d'un courantomètre électromagnétique à perche,
modèle MF PRO OTT (BRGM)*

3.3.2. Résultats et comparaison aux valeurs connues

Les résultats bruts des différentes campagnes de jaugeages ont été compilés dans un tableau de synthèse placé en annexe 2.

Nous avons choisi de représenter ci-après l'évolution des débits le long des profils des cours d'eau de la zone d'étude.

Rivière de Bolbec/Commerce

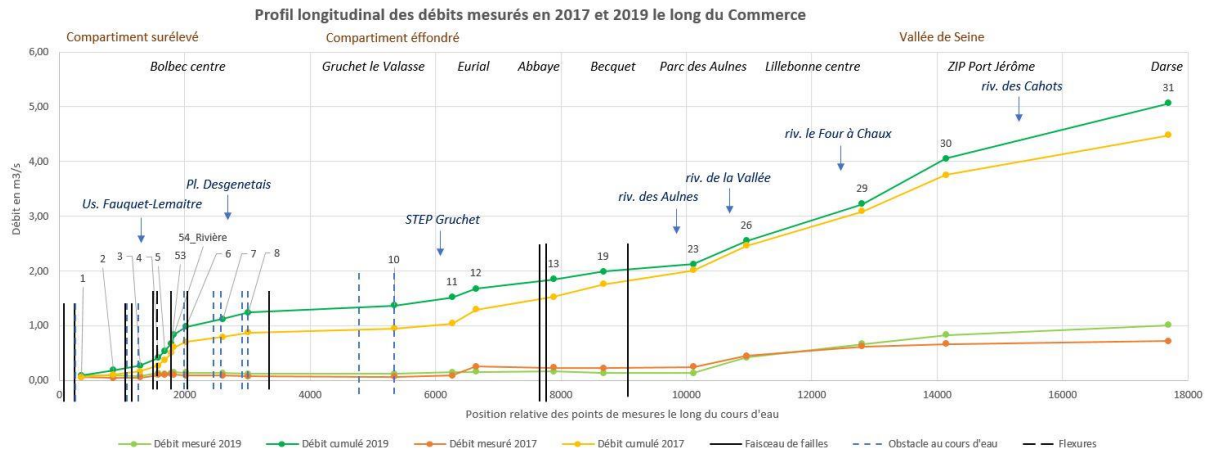


Illustration 95 : Profil des débits le long de la rivière de Bolbec/Commerce, résultat des campagnes de 2017 et 2019 (DREAL Normandie, BRGM)

L'illustration 95 ci-dessus montre que **les principaux apports au débit de la rivière de Bolbec/Commerce sont enregistrés** (courbe cumulée) :

- Dans la partie amont du cours d'eau, principalement au droit et à l'aval de l'usine Fauquet-Lemaître à Bolbec où le débit dépasse les 100 l/s pour les deux campagnes ;
- Au niveau de Gruchet-le-Valasse, le rejet de la station d'épuration contribue également de manière significative (+40 à 60 l/s) ;
- Enfin la jonction avec la rivière des Aulnes à Lillebonne est le point de départ d'apports multiples (sources et rivières) qui voient le débit de la rivière croître de façon quasi continue jusqu'à son embouchure avec la Seine. Le débit du cours d'eau atteint alors 800 à 1000 l/s et a donc presque été multiplié par 10 par rapport à la partie amont.

En dehors de ces secteurs, la rivière ne gagne quasiment pas de débit.

Hydratec en 1993 et Ingétec en 2000 (Illustration 96) ont procédé par le passé à des campagnes de mesure de débit sur la rivière de Bolbec et du Commerce (Servy, 2001), en période de hautes eaux relatives. La campagne de jaugeage de 2000 a été réalisée dans le but de connaître les flux transitant au droit de plusieurs stations de suivi de la qualité des eaux, afin de pouvoir déterminer la dilution de plusieurs points de rejets majeurs.

Sur ces deux campagnes, un débit de 100 à 200 l/s a été relevé au niveau de la source ; le débit reste ensuite presque constant sur une distance de 10 km : celui-ci double à peine. On constate dans la partie aval du cours d'eau une augmentation soudaine du débit au niveau de la confluence avec la rivière des Aulnes puis de la Vallée (le débit est multiplié par 4 ou 5 par rapport au débit des sources amont) pour atteindre plus de 900 l/s et croître encore par la suite.

Les mesures d'Hydratec en 1993 semblent même montrer une petite perte de débit en aval de l'agglomération de Gruchet-le-Valasse.

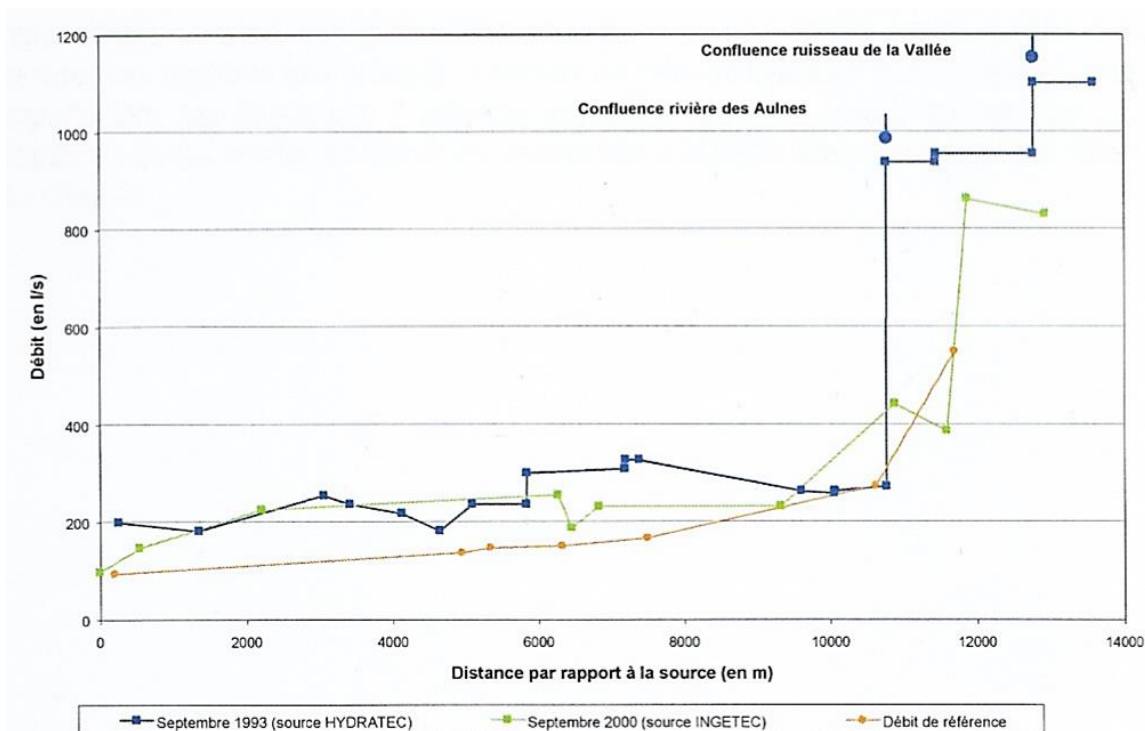


Illustration 96 : Campagnes de jaugeages Hydratec de 1993 et Ingétec 2000 , (Servy J.-C., 2001)

Sur l'illustration 97 ci-après, les débits mesurés par CPGF en 1978, en aval du bourg de Gruchet-le-Valasse varient de 158 l/s, directement à l'aval de la commune, à 323 l/s en amont de l'agglomération de Lillebonne (hors planche). Ces données sont cohérentes à celles présentées ci-dessus (Illustration 96) mais sont très supérieures à celles mesurées en 2017 et 2019 par le BRGM et la DREAL Normandie.

Les auteurs attribuent l'augmentation des débits entre Gruchet et Lillebonne à l'existence d'apports anthropiques pour 55 à 60 l/s et d'apports de nappe à hauteur de 75 l/s entre le Becquet et l'agglomération de Lillebonne. Ils ne montrent pas de baisse de débit sur ce secteur, à l'instar de ceux mesurés par Ingétec en 2000.

Les données mesurées en 2017 et 2019 viennent donc compléter et préciser (sur une période de basses eaux) les données existantes, grâce notamment à une densification du nombre de points de mesures. L'analyse en termes de gains ou pertes est proposée dans le paragraphe 3.3.3 suivant.

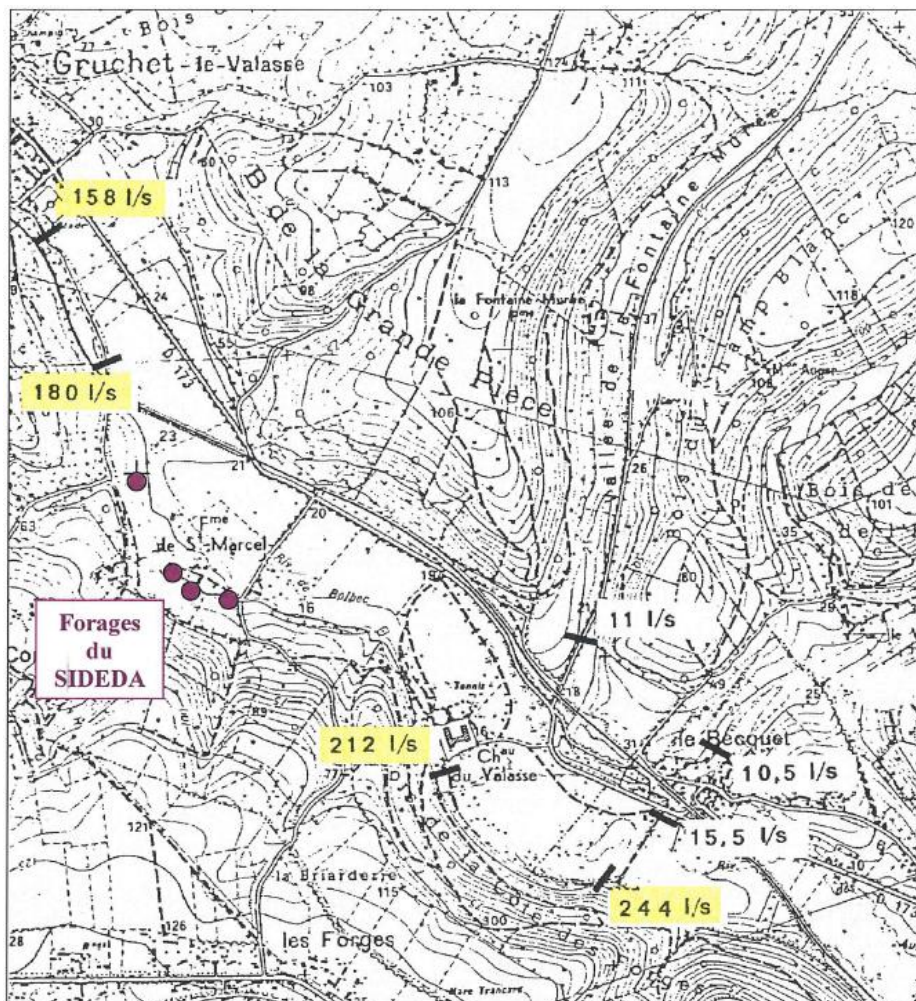


Illustration 97 : Mesures ponctuelles réalisées sur la rivière de Bolbec en aval de Gruchet-le-Valassé source : CPGF(1978)

A noter : Les débits mesurés en 1978 sur les petits cours d'eau de la Fontaine Murée et du Val Horrible sont respectivement estimés à une dizaine de l/s. Le débit de l'Etang en aval de l'abbaye est estimé quant à lui à une quinzaine de l/s. Ces apports au débit du Commerce sont donc relativement limités.

Cours d'eau du bassin du Commerce

Seules les rivières des Aulnes et de la Vallée ont fait l'objet d'une représentation sous forme de profils (Illustration 98 ci-après) car ces cours d'eau disposent d'un nombre de points de mesures suffisants.

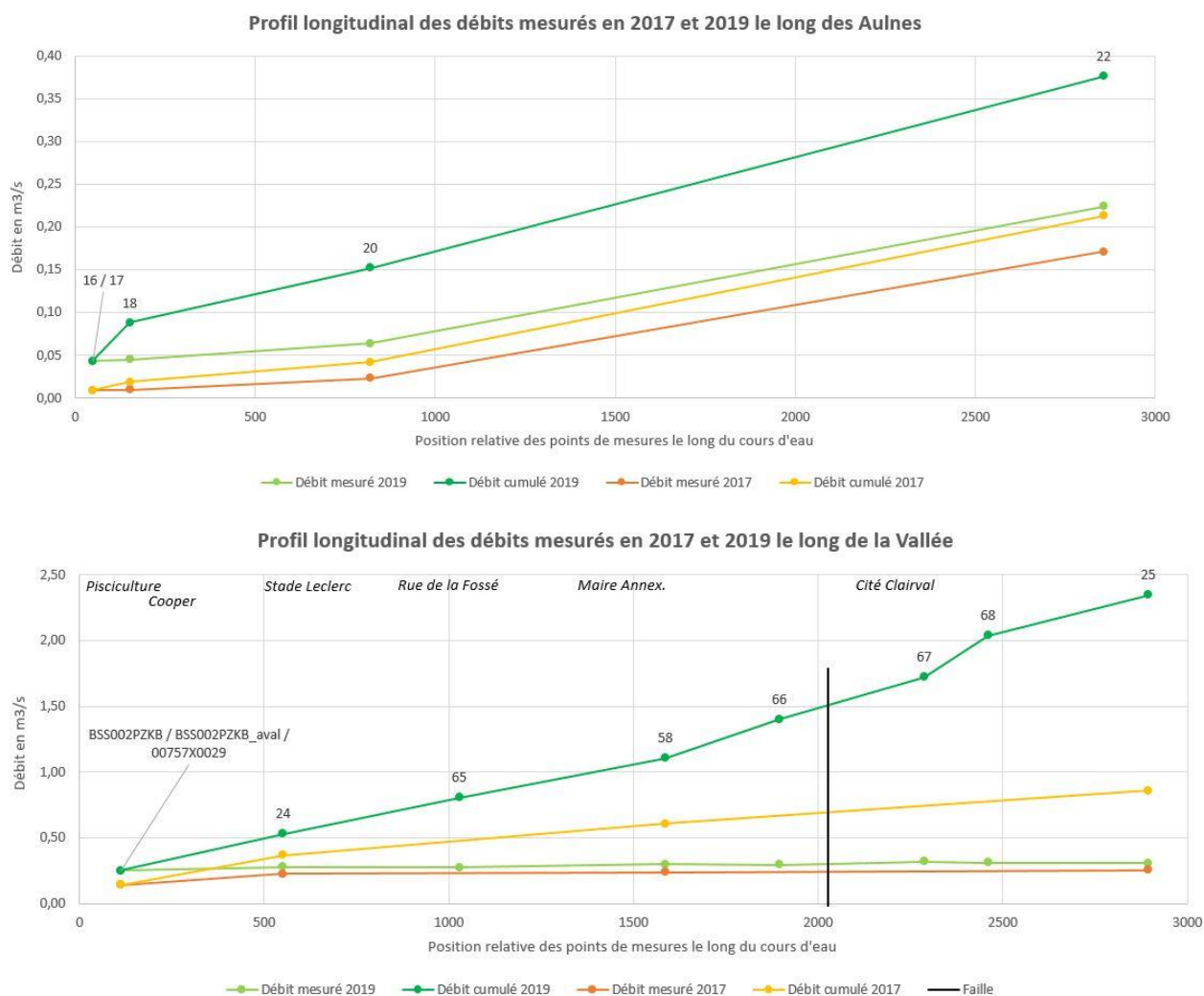


Illustration 98 : Profils de débits le long des rivières des Aulnes et de la Vallée à Lillebonne, résultat des campagnes de 2017 et 2019 (BRGM et DREAL Normandie)

Sur ces deux cours d'eau, on constate une augmentation significative des débits sur la partie aval des tronçons : d'une dizaine de l/s au niveau des sources jusqu'à 150 à 250 l/s, respectivement pour la rivière de Aulnes et la Vallée. Le débit est ainsi multiplié d'un facteur de plus de 10. Ces valeurs sont conformes aux médianes des mesures réalisées par la DREAL (Tableau 13), on note même que la valeur à l'exutoire pour la rivière de la Vallée peut être bien supérieure à celles mesurées lors des dernières campagne. En effet, la DREAL indique pour cette dernière des valeurs médiane proches de 500 l/s. Cette dernière constitue de ce fait le principal affluent de la rivière du Commerce : son apport représenterait environ 30 % du débit global du Commerce à son exutoire.

Ces valeurs sont cohérentes avec les mesures ponctuelles réalisées par la DREAL (cf. Tableau 13 en page suivante) pour la rivière des Aulnes mais sont inférieures (moitié) pour la Vallée.

Pour les autres secteurs, on peut souligner :

- Les mesures réalisées sur les petits cours d'eau alimentant des pertes : Beau-Soleil, Mirville, Fontaine-Murée, Val Horrible ne dépassent pas quelques litres par seconde tout au plus en 2017 et 2019. Toutes s'infiltreraient lors des campagnes dans des pertes et ne pouvaient donc pas rejoindre de manière directe le cours du Commerce.
- Les mesures réalisées au niveau du trop-plein de l'étang de l'abbaye montrent que celui-ci n'apporte qu'une dizaine de l/s comme cela avait été souligné sur l'illustration 97.
- La partie aval de la rivière des Aulnes montre des pertes en 2019 (non représentées sur le profil) relativement importantes d'environ 71 l/s (minimum). Dans un même temps on remarque que sur ce même secteur le Commerce est lui en gain. Des échanges seraient donc possibles entre ces deux cours d'eau : on suspecte l'existence de vannages ou d'organes de décharge sur un secteur où le parcours s'entremêle presque. Une autre hypothèse pouvant expliquer ces pertes pourrait être que le ruisseau passe d'un lit de colluvions à un lit d'alluvions plus perméables et verrait donc ainsi une partie de son débit se diffuser dans la nappe alluviale. Les éléments en notre disposition ne permettent toutefois pas de l'affirmer. On constate le même phénomène sur le Théluet.
- Dans la partie aval, les apports du Fourneau (Four à Chaux) sont conséquents, de l'ordre de 80 à 100 l/s en 2017 et 2019, ce qui semble conforme à la médiane issue des mesures de la DREAL (estimée à 70 l/s).
- Enfin dans la vallée de la Seine, les apports des Cahots dans la zone industrielle sont importants puisqu'on estime leur débit à environ 150 l/s. La DREAL (Tableau 13), montre de son côté que la valeur médiane serait proche plus proche de 300 l/s.

Rivière	Station	Mesures			Débit en m3/s		
		Nombre	Plage		Min	Mediane	Max
riv. Bolbec/Commerce	Bolbec-Oril	31	21/03/1984	10/11/1994	0,03	0,14	0,44
	Bolbec-centre	5	14/06/1985	11/07/2005	0,07	0,13	0,19
	Gruchet-le-Valasse	23	21/03/1984	25/06/2002	0,10	0,31	2,72
	Lillebonne-anc.échelle	5	21/03/1984	24/09/1991	0,26	0,41	0,60
	Lillebonne-intermarché	104	29/01/1969	15/10/2002	0,24	0,82	3,48
	Lillebonne-STEP	5	05/09/1985	24/10/1991	0,53	0,70	1,21
	Lillebonne-ZI	4	21/03/1984	10/11/1994	0,49	1,01	1,16
Rivière des Aulnes	Lillebonne-aulnes	12	21/09/1990	28/06/2005	0,06	0,16	0,29
Fond-de-vallée	Lillebonne-fd-amont	28	14/04/1988	28/06/2005	0,09	0,25	0,56
	Lillebonne-fd-aval	36	20/09/1990	28/06/2005	0,16	0,56	1,52
Four-à-chaux	Lillebonne-four	10	21/09/1990	28/06/2005	0,01	0,07	0,15
Cahots	Lillebonne-cahots	11	20/04/1989	28/06/2005	0,05	0,28	0,63
	Lillebonne-cahots-aval	1	10/11/1994	10/11/1994	0,29	0,29	0,29

Tableau 13 : Compilation des données ponctuelles mesurées sur le bassin versant du Commerce par le service hydrométrie de la DREAL Normandie

Les données du tableau montrent qu'il existe des écarts importants entre la valeur médiane et les valeurs maximales et minimales. **Ainsi, on relève une forte variabilité des débits : sur la rivière du Commerce Amont (vallon de Bolbec) et Aval au niveau de Lillebonne, sur la Vallée dans son cours aval, sur Le Four-à-Chaux et sur les Cahots.**

Autres cours d'eau du territoire du SAGE

Seul le Théluet a fait l'objet d'une représentation sous forme de profil (Illustration 99 ci-après) car celui-ci dispose d'un nombre de points de mesures suffisants.

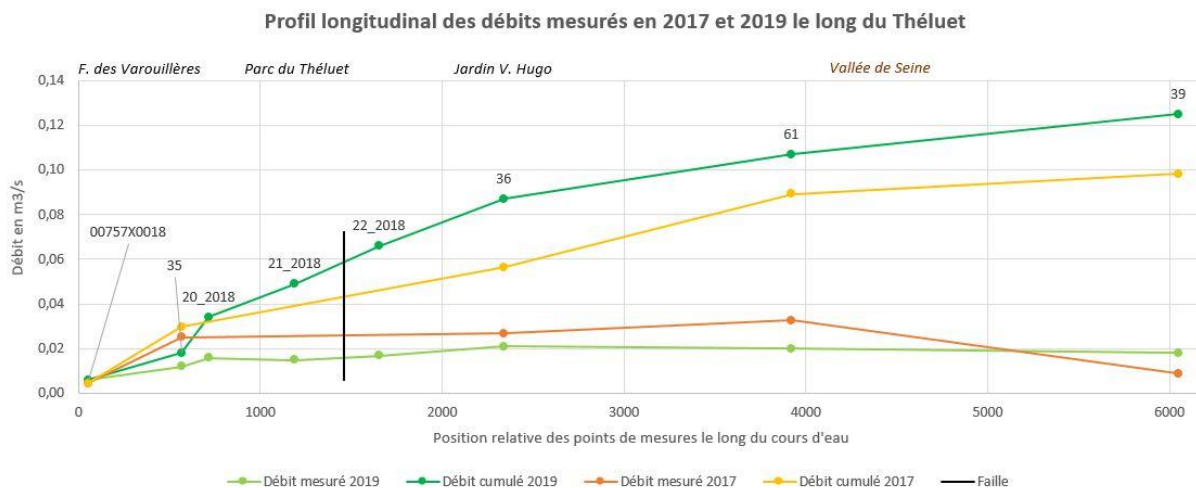


Illustration 99 : Profils de débits le long de la rivière du Théluet à Notre Dame de Gravenchon, résultat des campagnes de 2017 et 2019

L'illustration 99 montre que les débits du Théluet augmentent rapidement depuis la source pour atteindre de 15 à 30 litres par seconde. Les débits stagnent voire diminuent ensuite en arrivant dans la vallée de la Seine. On peut faire le constat similaire avec les mesures ponctuelles relevées par la DREAL (Tableau 14 suivant).

Rivière	Station	Mesures		Débit en m ³ /s			
		Nombre	Plage		Min	Mediane	Max
Brouisseresse	Tancarville-STEP	2	11/12/1991	28/06/2005	0,29	0,48	0,66
	Usine	2	10/04/1992	10/05/1995	0,46	0,82	1,19
Ruisseau du Vivier	Tancarville-vivier	13	20/03/1984	15/10/2002	0,09	0,15	0,20
Radicatel	Tancarville-radicatel	12	21/03/1984	15/10/2002	0,13	0,70	0,99
Theluet	ND-Gravenchon-amont	4	24/10/1991	28/06/2005	0,00	0,01	0,02
	ND-Gravenchon-centre	3	21/09/1990	28/06/2005	0,01	0,03	0,04
	ND-Gravenchon-aval	7	24/10/1991	20/03/1996	0,01	0,03	0,05

Tableau 14 : Compilation des données ponctuelles mesurées sur le territoire d'étude du SAGE Commerce par le service hydrométrie de la DREAL Normandie

Les sources et cours d'eau du secteur de Radicâtel-Tancarville ont tous des débits conséquents supérieurs à 100 l/s pour le Vivier et supérieur à 500 l/s pour la Brouisseresse ce que confirme également les valeurs médianes relevées par la DREAL (Tableau 14). Il s'agit par conséquent du groupe de sources les plus importantes du territoire dont le cumul est supérieur au débit du Commerce (+2,15 m³/s).

Ce que révélait déjà J. Archambault en 1955 :

- Le vallon du Vivier fournit 90 l/s dont 40 l/s semblent surgir 400 m en amont de la confluence avec la vallée de la Seine. L'auteur interprète ces derniers apports comme des résurgences de pertes en amont car celles-ci présentaient, selon l'auteur, une anomalie thermique.
- Le groupe de sources Brouisseresse-Moulin sont les plus importantes (40 émergences recensées de part et d'autre du vallon sec de St Nicolas de la Taille). Leur débit cumulé aurait été mesuré à 625 m³/h en février 1955 et estimé à 740 m³/h par Hanin dans sa

thèse (2010). Ces sources sont exploitées pour l'alimentation en eau potable de la ville du Havre.

- Le groupe de sources du hameau de Radicâtel : ces sources prennent naissance aux pieds des falaises et dans les jardins des habitations. Ce groupe aurait été jaugé en 1952 à environ 70 l/s (250 m³/h).

Les données du tableau montrent qu'il existe des écarts importants entre la valeur médiane et les valeurs maximales et minimales. Ainsi on distingue une forte variabilité : sur le système Bébec/Hannetot et le Théluet en particulier.

En 2017 et 2019, le cours d'eau du Bébec se perdait totalement dans la perte de Triquerville (cf. paragraphe 2.7.3). Son débit ne dépassait pas 11 l/s.

Le débit du Hannetot a été mesuré entre 15 et 30 l/s à la sortie de la source entre 2017 et 2019. Dans la vallée de la Seine, son débit se diffuse dans une série de canaux et fossés. En conséquence, son débit chute de manière significative jusqu'à son embouchure avec la Seine. Sur ce tronçon aval, il perd presque totalement sa fonction de cours d'eau.

3.3.3. Interprétations

Méthodologie

Les données interprétées, présentées ci-après, comprennent donc notamment :

- **L'évaluation des débits naturels des cours d'eau**, corrigés des valeurs de prélèvement ou rejets directs (et connus) ;
- **L'analyse des pertes et gains par tronçon.**

L'ensemble est représenté ci-après sous forme de graphiques de gains et pertes, mais également de manière cartographique (tronçons représentatifs entre les différents points de jaugeages). Ces cartes, toutefois, sont reportées dans le rapport d'annexes.

Rivière de Bolbec/Commerce

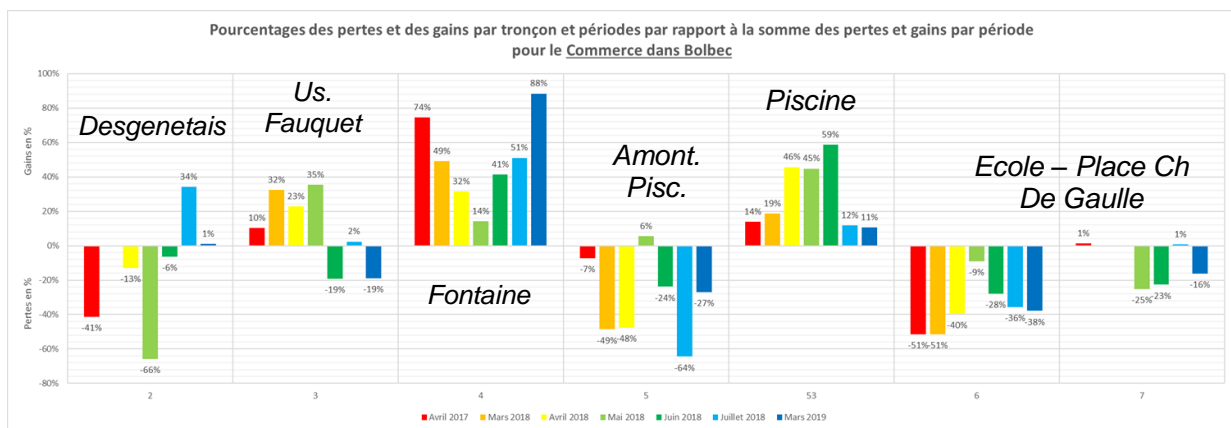


Illustration 100 : Pourcentage des gains et pertes dans la partie amont de la rivière de Bolbec, campagnes 2017 à 2019 (les numéros indiqués en abscisse tronçon correspondent au numéro du point de jaugeage aval de chaque tronçon)

Pour la partie amont de la rivière de Bolbec, on estime à la lecture des données que :

- Sur le tronçon situé entre le point 1 et 3, la rivière est constatée parfois en perte parfois en gain selon les périodes et parfois sans variation notable de débit. A noter que c'est sur ce tronçon que la diagraphie de température et de conductivité réalisée sur le sondage SC3 situé sur la faille F3, avait montré une signature en surface de l'aquifère laissant penser à des apports d'eau de surface (eau moins minéralisée et température influencée par la température extérieure) (cf. David et al., 2020).
- Le tronçon situé entre le point 3 et 4 (Fontaine) est toujours excédentaire et voit la naissance de plusieurs sources. La rivière gagne systématiquement du débit du fait de l'apport des 3 sources (00756X0002, 00756X0070 -Azaria Selle- et -BSS003EEXQ) ; ces apports représentent en moyenne 50% des apports de nappe au Commerce amont (jusqu'à près de 90% en période de basses eaux) – (David et al., 2020).
- Le tronçon situé entre le point 4 et 5 (rivière canalisée et perchée au droit de la piscine), traversant un faisceau de faille, est presque toujours déficitaire, les pertes étant, a priori, corélées aux niveaux de nappe et débits du cours d'eau. Ces pertes sont conséquentes et représentent en moyenne 1/3 du total des pertes du Bolbec amont (David et al., 2020).
- Le tronçon situé entre le point 5 et 53 (aval de la piscine), est toujours excédentaire, les gains étant, a priori, corélés aux niveaux de nappe et débits du cours d'eau. La rivière connaît systématiquement une augmentation de débit qui est liée à la présence de la source située sous la piscine (00756X0072) (dont l'exutoire canalisé est non localisé car

situé dans la partie couverte de la rivière) ; cette source ne représente que 10 à 15% des apports de nappe à la rivière en période d'étiage mais près de 50% des apports en période de nappe haute (David et al., 2020).

- Le tronçon situé entre le point 53 et 6 (Ecoles – encadrant le faisceau de faille F1) est toujours déficitaire, les pertes étant, a priori, corélées aux niveaux de nappe et débits du cours d'eau. Ces pertes représentent en moyenne plus du 1/3 du total des pertes du Bolbec amont.
- Le tronçon situé entre le point 6 et 7 (place C. De Gaulle) est quant à lui toujours déficitaire. La rivière est systématiquement en perte. A noter toutefois que des gains de débits non significatifs sont parfois mesurés en début de ce tronçon du fait d'une canalisation qui apporte un débit faible mais continu provenant probablement d'une source non localisée (David et al., 2020).

Ce travail a permis une avancée majeure, à savoir, de localiser de façon plus précise et certaine des portions de cours d'eau en pertes ou en gains. Ces informations seront croisées dans le paragraphe 3.5 avec les données de nivellement et de géologie structurale.

Les calculs n'ont pas permis de mettre en évidence un rapport (en %) constant de pertes ou de gains, que ce soit avec la valeur de débit en amont direct ou par rapport au total de gains ou pertes sur le cours d'eau. Il ne peut donc pas être établi, a priori, de relation de proportionnalité entre les débits des sources observés à l'amont de la rivière de Bolbec et les débits des pertes et gains mis en évidence sur ce secteur. Toutefois, David et al., (2020) ont pu démontrer qu'il existait a priori un lien avec le niveau global de la nappe. Ils précisent qu'en période de recharge, la montée du niveau piézométrique peut reconnecter temporairement les niveaux de la nappe et de la rivière dans les secteurs où ils sont déconnectés en basses eaux. Ainsi les zones d'apports et de pertes de débits peuvent être localisées à des endroits différents au cours des cycles hydrologiques.

Pour l'ensemble du profil du Commerce, les gains et pertes de débits ont été convertis en pourcentage sur l'illustration 101 : le pourcentage indiqué correspond au gain ou à la perte du tronçon considéré par rapport à la somme des gains ou pertes mesurés sur la totalité du linéaire de la rivière. Ce graphique montre qu'à part les gains liés aux 4 sources de l'amont du centre-ville de Bolbec, il y a peu d'apport de débit au Commerce provenant de la nappe mis à part à Lillebonne et en Vallée de Seine. L'essentiel des gains de débits sont apportés par les affluents (Aulnes, Vallée, Fourneau) qui collectent les apports des principales sources alimentant la vallée du Commerce.

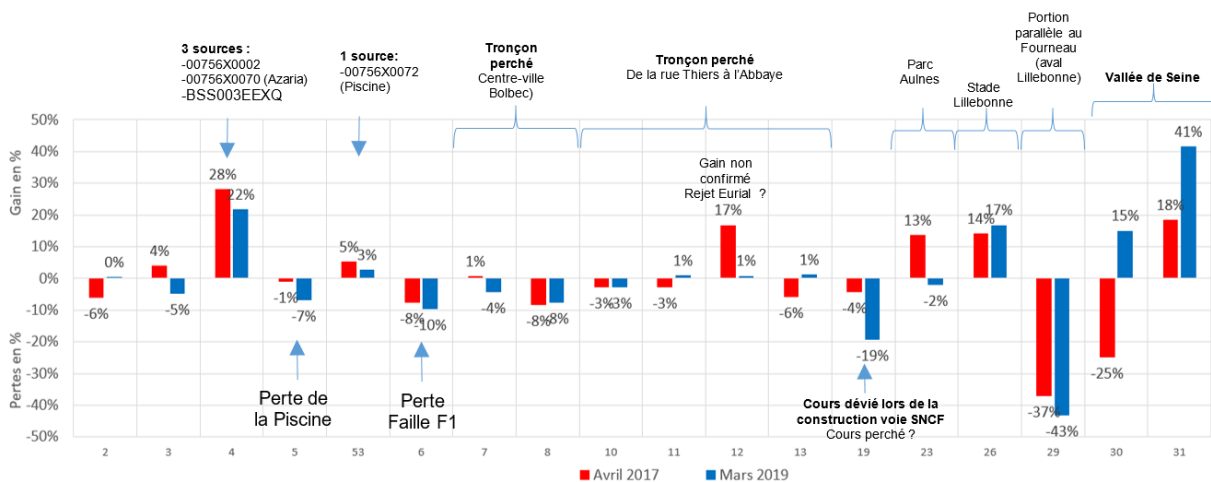


Illustration 101 : Pourcentage de gains et de pertes par tronçon pour les campagnes d'avril 2017 et mars 2019 pour la totalité du Commerce (les numéros indiqués en abscisse correspondent au numéro du point de jaugeage aval de chaque tronçon)

Ainsi sur le tronçon compris entre le point 8 et son exutoire en Seine (hors points 2 à 7 déjà décrits plus avant), on constate que (éléments repris de David et al., 2020) :

Entre le point 8 et l'abbaye de Gruchet, la rivière est toujours significativement perchée au-dessus de la nappe, elle pourrait donc potentiellement perdre du débit au profit de la nappe (comme cela est constaté entre les points 7 et 8). Toutefois, aucune perte significative n'est constatée. Plusieurs éléments permettent d'avancer que cette faiblesse des pertes constatées à l'aval de la rue Thiers serait liée à la présence d'un manteau imperméable constitué de formations superficielles, puisque :

- des formations superficielles (colluvions puis alluvions) de nature assez argileuse ont été observées lors de la réalisation du Pz SD7 en 2019 ;
- des observations hydrogéologiques indiquent que la nappe de la craie serait captive sous les formations argileuses dans ce secteur :
 - Plusieurs cas de phénomènes de nappes captives sont observés dans le secteur : le premier lors de la réalisation du forage Eurial (ex-senoble) (00756X0150), le forage était sec pendant la foration des formations superficielles et l'eau n'est apparue qu'à l'atteinte de la craie (De la Queriére Ph. et al. 1988) ; cela signifie que les formations superficielles sont suffisamment imperméables pour rendre la nappe de la craie captive. Le second cas est le piézomètre n°BSS002QABW artésien situé dans le parc de l'Abbaye (Illustration 103).
 - Des cas de fouilles restées sèches à proximité du cours d'eau sont également reportés dans la bibliographie. Le rapport de suivi des travaux de réalisation du forage AEP du Becquet (Pascaud et Tirat ; 1973) mentionne en effet des constats anciens, par la Subdivision des Ponts et Chaussées, d'artésianisme de la nappe de la craie dans le secteur de l'abbaye de Gruchet confirmant l'indépendance de la nappe et de la rivière dans ce secteur. Les fouilles restées sèches qu'ils avaient réalisées à proximité immédiate du cours d'eau indiquaient un isolement de la nappe de la craie par des formations de surface argileuses et/ou par le colmatage du lit de la rivière du Commerce (Pascaud et Tirat ; 1973).
 - Les différents éléments cités précédemment sont localisés à l'illustration 102. Ils indiquent donc d'une part que les formations superficielles sont suffisamment imperméables pour isoler le fond de la rivière et limiter les pertes de débits et d'autre

part que le niveau de la nappe est reconnecté à la surface du sol à l'aval de l'Abbaye. La nappe se reconnecte donc à l'aval de l'Abbaye du Valasse.

NB : Le gain de débit observé dans le secteur d'Eurial en avril 2017 (entre les points 11 et 12) peut être lié à l'incertitude du volume de rejets d'Eurial au moment des jaugeages et ce gain n'est pas confirmé en 2019. L'hypothèse de la reconnexion de la nappe et de la rivière à l'aval de l'Abbaye est confirmée d'une part par la présence d'un forage artésien (BSS002QABW/X) situé à proximité du Commerce dans le parc de l'Abbaye (Illustration 103) signifiant que l'altitude de la nappe est supérieure à l'altitude du sol et d'autre part par l'affleurement de nappe (BSS003EESG) constaté dans le fossé qui borde la route au niveau de l'étang de l'Abbaye.

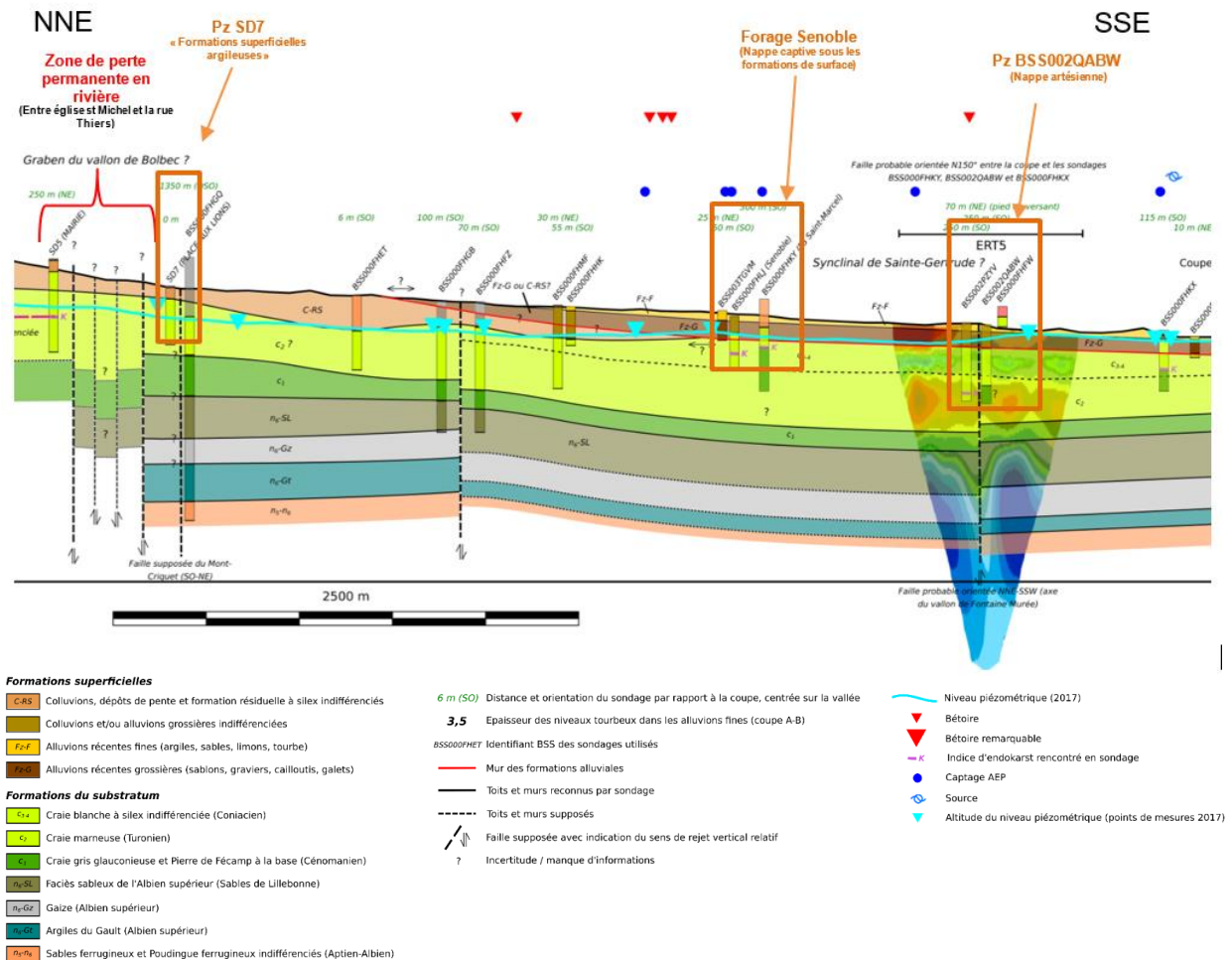


Illustration 102 : (1) Contexte structural de la zone de perte constatée entre l'église Saint Michel et la rue Thiers et (2) faisceaux d'éléments confirmant la formation imperméable que représentent les formations superficielles sous la rivière à l'aval de la rue Thiers, dans David et al., (2020)

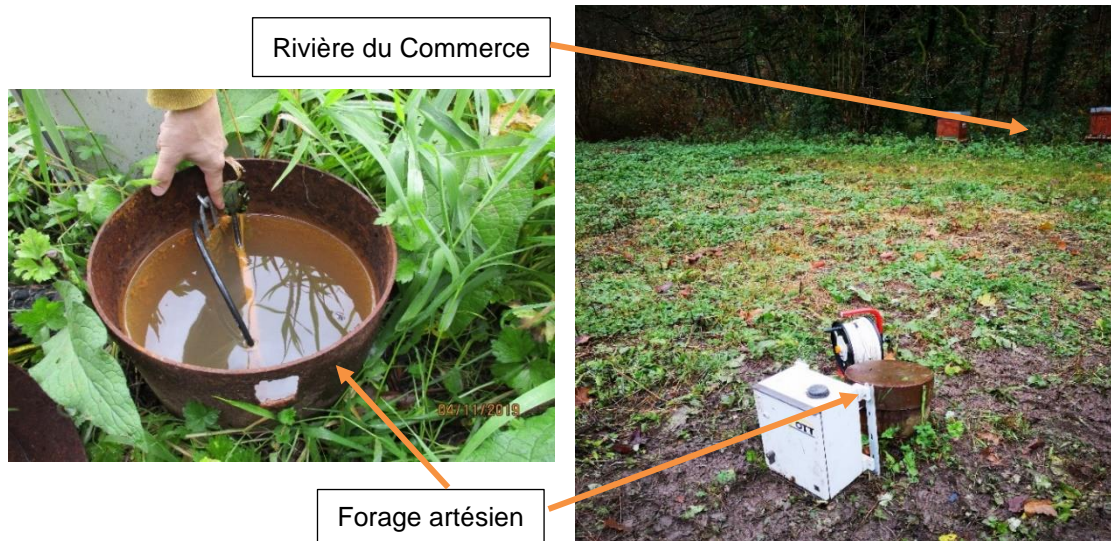


Illustration 103 : Photographies de l'ouvrage artésien BSS002QAB/X situé dans les jardins de l'Abbaye du Valasse

Il est à noter, qu'au niveau de l'Abbaye, en 1834, le cours de la rivière a été déplacé et rendu rectiligne (raccourci entre le lieu-dit Saint Marcel et l'aval de l'abbaye), par la suppression de sa courbe dans le parc. Ce raccourci correspond au tronçon délimité par les points de jaugeage 63 et 64. Cette modification avait pour but de faire tourner une roue hydraulique permettant de mettre en mouvement les métiers à tisser de la nouvelle usine installée sur le site de l'abbaye. Ce tronçon rectiligne a une partie souterraine canalisée passant sous la cour d'honneur de l'abbaye et le long de l'ancienne aile des convers. Dans les années 2010, le Commerce a été renaturalisé par CSA, et le lit passant dans le parc a été recréé. Toutefois, le tronçon rectiligne existe toujours et le commerce peut s'y écouler en partie en période de hautes eaux notamment. Au XIX^{ème} siècle, ce même propriétaire de l'abbaye, M. Fauquet Lemaitre, fit également creuser un étang à l'extrémité sud des jardins de l'abbaye. Cet étang artificiel existe toujours, situé aujourd'hui au niveau du rond-point à la sortie de la vallée du Val Horrible. Cet étang reçoit, par un canal en brique, l'émergence de la nappe (BSS003EESG) constatée dans le fossé qui borde la route à l'amont du rond-point, et donne naissance à sa sortie à la rivière des Aulnes.

A l'aval de l'abbaye, il est intéressant de constater que les débits apportés à la rivière par la nappe ne se font pas dans le lit principal du Commerce mais dans ses affluents de fond de vallée qui sont alimentés par des sources individualisées :

- Les débits de Fontaine Murée et du Val Horrible sont stables ou en pertes lors des campagnes d'avril 2017 et de mars 2019, ce qui confirme la situation perchée de ces deux rivières. De plus, le dernier tronçon de ces 2 cours d'eau était à sec lors de ces campagnes.
- L'Aulnes est en gain en avril 2017 et en mars 2019, ce qui indique une connexion entre la nappe et le cours d'eau. De nombreuses sources de débordement provenant des coteaux alimentent en effet la rivière des Aulnes le long de sa rive gauche. Le débit du Commerce dans sa partie située en parallèle de la rivière des Aulnes (tronçon compris entre les points 19 et 23) est majoritairement en pertes en avril 2017 et en mars 2019. Ce tronçon correspond à une zone canalisée du Commerce lors de la création de la voie SNCF (Illustration 104). En effet, la création de la voie SNCF a nécessité de déplacer le lit du commerce qui coule contre le flanc droit de la vallée à la sortie de l'abbaye. Ainsi, au niveau du captage AEP du Becquet, la rivière du commerce est déviée et passe sous la voie SNCF qu'elle longe sur environ 300m avant de rejoindre ensuite son lit naturel. Les données de débits semblent indiquer une zone de déconnexion entre le Commerce

et la nappe. Cette hypothèse (connexion Nappe/Aulnes et déconnexion Nappe/Commerce) est confirmée par l'essai de pompage réalisé en 1973 sur le captage AEP du Becquet n°00756X0138/F (Pascaud et Tirat ; 1973). Un assèchement de la rivière des Aulnes avait été constaté tandis qu'aucune baisse de débit n'avait été enregistrée sur le Commerce (Illustration 104). Le Commerce se reconnecte à la nappe après sa confluence avec la rivière des Aulnes (point n°26).

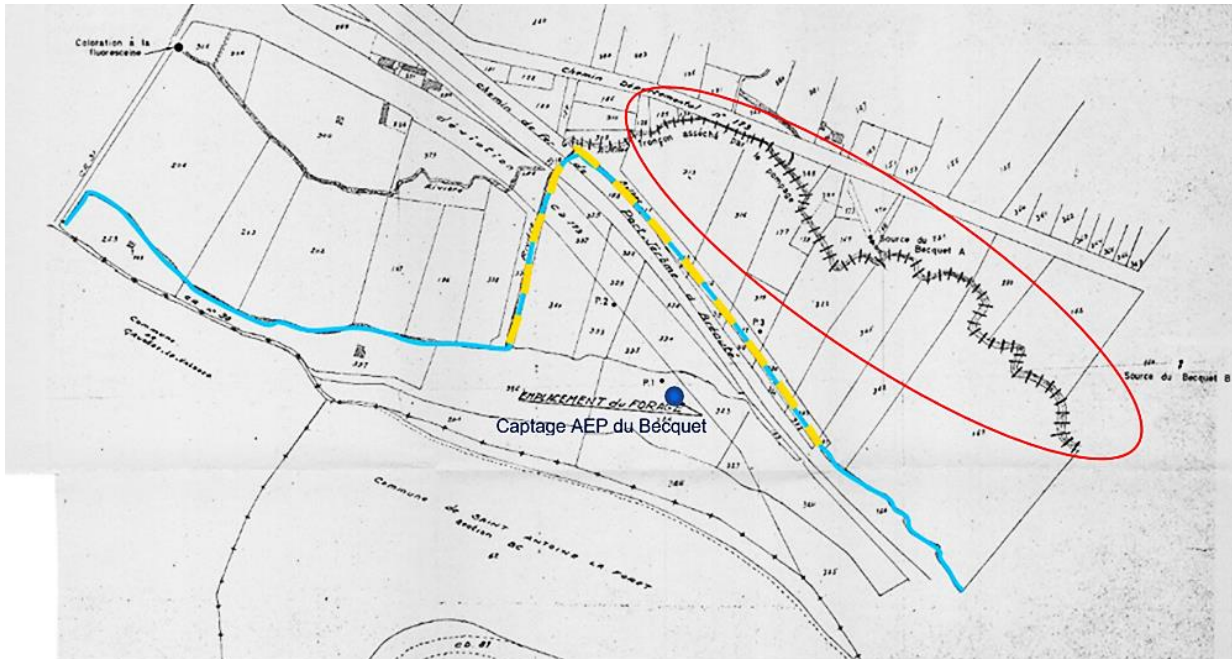


Illustration 104 : Lit de la rivière du commerce (en bleu) à l'aval de l'Abbaye de Gruchet, au niveau du captage AEP du Becquet (00756X0138). La partie hachurée (bleu/orange) du Commerce correspond à la déviation du tracé du cours d'eau au moment de la création de la voie SNCF. La partie cerclée en rouge du ruisseau des Aulnes est celle qui s'est asséchée lors du pompage du Captage AEP du Becquet (rapport 73SGN230PNO), dans David et al., (2020)

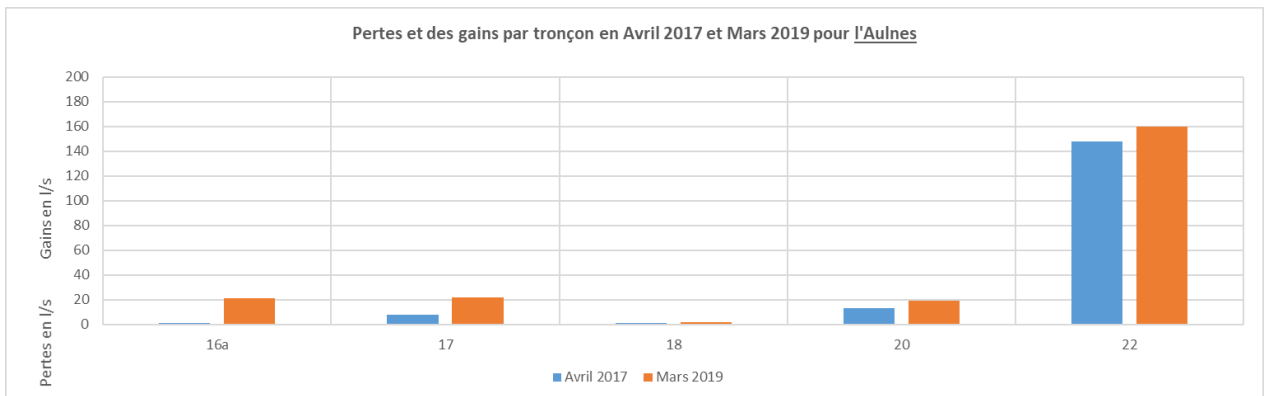


Illustration 105 : Gains et pertes par tronçon pour les campagnes d'avril 2017 et mars 2019 pour la rivière des Aulnes (les numéros indiqués en abscisse correspondent au numéro du point de jaugeage aval de chaque tronçon), dans David et al., (2020)

Plus en aval, avant la confluence, on enregistre des gains de plus de 100 l/s (parc des Aulnes – point 22).

- Le Fourneau est en gain en avril 2017 et en mars 2019. Ce gain de débit est essentiellement lié aux apports des sources qui jaillissent en pied de coteau et qui alimentent le Fourneau. Il s'agit de source de débordement – nappes sans réelle connexion hydraulique directe avec la rivière. En parallèle, le tronçon du Commerce

Fourneau (tronçon compris entre les points 26 et 29) est en perte en 2017 et 2019. Sur ce secteur également, les apports de la nappe n'alimentent pas le Commerce mais son affluent. La rivière du fourneau gagne plus de la moitié de son débit entre le secteur de sources au pied de la cote du cheval blanc et le point 27, à l'aval de la voie SNCF. L'autre partie des gains se fait donc à l'aval vers les sources du four à chaux.

- Le secteur du Manoir et du Mesnil (point 29 et 30), pour la rivière du Commerce, montre également une zone de déficit dont l'origine pourrait se trouver par les hypothèses suivantes :
 - au prolongement vers le sud du faisceau de faille F1 mis en évidence par David et al. (2020) qui pourrait être à l'origine de pertes locales de débit ;
 - à un ou des prélèvements agricoles ou industriels ;
 - à l'existence d'un bras de décharge vers la rivière du Fourneau (communication orale de Caux Seine Agglomération).

Enfin, en vallée de Seine, la connexion de la nappe et de la rivière qui avait été constatée lors de la comparaison des niveaux de la nappe et de la rivière est bien confirmée par une augmentation des débits (tronçon compris entre les points 30 et 31). La rivière gagne en débit dans la Zone industrielle et Portuaire (point 31) probablement sous l'effet d'apports latéraux de la nappe, donc, auxquels on peut probablement ajouter des rejets urbains ou industriels. Il pourrait aussi s'agir ici d'un biais de mesure dû à l'effet de la marée (accélération des vitesses dans le cours d'eau à marée basse).

Cours d'eau du bassin du Commerce

Le graphique (Illustration 106) suivant présente les tronçons en perte ou en gain pour la Vallée.

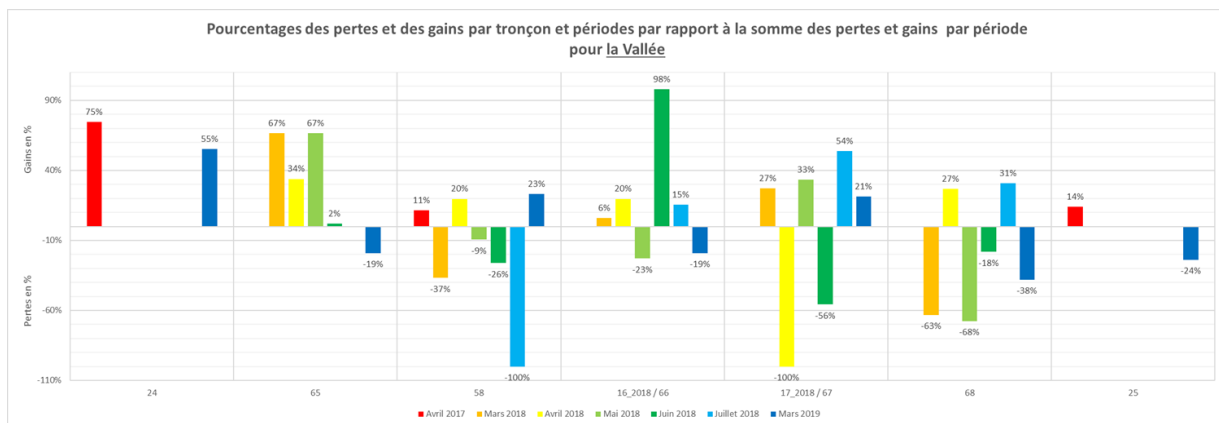


Illustration 106 : Pourcentage de gains et de pertes par tronçon pour les campagnes de 2017, 2018 et 2019 pour la Vallée (les numéros indiqués en abscisse correspondent au numéro du point de jaugeage aval de chaque tronçon)

La Vallée est traversée par la faille de Fécamp-Lillebonne *a minima* au niveau du tronçon 67 / 17_ en 2018 (zone sud du faisceau de faille peu connue).

L'enseignement du calcul des gains et pertes sur les cours d'eau du bassin du Commerce (Illustration 106) est le suivant :

- La rivière des Aulnes apparaît en gain sur la quasi-totalité du tronçon avec notamment des gains importants dans la partie aval de son parcours ;
- Le fonctionnement de la rivière de la Vallée apparaît comme très hétérogène en aval du point 65 (mairie Annexe), aucune tendance ne peut être dégagée, probablement sous

l'effet d'infiltrations, de prélèvements, vannages ou de rejets non identifiés. Sur la partie amont on note des gains importants supérieurs à 60 l/s en aval de la pisciculture (point 24) et de l'ordre de 40 l/s en amont de la mairie annexe.

A noter : sur ce secteur, Roux J.-C. (1975) indique que la source de la Fontaine Bruyère à Lillebonne aurait un débit de 25 l/s (mesuré en février 1972).

Cette hétérogénéité pourrait être due :

- à une faible influence des zones connexion et déconnexion entre la nappe et la rivière sur le débit de celle-ci ;
- la non prise en compte de sources ou de rejets en rivières non connus ;
- la non prise en compte de prélèvements en rivière non connus.

De ce point de vue le fonctionnement de la rivière de la Vallée mériterait donc d'être précisé compte tenu de son importance en termes de débit apporté à la rivière du Commerce (30 % du débit total environ).

A noter : Le cas des pertes totales des cours d'eau des vallons de Mirville, Fontaine Plafray, Fontaine Murée et Val Horrible a déjà été évoqué plus avant. Pour ces dernières, la zone de perte peut se faire de façon ponctuelle et immédiate (comme sur la bétouire de l'étang du Beau Soleil) ou de manière plus diffuse sur plusieurs centaines de mètres (comme le cours d'eau de Mirville, de la Fontaine Murée ou du Val Horrible).

Autres cours d'eau du territoire du SAGE

Seule l'analyse sur la rivière du Théluet apparaît ici pertinente du fait d'une densité de mesures suffisante.

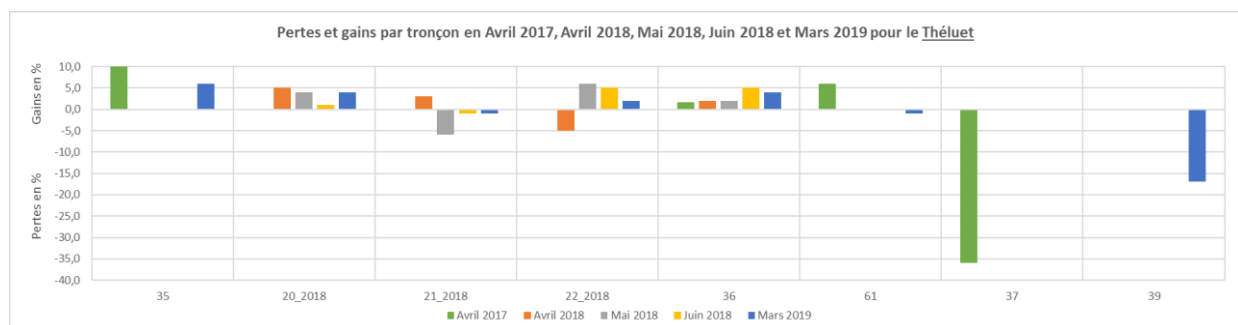


Illustration 107 : Bilan des pertes et gains calculés sur les tronçons de la rivière du Théluet, campagnes 2017 à 2019

L'analyse des pertes et gains de ce cours d'eau (Illustration 107) permet de distinguer :

- Un secteur amont en gain : des sources jusqu'à l'amont du parc (point 20) pour quelques dizaines de l/s tout au plus,
- Un secteur au fonctionnement plus complexe (hétérogène) entre l'aval du parc et la maison de retraite (points 21 et 22). Globalement l'amont laisse apparaître de très légères pertes et l'aval un léger gain.
- La partie aval du cours d'eau dans sa traversée de l'agglomération de ND de Gravenchon (point 36 à 61) apparaît également en très léger gain.

- La partie aval du cours d'eau au niveau de son débouché dans la vallée de la Seine (points 37 et 39) présente d'importantes pertes (relatif au débit initial) respectivement de l'ordre de 30 puis 15 l/s.

Pour ce dernier tronçon, on peut faire l'hypothèse d'une diffusion des eaux dans le réseau de canaux et fossés de la plaine alluviale ou bien encore d'une diffusion des débits dans le sous-sol au contact de formations plus perméables (passage colluvions, alluvions par exemple).

Ce phénomène est observé sur d'autres petits cours d'eau affluents de la Seine, comme l'Oison en amont de Rouen.

L'unique partie du cours d'eau en perte, située sur le soubassement crayeux, pourrait correspondre au passage de la structure faillée de Fécamp-Lillebonne dont le tracé est mal apprécié dans sa partie aval.

A noter : les faibles gains ou pertes identifiés sont proches de l'erreur de mesure compte tenu des faibles débits enregistrés dans le cours d'eau ; le travail demande donc une certaine minutie et sérieux pour fiabiliser les résultats.

Il pourrait être proposé de confirmer les résultats et de les densifier pour confirmer la présence d'un seul et unique secteur de perte dans le soubassement.

3.4. REGIME HYDROLOGIQUE ET VARIABILITE DU DEBIT DES COURS D'EAU

Le terme de régime hydrologique désigne l'ensemble des variations de l'état et des caractéristiques d'une masse d'eau qui se répètent régulièrement dans le temps et dans l'espace et présentent des variations cycliques, par exemple saisonnières¹⁰.

Il est important de noter qu'à l'échelle du territoire d'étude, on ne recense qu'une seule et unique station de mesure hydrologique (niveau/débit). Celle-ci est implantée sur la rivière du Commerce et fait donc l'objet d'un descriptif détaillé de son fonctionnement hydrologique dans la suite de ce chapitre.

Pour les autres cours d'eau, on ne dispose que de quelques données fragmentaires qui sont rassemblées ci-après dans le cadre de ce travail de synthèse.

3.4.1. La Seine

Niveaux – Marée

La Seine dans son estuaire est soumise aux marées. La diffusion de l'onde se propage en amont et se fait ressentir jusqu'au barrage de Poses (27 – Eure). Au niveau de la zone d'étude, il existe plusieurs marégraphes du port de Rouen (HAROPA) qui suivent les variations de niveau du fleuve : Tancarville (H514011001), Petiville-St Léonard (H512014001), Aizier (H512013001) et Vatteville-la-Rue (H512012001) – cf. Illustration 108 ci-dessous.

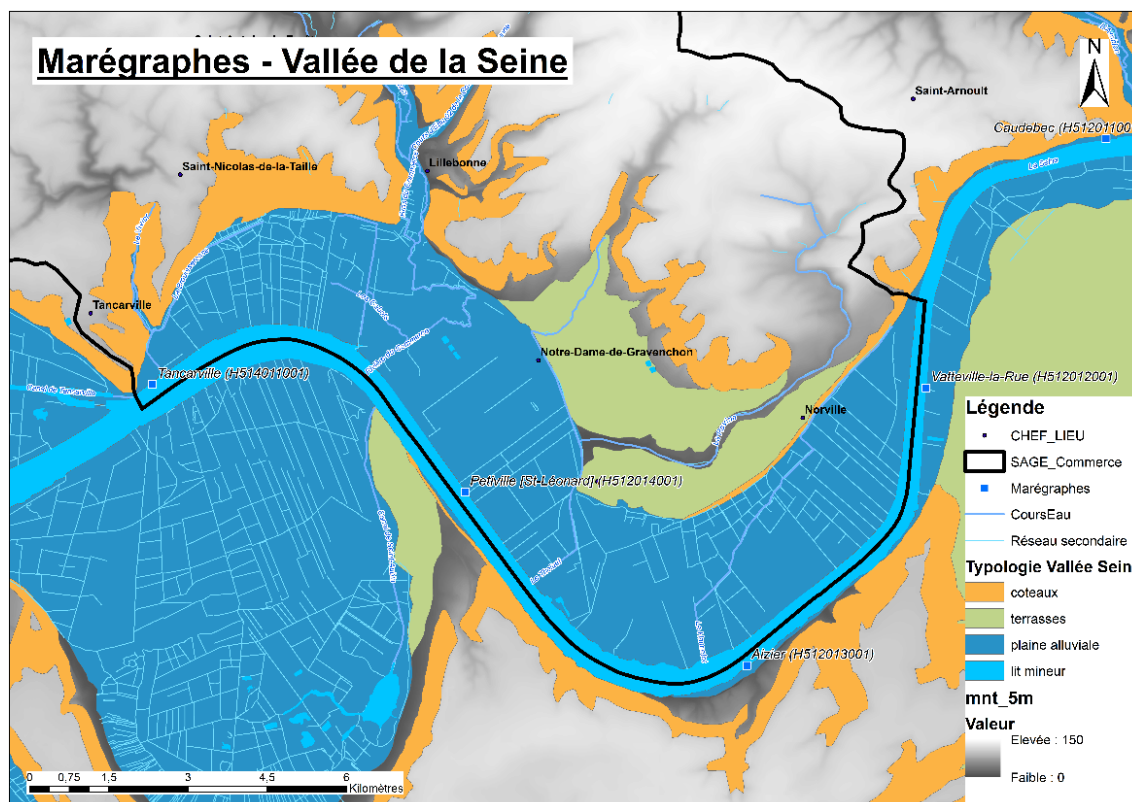


Illustration 108 : Marégraphes de la Seine, suivi opéré par HARPOA

¹⁰ définition du Glossaire International d'Hydrologie (Unesco, 2012) ; <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000221862>

L'illustration 109 montre un décalage de l'onde de marée au moment du pic de marée basse. Le décalage temporel se fait de l'aval vers l'amont et peut atteindre près de 60 minutes entre le marégraphe de Tancarville et celui de Vatteville éloignés seulement d'une vingtaine de kilomètres. A contrario le décalage temporel au moment du pic de marée haute est quasi inexistant (inf. à 10 minutes).

Comme le montre l'illustration 109, le marnage est fort en Seine : à Tancarville, il est d'environ 5 m en marée moyenne, 0,5 m de moins qu'au Havre (Lefebvre et al., 1993) et s'amortit vers l'amont. On note que cet effet est important, puisque la différence d'amplitude est de l'ordre du mètre entre les marégraphes de Tancarville et de Vatteville.

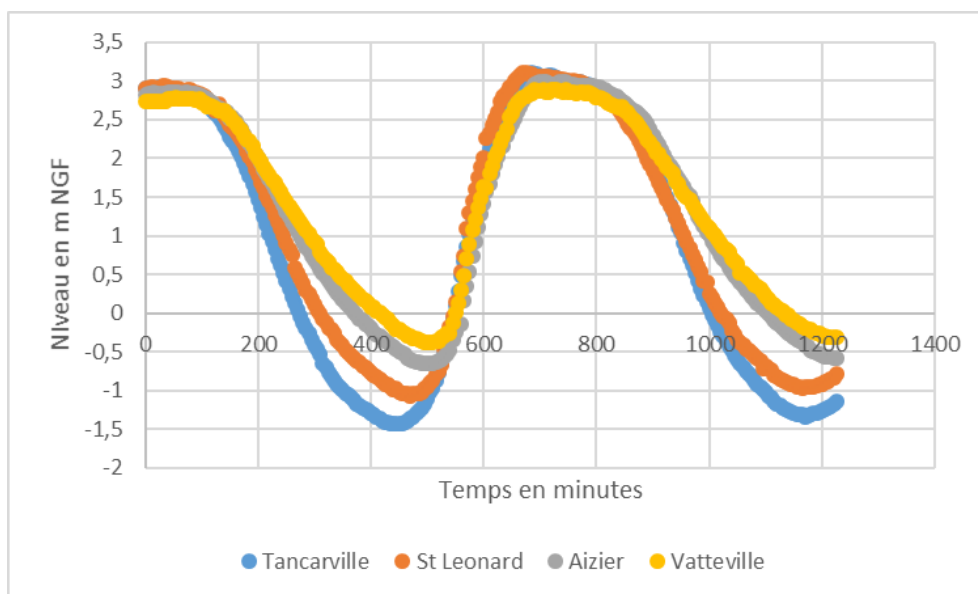


Illustration 109 : Niveau de la Seine entre le 20/12 03 :40 et le 21/12/2012 00 : 04, source : HAROPA

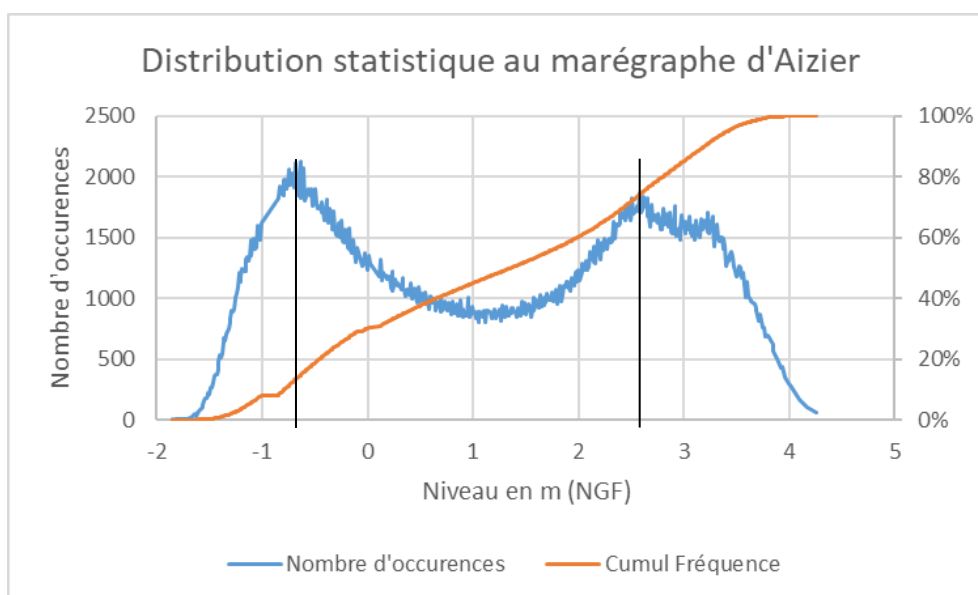


Illustration 110 : Distribution statistique des niveaux au niveau du marégraphe d'Aizier sur la période 2012-2019, source : HAROPA

Pour le marégraphe d'Aizier, on constate à la lecture de l'illustration 110 que le niveau varie entre :

- -1,8 m et +5,0 m NGF (respectivement niveau extrême à marée basse et à marée haute). L'amplitude maximum est donc de l'ordre de 6,8 m entre les très hautes et très basses eaux, on parle de marnage extrême ;
- Le niveau moyen de basse mer se situe, à Aizier, vers -0,75 m NGF et le niveau moyen de pleine mer se situe vers +2,6 m NGF (trait noirs verticaux sur le graphique). L'amplitude moyenne est donc de 3,35 m ;
On remarque que la courbe de pleine mer n'est pas tout à fait unimodale mais s'étale avec une rupture de pente vers 3,2 m NGF. Cet étalement pourrait correspondre aux épisodes de crue du fleuve.
- Le niveau médian de la Seine à Aizier se situe aux alentours de +1,4 m NGF (P50).

Ces variations importantes du niveau du fleuve, principal exutoire du système hydrologique, ne sont pas sans conséquences sur les écoulements souterrains. Ces ondes de marées vont se transmettre aux aquifères proches directement connectés par transfert de pression (voir chapitre 4.3.3) et par transfert de masse avec des variations dans les sens d'écoulements des eaux superficielles ou souterraines avec lesquelles le fleuve est directement connecté. On rappelle à ce titre que les cours d'eau de la vallée de la Seine sont soumis à l'influence tidale du fleuve : Brousseresse/Vivier, Commerce notamment.

Ce dernier point va également impliquer la qualité des masses d'eau concernées (échanges mis en évidence dans le chapitre 7).

Débits

Les mesures réalisées en Seine (Piney et al. 2017) au droit du site d'Aizier lors de grandes marées ont montré des débits maximaux de l'ordre de 7600 à 8700 m³/s en septembre 2015 (coefficients de 117 pour un débit en amont de Rouen, inférieur au module : de l'ordre de 250 m³/s).

Ces valeurs sont conformes à celles précédemment évaluées en 1955 par D. Laval sur le secteur de Vieux-Port (Courval). Celui-ci a pu estimer le débit total mesuré sur ce même secteur entre +4000 et -8000 m³/s (jusant/flot avec un coefficient de marée de 104). Le débit fluvial a été estimé quant à lui à environ 1600 m³/s (crue).

Il est à noter que les courants de flot et de jusant rendent particulièrement délicate la mesure de flux d'eau transitant dans cette partie de l'Estuaire comme le montre l'illustration 111.

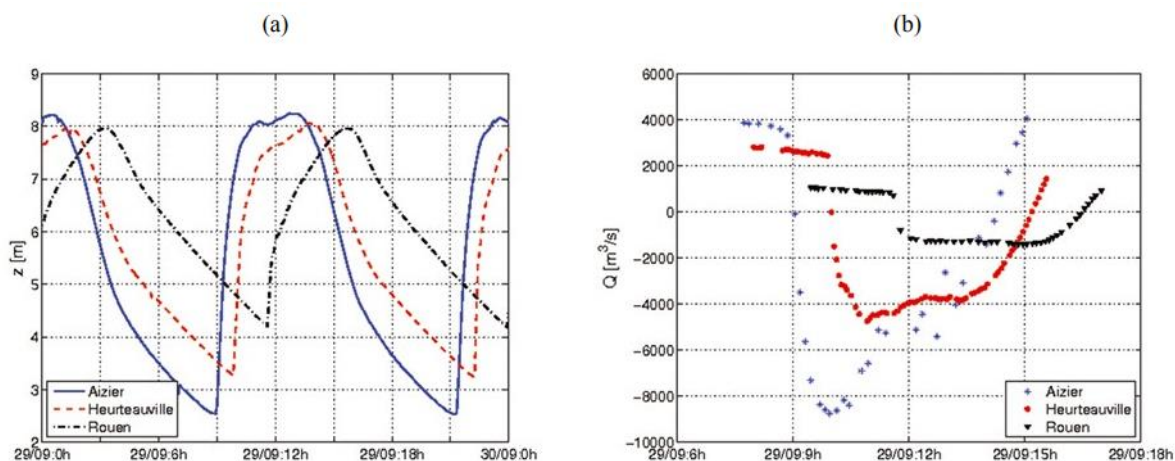


Illustration 111 : Niveaux d'eau (a) et débits (b) mesurés sur la Seine à Aizier, Heurteauville et Rouen le 29 septembre 2015. Camenen et al. (2017), source : DREAL Normandie

En effet, on observe une variation brutale du niveau d'eau à la bascule au flot, impliquant une diminution très rapide des débits (Camenen et al., 2017). Les mesures effectuées montrent, pour le site d'Aizier, que l'on passe très rapidement de 4000 m^3/s environ pour le jusant à plus de 8000 m^3/s pour le flot.

En l'état des connaissances, les auteurs estiment qu'il n'est pas encore tout à fait possible de modéliser le débit de la Seine et de trouver une relation de type hauteur – débit.

Ainsi on ne dispose que de très rares mesures ou estimations du débit moyen du fleuve au niveau de la zone d'étude du SAGE Commerce. Ce constat, implique qu'il sera nécessaire de s'appuyer sur des estimations réalisées à partir de mesures réalisées à partir de stations situées plus en amont : comme par exemple avec celle du barrage de Poses (Eure) située plus de 100 km en amont, la plus proche de la zone d'étude.

Relation niveau – débit

Le GIP Seine-Aval a fait procéder à une modélisation des niveaux de la Seine (Artélia, 2013) dans l'objectif est d'estimer le niveau dans l'estuaire de la Seine. Ces travaux se basent sur l'analyse statistique des niveaux marins au Havre et du débit à Poses ainsi que sur l'analyse statistique des enregistrements connus par les marégraphes du port de Rouen.

Cette modélisation a permis notamment de calculer un « abaque » sur le secteur de Tancarville. Celui-ci est présenté ci-après (Illustration 112).

Niveau Marée au	Q Poses en m ³ /s											
	15- 150	150- 300	300- 450	450- 600	600- 750	750- 900	900- 1050	1050- 1200	1200- 1350	1350- 1500	1500- 1700	1700- 2280
Havre												
624-640	2,154	2,162	2,155	2,163	2,193	2,273	2,277	2,247	2,16	2,334	2,364	2,42
640-660	2,318	2,402	2,43	2,442	2,424	2,444	2,604	2,528	2,421	2,513	2,566	2,628
660-680	2,527	2,603	2,62	2,64	2,691	2,67	2,756	2,662	2,623	2,758	2,685	2,806
680-700	2,848	2,796	2,833	2,78	2,882	2,787	2,94	2,794	2,884	2,92	2,96	2,95
700-720	2,989	2,96	3,007	2,99	3,004	3,056	3,117	2,94	3,015	3,218	3,115	3,253
720-740	3,162	3,156	3,189	3,159	3,235	3,273	3,206	3,11	3,174	3,139	3,378	3,253
740-760	3,382	3,308	3,355	3,345	3,402	3,447	3,435	3,333	3,443	3,528	3,558	3,621
760-780	3,423	3,465	3,506	3,499	3,53	3,586	3,496	3,561	3,536	3,66	3,74	3,653
780-800	3,595	3,636	3,674	3,718	3,795	3,673	3,719	3,688	3,73	3,864	3,791	3,867
800-820	3,717	3,76	3,885	3,839	3,873	3,92	3,951	4,004	3,921	4,031	3,933	4,063
820-840	3,923	3,954	3,995	4,038	3,967	4,011	4,076	4,186	3,982	4,037	4,03	4,209
840-892	3,704	3,692	3,725	3,75	3,709	3,844	3,965	4,127	3,981	4,002	3,72	4,455

Illustration 112 : Relation Débit/Niveau exprimé ici en mNGF à Tancarville à partir de la côte marine au Havre (m CMH) et du débit de la Seine à Poses (Artelia, 2013, modifié)

Ces informations sont surtout utiles pour prévenir le risque d'inondation lors des élévations de niveau du fleuve : sous l'effet conjugué ou non d'épisodes de crues, de grandes marées ou d'épisodes tempétueux. Les enjeux économiques dans la boucle de la Seine y sont importants compte tenu de l'industrialisation actuelle et de son développement projeté.

Perspectives

Ces données ne pourront pas être utilisées directement dans le futur modèle puisque celui-ci ne renvoie que des informations sur les débits sans évaluer de façon précise les variations locales de niveau. Comme nous l'avons vu précédemment, le débit de la Seine au droit du territoire n'est pas mesuré ou connu en aval du barrage de Poses. Or, celui-ci est enrichi des flux apportés par les nombreux bassins versants et cours d'eau situés en aval du barrage de Poses : l'Andelle, l'Eure, le Robec, le Cailly, l'Austreberthe, la Rançon, l'Ambion,... auxquels il faut également ajouter les apports de nappe (au niveau de sources ou de manière diffuse tant en rive droite qu'en rive gauche). Cet aspect fera l'objet d'un traitement spécifique dans le cadre de la mise en œuvre du futur modèle pour s'approcher le plus possible des conditions locales. En tout état de cause les hypothèses seront présentées et les choix éventuels explicités.

L'estimation globale des apports souterrains provenant des aquifères montre qu'ils peuvent atteindre jusqu'à 25% du flux annuel de la Seine, notamment dans la portion de la vallée de la Seine comprise entre l'embouchure de l'Eure et de la Risle (Dupont et al., 2006). Ces derniers ne sont donc pas négligeables.

Ces apports latéraux seraient donc également tributaires des variations piézométriques que connaît la nappe de la craie (Masséi, 2001).

Des évaluations de ces apports latéraux, qu'ils soient superficiels ou souterrains, ont été réalisées dans le cadre du programme ECHANGES du Piren-Seine/Mines Paris/AESN. Ces estimations ont été aidées notamment par les travaux complémentaires réalisés par l'Université de Rouen (Massei et Fritier, 2010) et le BRGM (Bessière et David, 2017).

Les écoulements hydrogéologiques de la rive gauche seraient probablement plus complexes (Masséi et Fritier, 2010). Le nombre de cours d'eau y est moins important et donc corrélativement la part de drainage de la nappe assurée par ces derniers également. Ceci laisse présager une part moins importante d'apports souterrains directement à l'exutoire de ces hydrosystèmes.

L'importance de la contribution des apports latéraux au débit de la Seine est donc loin d'être négligeable. Cette contribution pourrait même atteindre les valeurs du débit de la Seine mesuré à Poses, voire même le dépasser dans le cas d'événements hydro-climatiques exceptionnels (Masséi et Fritier, 2010). Cet élément a notamment été mis en évidence par les mesures effectuées par la DREAL en 2017, données présentées plus avant dans ce chapitre.

Les apports latéraux représentent donc un soutien du débit de la Seine à prendre en compte pour une bonne évaluation de l'ensemble des écoulements et flux transitant par l'estuaire.

Par conséquent, pour intégrer l'information de débit du fleuve au futur modèle, il sera nécessaire de s'appuyer sur des hypothèses réalistes tenant compte de l'ensemble des éléments listés : Le débit du fleuve amont (station de Poses ou Vernon), apports des affluents entre la dernière station et le secteur du SAGE Commerce mais aussi, des apports latéraux des nappes, des effets climatiques et marins.

3.4.2. La rivière de Bolbec/Commerce

Il existe une station de mesure hydrométrique de la DREAL Normandie du Commerce (H9943420), elle est située à Gruchet-le-Valasse, à proximité du stade de football. Sa localisation est reportée sur l'illustration 113 (carré rouge au centre de la carte).

Les données statistiques de la station du Commerce ont été extraites de la Banque Hydro (2019) et sont présentées ci-après. On précise que le bassin versant au droit de la station est, d'après la Banque Hydro, de 118 km². Pour information, le bassin versant total du Commerce est de 304 km². Le bassin versant est donc représenté à 38% à la station hydrométrique (SOM, 2020).

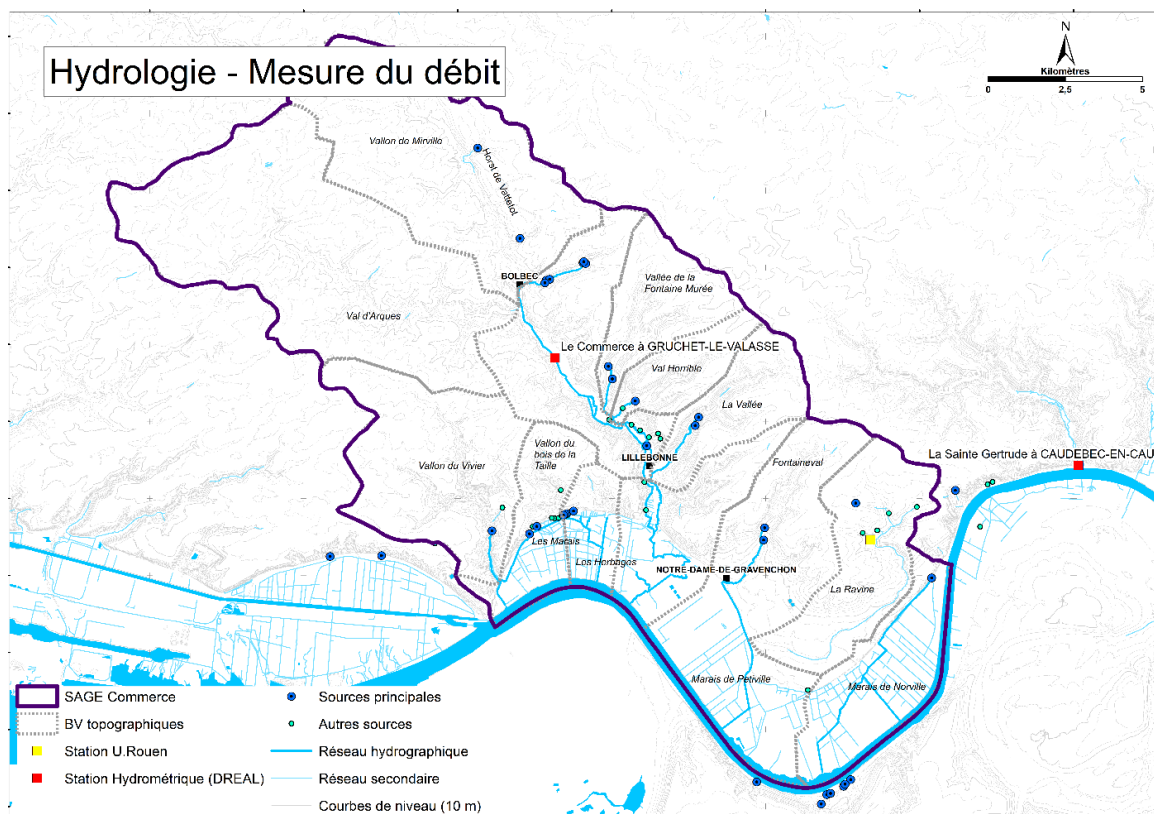


Illustration 113 : Localisation des stations de mesure hydrologique des rivières du territoire du SAGE Commerce

Données annuelles

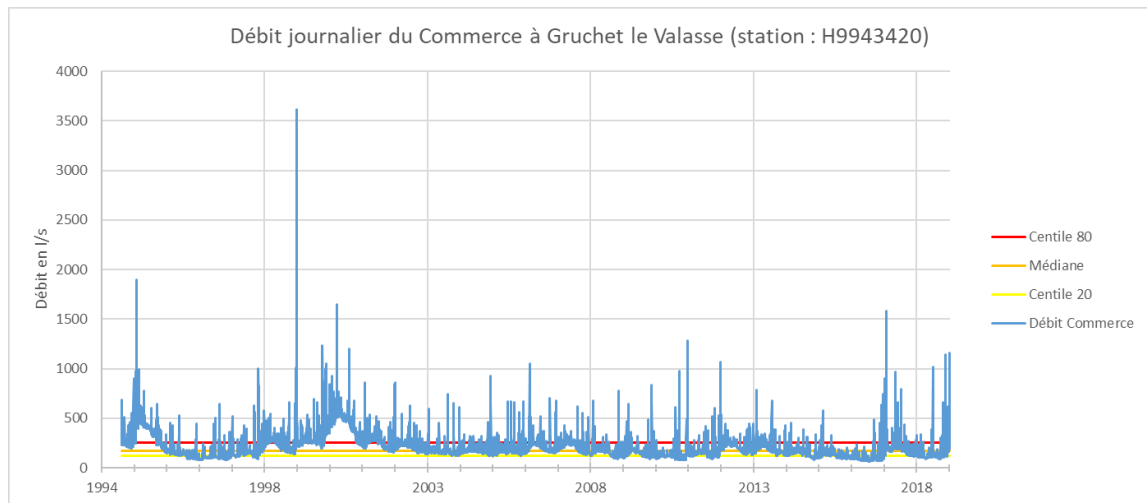


Illustration 114 : Chronique des débits journaliers de la station H9943420 du Commerce sur la période 1994-2019 (source : Banque Hydro)

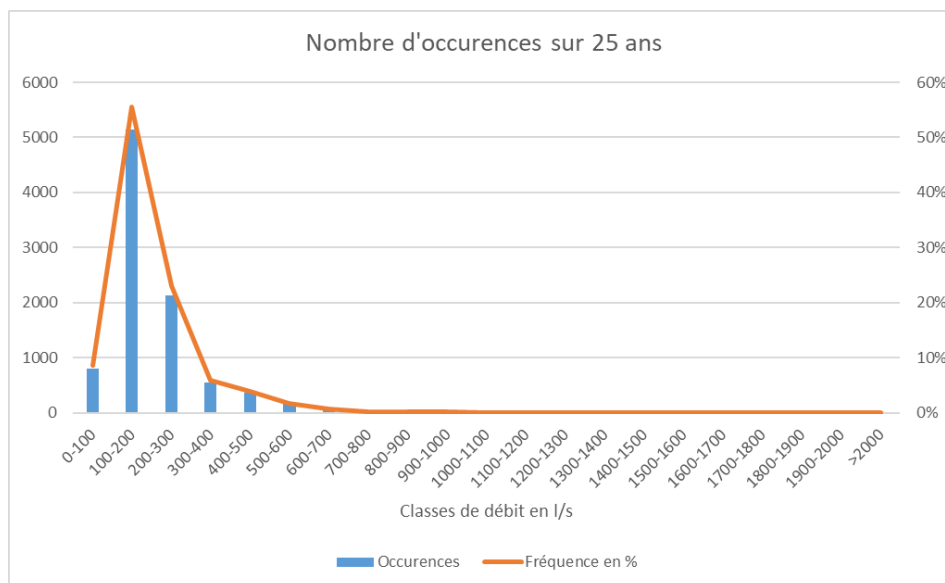


Illustration 115 : Fréquences des débits en l/s à la station de Gruchet-le-Valasse sur la période 1994-2019 (source : Banque Hydro)

Le calcul des débits journaliers de référence indique les valeurs suivantes : centile 20 = 123 l/s, médiane = 168 l/s, centile 80 = 252 l/s (cf. Illustration 114 et Illustration 115).

Le débit spécifique du cours d'eau serait donc de l'ordre de 1,4 l/s/km² au droit de la station.

Pour sa station de Gruchet le Valasse, la DREAL Normandie indique, via la Banque Hydro, les valeurs de références suivantes : moyenne annuelle de 200 l/s, QMNA5 de 100 l/s et crue quinquennale à 1300 l/s.

Données mensuelles

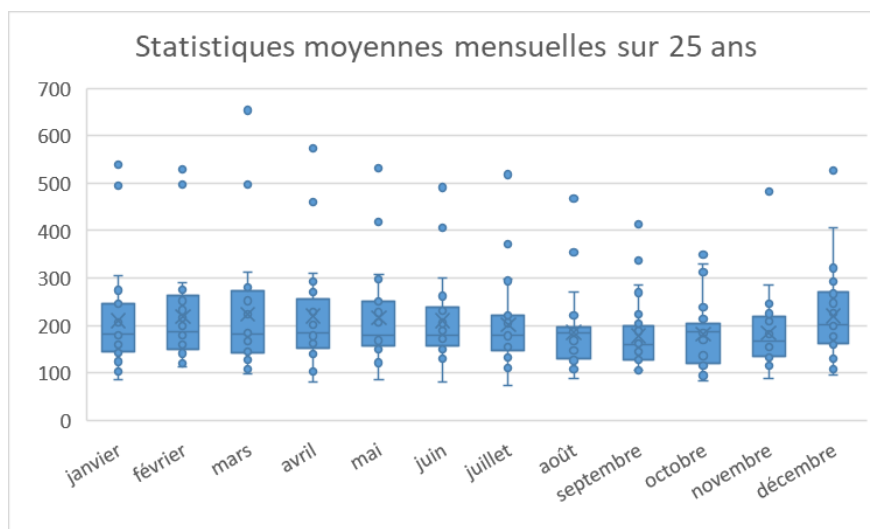


Illustration 116 : Débits moyens mensuels en l/s à la station de Gruchet-le-Valasse (source : Banque Hydro)

Estimé	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Débits (m3/s)	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,21	0,2	0,19	0,18	0,18	0,18	0,22
Qsp (l/s/km2)	1,8	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,6	1,9

Illustration 117 : Ecoulements mensuels naturels - données calculées sur 25 ans (source : Banque Hydro)

L'analyse des données mensuelles (Illustration 116 et Illustration 117) permet de préciser que, statistiquement, l'année hydrologique s'entend en moyenne de décembre à novembre.

Les mois de septembre à novembre sont statistiquement les mois avec les débits les plus faibles, a contrario les mois de décembre et février à mai (5 mois) sont ceux avec les débits les plus importants.

Ces éléments diffèrent quelque peu des informations présentées sur les précipitations présentées au chapitre 3.2.2. En effet, on rappelle que le mois où les précipitations sont statistiquement les moins abondantes est compris entre le mois d'avril et juin-juillet, à l'inverse la période où elles sont le plus abondantes est compris entre octobre et janvier. Il existe donc un décalage temporel significatif entre les périodes « sèches ou humides » climatiques et le débit du Commerce. On peut donc faire l'hypothèse que le cours d'eau est principalement alimenté par les eaux souterraines, pour lesquelles il est admis une forte inertie, et donc un décalage temporel, entre les périodes de fortes précipitations et les périodes de hautes eaux annuelles.

Important : On ne dispose pas d'autres enregistrements du débit du Commerce dans sa partie aval, ce qui ne permet pas d'intégrer les informations fondamentales liées aux apports de ses principaux affluents (Aulnes, Vallée, Fourneau) et les apports de la nappe.

Recherche de corrélation entre le niveau des eaux souterraines et le débit du Commerce

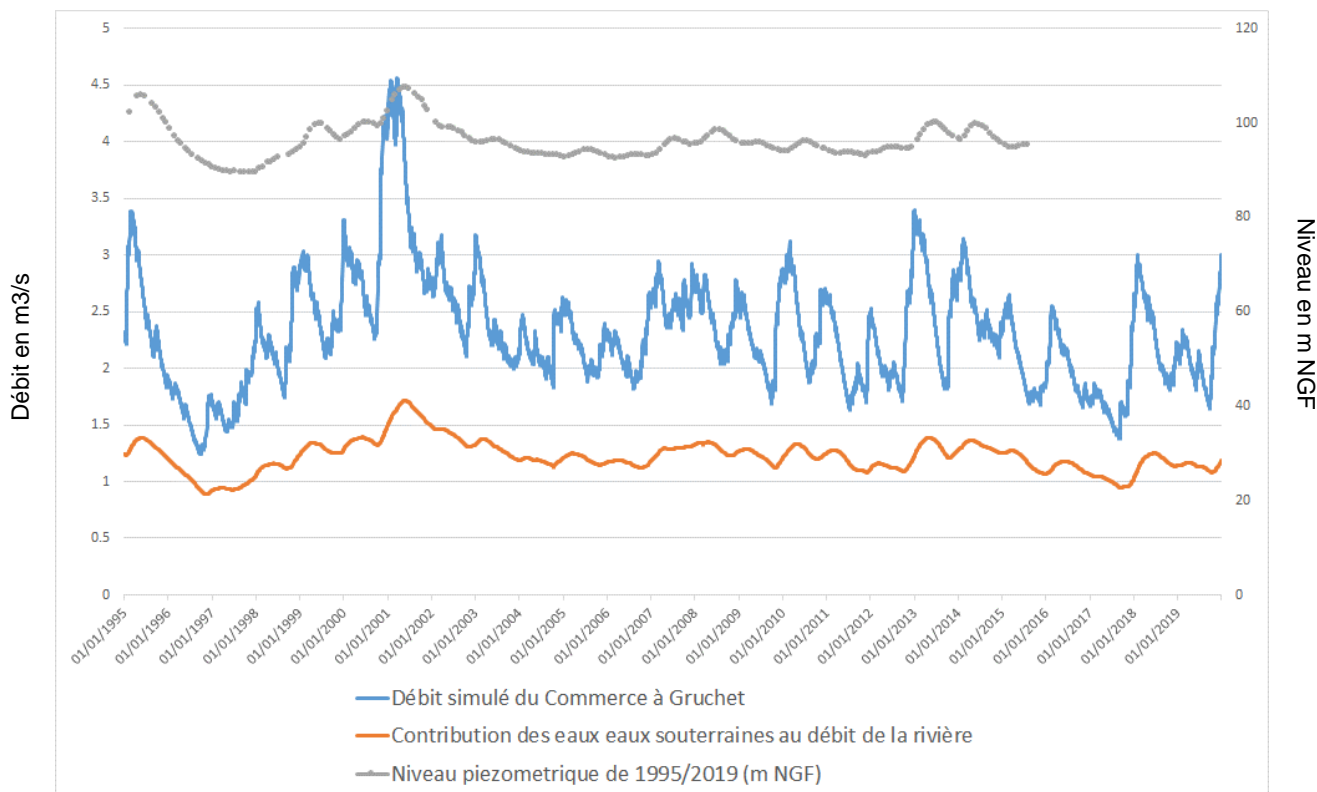


Illustration 118 : Comparaison des chroniques de niveaux piézométriques et du débit enregistré à la station hydrométrique de Gruchet-le-Valasse. Evaluation de la contribution des eaux souterraines à l'aide de l'outil ESPERE

Sur l'illustration 118 on note que la saisonnalité des débits est relativement bien marquée sur le Commerce avec des amplitudes annuelles de l'ordre de plusieurs centaines de l/s entre la période d'étiage et la période « humide ». Ce contraste est moins marqué pour les eaux souterraines mais néanmoins identifiable (amplitude de quelques mètres). A noter que le niveau du piézomètre d'Hattenville est ici très marqué par les variations interannuelles qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres d'amplitude comme en 1995 et 2001 notamment. C'est également lors de ces périodes que l'on va enregistrer les niveaux de base du cours d'eau les plus importants.

On voit par contre que les pics de niveaux de base de la rivière précèdent dans le temps ceux de la nappe du fait probablement de l'inertie forte dans le secteur de plateau d'Hattenville.

L'analyse statistique du débit de base¹¹ du cours d'eau montre que celui-ci semble pour partie se corréliser au niveau de nappe de la craie, on obtient une bonne corrélation avec un coefficient de 0,89 entre celui-ci et le niveau du piézomètre de Yébleron (00753X0014) et de 0,67 avec le piézomètre des Trois-Pierres (00755X0006). On remarque que la corrélation semble plus importante avec les ouvrages situés sur le compartiment est, surélevé.

Ce constat semble naturel dans la mesure où les sources du compartiment surélevé donnent naissance au cours d'eau de Bolbec mesuré à la station de Gruchet le Valasse. Celui-ci se trouve ensuite, de manière schématisée, en position perchée et ne reçoit donc pas, a priori, d'autres apports en dehors des ruissellements (cf. paragraphe 3.3).

¹¹ Calcul fourni par le modèle Gardenia.

La corrélation moyenne avec le piézomètre des Trois-Pierres pourrait s'expliquer par la nature karstique du signal qui caractérise ce piézomètre du compartiment effondré (cf. paragraphe 4.3) et donc la sensibilité de celui-ci aux ruissellements (réaction plus instantanée, très peu d'inertie).

Ces éléments tendent à confirmer que le cours amont de la rivière du Commerce (rivière de Bolbec) est très influencé par les eaux souterraines. La différence entre le débit de base calculé et le débit journalier enregistré à la station de Gruchet le Valasse montre que l'apport des eaux souterraines pourrait représenter en moyenne jusqu'à 89 à 90 % du débit total du cours d'eau à l'amont de la station. Cette valeur semble cohérente avec les estimations faites sur le ruissellement à l'échelle du territoire, abordé dans le paragraphe 5.6 : estimé à 10 % sur le bassin du Commerce.

3.4.3. Autres cours d'eau

Comme évoqué plus avant, il n'existe pas d'autres stations de mesure pérenne du débit des cours d'eau sur le territoire : Théluel, Radicatel, Brouisseresse, Vivier. Exception faite de la perte du ruisseau du Bébec et la source du Hannetot qui font l'objet toutes deux de suivis mis en œuvre par le laboratoire M2C de l'université de Rouen.

La distribution des débits au niveau de la perte est représentée sur l'illustration 119 ci-après. Le suivi réalisé au niveau de la perte sur la période 2012-2016 montre une forte variabilité des débits : de quelques litres par seconde à plus de 60 l/s lors d'épisodes pluvieux intenses sur son bassin versant. On rappelle que celui-ci fait seulement 8,6 km² et que son soubassement est représenté par les formations de la base du Crétacé. Sa géomorphologie particulièrement encaissée et sa géologie, le rendent particulièrement sensible aux phénomènes de ruissellement (Duran, 2015).

La médiane des débits enregistrés sur la perte du Bébec sur la période de décembre 1999 à novembre 2000 donne une valeur de 16,1 l/s.

Pour le module (P50), une valeur de l'ordre de 15 l/s est estimée. Cette valeur semble en cohérence avec le suivi, présenté sur l'illustration 120, sur une période plus importante de 2012 à 2016.

On remarque également sur ce graphique que les valeurs de débit peuvent varier de façon importante : de 3 l/s lors des périodes sèches à plus de 60 l/s voire même 1 m³/s lors des crues hivernales exceptionnelles. Dans des conditions d'étiage ou lors de faibles crues, l'intégralité des eaux du Bébec est engouffrée à la perte, alimentant alors l'aquifère crayeux karstique (Masséi, 2001).

Au-delà de 50 l/s, la perte sature et alimente la Ravine (Masséi, 2001), son débit n'est ensuite pas mesuré avant la confluence avec le Théluel.

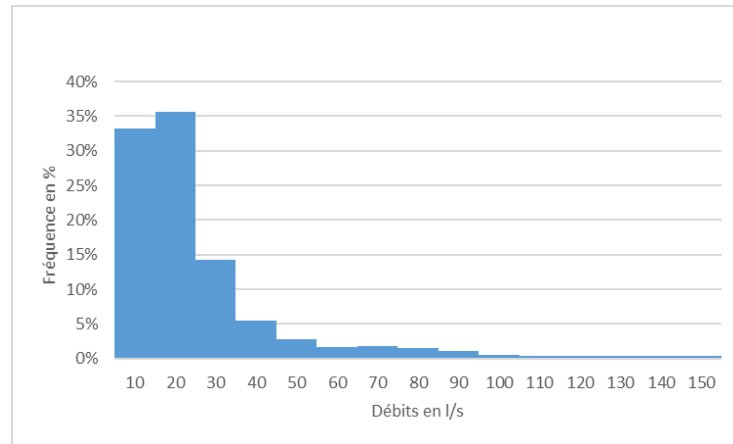
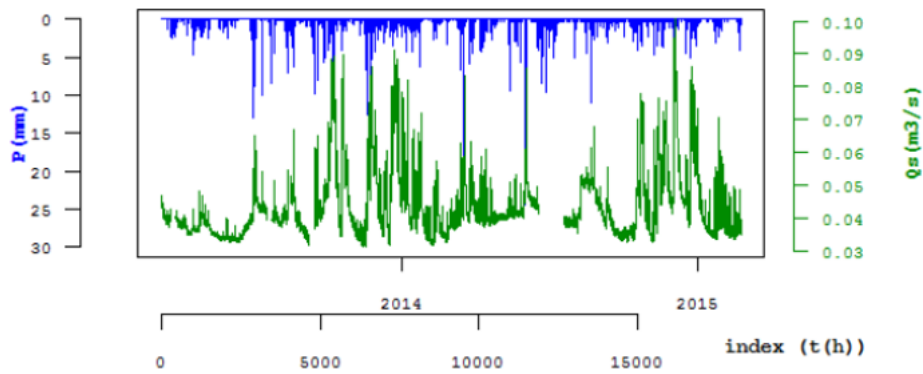
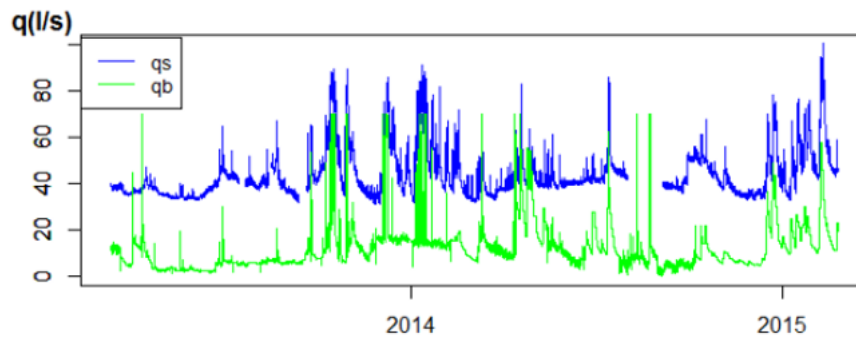


Illustration 119 : Distribution des débits enregistrés sur la perte du Bébec de Décembre 1999 à Novembre 2000 (source : Univ. Rouen)



Chroniques de débit à la source de Norville et pluviométrie



Débits à la source (qs) et à la perte du Bébec (qb)

Illustration 120 : Débit du Bébec et de la source du Hannetot sur la période 2012-2016 (source : Univ. Rouen)

3.4.4. Débits de référence des cours d'eau

Contexte

Les débits de référence¹² sont généralement le débit moyen inter-annuel (module) et le débit mensuel quinquennal sec (QMNA5, débit minimum se produisant en moyenne une fois tous les cinq ans).

La DREAL Normandie indique à ce sujet : « Les QMNA5 et MODULE, comme toutes notions statistiques, se veulent révisables. Ainsi les estimations de débits citées sont le reflet de la connaissance des débits de nos cours d'eau à un instant donné. Ces valeurs sont susceptibles d'évoluer dans le temps suite à l'amélioration de la connaissance par acquisition de nouvelles séries de mesures » ou par la réalisation d'aménagements : sections et profils, arasement d'ouvrages, modification des rejets/prélèvements, modification de l'occupation des sols sur le BV, etc...

« Une attention particulière doit donc être portée à la qualité des estimations. En effet, plus la qualité de l'estimation est médiocre, plus elle est susceptible de modifications majeures suite à de nouvelles mesures de terrain. »

Définitions

- **le MODULE**

« Le module est le débit moyen inter-annuel calculé sur l'année hydrologique et sur l'ensemble de la période d'observation de la station. Ce débit donne une indication sur le volume annuel moyen écoulé et donc sur la disponibilité globale de la ressource. »

- **le QMNA5**

« Le débit de référence est défini comme étant le débit moyen mensuel sec de récurrence 5 ans (QMNA 5). » Il permet par exemple aux services instructeurs d'identifier le régime qui s'applique et d'apprécier les incidences d'un projet en étiage, donc a priori en conditions défavorables. « Le QMNA 5 est donc une notion statistique correspondant au débit moyen mensuel minimum ayant une chance sur cinq de ne pas être dépassé une année donnée, ou encore n'étant pas dépassé en moyenne vingt fois par siècle. Il est communément appelé débit d'étiage quinquennal. »

Utilisation concrète des débits de référence

Ces deux grandeurs sont particulièrement usitées, afin notamment :

- de déterminer le régime de traitement des dossiers de rejet et de prélèvement en eaux superficielles ou dans les nappes d'accompagnement (déclaration ou autorisation) relatives à la nomenclature eau de la Loi sur l'eau,
- de fixer les volumes des prélèvements et rejets en eaux superficielles (en application notamment du décret nomenclature) en fonction de la sensibilité des milieux naturels concernés,
- d'évaluer, en cas de sécheresse, la gravité de la crise et d'aider à la prise de mesures permettant une répartition quantitative des eaux en fonction des milieux et des usages.

¹² <http://www.artois-picardie.eaufrance.fr/qualite-et-quantite-des-eaux/situation-hydrologique-hydrogeologique-et-pluviometrique/article/debits-qmna5-module-secheresse-et>

- d'évaluer l'impact des prélèvements sur les bassins versants superficiels et souterrains : Doctrine Régionale BEQESO, BEQESU, IDESU afin de garantir un caractère soutenable de ces derniers,
- Le débit de référence est également utilisé dans l'élaboration et la révision des objectifs de qualité des rivières.

Enfin, dans certains cas, ces derniers peuvent correspondre sensiblement au débit minimum biologique, qui permet le maintien des espèces et le déroulement de leur cycle biologique.

Mode de Calcul

« Les QMNA5 sont calculés à partir des mesures de débit effectuées par la DIREN¹³. Deux types de valeurs ont été prises en compte :

- Les mesures en continu aux stations de la DIREN, qui permettent une bonne ou une très bonne estimation des QMNA5 et modules,
- Les valeurs mesurées par des jaugeages ponctuels en d'autres lieux (cf. Tableau 16 et Illustration 121). Ces derniers permettent d'évaluer le QMNA5 et le module par des corrélations avec les stations hydrométriques sur de nombreux points supplémentaires, avec une qualité d'estimation moyenne ou médiocre. »

« Pour l'utilisation des données, une attention particulière doit être portée à la qualité des estimations (Tableau 15). **Si l'estimation est grossière, elle est susceptible de modifications significatives par suite d'acquisition de nouvelles mesures de terrain.** »

Critère Qualité de l'estimation du débit de référence	Localisation de la station hydrométrique de référence	Nombre de mesures réalisées en étiage	Écart type entre les valeurs
Grossière	Absence de station de référence sur le cours d'eau	< 3	Élevé
Moyenne	- Existence d'une station de référence sur le cours d'eau ou - Existence d'une bonne corrélation avec une station de référence	3 à 5	Moyen
Bonne	- Station échelle ou - Station de référence proche ou - Existence d'une corrélation avec une station de référence	> 5	Faible
Très bonne	- Estimation à la station de référence	> à 7 années de mesure	-

Tableau 15 : Critères d'évaluation de l'indice de qualité du débit de référence (source : DREAL Normandie)

¹³ DIREN : Direction Régionale de l'Environnement, aujourd'hui Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) et son service hydrométrie en particulier.

Valeurs locales définies par la DREAL Normandie

En tenant compte des précautions indiquées ci-avant, les débits de référence sont fournis ci-après à titre d'indicatif (Tableau 16, Illustration 121) :

Rivière	Station	Commentaires	Estimation QMNA5 m³/s	Indice qualité du QMNA5	Estimation Module m³/s	Indice qualité du Module	Superficie bassin versant	X Lambert II étendu	Y Lambert II étendu
Cahots	Lillebonne-cahots	nédiat prise d'eau usin	0,03	Grossière	0,21	Grossière	467 663,00	2 501 288,00	
Commerce	Bolbec-Oril	aval société Oril	0,11	Moyenne	0,165	Moyenne	5,51	466 808,00	2 510 484,00
	Gruchet-le-Valasse	stade	0,12	Très bonne	0,247	Très bonne	117,93	466 095,00	2 507 646,00
	Lillebonne	intermarché	0,46		0,9		159,55	469 271,00	2 503 627,00
	Lillebonne-anc.échelle	centre ville	0,31		0,4		148,16	468 994,00	2 503 960,00
Fond-de-vallée	Lillebonne-fd-amont	aval pisciculture	0,12	Grossière	0,23	Grossière	9,19	470 696,00	2 505 654,00
	Lillebonne-fd-aval	amont confluence	0,15	Grossière	0,5	Grossière	11	469 250,00	2 503 742,00
Four-à-chaux	Lillebonne-four	le long D 982	0,042	Moyenne	0,07	Moyenne	0,24	469 114,00	2 503 040,00
Ruisseau des Aulnes	Lillebonne-aulnes	jardins ouvriers	0,05	Moyenne	0,13	Moyenne	8,93	469 094,00	2 505 090,00
Radicatel	Tancarville-radicatel		0,55	Grossière	0,7	Grossière	9,84	464 463,00	2 500 397,00
Ruisseau du Vivier	Tancarville-vivier		0,11	Grossière	0,14	Grossière	30,72	464 356,00	2 500 384,00
Theluet	ND-Gravanchon-aval	Station d'épuration	0,024	Grossière	0,05	Grossière	20,05	472 171,00	2 499 310,00

Tableau 16 : Débits de référence des cours d'eau du territoire d'étude (source : DREAL Normandie, 2020)

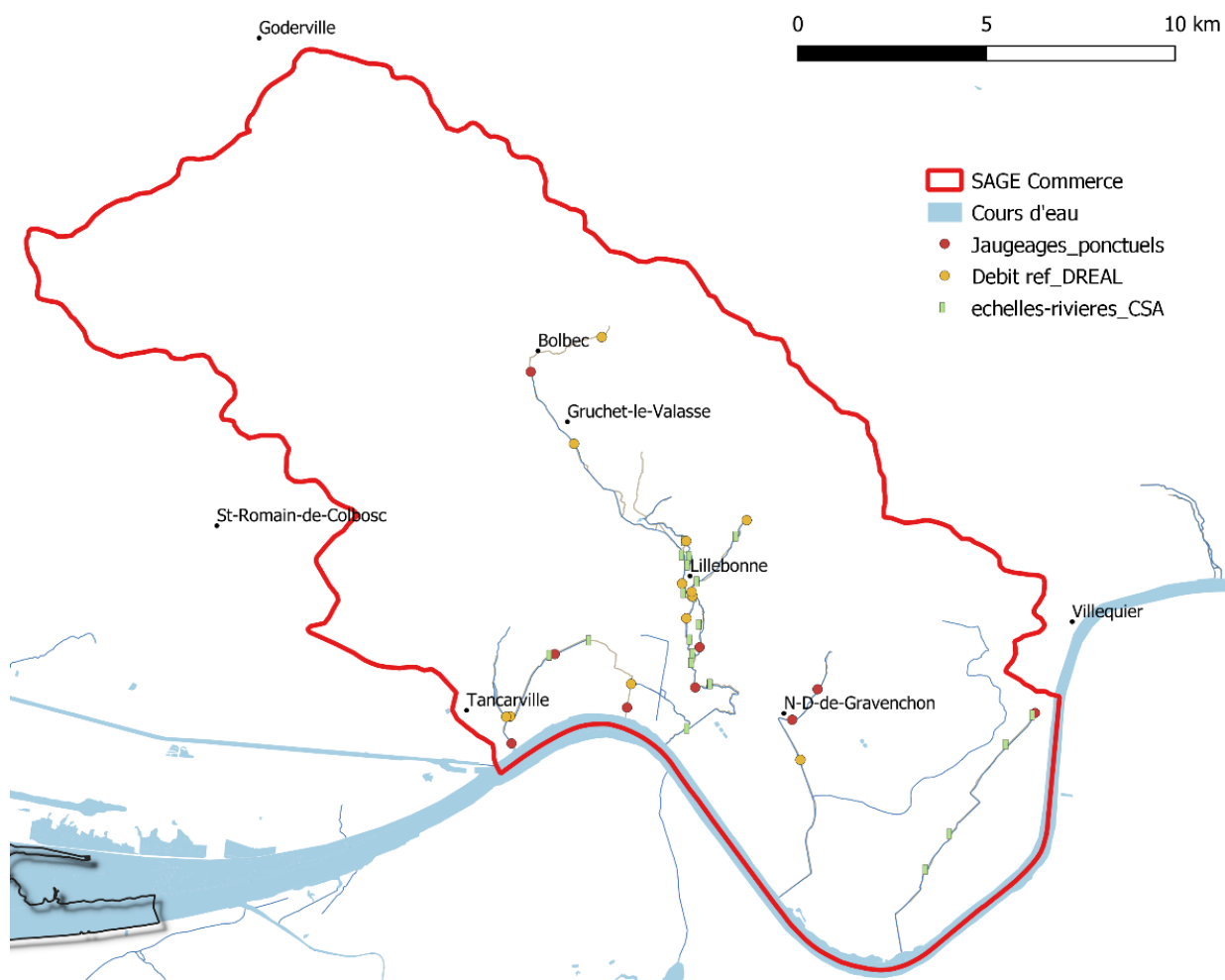


Illustration 121 : Carte de localisation des points de mesures ponctuelles des débits (DREAL) et hauteurs des cours d'eau (Caux Seine Agglomération) sur le territoire du SAGE Commerce.

Il est à noter qu'il n'a pas été évalué, dans l'état des connaissances actuelles, de débit quinquennal de période sèche (QMNA5) pour le cours d'eau du Bébec au droit de la perte.

D'autres valeurs de références ont été retrouvées en bibliographie et sont présentées ci-après (Tableau 17).

LIEU	DEBIT INTER ANNUEL (en L/s)	DEBIT QUINQUENNAL D'ETIAGE (EN l/s)
COMMERCE - BOLBEC	150	94
COMMERCE- LILLEBONNE	850	550
RUISSEAU DE LA VALLEE A SA SOURCE	170	105
RUISSEAU DE LA VALLEE A SA CONFLUENCE	240	195
CONFLUENCE - COMMERCE SEINE	1140	710

Débits caractéristiques de la rivière du Commerce – source : SAGE de la vallée du Commerce et DREAL, 2010

Rivière	Station	Débit moyen interannuel (m3/s)	Débit quinquennal d'étiage (m3/s)	Rapport
Commerce	Bolbec	0.150	0.09	1.6
	Gruchet-le-Valasse	0.220	0.09	2.36
	Lillebonne	0.850	0.550	1.54

Tableau 17 : Valeurs de références trouvées en bibliographie

Haut : débits de référence estimés sur le territoire du SAGE Commerce, source : DDE76 (1998),

Bas : autres valeurs de référence Artélia, (2010)

Il ressort plusieurs points de cette compilation :

- Sur le plan hydrologique tout d'abord, on relève un **ratio entre le QMNA5 et le module** légèrement supérieur à 2 pour la rivière de Bolbec, la rivière des Aulnes, la Vallée et le Théluet. Ces valeurs montrent une variabilité saisonnière modeste du débit des cours d'eau, soulignant le soutien apporté par les ressources en eau souterraines.
 - o Cette apparente homogénéité diffère toutefois des ratios qui ont pu être calculés à partir des données récentes de la DREAL Normandie. Dans les faits, les valeurs présentées dans les paragraphes 3.4.2 et 3.4.3 montrent une plus grande variabilité, les ratios pouvant dépasser des valeurs de 5 et plus ;
 - o *A titre de comparaison, à l'échelle régionale ces chiffres sont tout à fait semblables à ceux d'autres cours d'eau du domaine de la Normandie crayeuse. Les rivières disposant d'un ratio important (sup. ou proche) de 10 sont des rivières au fonctionnement karstique reconnu ou pour lesquels les apports de nappes sont plus modérés comme sur le massif armoricain par exemple (composante ruissellement majoritaire) - (ref. Idée et al., 2019).*
- Sur le plan des **valeurs de référence des cours d'eau du territoire du SAGE Commerce** :
 - o Le BRGM constate le manque de repères quantitatifs fiables pour l'ensemble des cours d'eau. Ce qui ne permet pas en conséquence de disposer de valeurs de référence : minimums, moyenne, maximum mensuels et annuels, écarts types.

Il est à noter l'existence d'un « ancien » réseau de suivi des hauteurs des rivières du SAGE pour lesquelles des enregistrements sont disponibles pour la période 2008-2016. Il serait par exemple envisageable d'étudier la faisabilité de calculer une relation de type hauteur-débit (niveaux calés en m NGF en 2020). Toutefois ces échelles ne couvrent pas l'amont de la rivière de Bolbec, le Vivier et le Théluet (cf. Illustration 121).

- Les valeurs présentées dans le Tableau 17 semblent trouver leur origine dans une évaluation faite par l'Agence Financière de Bassin et l'Université de Haute Normandie en 198. Les hypothèses de calcul retenues étaient les suivantes : « l'étiage de la rivière du Commerce est supposé intervenir avec la même sévérité, de façon synchrone, tout au long de son parcours. Hypothèse admissible du fait de la faible longueur de son parcours (14 km environ) et de l'homogénéité, à l'échelle de son bassin, de l'aquifère alimentant le débit de base ». L'ensemble des éléments connus aujourd'hui nous permettent légitimement de remettre en cause cette hypothèse.

Le manque de mesures sur plusieurs années hydrologiques, ne permet pas aujourd'hui de définir avec fiabilité des valeurs de débit de référence ou d'objectif d'étiage des cours d'eau. En particulier dans les zones où des fonctionnements hydrologiques particuliers ont pu être mis en évidence.

3.5. SYNTHÈSE PARTIELLE SUR LE FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE

Les principaux éléments mis en avant dans les paragraphes précédents de ce chapitre consacré au fonctionnement hydrologique des cours d'eau du territoire du SAGE Commerce sont synthétisés ci-après.

3.5.1. Fonctionnement de la Rivière de Bolbec/Commerce

L'illustration 122, permet de distinguer, de façon schématique, pour la rivière de Bolbec/Commerce, que :

- Les **principaux apports (gains)** au débit de la rivière de Bolbec/Commerce sont enregistrés :
 - Dans la partie amont du cours d'eau, au droit et à l'aval de l'usine Fauquet-Lemaître à Bolbec où le débit dépasse les 100 l/s (environ 20% du débit amont en cumulé) ;
 - Une zone de gain modéré, au niveau de la STEP de Gruchet (rejets urbains probablement mal comptabilisés, à confirmer).
A noter : Au niveau de Gruchet-le-Valasse, le rejet des STEP (Gruchet + Eurial) contribuerait à hauteur de +40 à 60 l/s au débit du cours d'eau ;
 - La jonction avec la rivière des Aulnes est le point de départ d'apports multiples (sources et rivières) jusqu'à son embouchure avec la Seine (cf. paragraphe 4.6.1). Le débit du cours d'eau atteint alors en moyenne 800 à 1000 l/s et a donc presque été multiplié par 10 par rapport à la partie amont. A noter : La rivière de la Vallée est l'affluent le plus important de la rivière du Commerce et représente environ 30 % du débit total de celui-ci.
A noter pour ce dernier cours d'eau que les zones de pertes et gains potentiels n'ont pas pu être mis en évidence de manière aussi certaine que pour le vallon de Bolbec ; le fonctionnement de ce cours d'eau apparaît donc plus hétérogène (investigations à poursuivre) ;
 - A son débouché dans la plaine alluviale, le cours inférieur de la rivière du Commerce est assujéti au régime hydraulique de la nappe des alluvions de Seine (Langevin, 1998), mais également affecté par le marnage de la Seine dont les effets se font ressentir assez loin en amont (au-delà de la confluence avec le Fourneau).

- **Les principales zones de pertes** pour le cours d'eau sont enregistrées :
 - Au niveau du vallon de Bolbec, avec un fonctionnement complexe de gains et pertes successifs autour des principaux compartiments encadrés par des failles ; les pertes dépasseraient, sur certaines portions identifiées, les 10 % du débit d'eau amont ;
 - Le secteur situé sur le tronçon compris entre Bolbec et Gruchet, où les pertes sont relativement modérées (env.10 à 15 % en cumulé sur un tronçon de presque 3 km) ;
 - Secteur du Becquet, où la position du cours d'eau se trouve à nouveau légèrement perchée au-dessus de la nappe du fait de l'artificialisation de son cours, détourné pour faciliter le passage sous la voie SNCF. Auparavant, celui-ci rejoignait directement la rivière des Aulnes. Les pertes atteignent sur ce tronçon 10 à 15 % environ du débit amont ;
 - Enfin, la zone du Mesnil qui présente des pertes relativement importantes (jusqu'à 40 % du débit amont) qu'on a pu attribuer à des prélèvements non identifiés, à la présence de bras de décharges pour alimenter la zone du Fourneau, ou encore à des pertes liées au passage d'une zone faillée (hypothèses à vérifier).

Important : La station de jaugeage de la rivière du Commerce est située sur un tronçon déficitaire, donc qui ne reçoit pas de débit supplémentaire par des sources ou, de manière diffuse, par la nappe. Sur ce tronçon, la rivière serait donc alimentée exclusivement par les ruissellements. Le bassin d'alimentation souterrain de la station se situe donc bien en amont : au niveau de la traversée du faisceau de faille.

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

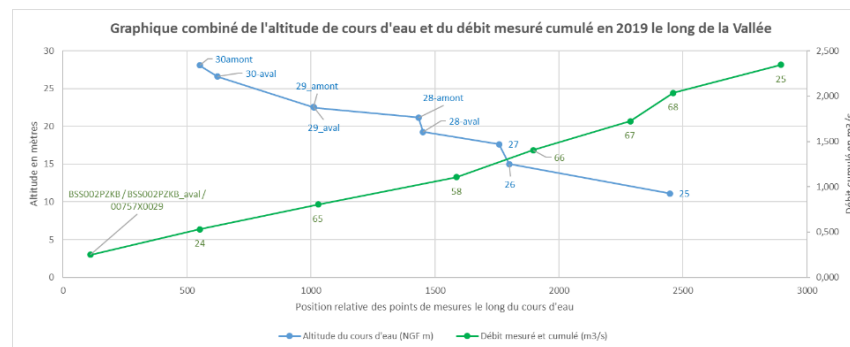
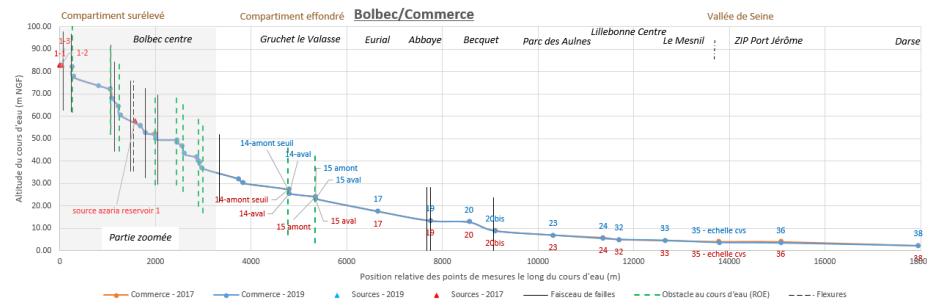
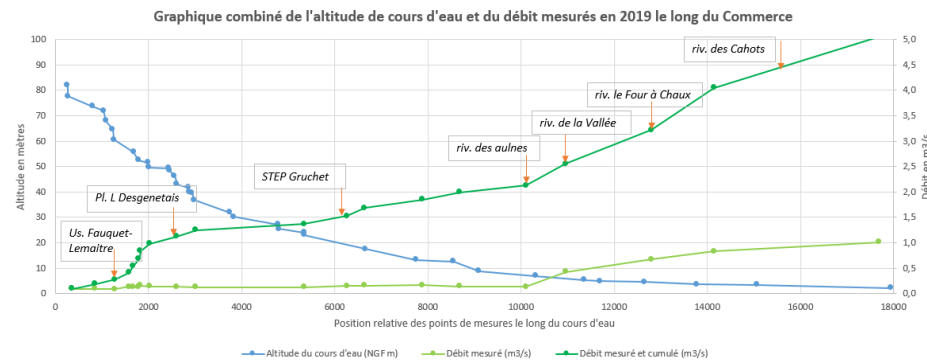
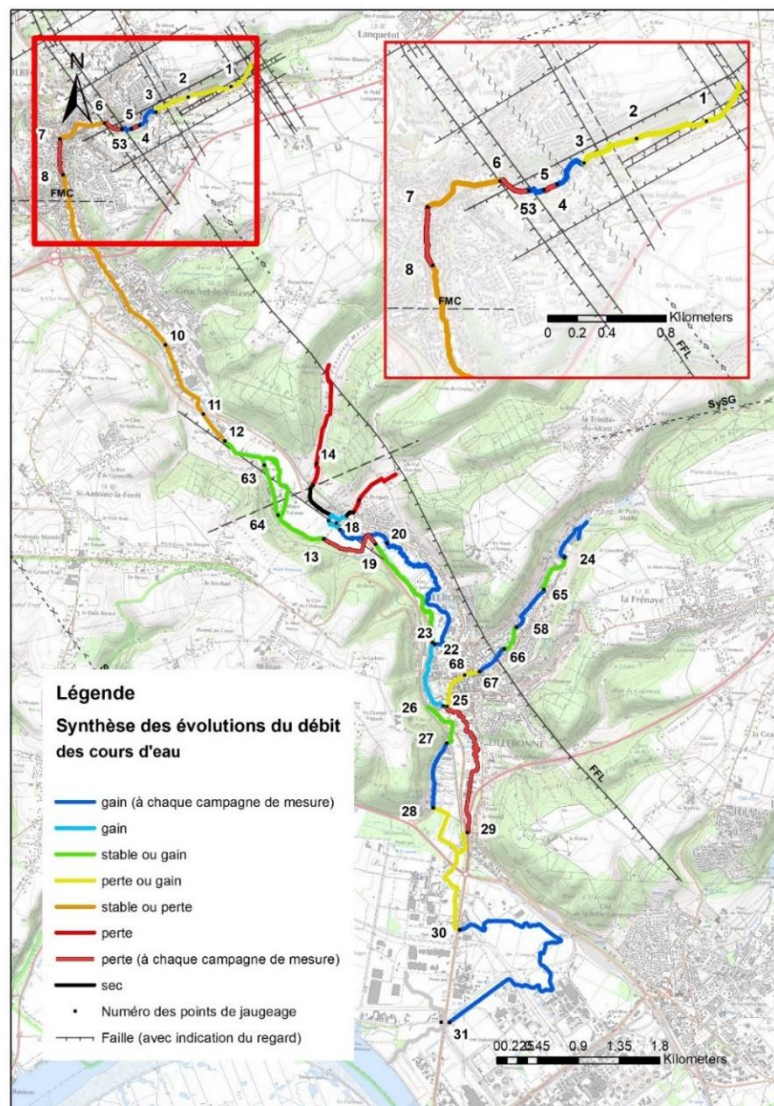


Illustration 122 : Synthèse des données acquises sur le fonctionnement de la rivière du Commerce. Source : David et al., (2020) modifié

3.5.2. Autres cours d'eau du territoire du SAGE

Pour le Vivier et la Brouisseresse : en 2017 on observait des gains entre les différents tronçons mesurés, ces gains n'ont pas été mis en évidence en 2019 (fonctionnement opposé a priori).

Pour le Théluet, on note :

- Des gains importants dans la partie amont avec l'apport notamment des sources de Varouillères et St Denis qui fournissent chacune environ 20 l/s ;
- Plus en aval, on distingue une zone de pertes au niveau du « parc de la vallée du Théluet » sur un tronçon de faille suspecté. Celles-ci sont modérées (env. 5% entre les points 21-22). Il pourrait également s'agir d'une mauvaise appréciation des prélèvements de la source St Denis (AEP) ;
- Plus en aval, le cours d'eau ne perd pas, *a priori*, de débit au niveau de la traversée de la résidence Robert Lebas (point 36 : secteur de faille supposée correspondant à des linéaments situés dans le prolongement du système identifié sur le secteur du Commerce). Il est à noter que ce tronçon est très artificialisé et permet difficilement la mesure ;
- Dans la partie aval, au niveau du bourg de Notre de Dame de Gravenchon, à la limite entre le soubassement crayeux et la plaine alluviale, la situation est plus hétérogène entre les mesures réalisées entre 2017 (gains) et 2019 (légères pertes) ;
- Par contre, dans la plaine alluviale, la situation est identique à celle du Vivier et de la Brouisseresse : la zone alluviale est quant à elle le marqueur d'une perte nette de débit (cf. paragraphe suivant).

On peut donc légitimement s'interroger sur cette différence de comportement pour le Vivier. On précise que la situation des nappes lors des périodes de mesures correspondait respectivement à une situation de basses eaux et de moyennes eaux (cf. paragraphe 4.2.2). De même, les cumuls pluviométriques enregistrés avant la réalisation des deux principales campagnes de jaugeage étaient très faibles en 2017 et nettement plus soutenus en 2019 (cf. paragraphe 3.3.1).

L'hypothèse proposée pour expliquer cette observation est la suivante :

- Une restitution des zones humides lors des périodes de déficit et à l'inverse une sollicitation pendant les périodes de recharge. Ou de façon plus réaliste des opérations de vannes sur des ouvrages annexes permettant de remplir des plans d'eau ou fossés pendant la période humide et à l'inverse une vidange pendant la période humide (voir paragraphe 3.5.3 suivant),
- Des prélèvements/rejets effectués par les collectivités : notamment pour l'alimentation en eau potable (Tancarville 00982X0083, Four aux Vaux 00756X0082, Moulin et Brouisseresse). Pour le secteur du Théluet les ouvrages d'alimentation en eau potable voisins (Cité 00983X0029 et 58 et Source St Denis 00757X0005).
Note : on rappelle que le débit de la Brouisseresse est sensible au fonctionnement de l'usine des eaux de Radicatel.

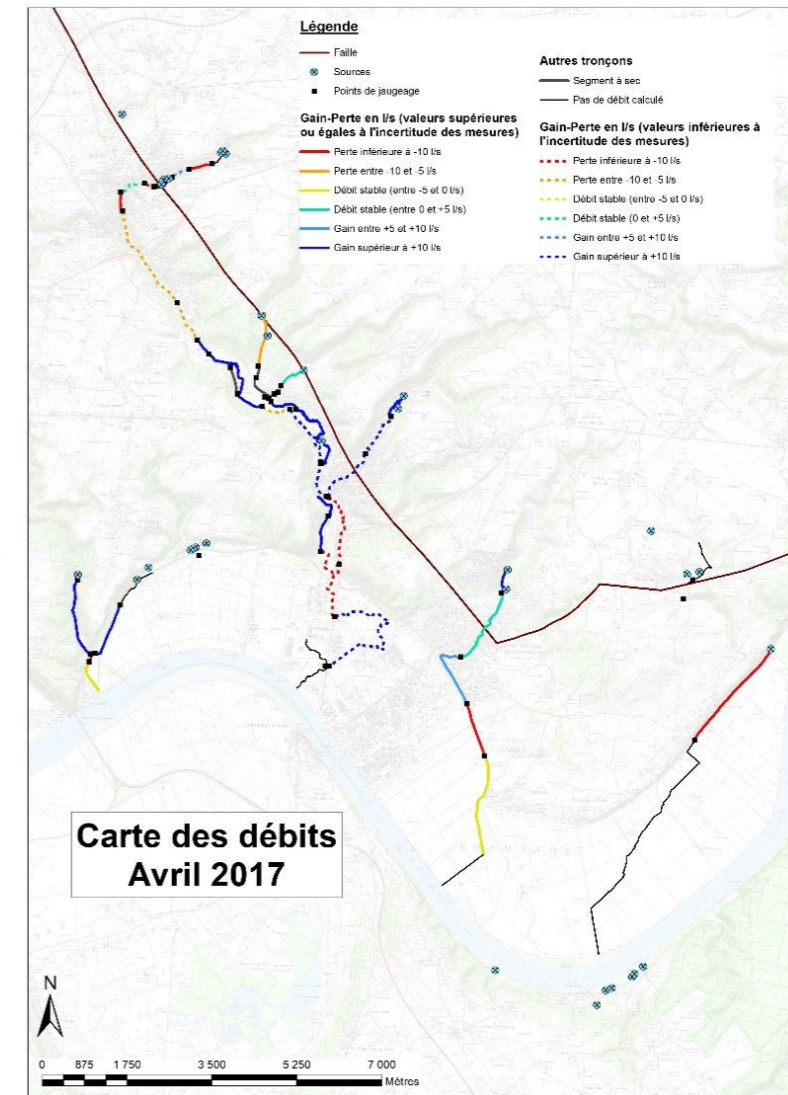
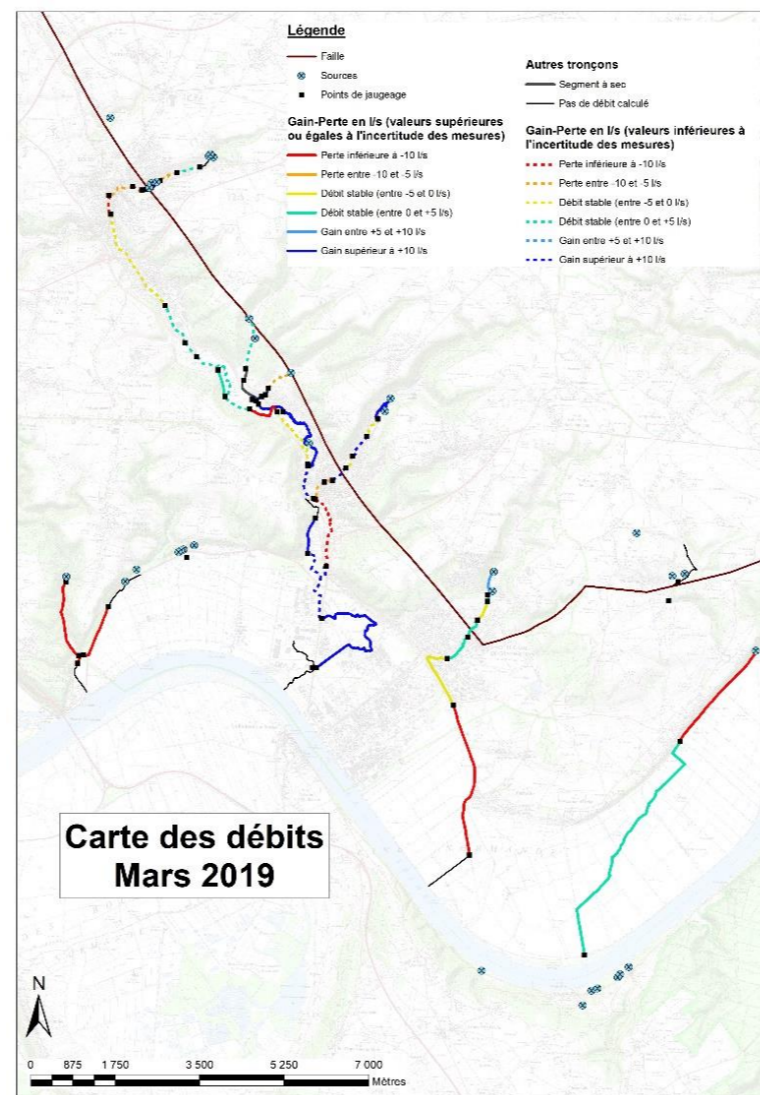
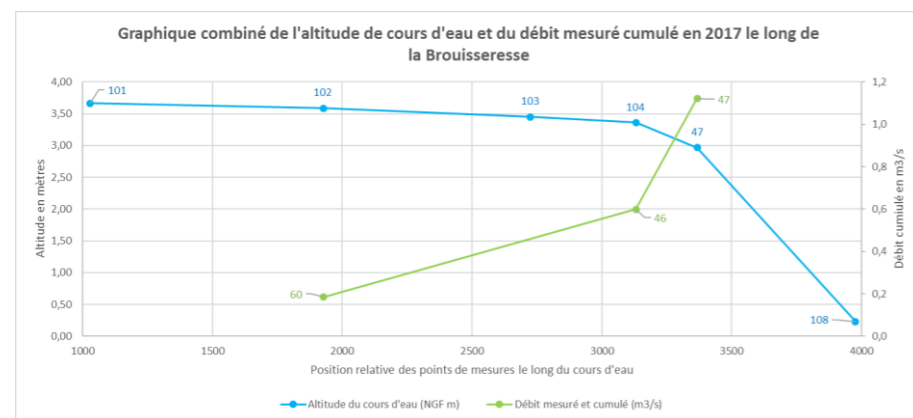
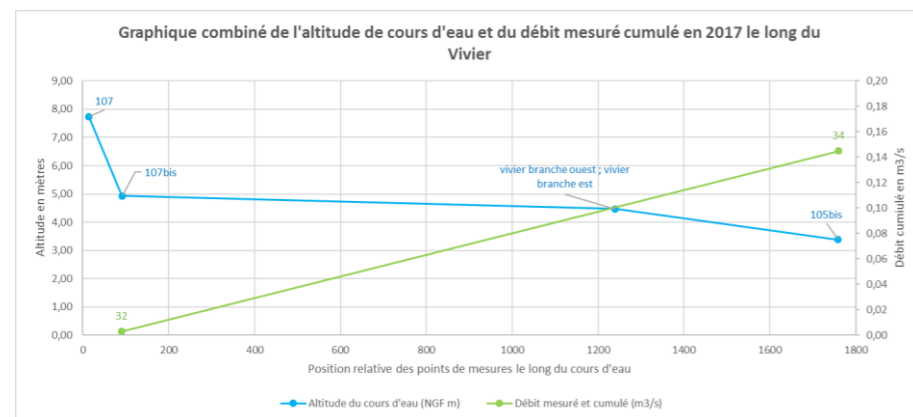
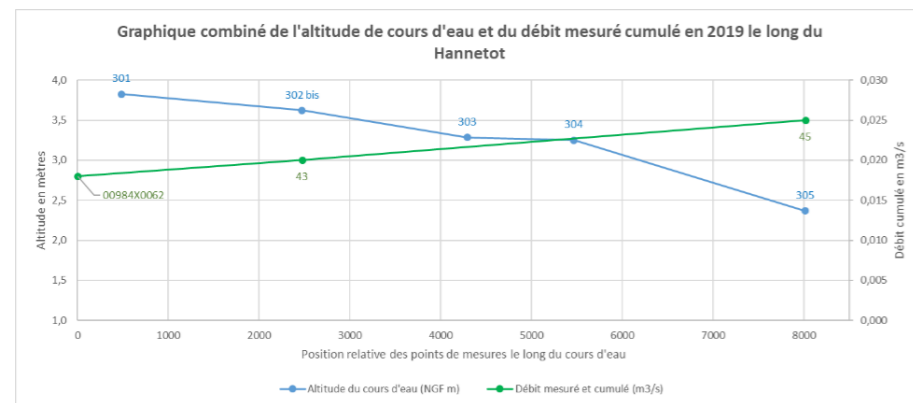
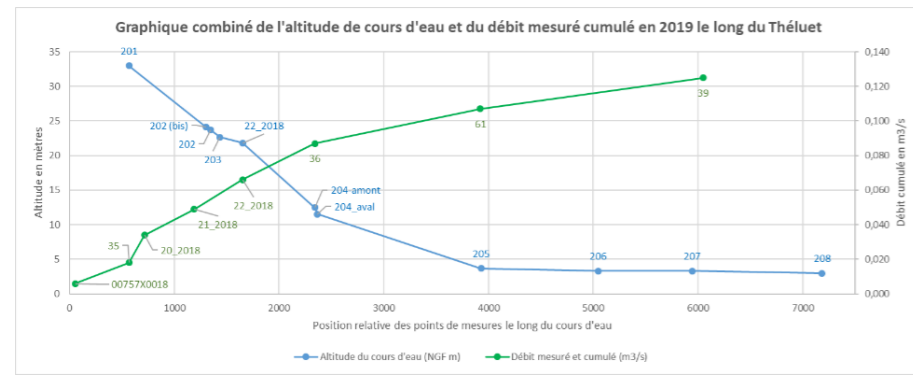


Illustration 123 : Synthèse des données acquises sur le fonctionnement hydrologique de l'ensemble des rivières du territoire du SAGE Commerce.

3.5.3. Cours d'eau de la plaine alluviale

Ce territoire a fait l'objet de modifications profondes, visant à maintenir le fleuve dans son lit pour garantir le trafic fluvial et maritime commercial vers Rouen et Paris. La chenalisation du fleuve (et dans une moindre mesure son endiguement) et le drainage de la plaine alluviale ont permis une appropriation par l'homme des zones humides et terrains situés dans la plaine alluviale, transformant l'occupation des sols : passage de marais alluviaux à des plaines agricoles, puis industrielles et portuaires.

Le suivi mis en œuvre par Burgéap (2020) sur les eaux superficielles (cours d'eau, fossés et creux porteurs) du secteur de Port Jerome 2 (ouest de la plaine alluviale) et Hydratec (1998) sur le secteur aval de la vallée du Commerce a permis notamment de mettre en évidence que :

- Les mesures réalisées par les bureaux d'études sur les rivières ont pu démontrer que ces dernières sont, dans une large majorité, impactées par le marnage de la Seine. *On rappelle que l'amplitude du fleuve est en moyenne de l'ordre de 5 m et peut même dépasser les 6,8 m lors des marées d'équinoxes.* Le niveau des rivières présente une remontée rapide suivie d'une lente décrue. L'impact de la marée décroît directement avec la distance à la Seine.

Pour certains de ces cours d'eau, les variations liées au marnage ne s'effectuent que lorsque qu'une cote bien déterminée est atteinte. Par exemple celle-ci peut correspondre à la cote des clapets lorsque l'écoulement de la rivière est limité par ce genre d'équipement hydraulique (cas de la rivière de Radicatel ou du fossé des Surelles). Pour les rivières de la plaine alluviale, Burgéap (2020) et Hydratec (1998) ont pu déterminer que la cote critique correspondait à la cote de l'exutoire des rivières (approximativement 3,3 m NGF pour la Brouisseresse et 2,3 m NGF pour la rivière de Radicatel).

Hydratec (1998) a pu mettre en évidence, par un suivi température, pH et conductivité sur la rivière du Commerce, que les eaux de la Seine pénétraient à l'intérieur de la rivière du Commerce, cette dernière présentant ainsi un véritable fonctionnement de type estuarien. Les flux s'inversant, on assiste à un phénomène de stockage des eaux dans la partie aval des cours d'eau ;

- Tous les points de mesures sur les fossés et canaux présentent une dynamique saisonnière de hautes eaux / basses eaux. La période d'étiage semble coïncider avec la période estivale. Ce réseau hydrographique annexe est donc marqué par un signal important des précipitations, qui semblent plus importantes sur la période automne-hiver. Il est à noter que ce fonctionnement est analogue à celui observé sur les ouvrages implantés dans la nappe alluviale (cf. paragraphe 4.3.3).
- Une partie du réseau hydraulique (fossés et creux porteurs) permet également de stocker l'eau durant les périodes pluvieuses (mais également lors des marées importantes) pouvant ainsi contraindre l'effet de drainage et donc d'évacuation des eaux vers la Seine.

Le BRGM de son côté a pu mettre en évidence que le débit des cours d'eau pouvait diminuer de façon conséquente en arrivant dans la plaine alluviale (Théluet et Hannetot notamment). L'effet suspecté est une dilution de celui-ci dans la nappe d'accompagnement des cours d'eau et une diffusion des volumes y transitant dans l'ensemble des réseaux de petits canaux et fossés qui maillent le territoire. **Ainsi le rôle hydraulique de ce réseau secondaire est tantôt drainant pour la nappe et les cours d'eau, tantôt capacitif pour recueillir les excédents et les canaliser vers les exutoires.**

L'écoulement des rivière directement connectées à la Seine s'effectue par cycles, en fonction de l'amplitude des marées. Les flux s'inversent dans le cours d'eau, le fleuve remontant dans sa partie aval. Ce phénomène est particulièrement accentué lors des périodes de forts coefficients de marées ou lors des crues du fleuve.

3.5.4. Recommandations

Les campagnes de mesures mises en œuvre par le BRGM et la DREAL Normandie entre 2017 et 2019 ne permettent pas d'obtenir des résultats aussi cohérents en termes de bilan (analyse des gains et pertes notamment) pour l'ensemble des cours d'eau. Les fonctionnements de la rivière de la Vallée et du Théluet apparaissent à ce titre beaucoup plus hétérogènes, certainement par une méconnaissance de l'agencement litho-structural (prolongement vers le sud des structures identifiées à l'amont au niveau du vallon de Bolbec).

Il existe une seule station de mesure en continu hauteur/débits des cours d'eau, située sur le cours amont du Commerce sur un tronçon où la rivière se trouve déconnectée de la nappe : tronçon en perte. Il apparait aujourd'hui nécessaire de déplacer cette station le plus en aval possible du cours d'eau (réflexion en cours). On peut toutefois ajouter à cet inventaire le suivi mis en œuvre par l'Université de Rouen sur le système Bébec-Hannetot, pour lequel on dispose également de chroniques de débit (Illustration 124).

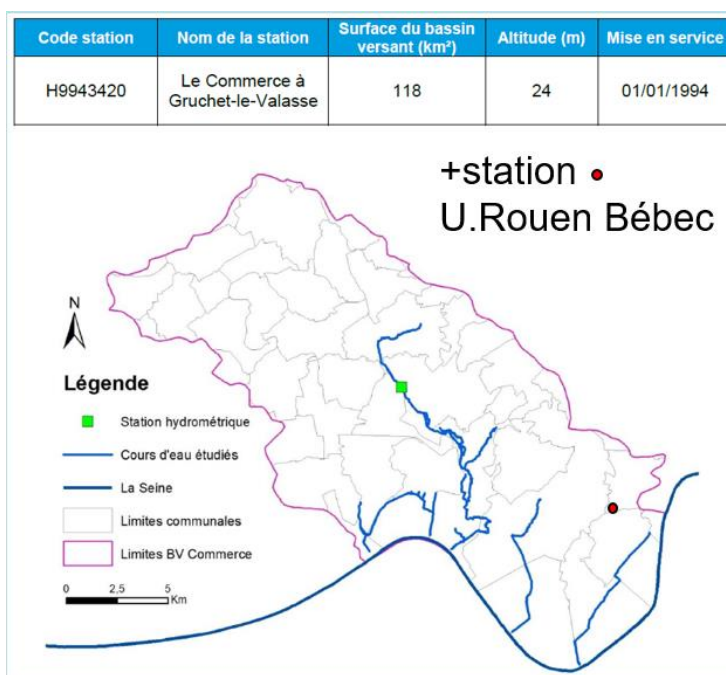


Illustration 124 : Rappel des mesures de débits actuellement opérationnelles sur le territoire du SAGE Commerce

Enfin cet inventaire a permis également de souligner le peu de mesures disponibles (ponctuelles ou continues), représentatives du fonctionnement de l'ensemble des petits cours d'eau du territoire.

Ces lacunes d'informations ne permettent pas aujourd'hui de caractériser avec fiabilité : 1) les variations des débits dans le temps > ne permet pas une analyse statistique fiable des débits d'étiage, de crue (saisonniers), 2) d'évaluer les contributions respectives des nappes et des

ruissellements au débit des cours d'eau et 3) de définir les débits ou niveaux d'objectifs d'étiage par exemple.

Enfin, il a pu être mis en évidence la difficulté d'évaluer le débit transitant par la Seine.

Ces informations sont essentielles à la mise en œuvre des outils d'évaluation des ressources en eau disponibles puis pour la définition des volumes prélevables. Ainsi il apparaît qu'un objectif serait de mettre en œuvre des campagnes de mesures quantitatives suivies sur plusieurs années hydrologiques afin de disposer de ces données. Cette acquisition permettra *in fine* de pouvoir contribuer à une définition indiscutable des débits de référence ou d'objectifs pour les ressources en eau superficielle du territoire.

Au regard des enjeux pour le territoire, le BRGM préconise de mettre en œuvre dès que possible une campagne pluriannuelle de mesures quantitatives (mesure hauteur-débit) à fréquence mensuelle sur une quinzaine de stations réparties sur l'ensemble des cours d'eau du territoire du SAGE Commerce.

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

Nom cours d'eau	Longueur	Taille BV en km ²	Débits de référence à l'exutoire l/s*	Débit spécifique en l/s/km ²	Principales sources	Information géologique sur son parcours
La Seine	22,9 km	>70 000	ND	ND	Autres sources de la zone étude : Aizier (karst Sénonien)	S'écoule sur les formations alluviales, Le fleuve constitue l'exutoire final de l'ensemble des autres cours d'eau et réseaux secondaires
Rivière de Bolbec	12 km	117 (dont 60 pour le Val d'Arques/Mt Criquet et 42 pour la vallée de Mirville)	247 Module 120 QMNA5	2,1	Sources principales au niveau de la Fontaine du Vivier dans le vallon de Bolbec, entre la chapelle Ste Anne et la Piscine à Bolbec centrées sur des faisceaux de failles	S'écoule tout d'abord vers l'ouest sur des colluvions, traverse la zone de faille avant de bifurquer vers le sud-sud-est, les formations traversées deviennent alluviales vers Gruchet le Valasse.
La Fontaine Murée	1,9 km	13	ND	ND	Fontaine Murée située sur le faisceau de faille	S'écoule vers le sud en direction de l'Abbaye de Gruchet sur des colluvions Perte totale du débit au passage d'un second faisceau de faille
Le Val Horrible	0,9 km	8	ND	ND	Val Horrible située sur le faisceau de faille	S'écoule vers le sud-ouest en direction du hameau du Becquet sur des colluvions Perte totale du débit au passage d'un second faisceau de faille
Rivière des Aulnes	2,1 km	8,9	130 Module 50 QMNA5	14,6	Plusieurs sources a l'aval de l'abbaye et en amont du parc des Aulnes	S'écoule vers le sud en direction de du centre de Lillebonne sur des alluvions
Rivière de la Vallée	3,0 km	12	560 Module 150 QMNA5	46,6	Source vers le hameau du Puits Maillé et la pisciculture (contact Gaize ? probablement dans la continuité du système faillé)	S'écoule vers le sud-ouest, sur des alluvions et traverse la zone faillée avant d'arriver dans Lillebonne. Affluent en rive gauche de la rivière de Bolbec avec laquelle il forme ensuite le Commerce
La rivière du Commerce	5,4 km	160 (dont la rivière de Bolbec, la Fontaine Murée, le Val Horrible, la rivière des Aulnes et la Vallée a Lillebonne)	900 Module 460 QMNA5	5,6		S'écoule en aval de Lillebonne sur les alluvions puis rejoint la plaine alluviale de la Seine où elle prend un parcours très sinueux

Nom cours d'eau	Longueur	Taille BV en km ²	Débits de référence à l'exutoire l/s*	Débit spécifique en l/s/km ²	Principales sources	Information géologique sur son parcours
Le Fourneau	2,9 km	0,8	70 Module 42 QMNA5	87,5	Four à Chaux	
Le Vivier	1,8 km	30	140 Module 110 QMNA5	4,6	Sources de la Fontaine des Vaux à Tancarville (contact faillé probable dans Turonien)	S'écoule vers le sud dans une vallée profondément incisée dans les formations crayeuses Sénoniennes
La Brouisseresse	4,0 km	42 (dont le Vivier)	ND	ND	Sources multiples Moulin et Brouisseresse exploitées pour l'AEP par l'agglomération du Havre (Karst Sénonien)	Reçoit les eaux du Vivier en rive droite, s'écoule dans la plaine alluviale vers l'Ouest, en limite avec le coteaux crayeux, se jette dans la Seine à Tancarville.
Rivière de Radicatel	2,9 km	6	ND	ND	Sources multiples Radicatel (Karst)	S'écoule à travers la plaine alluviale pour rejoindre la Seine au niveau de l'entreprise TEREOS
La Ravine/Bébec	10,1 km	21 Dont 8,6 pour le Bébec	15 Module à la perte	1,7	Sources hameau du Bébec dont contact probable Albien	Prend naissance au contact Cénomaniens/Albien, se perd au passage de la faille de Triquerville et au niveau du contact avec la zone alluviale.
Le Théluet	8,2 km	59 (dont la Ravine)	50 Module 24 QMNA5	0,6	Sources multiples : Bois du Parc, Varouillères, St Denis (contact Gaize ? dans le prolongement du système faillé)	S'écoule vers le sud-ouest sur les dépôts des anciennes terrasses de la Seine puis sur la plaine alluviale de la Seine. Traverse probablement un nœud tectonique (faille Fécamp-Lillebonne et Triquerville)
Le Hannotot	8,0 km	18	ND	ND	Source de Norville (Karst Sénonien relié à la perte du Bébec)	S'écoule vers le sud-ouest le long de la falaise alluviale, puis traverse la plaine vers le Sud pour se jeter dans la Seine.

Tableau 18 : Éléments de synthèse sur le fonctionnement hydrologique des cours d'eau du territoire du SAGE d'après la bibliographie

ND : Non Disponible

* Données fournies par la DREAL Normandie

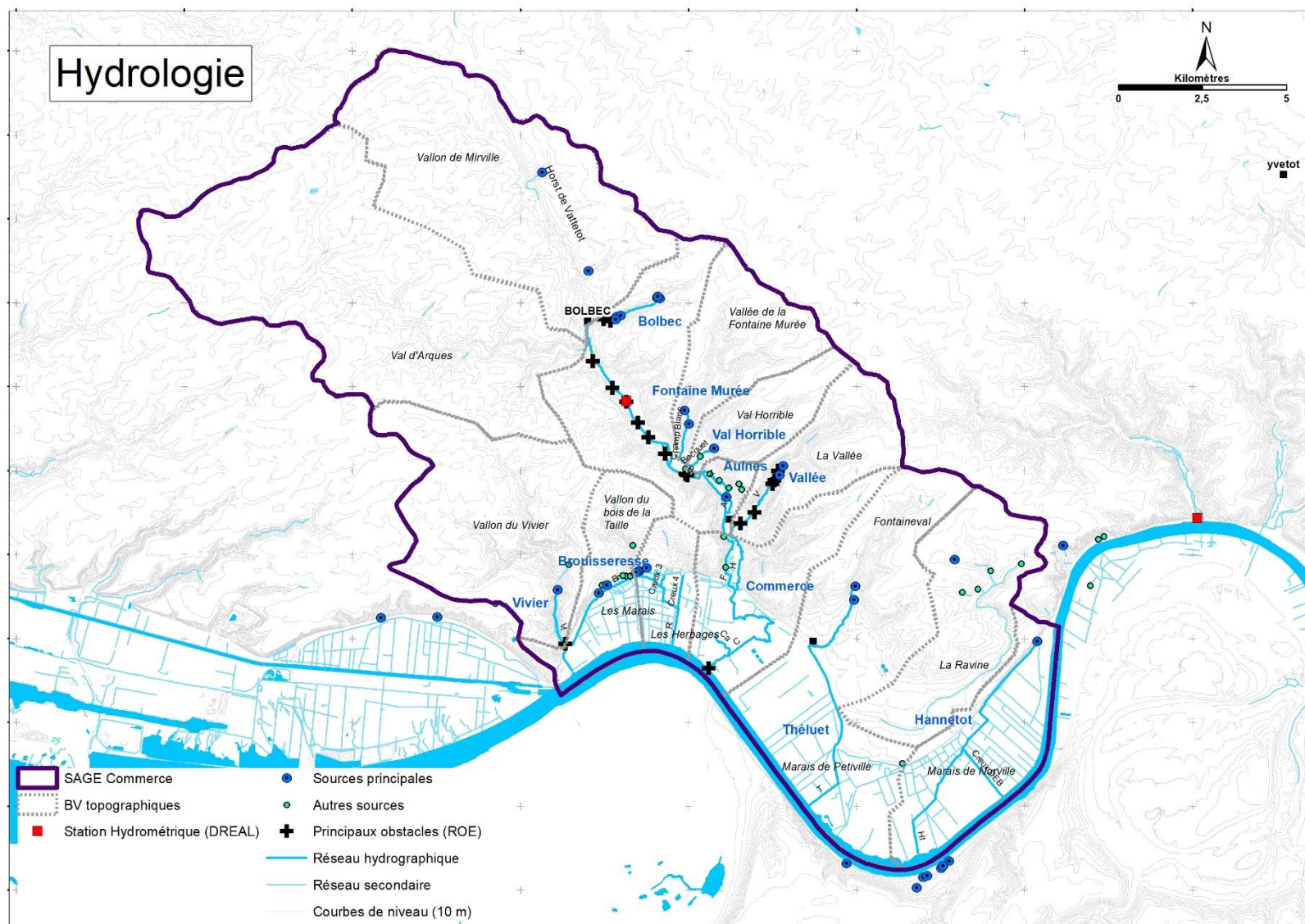


Illustration 125 : Principaux cours d'eau et bassins versants sur le SAGE de la vallée du Commerce.

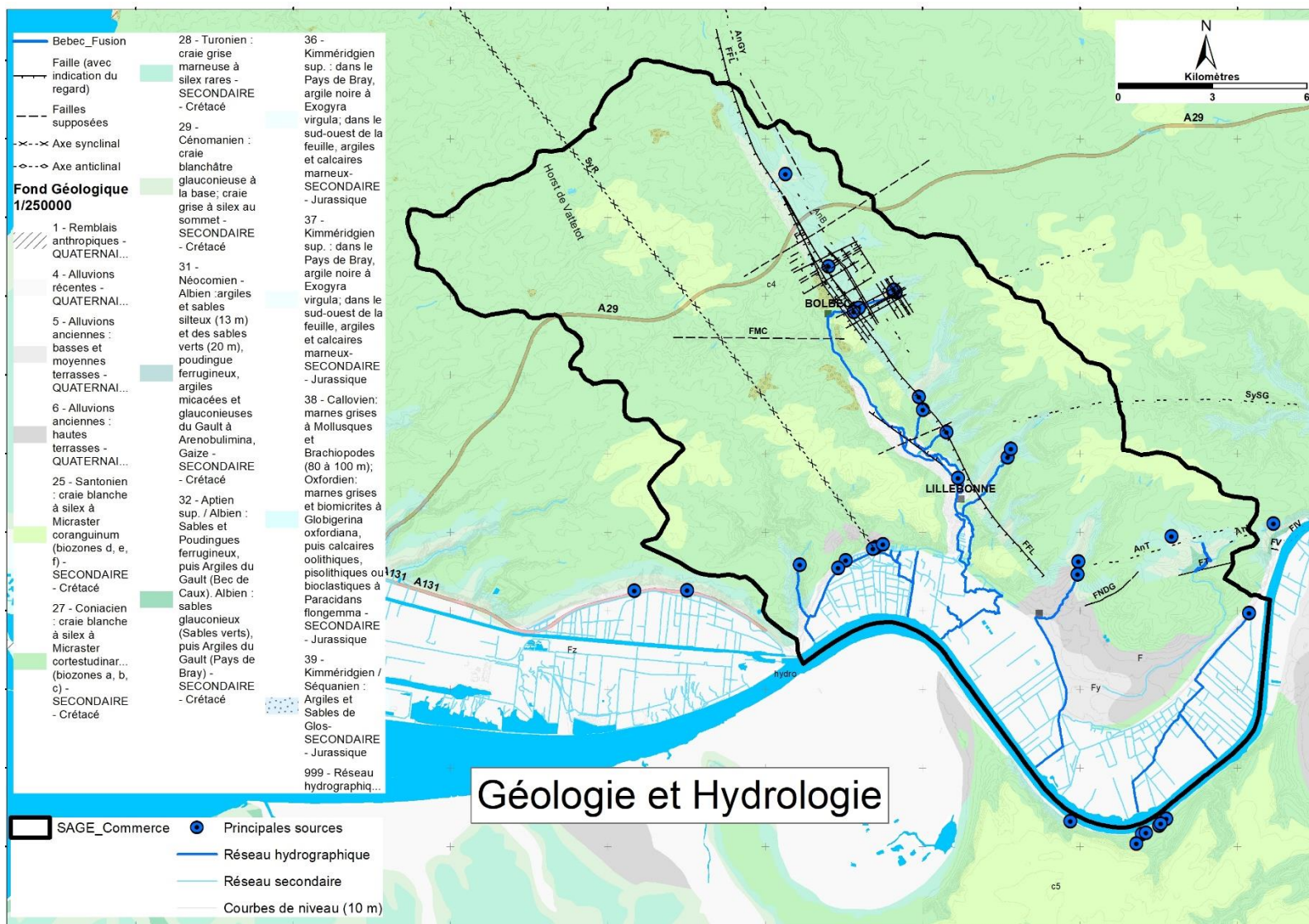


Illustration 126 : Principaux cours d'eau et leurs bassins versants et contexte géologique (fond géologique au 1/250 000)

Attention, les structures faillées représentées sur ce schéma reprennent des hypothèses simplificatrices pour faciliter la lecture de la carte.

4. Fonctionnement hydrogéologique

4.1. FORMATIONS AQUIFERES

4.1.1. Principales caractéristiques hydrogéologiques des entités géologiques représentées sur le territoire du SAGE

Les informations rassemblées ci-après sont issues du chapitre 2.4 et de la compilation d'éléments bibliographiques, dont la BDLISA¹⁴.

Les formations superficielles et formations d'altération :

- **Limons, Colluvions**

Ginger Environnement (2005) estime qu'il peut exister un écoulement souterrain à la base du remblai colluvial (*underflow*) notamment dans les vallées sèches.

- **Alluvions**

Cette unité comprend à la base une formation essentiellement gravelo-sableuse et au sommet des formations argilo-silteuses. Ces formations peuvent parfois être séparées par des argiles tourbeuses. Ces unités reposent directement sur les formations du soubassement crayeux.

L'épaisseur maximale d'alluvions peut atteindre la trentaine de mètres. Cette unité possède une bonne perméabilité et une bonne porosité qui lui confèrent un caractère aquifère.

Celui-ci est alimenté directement par les précipitations et la nappe qu'il contient varie librement, il peut éventuellement avoir un caractère semi-captif si les alluvions récentes ont un caractère argileux prédominant.

- **Les Argiles à Silex**

Ces formations, principalement argileuses, présentent parfois une texture plus sableuse ou silteuse avec une fraction en silex qui peuvent lui conférer une porosité non négligeable. A ce titre, cette unité ne pas être considérée comme imperméable et ne peut donc pas être considérée totalement comme une barrière protectrice pour l'aquifère sous-jacent.

L'épaisseur de cette unité est variable sur le secteur d'étude de quelques mètres à plus de 50 m localement. Il existe une très forte hétérogénéité en termes de répartition spatiale (cf. paragraphe 2.4).

La nappe de la craie a, le plus souvent, son niveau piézométrique dans la craie et non pas dans l'argile à silex. En fonction de son épaisseur et de la texture de ces formations (plus ou moins argileuses, caillouteuses ou sableuses), cette dernière va pouvoir abriter de petites nappes perchées, qui le plus souvent ne vont subsister temporairement qu'après des périodes humides. Ces petites nappes vont ensuite contribuer à alimenter le réservoir crayeux sous-jacent, par drainance descendante.

¹⁴ BDLISA : Base de Donnée des Limites des Systèmes Aquifères est un référentiel cartographique du Système d'Information sur l'Eau. Cette base de donnée classe le sous-sol en entités hydrogéologiques qui sont décrites selon différentes propriétés : aquifère ou imperméable, écoulements libres ou captifs, milieu poreux, fracturé, karstique... informations et données disponibles : <https://bdlisa.eaufrance.fr/>

Pour les formations du soubassement

- **Les formations tertiaires**

Ces formations sableuses et gréseuses sont la plupart du temps piégées dans des compartiments géologiques effondrés ou dans des poches karstiques où dans ce dernier cas elles sont associées à la formation d'argile à silex. L'épaisseur de cette formation peut atteindre localement 10 m et consister de fait de petites unités aquifères discontinues.

Leur faible épaisseur, et leur caractère non continu ne peut pas faire de cette unité superficielle un réservoir exploitable. Ces unités peuvent néanmoins contribuer à l'alimentation des formations sous-jacentes.

Compte tenu de leur aspect superficiel et de leur caractère supposé plus perméable que les formations superficielles et d'altération, celles-ci vont donc, en conséquence, accroître d'une certaine manière la vulnérabilité des unités aquifères connectées.

- **Les formations crayeuses**

Généralités des écoulements au sein de l'aquifère crayeux

Les formations crayeuses sénoniennes (Coniacien à Campanien), turoniennes et cénomaniennes constituent un même ensemble toutefois hétérogène. En effet, cet ensemble, majoritairement carbonaté, peut présenter des spécificités lithologiques : dolomitisation, marnes, sables, présence de hard-ground et de silex.

La porosité totale des différents types de craie peut ainsi varier de 15 à 50% (Laignel, 2003), ce qui donne à ces unités une capacité théorique de stockage assez extraordinaire. En Normandie, l'aquifère de la craie est caractérisé par l'existence d'une triple porosité (une porosité de matrice, de fracture et de conduits) :

- la porosité matricielle inter-granulaire a une fonction capacitive conséquente de 15 à 45% selon les horizons lithologiques et les auteurs ; cependant la porosité efficace reste faible ; les valeurs de conductivité hydraulique sont de l'ordre de 10^{-8} à 10^{-6} m/s, dans l'Oise la conductivité hydraulique ne dépasse généralement pas des valeurs supérieures à 10^{-5} m/s. Ces valeurs conduisent à des vitesses de transport dans le milieu souterrain de l'ordre du mètre par an ;
- la porosité de fracture, selon l'importance de la fracturation et des processus de dissolution qui peuvent les affecter, offre des conductivités hydrauliques de l'ordre de 10^{-4} m/s à 10^{-6} m/s soit des vitesses de transfert de l'ordre de quelques mètres par mois. En Normandie notamment, cette porosité est associée à la fonction de stockage temporaire dans les formations superficielles ; elle pourrait expliquer le retard de la recharge de l'aquifère comme l'attestent les variations piézométriques au cours d'un cycle hydrologique. Cette porosité peut ainsi jouer un rôle dans la fonction capacitive de l'aquifère, mais exerce surtout un rôle primordial dans la fonction transmissive de l'aquifère et dans l'organisation des gradients hydrauliques ;
- la porosité de conduits karstiques peut, localement (selon des connexions actives avec les bétoires), assurer des vitesses de transfert (depuis un point d'infiltration préférentiel à l'exutoire du système karstique) pouvant atteindre et dépasser 100 m/h. Les conductivités hydrauliques associées sont de l'ordre de 10^{-1} m/s à 10^{-3} m/s. La porosité de conduits n'a qu'un rôle transmissif dans les transferts rapides. Ce rôle reste en partie contrôlé par les gradients hydrauliques hérités de la porosité de fracture et le contexte structural régional ; son importance et les vitesses de transfert qui en

découlent exercent aussi un rôle primordial sur la vulnérabilité des ressources exploitées.

La craie du Cénomaniens est considérée comme semi-perméable. Les vitesses d'écoulement sont variables, selon que l'écoulement ait lieu à travers les pores, les fissures ou les conduits karstiques (Leblanc, 1998).

L'épaisseur totale de ces formations peut varier : parfois absentes au droit de la structure anticlinale associée à la faille de Fécamp-Lillebonne (souvent moins de 10 à 20 m sur ce secteur) ; à plus de 200 m dans le compartiment effondré à l'ouest du système faillé.

De fait, par son ampleur et sa répartition, cet ensemble géologique constitue l'aquifère principal du territoire du SAGE Commerce.

Son alimentation se fait principalement par infiltration directe des précipitations, ou par drainance descendante depuis les formations superficielles et tertiaires.

Variabilité des caractéristiques hydrogéologiques au sein de la craie (Meire et al.,2019)

Dans le détail, le rapport BRGM/RP-69543-FR (Meire et al.,2019) rappelle la variabilité des caractéristiques hydrogéologiques aux différents faciès de la craie. Dans le secteur d'étude, l'ensemble des formations crayeuses datées du Cénomaniens inférieur au Campanien peuvent être considérées comme aquifères. Elles constituent la « nappe de la Craie », principal aquifère de la région. Toutefois, la craie ne présente pas un faciès homogène sur l'ensemble de son épaisseur, et sa stratification n'est pas systématiquement plane (présence de géométries lenticulaires). Concernant les faciès sédimentologiques, quatre grands ensembles peuvent être identifiés (Saïag, 2016) :

- des faciès de type « rampe argileuse » pour le Cénomaniens inférieur ;
- des faciès de type « rampe carbonatée » pour l'intervalle Cénomaniens moyen à Coniacien moyen ;
- des faciès de type « contourites » pour les dépôts de l'intervalle Coniacien supérieur – Campanien ;
- des surfaces de hiatus (surface d'arrêt ou de ralentissement de la sédimentation), observées tout au long du Crétacé supérieur ;

Les craies de l'intervalle Coniacien moyen – Campanien sont marquées par la présence de géométries lenticulaires à l'origine d'importantes variations de faciès et d'épaisseur, sur des échelles hectométriques à pluri-kilométriques (Illustration 127).

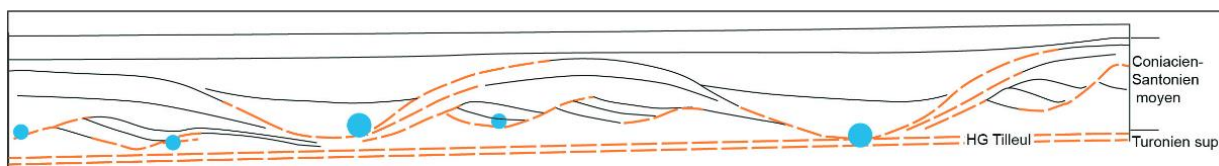


Figure 5. Schéma simplifié des géométries sédimentaires, de la répartition des niveaux condensés et de la position des sources le long du littoral du Bec de Caux.



Photo 1. Géométries sédimentaires, distribution des principaux niveaux condensés et localisation des sources entre Tilleul et Etretat (d'après Lasseur, 2007). On remarquera que les Pisseuses de Valaines (encart) se situent à l'interface entre les hardgrounds plan de la base de la falaise (correspondant aux hardgrounds Tilleul du Turonien supérieur (Juignet 1974)) et les hardgrounds délimitant les chenaux et dunes contouritiques.

Illustration 127 : Relation entre la présence de géométries sédimentaires et la situation de sources karstiques dans le secteur d'Etretat – Le Tilleul (Seine-Maritime) (Gaillard et al., 2018)

Ces géométries concernent principalement (Lasseur, 2007) les craies de Veulettes, les craies de Sotteville et les craies de Vasterival. Ces structures constituent donc des discontinuités majeures dans des dépôts généralement fins et homogènes, et sont donc susceptibles d'affecter les dynamiques hydrogéologiques. En effet, les « creux » de ces géométries sont caractérisés par des faciès d'arrêt de sédimentation, plus indurés, de type hardground. Ces faciès indurés sont généralement très peu perméables et peuvent jouer un rôle non négligeable sur les écoulements souterrains, en favorisant par exemple le développement de réseaux karstiques. C'est le cas par exemple dans le secteur d'Etretat (Gaillard et al., 2018 – Illustration 127).

Chaque faciès présente des caractéristiques hydrogéologiques (cf. Illustration 128), qui pourront potentiellement avoir un rôle sur le comportement des eaux souterraines. C'est le cas par exemple des niveaux indurés (surface de hiatus) qui sont caractérisés par des perméabilités très faibles, ce qui a pu favoriser la mise en place de conduits karstiques, et particulièrement lorsqu'ils sont associés à des géométries lenticulaires (cf. Illustration 129).

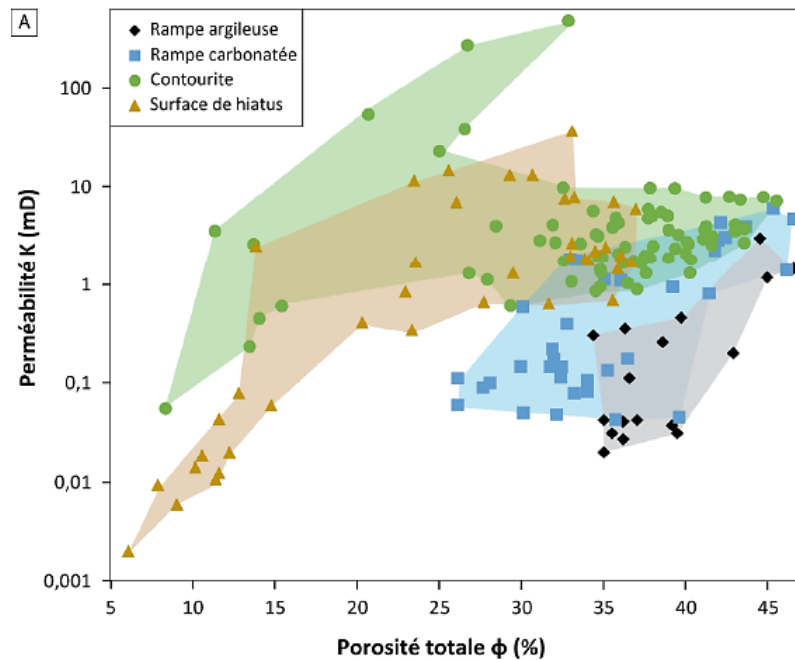


Illustration 128 : Diagramme porosité / perméabilité des faciès sédimentologiques de la craie (modifié d'après Saiag, 2016)

- **La Gaize**

Ces formations, silteuses gris-bleutées à vertes (glauconieuses) à passées cherteuses, ont une épaisseur variant sur la zone d'étude entre 20 et 40 m environ.

Cette formation a des propriétés différentes des formations crayeuses sus-jacentes, leurs caractéristiques hydrodynamiques sont considérées comme moins bonnes que celles des formations crayeuses du cénomaniens sus-jacentes. Elles sont donc considérées comme peu perméables. Toutefois, le contraste n'est pas suffisant pour créer une discontinuité hydraulique. Elle se trouve donc rattachée à l'ensemble crayeux (Couëffé et Arnaud, 2007).

- **Les sables de Lillebonne**

Cette formation singulière se trouve en passage latéral de faciès avec les gaizes. Son épaisseur atteint en moyenne une vingtaine de mètres et vient se biseauter progressivement à l'est et à l'ouest du système faillé de Fécamp-Lillebonne (cf. paragraphe 2.3.2).

L'ensemble, non consolidé, est considéré comme étant en continuité de l'ensemble crayeux et des gaizes. Cette formation pourrait d'après les informations rapportées en forage, concentrer les écoulements. Il existerait donc un contraste de perméabilité entre les gaizes et les argiles du gault encadrant cette unité.

- **Les Argiles du Gault**

Ces formations argileuses, épaisses d'une dizaine de mètres seulement sur le secteur d'étude, ont une perméabilité très faible qui va limiter les échanges entre les formations situées au-dessus ou en-dessous de celle-ci. David et al., ont pu en effet mesurer sur échantillon la conductivité hydraulique des gaizes, des sables de Lillebonne et des argiles du Gault. Celles-ci ont été évaluées respectivement à 1.10^{-7} m/s, $3,5 10^{-7}$ m/s et 1.10^{-10} m/s.

De fait, **cette unité est considérée comme non aquifère** et constitue le mur des unités aquifères supérieures (formations crayeuses et sables de Lillebonne) et le toit de l'unité aquifère inférieure (les sables albo-aptiens).

- **Les sables de l'Aptien-Albien**

Cette unité est constituée principalement de sables glauconieux et de poudingues ferrugineuses en son sommet. L'ensemble aurait une porosité de l'ordre de 25 % (Archambault, 1955 ; Raoult, 1999). Sur la zone d'étude, ces formations sont épaisses de 20 à 40 m, respectivement dans la région de Mirville et de Radicatel. De fait, cette unité constitue un réservoir aquifère important, d'extension supra-régionale, appelé abusivement aquifère des sables albiens ou sables verts.

L'alimentation de cette ressource se fait depuis les zones d'affleurement, secteurs situés en dehors du territoire du SAGE, ou par drainance ascendante depuis les formations jurassiques ou encore par drainance descendante depuis les formations crayeuses et alluviales (dans la vallée de la Seine), Raoult (1999).

Archambault (1955) indique que la nappe des sables albo-aptiens est captive sous les argiles de Gault. Aux abords de Radicatel : le niveau statique s'établit à une cote de +7 m NGF environ.

La piézométrie générale de la nappe, mesurée à l'échelle du bassin par Dupaigne et al. (2019) a permis de montrer que la vallée de la Seine, constituait une zone d'exutoire de la nappe, marquant un axe de drainage souligné approximativement par le fleuve. Sur la zone d'étude il existerait une continuité à l'aval avec l'estuaire de la Seine, ne limitant pas à priori les entrées marines. Les mesures réalisées sur le secteur de Mirville, le long de la structure faillée de Fécamp-Lillebonne laissent également supposer la possibilité d'échanges le long de cette structure (hypothèse reprise dans le chapitre qualité (chapitres 7.5 et 7.6)).

D'après Raoult (1999), la transmissivité de l'Albien captif varie entre $3,2 \cdot 10^{-5}$ et $7,2 \cdot 10^{-3}$ m²/s.

- **Les formations des marnes et calcaires jurassiques**

Ces formations n'affleurent pas à proprement parler sur le territoire du SAGE Commerce, mais elles sont connues à l'affleurement à Villequier, où elles apparaissent à la faveur de l'anticlinal faillé de Triquerville-Villequier (cf. chapitre 2).

Il s'agit d'argiles-marneuses à sableuses, noires, à intercalations marno-calcaires. L'épaisseur de ces formations, datées du Kimméridgien, est estimée à une cinquantaine de mètres par forage.

Cette unité très hétérogène, est considérée comme ayant des capacités aquifères réduites ou non aquifères. Aussi celle-ci constitue le mur de l'aquifère des sables albiens sus-jacents.

4.1.2. Log hydrogéologique

L'ensemble des formations géologiques représentant le soubassement du territoire du SAGE Commerce est représenté ci-après (Illustration 129) sous forme d'un log hydrogéologique. Celui-ci a été établi à partir de la lithologie dont la description a été synthétisée dans le chapitre 2.4. Il représente les principales formations selon leur capacité aquifère.

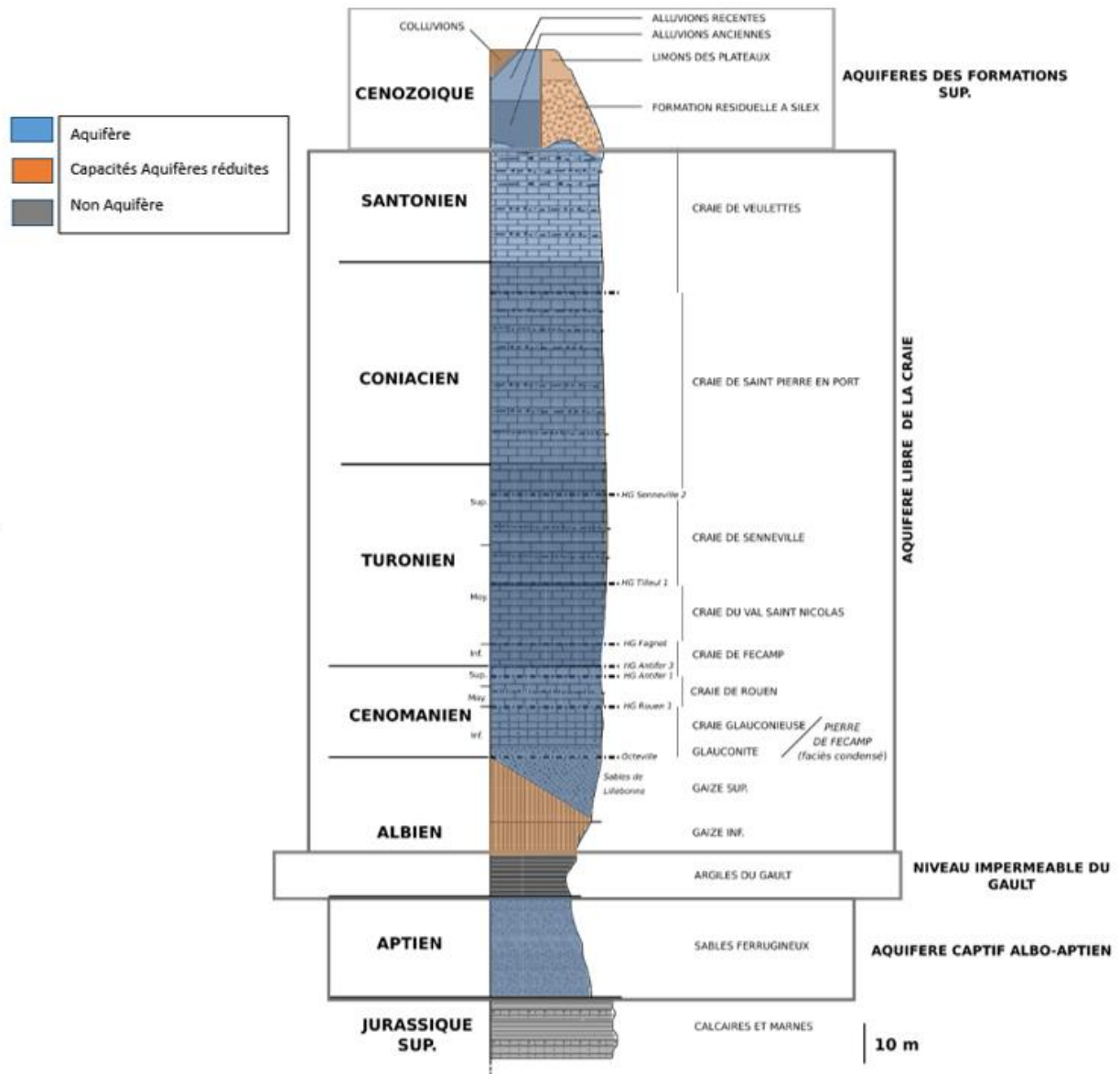


Illustration 129 : Log hydrogéologique des formations lithologiques du territoire du SAGE Commerce

Ainsi, sur le territoire du SAGE, de par leur épaisseur et leur extension géographique, on distingue trois principales unités aquifères : les alluvions, les formations crayeuses et les formations sableuses albo-aptiennes.

Dans le compartiment NE surélevé, l'aquifère est limité au Cénomanién et plus particulièrement la craie glauconieuse, le mur de l'aquifère est constitué par les argiles noires du Gault.

Dans le compartiment SW surbaissé, l'aquifère est constitué de l'ensemble de la série du Sénonien au Cénomanién, le mur correspond également aux argiles du Gault (cf. Illustration 130).


<p style="text-align: center;">Niveau 3 - Locale</p> <p>119AE07-- Formations résiduelles à silex de Normandie d'épaisseur comprise entre 15 et 2 m</p> <p>121AU01-- Craie du Séno-Turonien du Bassin Parisien de l'estuaire de la Seine (bassin Seine-Normandie)</p> <p>121AU30-- Craie marneuse et marnes du Turonien inférieur du Bassin Parisien de l'estuaire de la Seine (bassin Seine-Normandie)</p> <p>123BU01-- Marnes et craie marneuse, sableuse et glauconieuse du Cénomanien du Bassin Parisien de l'estuaire de la Seine (bassin Seine-Normandie)</p> <p>125AA01-- Argiles du Gault, Marnes et Gaizes du Cénomanien inférieur à moyen et de l'Albien supérieur du Bassin Parisien</p> <p>127AA99-- Sables indifférenciés et argiles de l'Apto-Albien du Bassin Parisien</p> <p>133AA99-- Marnes indifférenciées du Kimméridgien du Bassin Parisien</p>	<p style="text-align: center;">Niveau 3 - Locale</p> <p>123BU01-- Marnes et craie marneuse, sableuse et glauconieuse du Cénomanien du Bassin Parisien de l'estuaire de la Seine (bassin Seine-Normandie)</p> <p>125AA01-- Argiles du Gault, Marnes et Gaizes du Cénomanien inférieur à moyen et de l'Albien supérieur du Bassin Parisien</p> <p>127AA99-- Sables indifférenciés et argiles de l'Apto-Albien du Bassin Parisien</p> <p>133AA99-- Marnes indifférenciées du Kimméridgien du Bassin Parisien</p>	<p>Niveau 3</p>  <p>Unité aquifère Unité semi perméable Unité imperméable</p>
<p>Plateau de St Eustache-la-Forêt, compartiment abaissé</p>	<p>Vallon de la Fontaine Murée, compartiment surélevé</p>	

Illustration 130 : Superposition des entités hydrogéologiques décrites dans la BDLISA

4.2. PIEZOMETRIE DE LA NAPPE DE LA CRAIE ET DES ALLUVIONS

4.2.1. Synthèse Bibliographique

Une synthèse des principaux documents cartographiques disponibles est proposée ci-dessous par ordre chronologique (Tableau 19). Attention cette compilation ne se veut pas exhaustive.

N°	Source	Secteur concerné	Situation hydrologique	Date des campagnes piézométriques
1	Carte hydrogéologique de Haute-Normandie, BRGM, 2011	Haute Normandie	Hautes-eaux	2001
2			Moyennes-eaux	Moyenne 2001-2006
3			Basses-eaux	2006
4	Atlas hydrogéologique départemental de Seine Maritime, CGG, 1998	Seine Maritime	Moyennes-eaux	Moyenne 1974-1995
5	Atlas hydrogéologique départemental de Seine Maritime, BRGM, 1990	Seine Maritime	Moyennes-eaux	Moyenne 1962-1990
6	Etude du Bassin du Commerce, CPGF, 1982	Commerce	ND	Extrapolée toutes mesures disponibles
7	Etude Vallée de Seine, Burgéap, 1955	Vallée Seine/Commerce	ND	ND
8	Etude Port Jerome, Burgéap, 1975	Vallée de Seine	4 cartes correspondant à chaque période de mesures	Mesures de 1972 à 1974
9	Etude Ressource en Eau Radicatel, BRGM, 1979	Radicatel	2 cartes correspondant à chaque période de mesures	1977 et 1978

Tableau 19: Liste des principales cartes piézométriques disponibles sur la zone d'étude

Important : On rappelle que les cartes piézométriques sont une représentation cartographique, à « un instant donné », de la surface des nappes libres ou de la pression hydrostatique des nappes captives (cas de mesures synchrones) ou réalisée à partir des mesures réalisées à différentes périodes et donc interpolées entre elles (cas de mesures asynchrones). Ces dernières peuvent donc mélanger des mesures effectuées à différents moments des cycles hydrologiques des eaux souterraines. La représentativité de ces cartes asynchrones est par conséquent souvent moins précise que celles élaborées à l'aide de mesures synchrones.

Ces cartes peuvent être lues comme des cartes topographiques. Les courbes de niveau (ou isopièzes) correspondent aux altitudes de la nappe au moment de la mesure piézométrique. Elles donnent donc des indications sur l'état hydraulique de la nappe, le sens des écoulements en son sein et leur vitesse. L'altitude de chaque courbe de niveau (ou isopièze) est indiquée en mètres et possède le même plan de référence qui est celui du réseau de Nivellement Général de la France (NGF).

Dans la suite du travail, on détaillera les résultats de ces travaux à l'échelle du territoire du SAGE Commerce en détaillant notamment les informations relatives au bassin du Commerce et à la plaine alluviale de la Seine.

Cartes piézométriques couvrant le territoire du SAGE Commerce

- **Atlas hydrogéologique de Haute-Normandie – BRGM (2011)**

L'analyse de la carte piézométrique des moyennes eaux au 1/100 000 (Illustration 131), montre que :

- D'une manière générale pour le territoire du SAGE Commerce, l'écoulement de la nappe se ferait vers le sud en direction de la vallée de la Seine ;
- Sur une partie du tracé de la faille Fécamp-Lillebonne cette structure affecte la surface piézométrique : sur le secteur de Nointot-Mirville, la faille occasionne un abaissement brutal de 40 à 50 m des cotes piézométriques. La piézométrie du compartiment est présente les cotes les plus importantes et donc l'inverse dans le compartiment ouest. A priori, la faille joue donc sur ce secteur un rôle de barrière. Cette différence altimétrique s'atténue progressivement en aval de Gruchet-le-Valasse jusqu'à ne plus être perceptible à cette échelle. On peut donc supposer que sur ce parcours, la faille ne jouerait donc pas un rôle de limite ;
- Dans le secteur où elle s'écoule sur le bloc effondré, la rivière du Commerce drainerait la nappe de la craie vers la vallée de Seine située plus au sud ;
- Les ouvrages et sources de Radicatel et de la vallée du Commerce partageraient le même bassin versant hydrogéologique, il n'existerait pas de limite de partage des eaux entre ces deux secteurs du territoire (pas de crête piézométrique) ;
- Entre Bolbec et Lillebonne, le gradient hydraulique est relativement doux et progressif à l'ouest du système faillé et est nettement plus prononcé à l'est. On observe le même phénomène entre la vallée de Seine et les plateaux du secteur de Triquerville.

A noter : la piézométrie dans la vallée de la Seine n'est pas représentée, compte tenu de l'échelle de représentation des courbes isopièzes (tous les 10 m).

On rappelle que cette carte a été interpolée à partir des campagnes de mesures de 2001 (hautes eaux) et de 2006 (basses eaux).

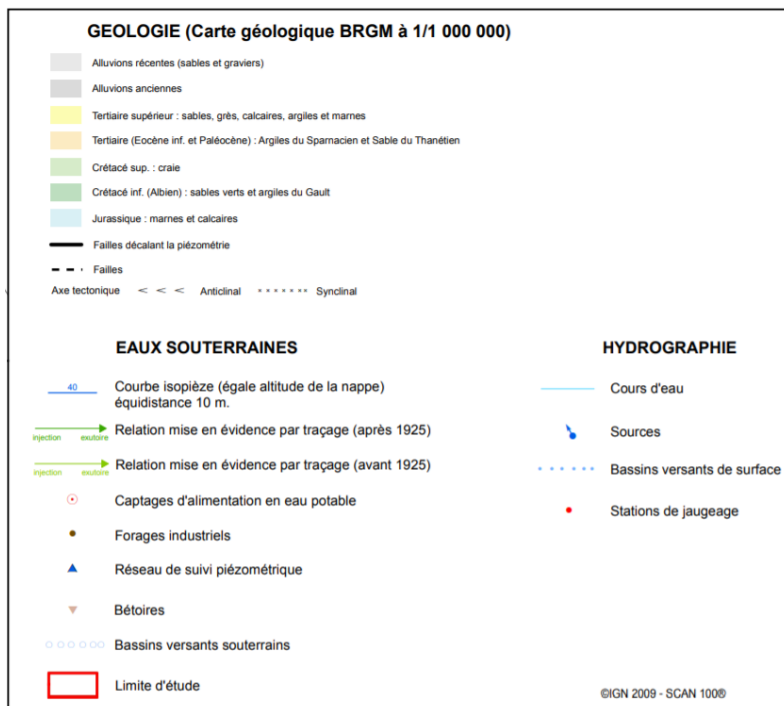


Illustration 131 : Extrait de la carte piézométrique de Moyennes Eaux de l'Atlas hydrogéologique de Haute Normandie (Mougin et al. 2011).

• **Atlas Hydrogéologique de Seine-Maritime - CGG (1998)**

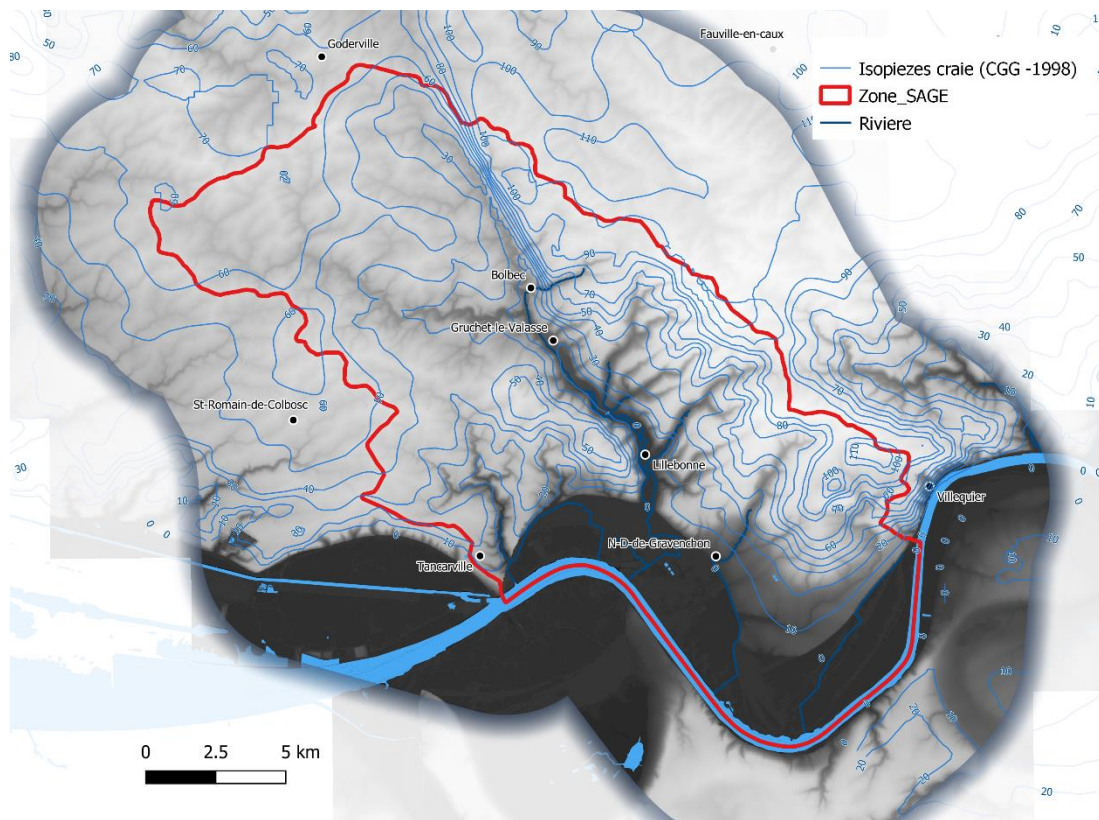


Illustration 132 : Extrait de la situation piézométrique de moyennes eaux extrapolée à partir des situations de hautes et basses eaux de 1995 et 1974.

La Compagnie Générale de Géophysique a dressé pour le compte de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie une carte piézométrique départementale de moyennes eaux extrapolée à partir des situations piézométriques d'étiage (1974) et en condition de recharge (1995) – (cf. Illustration 132). Celle-ci montre que les courbes piézométriques dessinent relativement bien l'empreinte de la topographie : en effet, les vallées sèches ou humides marquent le plus souvent des axes de drainage. Le gradient hydraulique est accentué dans les secteurs où la nappe est bien drainée.

L'élément principal et structurant du territoire est l'accident majeur de Fécamp-Lillebonne. Sur une partie de son tracé, cette structure affecte de manière importante la surface piézométrique :

- En drainant la nappe de part et d'autre de sa structure, selon un axe NW-SE. La limite de partage des eaux des ressources s'écoulant vers la vallée de la Seine se situerait à hauteur de Goderville ;
- En amont de Gruchet-le-Valasse, la faille occasionne un abaissement brutal de 40 à 50 m des cotes piézométriques. Cet abaissement bien qu'atténué au Nord de Goderville se fait ressentir presque jusqu'à Fécamp ;
- Dans la vallée du Commerce, entre Gruchet et ND-de-Gravenchon, la piézométrie matérialise deux ruptures de pente sur le compartiment surélevé à l'est du système faillé : la première rupture se fait à 1 km environ de la jonction avec la vallée du Commerce. La seconde se fait plus en amont, elle passe par les têtes de bassin de la Fontaine Murée, du Val Horrible, de la Vallée et du Théluet. Ces ruptures pourraient correspondre aux effets des accidents structuraux, à moins qu'il ne s'agisse d'un biais dû à la méthode d'interpolation des données.

Dans la vallée du Commerce entre Gruchet et Lillebonne, le gradient hydraulique est relativement doux et progressif à l'est du système faillé et nettement plus prononcé à l'ouest. On note également que ces gradients sont importants à l'est de l'accident supposé de Triquerville-Villequiers en bordure de Seine. Ces derniers ne marquent pas de rupture de pente au Sud vers Norville.

A l'est de la structure faillée, il existerait une crête piézométrique joignant les secteurs de Raffetot, Beuzevilette, Grand-Camp et enfin Triquerville. Cette crête délimite notamment les bassins versants du Commerce et de la Ste-Gertrude.

Le bassin versant souterrain des sources de Radicatel est séparé de celui de la vallée du Commerce par une crête piézométrique reliant Gommerville, Les Trois-Pierres et passant par Saint-Antoine-la-Forêt et Saint-Jean-de-Folleville. Le bassin versant souterrain s'étendrait dans ce cas vers le nord-ouest en direction des Trois-Pierres (SAFEGE, 2012), où un axe de drainage se dessine, notamment à partir de la Vallée du Vivier.

Le Val d'Arques/Mont Criquet est considéré comme drainant et appartient au bassin versant du Commerce. Un axe de drainage est dessiné depuis le secteur de Gommerville, St Gilles-la-Neuville/Parc d'Anxtot vers l'ouest de Bolbec.

Dans la partie amont de la vallée du Commerce, même si la nappe semble être drainée par le cours d'eau, celle-ci se trouve en position perchée par rapport à la nappe. La reconnexion s'effectuerait en aval de l'abbaye de Gruchet le Valasse.

- Atlas Hydrogéologique de Seine-Maritime - BRGM (1990)

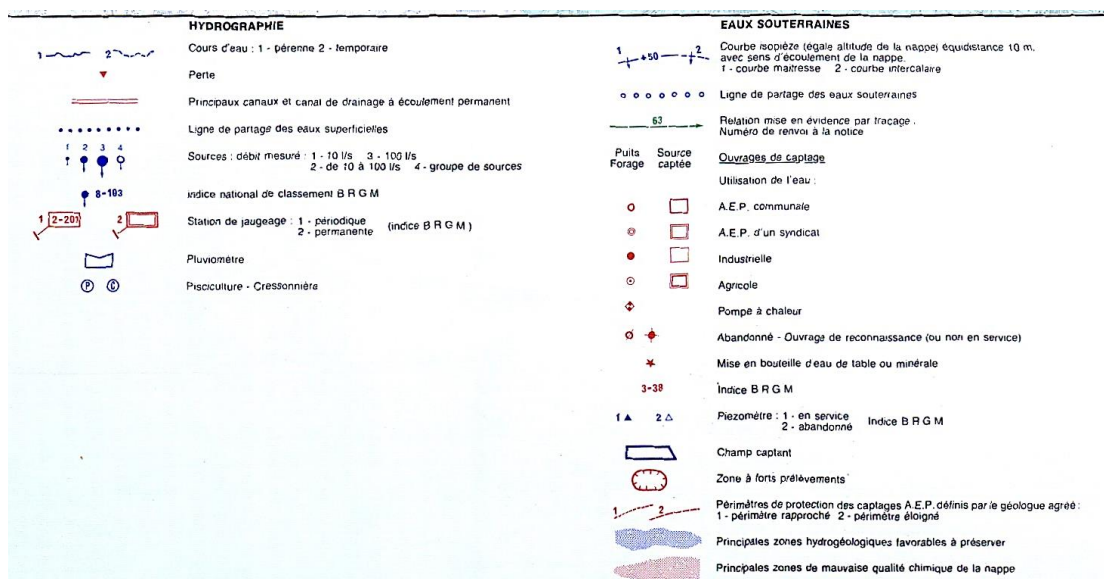
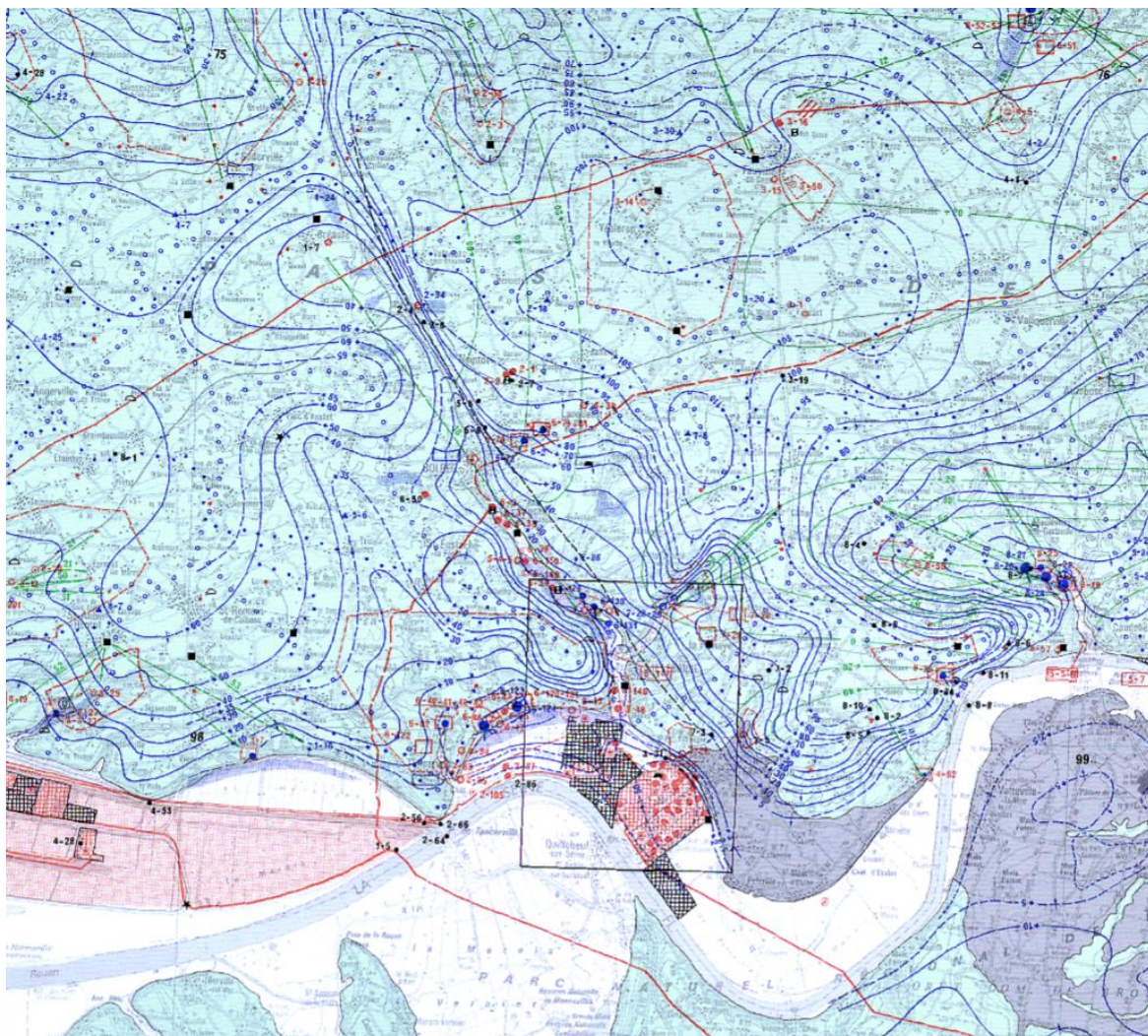


Illustration 133 : Extrait de la carte piézométrique de l'Atlas Hydrogéologique de Seine-Maritime de 1990 (Roux et al., 1990).

L'analyse de l'extrait de la carte piézométrique au 1/100 000 et du détail au 1/25 000 (cf. Illustration 133) montre que les courbes piézométriques dessinent les vallées humides mais marquent assez peu l'empreinte de la topographie.

L'élément principal et structurant du territoire est également l'accident majeur de Fécamp-Lillebonne. Sur une partie de son tracé, cette structure affecte de manière importante la surface piézométrique :

- En drainant la nappe de part et d'autre de sa structure, selon un axe NW-SE. La limite de partage des eaux des ressources s'écoulant vers la vallée de la Seine se situerait à hauteur de Grainville ;
- En amont de Bolbec, la faille occasionne un abaissement brutal de 40 à 50 m des cotes piézométriques. Cet abaissement se fait ressentir sur une dizaine de kilomètres, entre Bolbec et Bréauté ;
- Dans la vallée du Commerce, entre Bolbec et Lillebonne, la faille recoupe les vallées sèches affluentes. La piézométrie ne montre pratiquement pas d'effet perturbateur de la surface piézométrique. La position de la faille de Lillebonne, dans ce secteur, est matérialisée par la présence d'une ligne de sources de déversement dont font partie les sources de la Fontaine Murée et du Val Horrible ;
- Dans le secteur de la Vallée à Lillebonne, au niveau du puits Maillé, il faut noter un fort gradient traduisant l'approfondissement brutal de la surface piézométrique, probablement au passage de la faille Fécamp-Lillebonne et d'une faille orthogonale à la première, dans l'axe de la Vallée Langevin (1998). La vallée du Théluet semble également présenter une configuration similaire.

Dans la vallée du Commerce entre Bolbec et Lillebonne, le gradient hydraulique est relativement doux et progressif à l'est du système faillé et est nettement plus prononcé à l'ouest. C'est le cas en particulier entre la Ferme St Marcel et Lillebonne, au niveau du Bois de la côte des Forges qui couvre les flancs plutôt abrupts des coteaux, où le gradient de la nappe est supposé très important. SAFEGE (2012) attribue ces différences à des changements lithologiques. On note également que ces gradients sont importants au sud de l'accident supposé de Triquerville-Villequiers.

A l'est de la structure faillée, il existerait également une crête piézométrique joignant les secteurs de Raffetot, Beuzeville, Grand-Camp et enfin Triquerville. Cette crête délimite notamment les bassins versants du Commerce et de la Ste-Gertrude.

Le bassin versant souterrain des sources de Radicatel est séparé de celui de la vallée du Commerce par une crête piézométrique reliant Beuzeville-la-Grenier, Saint-Eustache et passant par Saint-Antoine-la-Forêt et Saint-Jean-de-Folleville. La vallée du Val d'Arques/Mont Criquet n'est pas considérée comme drainante. Un axe de drainage est dessiné depuis le secteur de St Gilles-la-Neuville/Parc d'Anxtot vers les sources de Radicatel.

Dans la partie amont de la vallée du Commerce, la nappe semble être connectée au cours d'eau au niveau de Bolbec. La rivière de Bolbec (sources) à l'amont se trouve en position perchée par rapport à la nappe. La reconnexion s'effectuerait en aval de la faille au niveau du centre-ville de Bolbec.

- **Etude du Bassin du Commerce - CPGF (1982)**

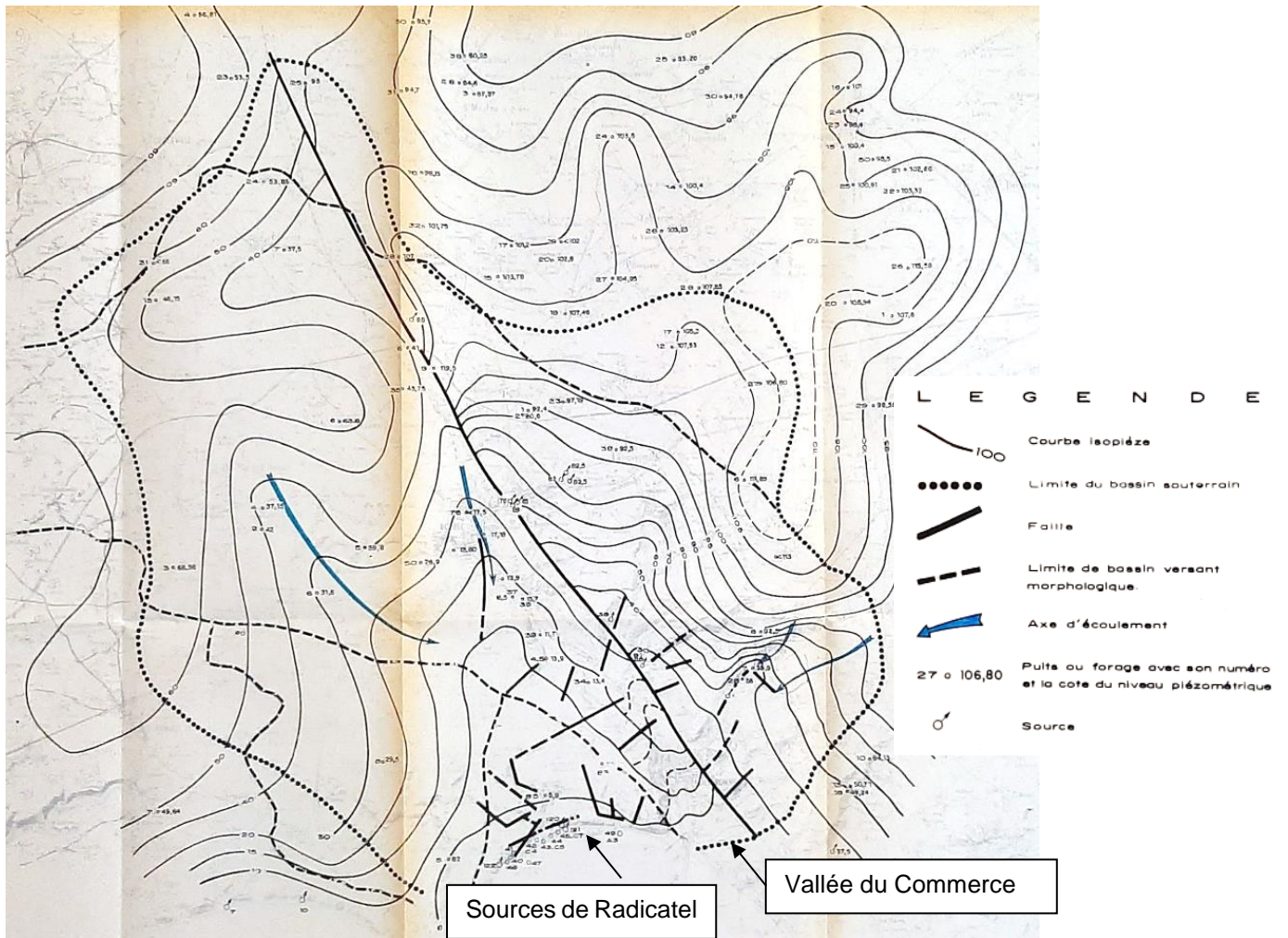


Illustration 134 : Carte piézométrique du bassin versant du Commerce, CPGF (1982)

Le schéma piézométrique établi par la CPGF en 1982 (Illustration 134), fait apparaitre un bassin souterrain de l'ordre de 225 km² qui a pour exutoires communs la vallée du Commerce d'une part et les sources de Radicatel d'autre part.

La présence de la faille engendre un effet de barrage de la nappe sur le compartiment nord-est, la piézométrie de ce compartiment se trouvant surélevée de près de 50 m au niveau de Bolbec par rapport au compartiment sud-ouest.

Sur ce document, les gradients hydrauliques importants, de 2 à 6 %, sont relevés à l'est de la faille.

Les auteurs indiquent qu'en période de hautes eaux ou de pompage sur le secteur de St Marcel, les gradients rivière-nappe peuvent s'inverser entre ce secteur de Gruchet et Lillebonne. Les auteurs y voient un risque pour la qualité des eaux souterraines.

- **Burgéap (1955)**

Les relevés réalisés par Archambault (1955), indiquent que l'accident de Fécamp-Lillebonne sépare deux compartiments hydrologiques distincts : celui de Radicâtel et du Commerce à l'ouest et celui de l'est de Lillebonne, dont la bordure, au long de la faille est jalonnée par une série de sources de déversement (ou sources barrées) de la craie Cénomaniennne et des sables sous-jacents.

Pour le compartiment ouest de la faille, il existerait un point haut piézométrique sur le plateau de St Jean de Folleville séparant distinctement les bassins hydrogéologiques du Commerce de celui de Tancarville-Radicâtel (cf. Illustration 135 ci-après).

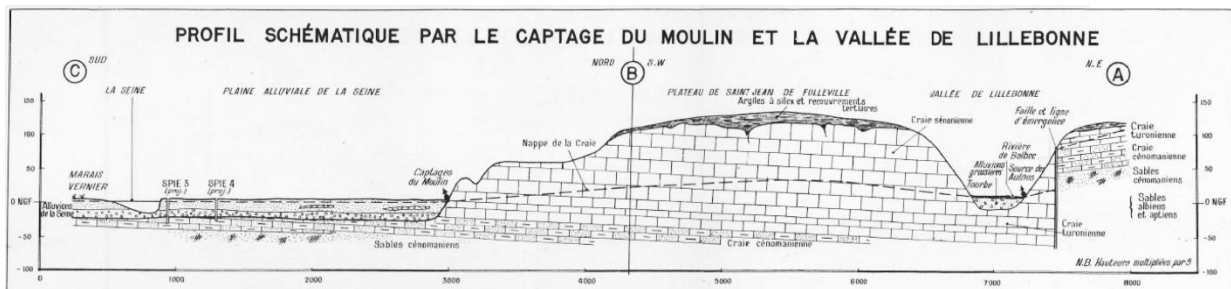


Illustration 135 : Coupe interprétative entre le secteur de vallée de Seine-Radicâtel et le secteur de Lillebonne, (Archambault, 1955)

Vallée de Seine

- **Burgéap (1975) – Nappe Alluviale de la Seine à Port Jérôme. Cartes piézométriques de : novembre 1972, septembre 1973 et juin 1974**

L'étendue de la zone d'étude va : du hameau de Radicâtel (le Pont Navarre), à l'ouest, au secteur de Petiville à l'est (échelle 1/20 000), cf. Illustration 136 ci-après.

Les mesures ont été réalisées sur plus d'une cinquantaine d'ouvrages : piézomètres ou puits (exploités ou non), en période de basses eaux annuelles.

Important : on peut regretter l'absence de tableau de synthèse indiquant la profondeur des ouvrages et les niveaux captés par ceux-ci (craie et/ou alluvions ?). Cette information aurait peut-être permis de montrer l'existence de secteurs où les nappes ne seraient pas à l'équilibre (et où des directions d'écoulement pourraient également se différencier). Le bureau d'études est donc parti, a priori, sur l'hypothèse que la nappe de la craie et des alluvions étaient à l'équilibre.

Les isopièzes montrent l'existence de deux dépressions : l'une au nord près du débouché de la rivière du Commerce dans la plaine alluviale et l'autre, beaucoup plus importante, autour du débouché dans la plaine alluviale du Théluet. Ces dépressions se font autour de zones de prélèvements industriels. L'altitude du creux de la dépression est de :

- - 3,5 m NGF en Novembre 1972 (Burgeap, 1975) ;
- - 3 m NGF en Septembre 1973 (Burgeap, 1975) ;
- - 2 m NGF en Juin 1974 (Burgeap, 1975) voir - 4,5 m NGF (d'après J-F Béraud et A, Samson, 1978 dans J-C Roux, 2006)

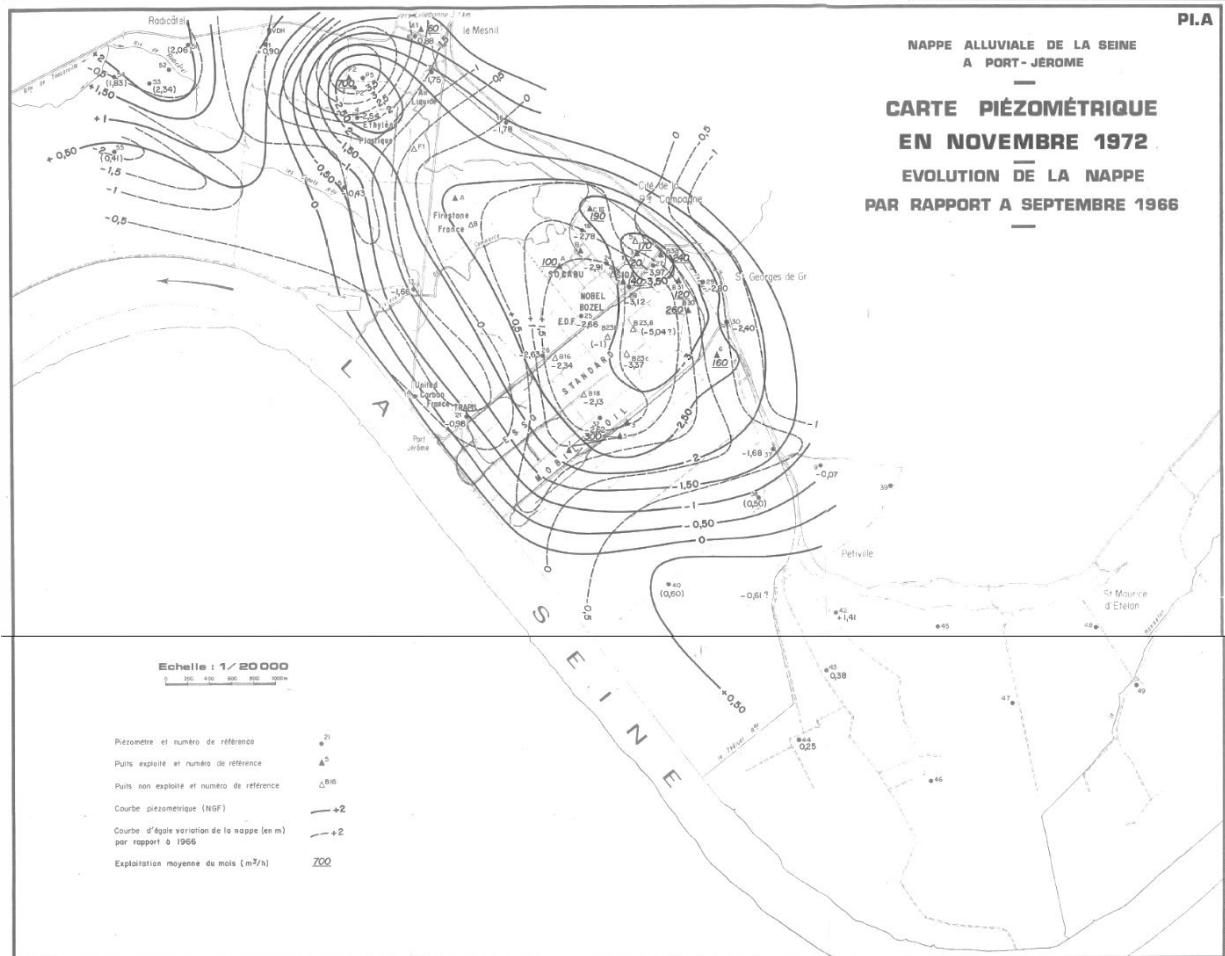


Illustration 136 : Piézométrie synchrone de la zone de Port Jérôme, situation de novembre 1972 (Burgéap, 1975).

Le niveau minimum se situait donc entre -2 et -4,5 m NGF, probablement moins dans les années 60. La baisse de niveau global pourrait donc dépasser 5 m (conditions normales hors exploitation). Cette dépression entraînerait une diminution des débits des forages d'exploitation et tendrait à augmenter progressivement la minéralisation des eaux (Burgéap, 1962 – cf. Illustration 6 page 33).

Les relevés établis montrent la forme dissymétrique du cône de dépression engendré par les pompages (carte piézométrique ci-dessus – Illustration 136). Les rabattements étaient très accentués en bordure de la plaine alluviale où étaient localisés les prélèvements les plus importants.

A l'inverse, un dôme piézométrique, matérialisant un point haut de la nappe, est localisé autour des émergences des sources de Radicatel. Ce point haut se trouve à une altitude de +3 à +2 m NGF.

Les principaux écoulements se font : depuis les versants vers le centre des dépressions, mais également depuis le centre de la vallée de la Seine vers les dépressions (directions convergentes). A l'inverse, à l'ouest, les écoulements se font depuis la zone de Radicatel vers la vallée de la Seine, globalement selon un axe méridien.

Aussi, les eaux de la Seine peuvent pénétrer la nappe malgré la faible perméabilité du lit de la Seine. Ceci serait confirmé par les teneurs élevées en chlorures (Burgéap, 1962).

De façon générale, les pentes sont faibles : de très inférieures à 1 ‰, elles s'accroissent autour des zones de prélèvements où elles peuvent atteindre 5 ‰ et même probablement plus localement (autour des principaux puits).

Les rabattements sont fortement accentués au nord, en limite de la plaine alluviale où les prélèvements sont concentrés.

A noter : à cette époque, la rivière des Cahots est un affluent, en rive droite, de la rivière du Commerce qu'il rejoint avant sa confluence avec la Seine. Aujourd'hui cette rivière est coupée en deux par l'usine Tereos. Actuellement, le cours d'eau se jette directement dans la Seine.

La comparaison des niveaux minima de la nappe entre 1972 et 1974 montre que les minima de 1974 sont les plus élevés. Burgéap (1975) conclut à une remontée générale du niveau de nappe due à la diminution des prélèvements puisque les années entre 1972 et 1974 ont par ailleurs été toutes deux « déficitaires en infiltration ».

Le suivi patrimonial réalisé par le BRGM sur la nappe de la craie sur la commune des Trois-Pierres (situé à 8 km de distance environ au nord), confirme en effet une baisse généralisée du niveau de la nappe de la craie entre le début de l'année 1970 jusqu'au milieu 1974, marquant sans doute une période sèche, sans recharges annuelles marquées. La remontée observée serait donc bien le fait d'une modification des conditions de prélèvements dans la zone de Port-Jérôme.

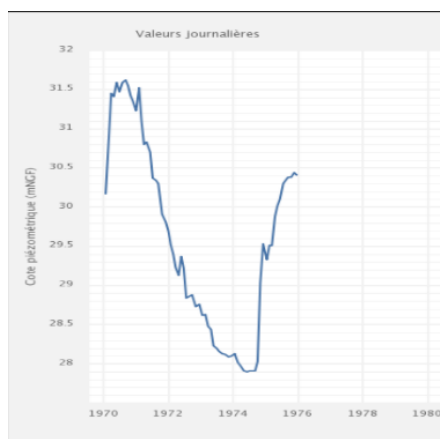
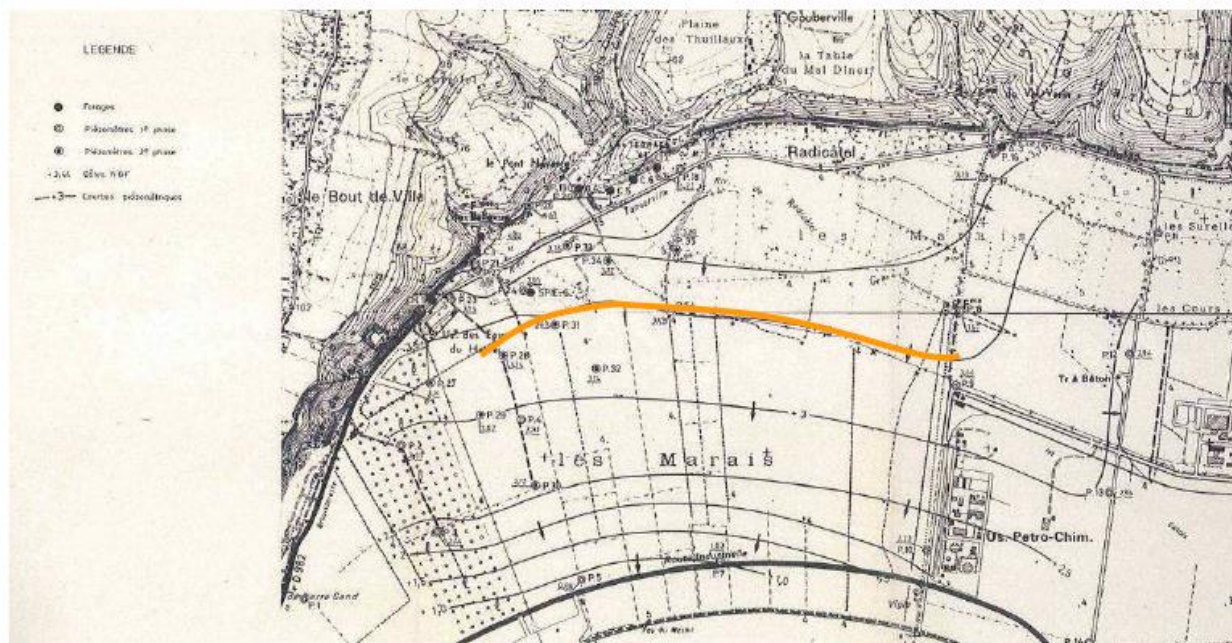


Illustration 137 : Chronique piézométrique de 1970 à 1975 de l'ouvrage BSS000FHCQ implanté sur la commune des Trois-Pierres (Seine-Maritime), source ADES – données BRGM-OFB.

- **Piézométrie BRGM 1977 et 1978**

Les données piézométriques présentées ci-après sont issues du rapport Roux et Tremembert (1979) Rapport 78-SGN-632-PNO « Productivité des ouvrages et détermination des aires d'alimentation pour différents schémas d'exploitation ».



— 3,5 — Limite d'influence de la marée (isopièzes + 3,5 m NGF)

Illustration 138 : Piézométrie dans la partie ouest de la plaine alluviale, secteur de Radicatel Août 1978, source : Roux et Tremembert, 1979 (modifié dans SAFEGE, 2012)

En situation pseudo-stabilisée, (avant test de pompage) les isopièzes indiquent un sens d'écoulement de la nappe du nord vers le sud et une variation de potentiel de + 4,5 m NGF (au droit des ouvrages C1, C2, C4, C5, et C7) à + 1,0 m NGF (à proximité de la Seine). La piézométrie dessine un léger dôme piézométrique qui « plonge » légèrement vers le sud-est. Cet état a également été mis en évidence dans les études Burgéap présentées plus avant et vient donc confirmer les données présentées ci-avant.

Les gradients hydrauliques sont estimés entre le pied de falaise et le fleuve à environ 0,2% (SAFEGE, 2012). Seul le gradient hydraulique de la nappe augmente lorsque la Seine est à marée basse ; il passe de 0,8 ‰ à 2,6 ‰. Cette variation ne se produit qu'à proximité du fleuve et épargne a priori le périmètre proche des ouvrages. La limite d'influence à l'isopièze + 3,5 m NGF est représentée sur l'illustration 138.

4.2.2. Campagnes de Mesures 2017-2019

Les éléments rapportés dans l'analyse bibliographique dans la partie 4.2.1 mettent en avant un certain nombre d'hypothèses contradictoires qu'il convient de vérifier, en particulier :

- Le rôle de la Faille Fécamp-Lillebonne et de la Faille de Villequiers sur la piézométrie ;
- La position de la nappe par rapport au réseau hydrographique, pour mettre en évidence les secteurs déconnectés ou connectés ;
- La présence d'un dôme piézométrique séparant le bassin versant souterrain des sources de Radicatel de celui des sources de la vallée du Commerce ;
- Le rôle drainant ou non de la vallée sèche du Val d'Arques/Mt Criquet ;
- La présence en vallée de Seine :
 - o d'une dépression piézométrique au droit de la zone industrielle et portuaire de Port Jérôme ;
 - o d'une crête piézométrique localisée autour des sources de Radicatel.

Pour ce faire, deux campagnes de mesures piézométriques synchrones ont été mises en œuvre en 2017 et 2019 à l'échelle de l'ensemble du territoire du SAGE Commerce. Ces travaux ont été menés conjointement à ceux opérés dans le cadre de l'étude sur l'étude de la pollution à la MOR/NMOR et les transferts le long de la faille Fécamp-Lillebonne menés également par le BRGM (David et al., 2020 – Rapport RP-69139-FR).

Délimitation de la zone d'investigations

Pour construire et mettre en œuvre un modèle mathématique, il est nécessaire de disposer d'une carte piézométrique aussi fiable que possible.

Afin de disposer d'une piézométrie intégrant l'ensemble de l'hydrosystème, il est nécessaire de disposer d'un nombre de points de mesures suffisant à l'intérieur et au-delà des limites du ou des bassin(s) versant(s) souterrains et superficiels.

Les limites des bassins versants souterrains sont supportées notamment par les lignes de partage des eaux qui passent en particulier au droit des points hauts de la surface piézométrique (lignes de crêtes).

Aussi, la délimitation de la zone de travail pour le territoire du SAGE Commerce s'est appuyée sur des cartes piézométriques listées au paragraphe 4.2.1.

L'enveloppe des bassins versants hydrogéologiques a ainsi été tracée pour ces documents. L'extension de maximale correspondant à la superposition de l'ensemble des bassins (souterrains et superficiel) a été retenue pour former la zone d'étude élargie (Illustration 139).

Enfin il a été nécessaire de circonscrire une zone tampon de 4 kilomètres pour intégrer d'éventuelles variations latérales de la position des limites de ces bassins hydrogéologiques.

Cette zone a été couplée avec la zone d'investigation spécifique de l'étude des transferts autour de l'axe faillé de Fécamp-Lillebonne. Le résultat est présenté sur l'illustration 139, page suivante.

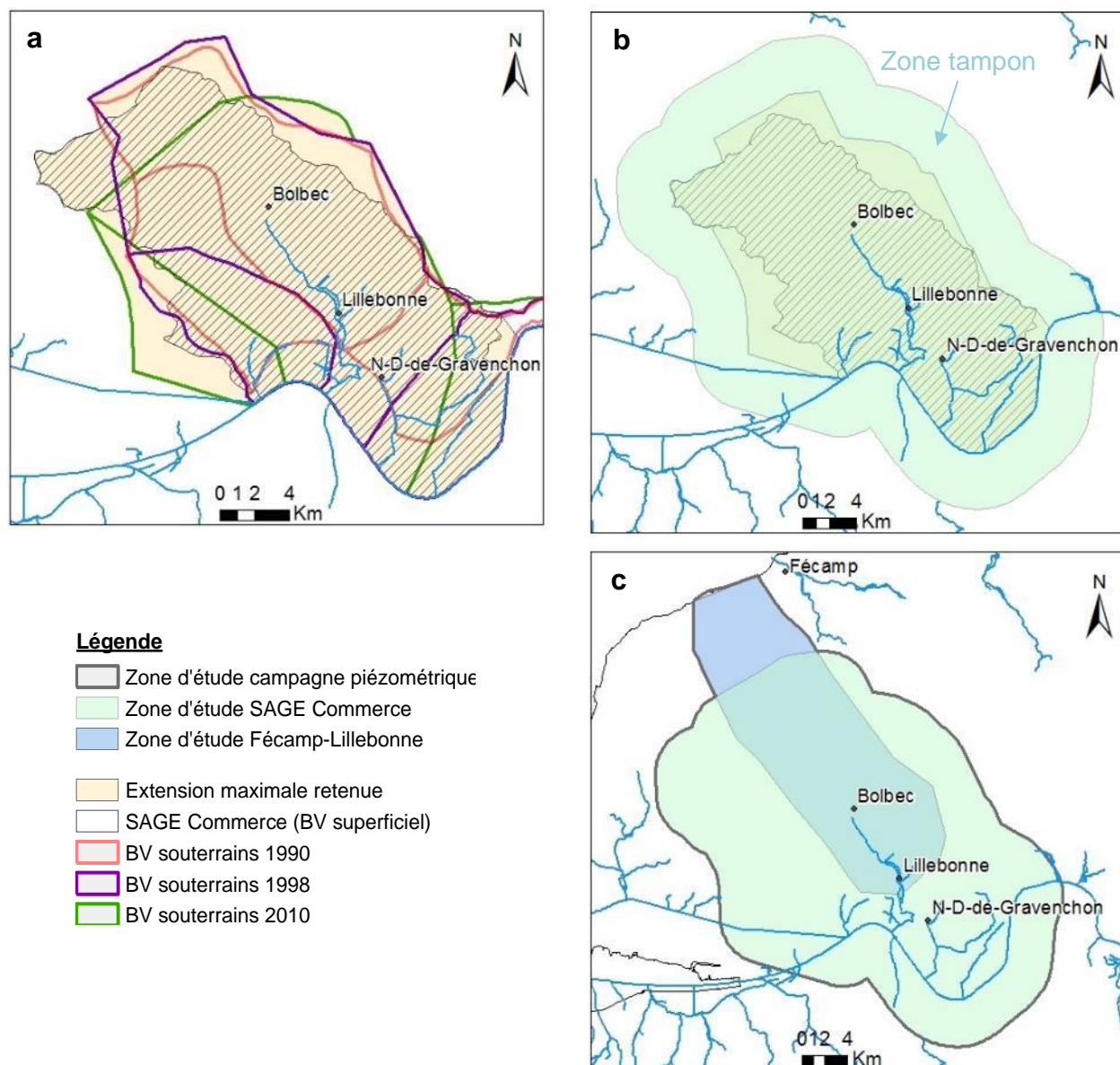


Illustration 139 : Délimitation de la zone d'investigation piézométrique (a) bassins versants (BV) souterrains tracés à partir des différentes cartes piézométriques disponibles, bassin versant superficiel et emprise maximale retenue pour l'étude ; (b) zone d'étude de l'étude SAGE Commerce ; (c) zone d'étude de l'étude Fécamp-Lillebonne et zone d'étude totale de la campagne piézométrique

Sélection des points de mesures

Une première étape a consisté à identifier les ouvrages qui pourraient être mesurés au niveau de la zone d'étude. On rappelle que ces mesures ont été effectuées de manière conjointe avec l'étude de la faille Fécamp-Lillebonne. Aussi, la zone d'étude est plus étendue que le strict territoire du SAGE Commerce.

L'extraction des données de la Banque du Sous-Sol (BSS) sur la zone d'étude a donné 1441 points.

Dans un premier temps, un tri sur la nature de ces points a été effectué : les points d'affleurements, de carrières, de cavités naturelles, d'excavation, de gîte, de station de jaugeage et de travaux souterrains ont été supprimés. A l'issue de ce premier tri, il est resté 488 points puits/forages, 100 points piézomètres, 53 points sources et 771 points de sondages.

Un tri complémentaire a permis de supprimer des sondages rebouchés ou n'atteignant pas la nappe, comme des sondages géotechniques, mais également de repérer des points enregistrés en sondage mais qui sont apparemment des puits. A l'issue de cette étape, on disposait alors de 620 points puits/forage/piézomètre et de 740 points de sondages.

Une dernière étape de tri a consisté à classer les sources, sondages, et puits/forages. Ces derniers ouvrages ont été répertoriés en fonction de leur usage :

- Alimentation Eau Potable (67)
- Agricole (68)
- Domestique (96)
- Géothermie (4)
- Industriel (32)
- Piézomètre (143)
- Puisard (43)
- Usage indéterminé mais lié à l'eau (50)
- Usage non renseigné (117)

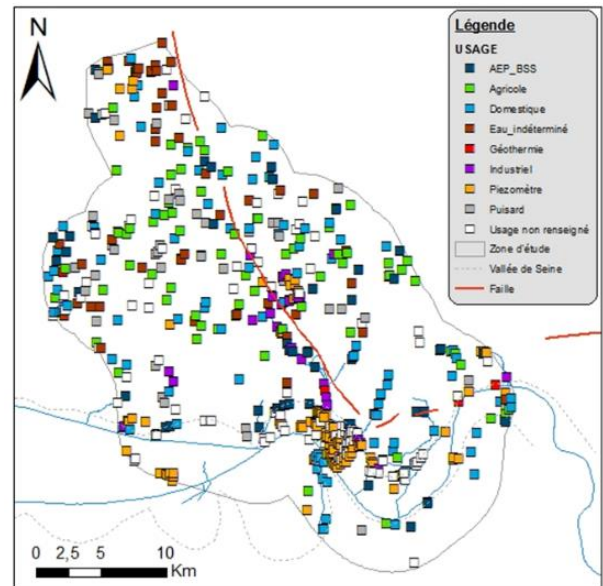


Illustration 140 : Ouvrages potentiels sélectionnés à partir de la BSS selon le type d'usage (Données de décembre 2016)

Ce classement a permis de déterminer les points pour lesquels il était nécessaire de prendre des rendez-vous pour effectuer les mesures (sites industriels, captages AEP...).

Un travail préliminaire a été réalisé en décembre 2016 au cours duquel un courrier a été envoyé à chacune des mairies de la zone d'étude afin de leur présenter le projet, ses objectifs et ses impératifs, et de les informer du passage prochain de techniciens du BRGM sur leur commune.

A ce courrier furent jointes des cartes de localisation des points situés sur leur commune. Il leur était demandé de signaler l'existence éventuelle d'ouvrages n'apparaissant pas sur les cartes et de corriger les points existants selon leur connaissance. Les réponses des mairies ont ainsi permis de préciser l'emplacement de certains points, d'en ajouter de nouveaux et également d'en supprimer.

Une reconnaissance de terrain a également eu lieu sur les points recensés du « cœur d'étude ». Cette reconnaissance a permis d'éliminer certains points n'existant plus mais aussi de repérer de nouveaux points.

La zone d'étude ne présentant pas une densité de points très importante, aucun tri n'a été réalisé sur les points à mesurer, et l'ensemble des points a été retenu.

Au final, 627 points ont été retenus pour cette campagne, et intégrés dans les carnets de terrain pour la réalisation de mesures.

Mise en œuvre des campagnes

Une première campagne a eu lieu au mois d'avril-juin 2017 et une seconde campagne de mesures s'est déroulée en mars 2019. Ces opérations ont mobilisé une équipe d'une dizaine de salariés du BRGM sur une période de 3 à 4 semaines environ.

Les mesures de niveau de nappe ont été effectuées à l'aide de sondes piézométriques manuelles à ruban, graduées tous les centimètres (Illustration 141).



Illustration 141 : Exemple de mesure manuelle réalisée à l'aide d'une sonde à ruban (BRGM)

Les opérateurs devaient reporter, outre les profondeurs de nappe mesurées : le diamètre et profondeur des ouvrages, le repère de mesure et son altitude (nivelée à l'aide de GPS de précision centimétrique), si les ouvrages étaient exploités ou non, leur débit d'exploitation (et préciser si nécessaire le temps d'arrêt de la pompe avant la mesure).

Ces précautions permettent de s'assurer que la mesure a bien été réalisée dans les formations aquifères visées : nappe de la craie et des alluvions, et dans des conditions les plus proches possibles d'un état d'équilibre.

Bien entendu, les résultats de la première campagne ont servi de base à la seconde : les points rebouchés, abandonnés, inaccessibles ont été retirés de la liste de points potentiels et quelques nouveaux ouvrages mesurables ont été ajoutés (cf. annexe 4).

L'illustration 142 montre les points mesurés lors des campagnes de 2017 et 2019. Sur les secteurs où la densité de mesures était insuffisante (absence de points, ouvrages rebouchés, diamètre d'ouvrage trop étroit, etc...), il a été nécessaire d'interpoler les valeurs du niveau de la nappe à partir des données disponibles dans la BSS. Les valeurs ont alors été estimées à partir

des variations (du battement) du niveau de nappe connues pour les ouvrages les plus proches. Ces amplitudes ont été estimées notamment à partir des données bancarisées sous ADES ou à l'aide des données du réseau de suivi quantitatif des niveaux.

A l'issue de ces 2 campagnes, sur les 627 puits/forages identifiés, un total de 277 mesures piézométriques ont été réalisés lors de la campagne de 2017 et de 220 mesures piézométriques ont été réalisés lors de la campagne de 2019 (Illustration 142).

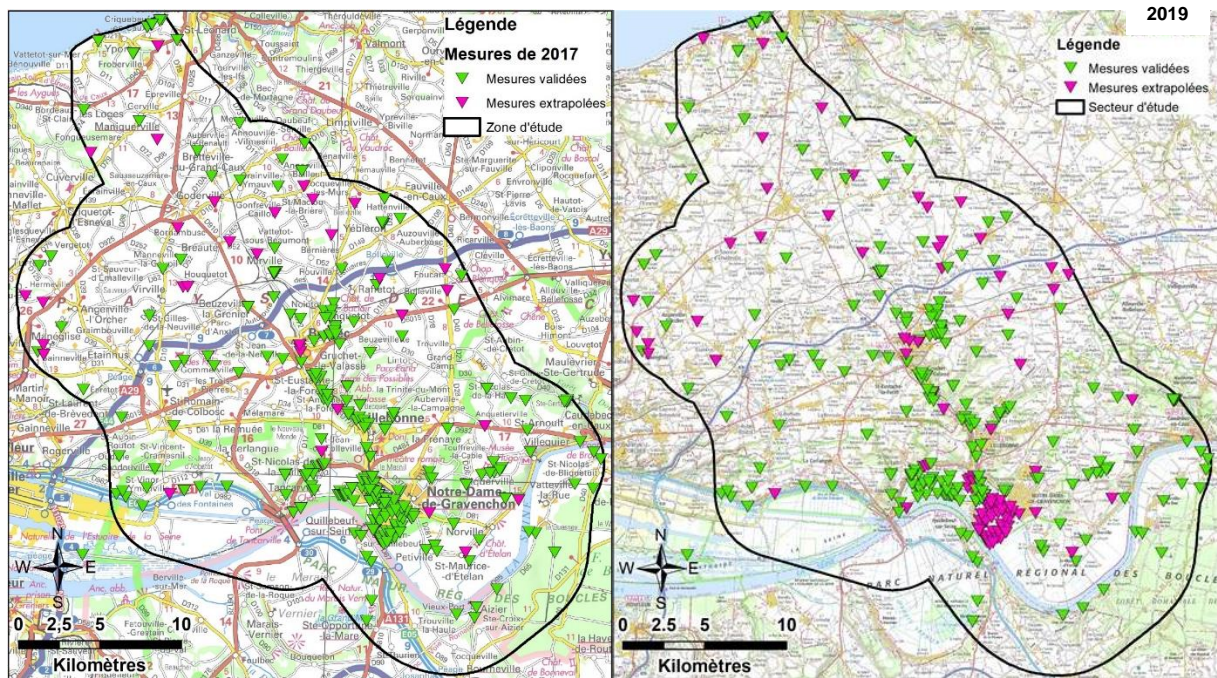


Illustration 142 : Points de mesure validés et interpolés pour l'élaboration des cartes piézométriques.

Période hydrogéologique de réalisation des mesures

Comme le montre l'illustration 143 suivante, la période hydrogéologique de mesure des niveaux de nappe était relativement proche entre les campagnes de 2017 et 2019 : selon les secteurs, les niveaux étaient plutôt moyens à bas en 2017 et moyens à hauts en 2019.

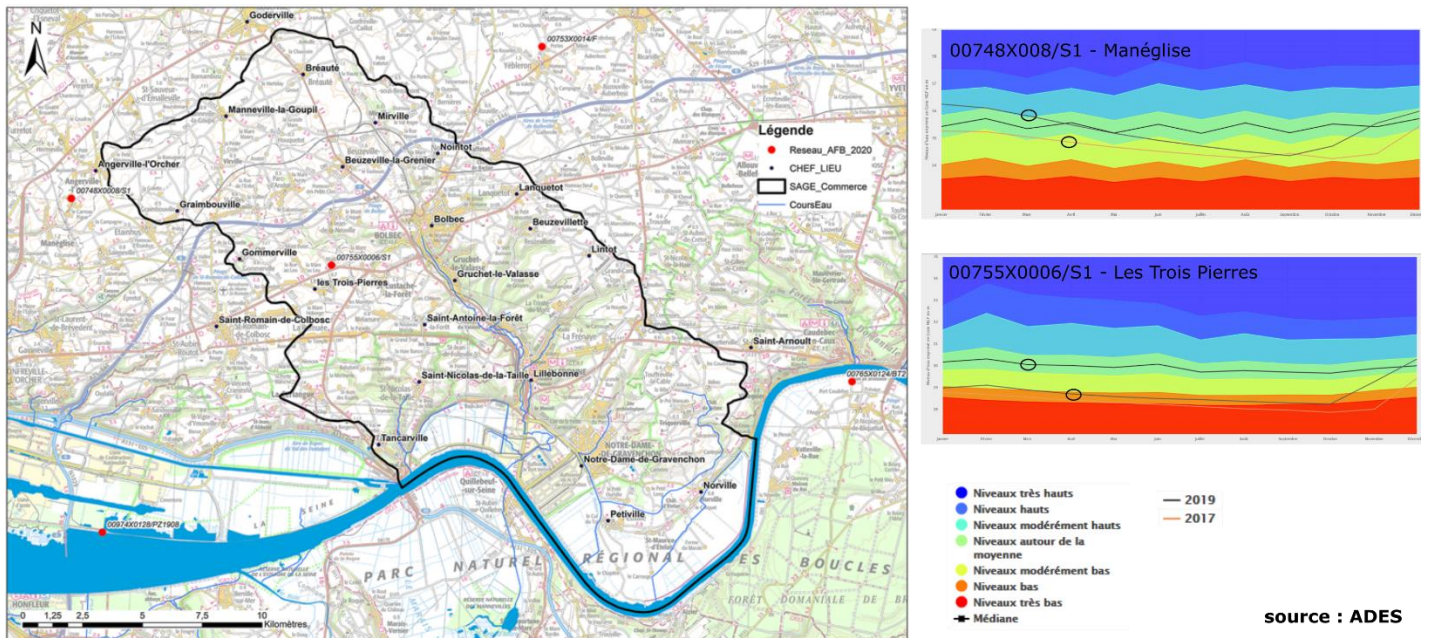


Illustration 143 : Périodes hydrogéologiques de réalisation des campagnes de mesures piézométriques

Commentaires sur les mesures

- Vallée de la Seine

La Seine draine naturellement la nappe de la craie, toutefois **les mesures réalisées en vallée de Seine (Illustration 144) et plus particulièrement à Port Jérôme ne sont pas représentatives du comportement général de la piézométrie de la nappe libre de la craie.**

En effet, sur ce secteur, les mesures ont montré de fortes variabilités que l'on peut attribuer à différents phénomènes parmi lesquels : les nombreux pompages, l'effet des marées et des variations du niveau du fleuve dont le signal peut être atténué par les aménagements réalisés le long des berges du fleuve (chenalisation et endiguement). Le réseau de drainage (fossés) a également probablement un impact significatif sur les écoulements de nappe.

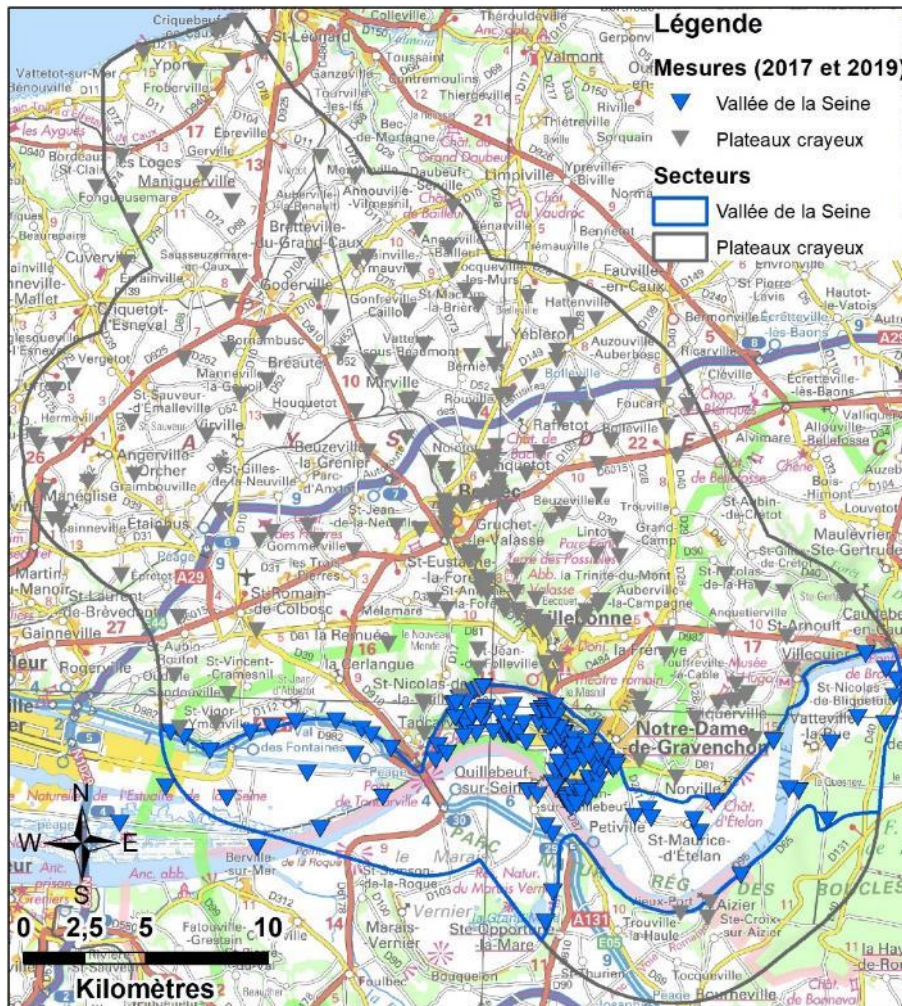


Illustration 144 : Secteur « Vallée de Seine » et mesures piézométriques 2017 et 2019 associées

Les mesures montrent que la nappe de la craie est probablement en charge sous les alluvions fines. Celle-ci est donc probablement semi-captive à captive dans une large portion de la plaine alluviale de la Seine.

- **Failles de Fécamp-Lillebonne et de Villequier**

La faille de Fécamp- Lillebonne et l'accident de Villequier ont une composante normale, dont le rejet varie selon les secteurs. Au niveau de Bolbec, le rejet atteint 100 à 150 m, puis s'amointrit vers Lillebonne à environ 40 m. L'accident de Villequier génère de son côté un rejet de 200 m. Ces rejets importants entraînent des contacts anormaux entre des formations de faciès parfois très différents. Des investigations géophysiques menées fin 2016 dans le secteur de Bolbec ont montré que la faille est composée d'un faisceau de failles de 300 m de large, associé à des cassures transversales qui délimitent des compartiments basculés en escaliers (cf. paragraphe 2.6).

L'influence de la faille de Fécamp-Lillebonne sur la piézométrie de la nappe de la craie est démontrée en particulier entre Grainville et Bolbec : les mesures piézométriques réalisées lors des deux campagnes sont plus hautes de plusieurs dizaines de mètres à l'est de la faille. Sur ce secteur, sans intégration de la faille comme limite étanche, les interpolations surestiment ou sous-estiment alors fortement les valeurs des ouvrages situés de part et d'autre de la faille.

Dans les vallées perpendiculaires au système faillé, la présence de sources laisse supposer que celles-ci sourdent à la faveur d'une ou plusieurs failles, comme par exemple dans le vallon Palfray ou de Bolbec (Illustration 145).

L'ensemble de ces informations ont permis de dessiner une faille principale et une faille secondaire, constituant des barrières étanches pour la piézométrie (Illustration 145). La faille secondaire n'a été intégrée que sous forme de deux écrans au droit des vallées du Commerce à Bolbec et du lieu-dit le Beau Soleil à Nointot. En effet, l'absence de mesures en nombre suffisant entre les deux failles ne permet pas une interpolation du compartiment central. L'intégration de ces failles lors des interpolations en tant que limites étanches permet d'améliorer considérablement les résultats (voir Annexe 4).

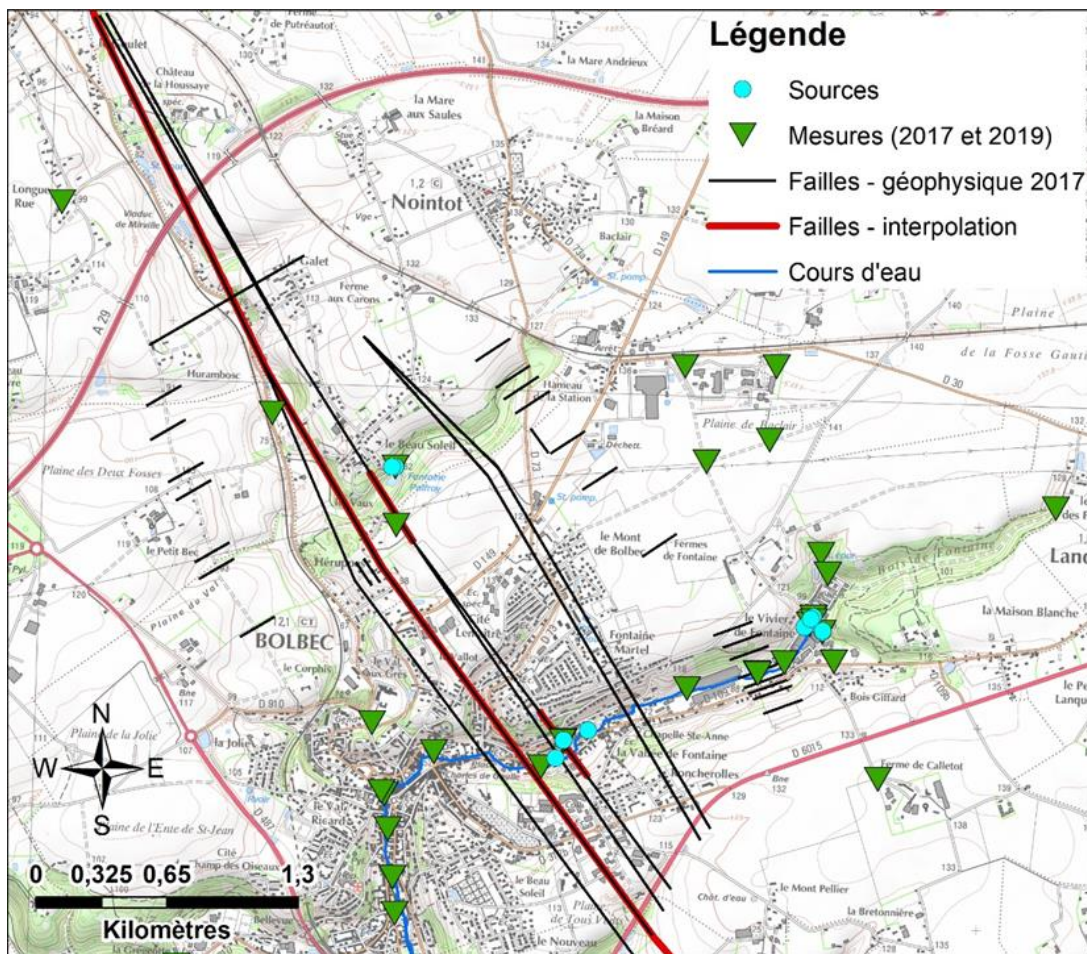


Illustration 145 : Carte des failles prises en compte lors de l'interpolation de la piézométrie à Bolbec

En dehors des mesures réalisées dans les vallées sèches et humides, le nombre de mesures piézométriques effectuées de part et d'autre du système faillé — de Fécamp-Lillebonne entre Bolbec et Notre-Dame-de-Gravenchon d'une part, et du système faillé de Triquerville-Villequier d'autre part — est insuffisant pour pouvoir vérifier et extrapoler l'influence éventuelle des failles sur l'écoulement des eaux souterraines.

Ces barrières étanches ont néanmoins été prolongées, à dire d'experts et après avoir réalisé différents tests d'interpolation, en reliant le système de failles de Fécamp-Lillebonne et l'accident de Triquerville, à Notre-Dame-de-Gravenchon et Villequier. Elles ont été intégrées aux interpolations en plateau crayeux et permettent ainsi d'améliorer les modèles.

Pour appuyer ces éléments, on rappellera notamment que l'accident de Villequier est connu pour occasionner la perte du ruisseau du Bébec, dont la résurgence se fait au niveau de la source du Hannetot. Dans la vallée du Commerce, les sources de la Fontaine Murée et du Val Horrible se perdent également au passage de l'une de ces structures.

A noter : Dans la vallée du Commerce, l'influence des cours d'eau sur les eaux souterraines (pertes) masque probablement celle de failles d'importance secondaire.

- **Drainage karstique**

La fracturation et la fissuration des ensembles lithologiques carbonatés ont favorisé les processus d'altération physico-chimique de ces ensembles (circulations préférentielles). Ces phénomènes ont conduit à la création et au développement d'un important réseau karstique sur le secteur d'étude. Celui-ci demeure néanmoins difficile à appréhender, la plupart de ces structures étant masquées par les formations superficielles et d'altération.

Ces réseaux sont parfois mis en évidence par la réalisation de traçages. On peut citer notamment sur le nord de la zone d'étude à proximité de la faille de Fécamp-Lillebonne, la mise en évidence d'une connexion entre les pertes du Beau Soleil à Nointot vers les sources d'Yport (voir paragraphe 4.5).

En fonction de leur importance ou de leur densité, ces conduits karstiques peuvent se comporter comme des axes de drainage et provoquer de véritables dépressions ou entonnoirs dans la piézométrie. Ils vont dans ce cas masquer l'influence de la topographie (plateaux, vallées humides et vallons secs). Les mesures réalisées en 2017 et 2019 semblent montrer que ce cas se produit sur une vaste portion du territoire entre Goderville et Yport. Toutefois la densité de mesures n'est pas suffisante pour pouvoir l'affirmer avec certitude.

4.2.3. Résultats des interpolations des campagnes piézométriques

Méthodologie pour la combinaison des grilles piézométriques

L'ensemble des points de mesures (2017 et 2019) et des points de contrainte ont été interpolés par krigeage, avec différents modèles de variogrammes adaptés aux spécificités du territoire d'étude (voir Annexe 3). Le résultat final se présente sous forme d'une grille (maille de 25 m) des altitudes de la nappe.

Dans la vallée de la Seine, les mesures disponibles dans l'aquifère crayeux et alluvial ont permis de montrer qu'il existait une charge hydraulique globalement identique (écart de moins de 10 cm sur des doublets) justifiant le choix de représenter ces deux aquifères en continuité.

L'écart type de krigeage est calculé automatiquement pour chaque maille. La carte d'indice de confiance représente les cartes de l'écart type de krigeage normé par le palier du modèle géostatistique. Pour chaque maille de la grille, l'écart type de krigeage est divisé par l'écart type du palier du variogramme. Le calcul de cette erreur relative permet de normaliser la notion d'indice de confiance et de faciliter ainsi les comparaisons entre 2 années ou entre 2 aquifères.

La méthode d'élaboration de la carte piézométrique a fait l'objet d'une même description reprise également dans l'étude des circulations autour de la faille Fécamp-Lillebonne (David et al., 2020).

Cartes piézométriques finales

Les cartes piézométriques produites sont des documents de synthèse. Leur utilisation est essentiellement scientifique, pour la connaissance des eaux souterraines : ces cartes permettent de visualiser les sens d'écoulement, les gradients hydrauliques, les niveaux de 2017 et de 2019, sur les nappes de la craie et des alluvions. Les courbes piézométriques ont été tracées tous les 5 mètres en plateau crayeux (Illustration 146 et Illustration 148) et tous les 0,2 mètre en vallée de la Seine (Illustration 147 et Illustration 149), afin d'obtenir une bonne représentativité et visibilité des écoulements. La différence entre les niveaux piézométriques de 2019 et ceux de 2017 a été calculée et permettent de déterminer le battement de la nappe (Illustration 155).

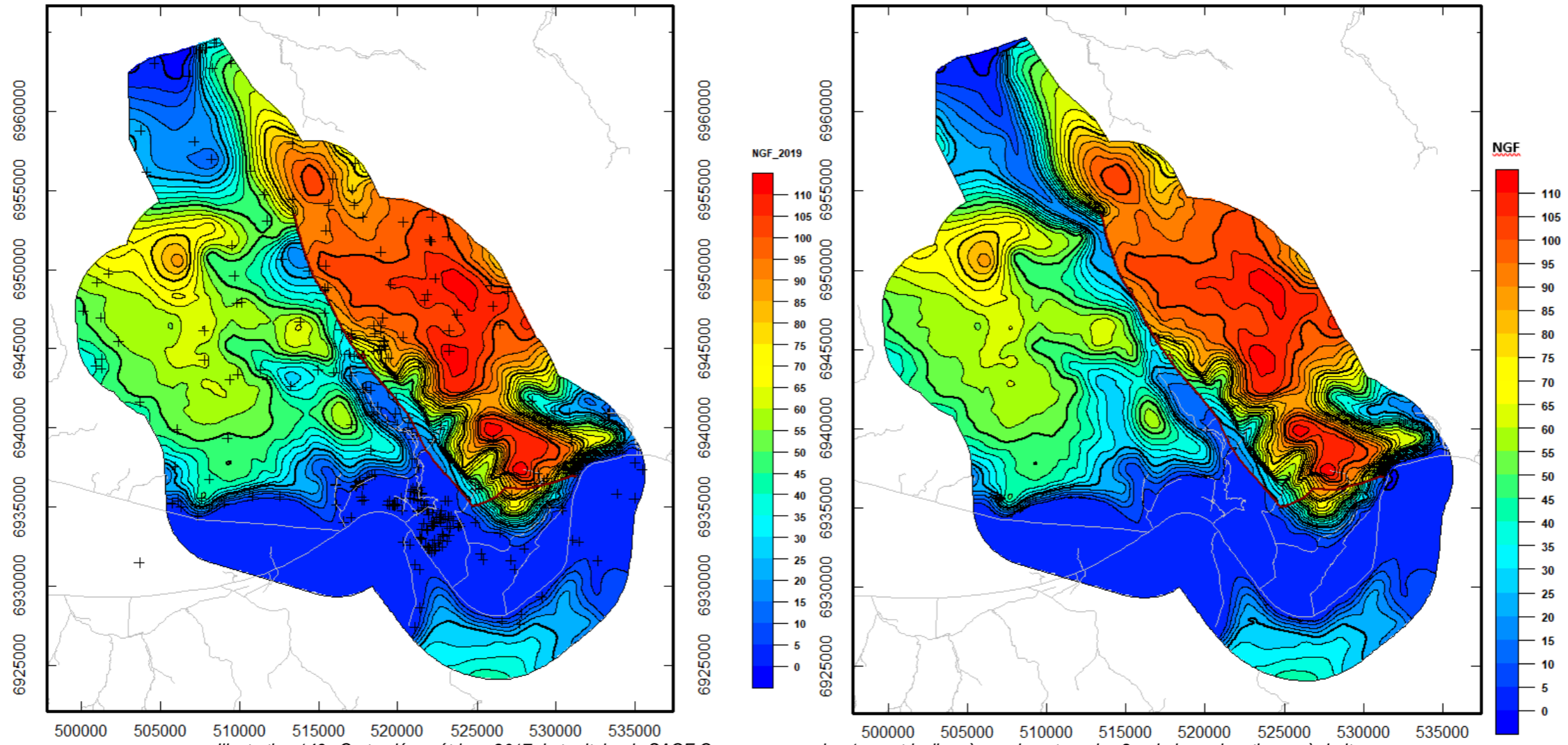


Illustration 146 : Carte piézométrique 2017 du territoire du SAGE Commerce, version 1 « matricelle » à gauche, et version 2 « drainage karstique » à droite

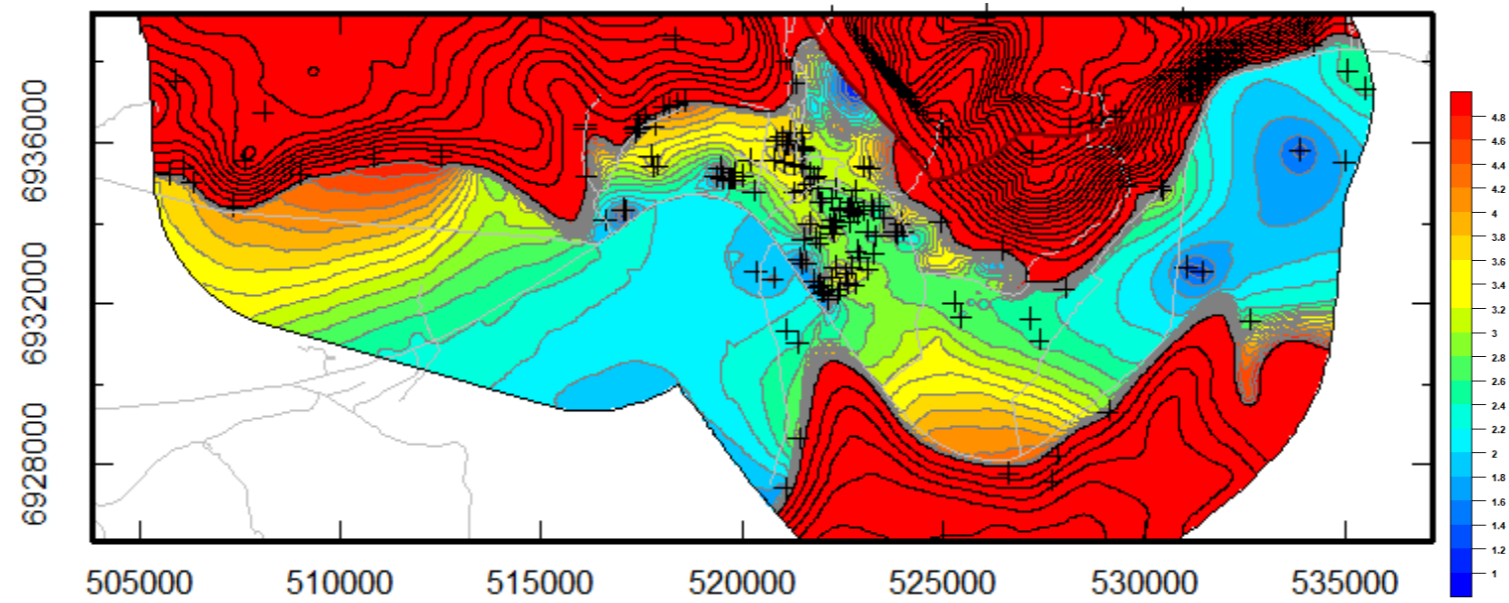


Illustration 147 : Carte piézométrique 2017 de la vallée de la Seine

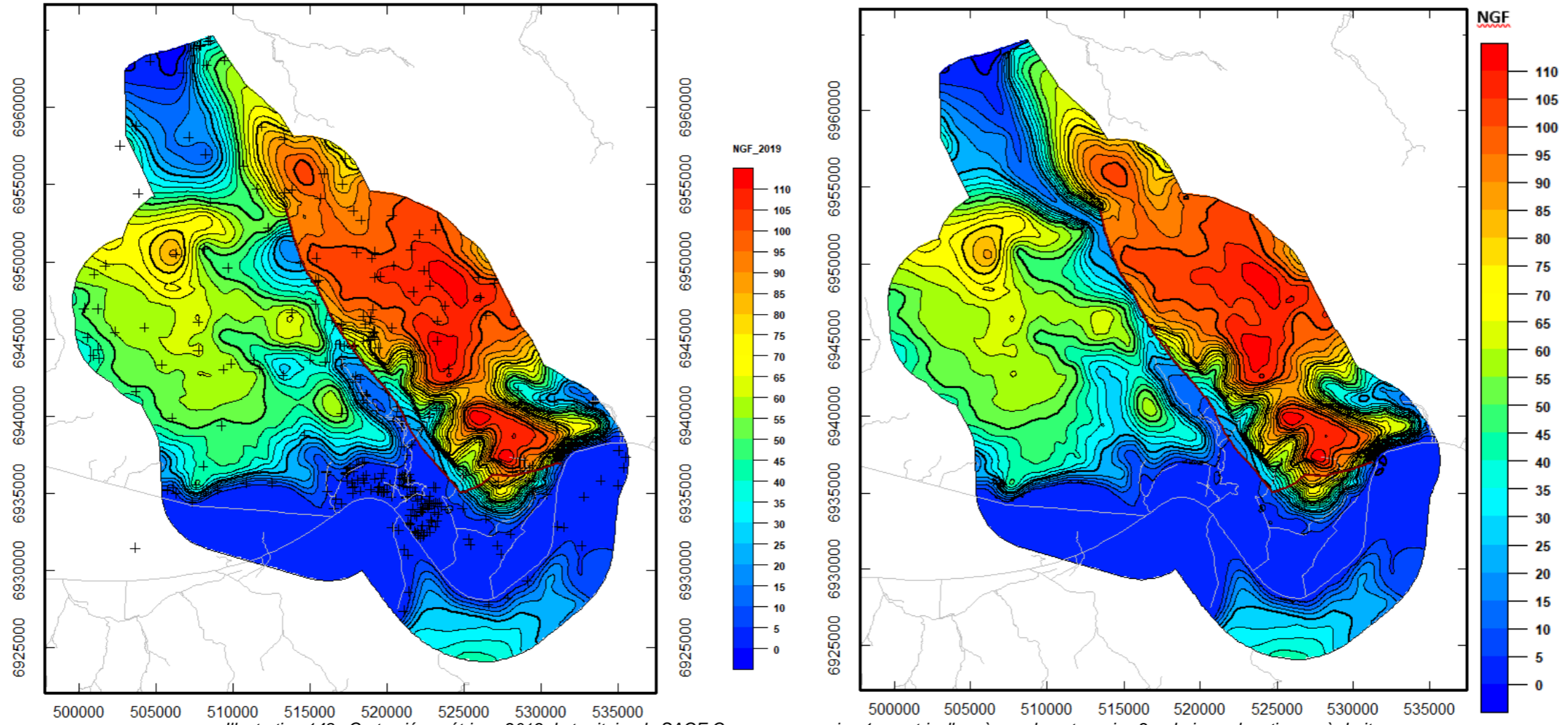


Illustration 148 : Carte piézométrique 2019 du territoire du SAGE Commerce, version 1 « matricelle » à gauche, et version 2 « drainage karstique » à droite

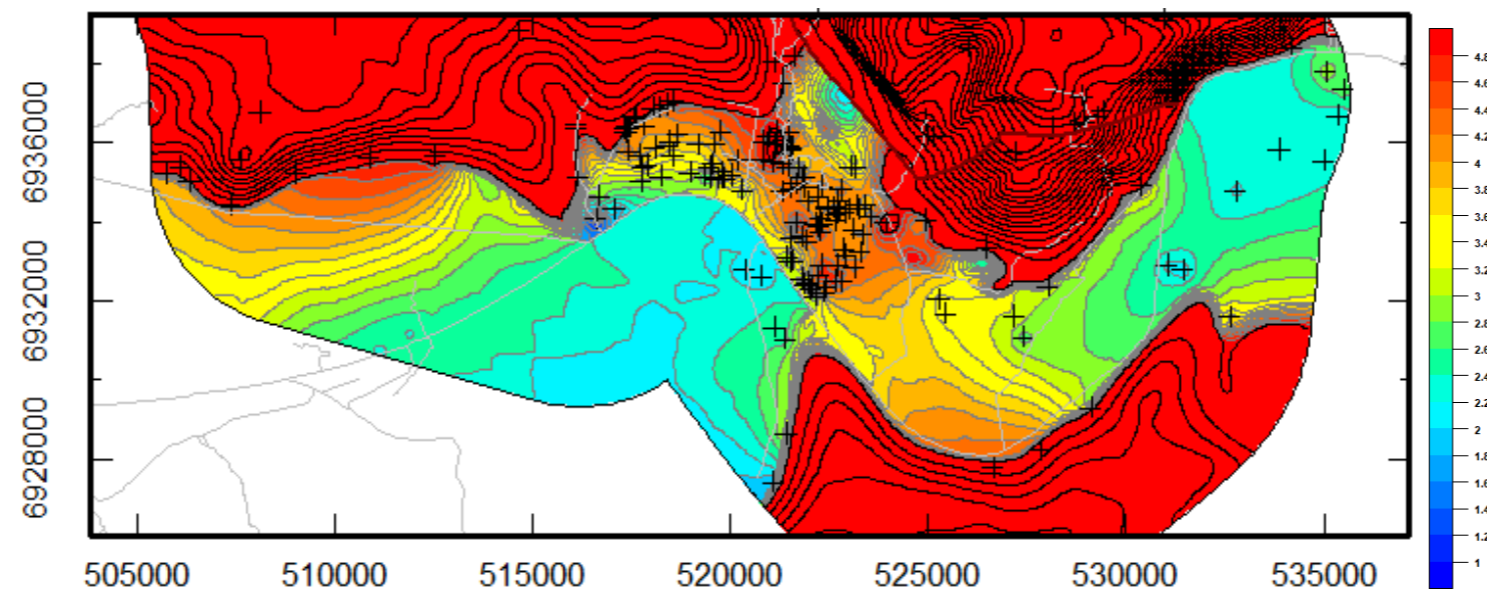


Illustration 149 : Carte piézométrique 2019 de la vallée de la Seine

Ecart type et Indice de confiance

L'écart type de krigeage est calculé lors de l'interpolation pour chaque maille (Illustration 150 et Illustration 151). Cet écart type caractérise la précision du résultat pour chaque secteur hydrogéologique, si du moins le comportement de la variable est spatialement homogène. Le calcul de l'écart type est réalisé uniquement en tenant compte des mesures réelles (sans les données extrapolées et les points de contraintes).

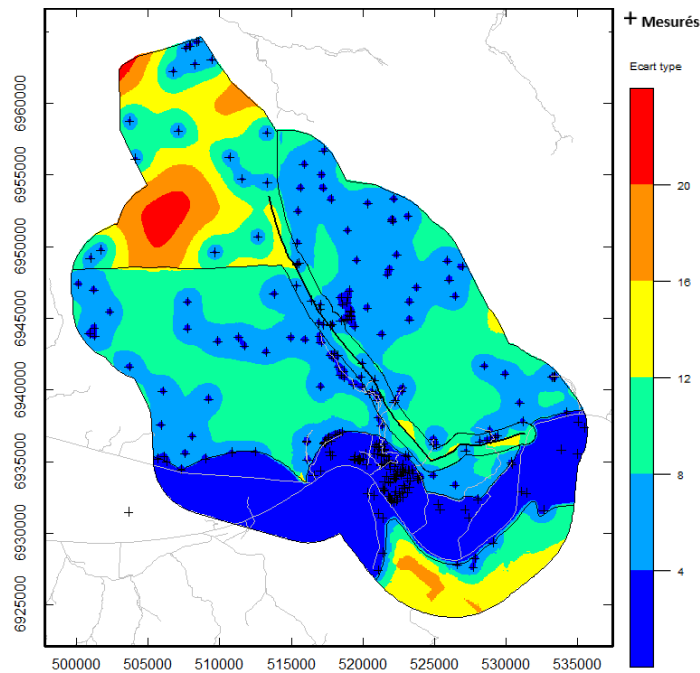


Illustration 150 : Carte des écarts types (m) de 2017

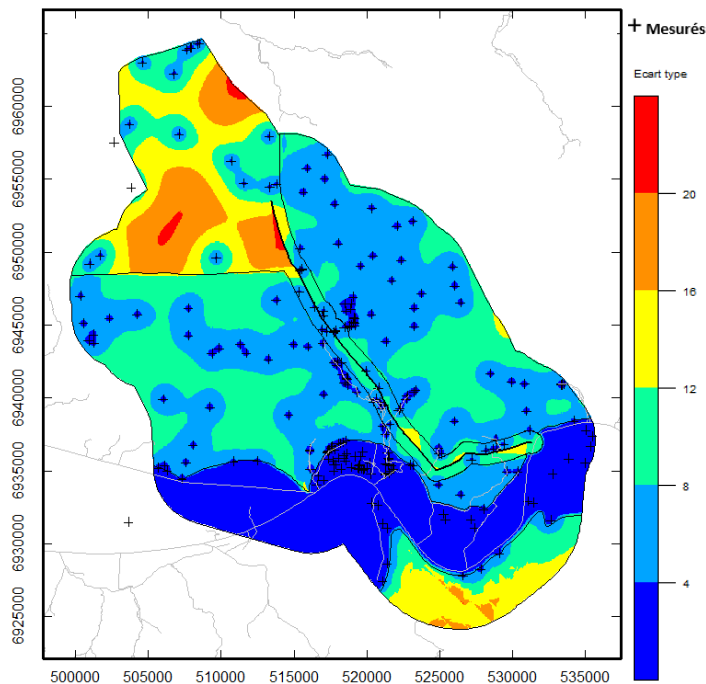


Illustration 151 : Carte des écarts types (m) de 2019

Le calcul de la carte des indices de confiance permet de comparer la précision des piézométries pour les trois secteurs hydrogéologiques (Illustration 152 et Illustration 153 page suivante). Les zones bleues indiquent les secteurs où l'interpolation est jugée fiable, du fait de la bonne densité de points pris en compte. Ensuite, plus la couleur tend vers le rouge, moins l'interpolation est fiable.

- 0 à 0,25 : très bon (bonne à très bonne confiance)
- 0,25 à 0,5 : bon (confiance assez bonne)
- 0,5 à 0,75 : moyen (confiance moyenne)
- 0,75 à 1 : mauvais (confiance faible)
- 1 à 1,25 ou plus : très mauvais (confiance très faible)

Il apparaît plusieurs zones avec faible indice de confiance, dont une importante en plateau dans le secteur de la crête piézométrique séparant le bassin versant Manche du bassin versant Seine : dans ce secteur où la nappe est profonde (parfois proche de 80 à 100m), les mesures dans les rares forages agricoles ont été impossibles du fait de la présence des équipements hydrauliques et électro-mécaniques qui empêchaient la mesure.

Dans ces secteurs lacunaires, des mesures ont été extrapolées sur la base de mesures faites à la date de réalisation du forage (données BSS) et en corrigeant le niveau par les variations de la nappe entre cette date et la date de la campagne piézométrique. Ce travail a permis de combler cette zone lacunaire mais introduit une incertitude sur le résultat.

Il apparaît également que la vallée de la Seine, et notamment la partie en rive gauche, correspond à une zone où l'interpolation est jugée peu fiable (couleurs orange et rouge) à moyennement fiable (couleur jaune), du fait de la faible densité de mesures compte tenu des fortes variations locales des niveaux. En vallée de Seine, une forte densité de mesures permettrait de visualiser l'influence des aménagements anthropiques et des pompages, le drainage local par les fossés et cours d'eau, et l'éventuel rôle des berges aménagées dans les échanges entre la nappe et la Seine.

Les mesures réalisées en rive droite dans les alluvions et/ou la craie (cf. Annexe 3 paragraphe 1.3.3) montrent qu'il existe probablement des dépressions piézométriques qui ne sont pas fidèlement représentées par le modèle de variogramme choisi. Celui-ci aura tendance à lisser les mesures.

Plusieurs pistes pourraient permettre d'améliorer l'interpolation des mesures piézométriques :

- En vallée de Seine, une forte densité de mesures permettrait de visualiser l'influence des aménagements anthropiques et des pompages, le drainage local par les fossés et cours d'eau, et l'éventuel rôle des berges aménagées dans les échanges entre la nappe et la Seine ;
- En plateau crayeux, en tête de vallée humide et en vallon sec, l'actuelle absence de forages ne permet pas toujours de bien caractériser les crêtes piézométriques et les axes de drainage. Aussi il peut être proposé :
 - o qu'à l'avenir chaque forage agricole soit systématiquement équipé d'un tube guide-sonde (tube pvc de très faible diamètre) permettant de prendre une mesure de niveau même en présence de pompe ;
 - o de prévoir une campagne piézométrique dans ce secteur, où toutes les pompes des forages agricoles seraient retirées le temps de la réalisation de la campagne de mesures ;
- Un plus grand nombre de mesures de part et d'autre des failles aurait permis d'établir avec précision le rôle hydrogéologique de ces structures (aucun rôle, barrière étanche ou axe drainant).

- Une cartographie des conduits karstiques drainant la piézométrie aurait permis d'ajouter des points de contrainte le long de ces conduits, afin de visualiser les axes de drainage réels.

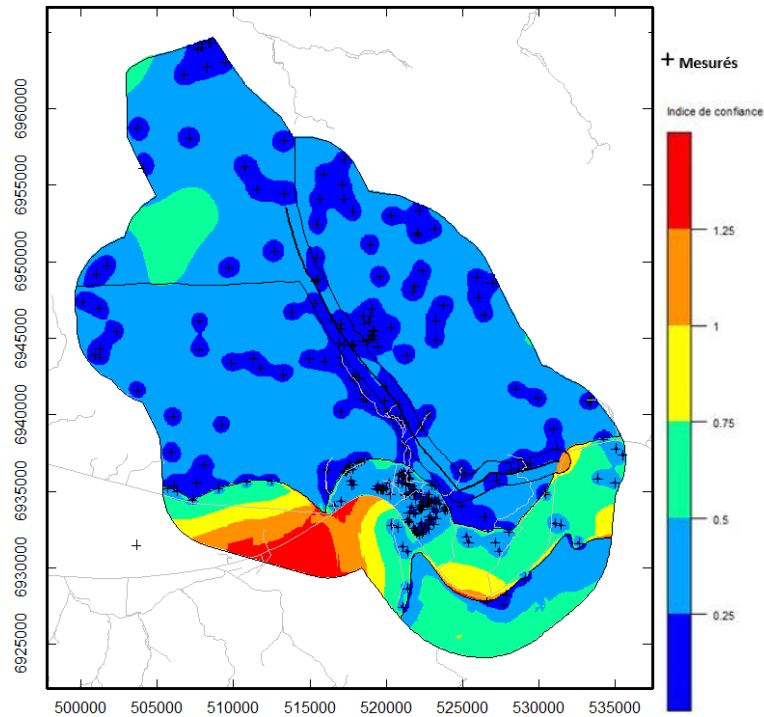


Illustration 152 : Carte de l'indice de confiance de 2017

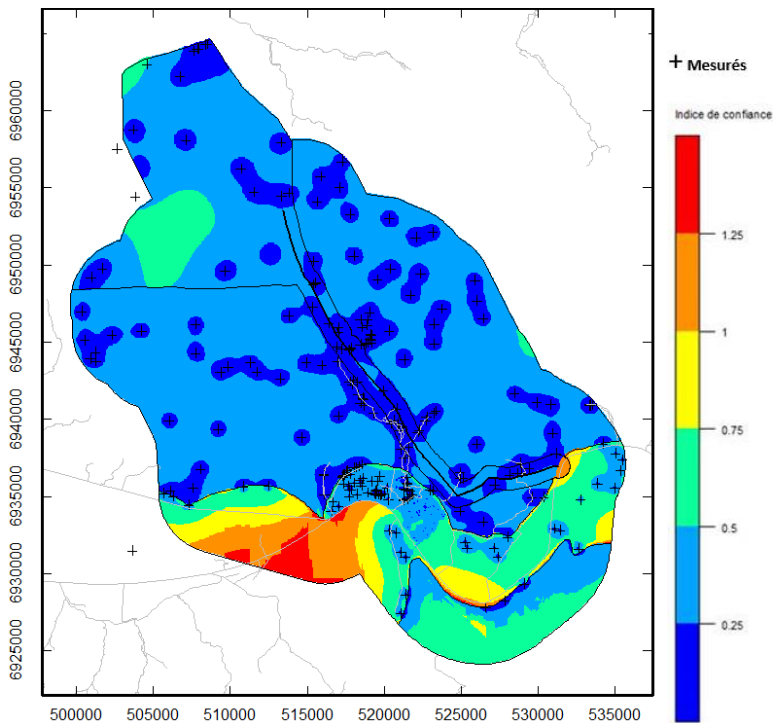


Illustration 153 : Carte de l'indice de confiance de 2019

4.2.4. Interprétation des cartes piézométriques

Les éléments présentés ci-après sont issus de l'analyse détaillée des cartes piézométriques présentées ci avant.

Écoulements et limites de partage des eaux

D'une manière générale, les cartes piézométriques réalisées font ressortir la forte influence de la topographie sur les piézométries, ce qui est courant en contexte crayeux.

Les écoulements principaux s'effectuent selon deux directions opposées : vers le sud et la Seine ainsi que vers le nord et la Manche. Les lignes d'écoulement secondaires partent des plateaux et convergent vers le centre des vallées humides et certains vallons secs. Ce constat prouve le rôle prédominant joué par les vallées structurantes, telles que la Seine et ses affluents : le Commerce, le Vivier, la rivière d'Oudalle et la Sainte-Gertrude. Sur le sud de la zone d'étude (en rive gauche de la Seine), les bassins versants hydrogéologiques se superposent globalement aux bassins versants topographiques.

Les résultats des deux campagnes sont très proches et fournissent, dans l'ensemble, les mêmes indications.

D'une manière générale, la nappe de la craie subit probablement une influence notable de la topographie : aussi les gradients hydrauliques sont plus faibles au droit des plateaux et des vallées drainantes que sous les coteaux. Ils s'échelonnent de 2 à 5 ‰ sous les coteaux, de 0,2 à 0,5 ‰ en fond de vallées humides, de 1,5 à 2 ‰ en tête de vallées humides et de 0,2 à 1 ‰ en plateau.

- **Bassin Versant de Radicatel et du Vivier**

Des points hauts de la nappe sont rencontrés sur le secteur de Virville – St Gilles la Neuville – La Remuée à l'ouest du territoire d'étude mais également sur le secteur de St-Jean-de-Folleville, St Antoine la Forêt, Les Trois-Pierres.

Ces points hauts délimitent des lignes de crêtes qui limitent l'extension du bassin versant souterrain des sources de Radicatel. Cette observation conforterait la proposition de la CGG (1998) sur ce secteur.

Au nord de ce secteur, le Val d'Arques/Mont Criquet draine bien la nappe en direction de la vallée du Commerce à l'est. Toutefois, un second axe de drainage semble se dessiner en direction du sud, vers le BV des sources de Radicatel. Celui-ci pourrait correspondre à un drain karstique ou un axe fracturé.

- **Bassin Versant du Commerce**

La faille de Fécamp-Lillebonne constitue l'élément structurant qui scinde ce territoire en deux.

A l'est du système faillé, sur le compartiment géologique surélevé, on trouve un large secteur formant un point haut, celui-ci s'étend d'Auberville – St Arnoult au sud – Trouville jusqu'à Yebleron – Fauville plus au nord.

La limite nord de ce territoire s'appuie sur un point haut de la nappe que l'on situe vers Mirville – Bréauté. Au nord de cette limite les écoulements se font en direction de la Manche, au sud vers la Seine.

A l'ouest, un drainage semble se dessiner sur la piézométrie au droit des vallées sèches de Houquetot et du Val d'Arques/Mt Criquet. Ces axes de drainage viennent inciser le point haut de la nappe décrit dans le point précédent. Ces axes de drainage rejoignent la vallée principale du Commerce.

On note la présence d'une dépression vers Bréauté/Mirville qui se trouve en limite d'un second « verrou » situé aux abords immédiats de Bolbec. Cette dépression pourrait correspondre à un entonnoir piézométrique lié probablement à la présence de réseaux karstiques drainant la surface de la nappe le long de la structure faillée.

Le centre de la vallée est occupé par une large zone déprimée limitée par la structure faillée. Le long de la faille, les gradients piézométriques sont particulièrement importants notamment sur le secteur de Mirville (environ 100 m).

- **Secteur de ND-de Gravechon-Triquerive-Villequier**

Ce secteur est séparé du « bloc nord-est » par un axe de drainage globalement est-ouest situé vers la commune de Grand-Camp, cette axe de drainage marque le prolongement entre la haute vallée de la Ste Gertrude et la Vallée. Cet axe pourrait être le marqueur probable d'une structure tectonique ou karstique (synclinal de la Ste Gertrude ? ou autre structure).

Au sud de cette limite, on trouve un secteur haut de la nappe organisé autour d'Auberville et St Arnoult. Une limite de partage des eaux passe par cette zone haute et détermine l'écoulement dans le bassin du Commerce à l'ouest, du Bébec/Ravine au sud et de la Ste Gertrude au nord-est.

La piézométrie montre l'existence de gradients importants autour du système de Triquerive et dans l'amont du bassin versant souterrain de la Ste Gertrude sans toutefois présenter de rupture de pente franche de la piézométrie. Ainsi les données piézométriques interpolées ne montrent pas de contraste piézométrique important au sud de la faille de Triquerive, dans la zone effondrée. On peut s'interroger sur la fiabilité de l'interpolation dans ce secteur, faute d'un nombre suffisant de points de mesures.

- **Vallée de Seine**

En vallée de Seine, le gradient hydraulique moyen est inférieur à 0,1 ‰, du fait de l'aplanissement de la topographie et de l'influence de la Seine comme niveau de base lorsqu'elle est en continuité avec la nappe. Les eaux souterraines subissent le drainage de la Seine et s'écoulent globalement vers le fleuve, mais aussi d'est en ouest (de l'amont vers l'aval, vers l'estuaire). Cependant les cartes établies spécifiquement pour la vallée de Seine font apparaître l'existence de secteurs où la piézométrie est plus élevée et, à l'inverse, de secteurs où celle-ci est déprimée (Illustration 147 et Illustration 149).

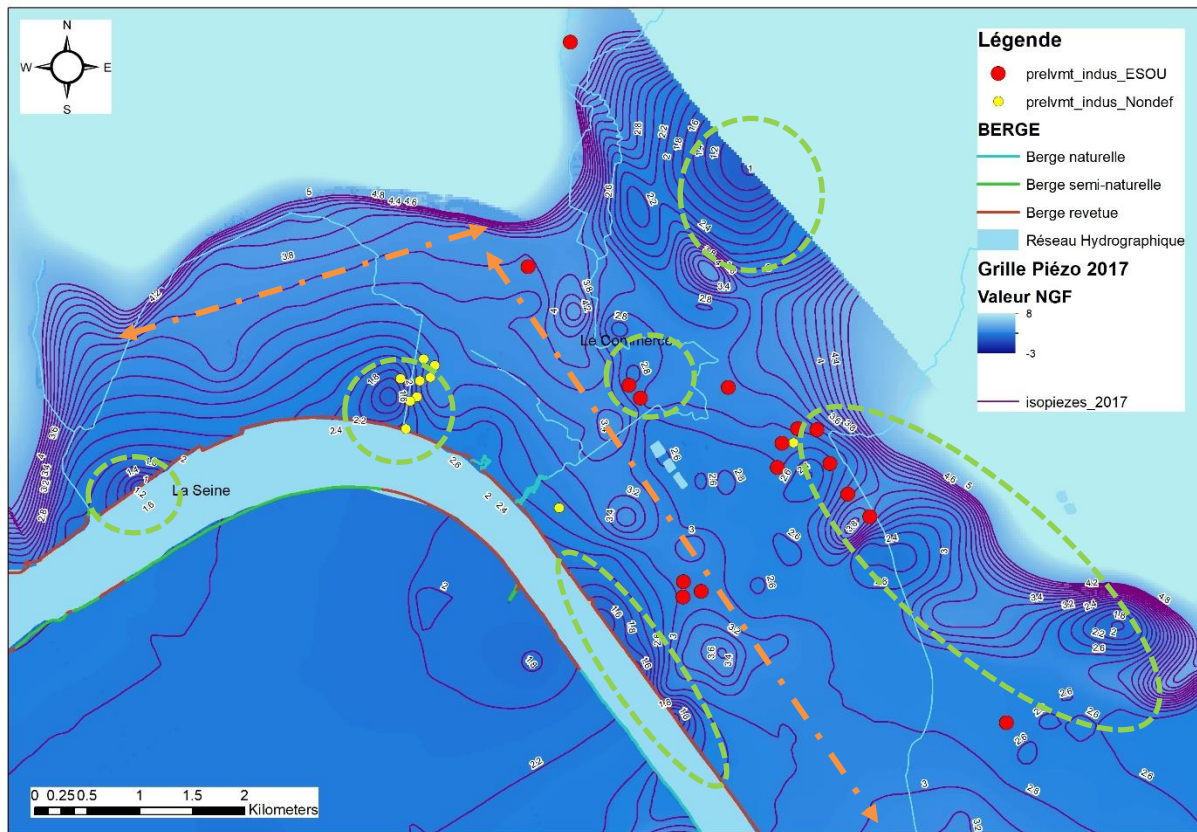


Illustration 154 : Piézométrie détaillée de la plaine alluviale, secteur de Port-Jérôme – mesures 2017

Plusieurs secteurs de la vallée de Seine présentent des dépressions piézométriques (cercles verts représentant des niveaux bas de la nappe) – (cf. Illustration 154 ci-dessus) : comme l’aval de la zone d’activité de Lillebonne (ZA Mesnil/Manoir), la partie amont de la ZIP de Port Jérôme en limite avec la commune de ND-de-Gravenchon, bord de Seine de la ZIP, Tancarville, Quillebeuf et enfin Vatteville. Ces secteurs ne correspondent pas tous, a priori, à des zones de prélèvements (pompages connus ou reconnus).

A noter : en 1962, Burgéap estime que l’effet des pompages de la zone de Port Jérôme pourrait s’être fait ressentir jusqu’à Petiville, St Maurice d’Etelan et Norville (jusqu’au hameau Croquet) où de nombreux puits ont été signalés à sec. Le BRGM ne dispose malheureusement pas de chroniques piézométriques aussi longues dans le temps pour évaluer le niveau moyen de la nappe à cette époque. Mais les observations montrent que la dépression piézométrique engendrée dans les années 60-70 n’existe plus sous la forme dont elle a été décrite par le passé.

Pour les dépressions proches de la Seine, on peut faire l’hypothèse d’un drainage de la nappe par les eaux de surfaces ou réseaux de fossés de drainage.

A l’inverse, plusieurs secteurs font apparaître des altitudes plus élevées de la nappe des alluvions et de la craie : en aval des sources de Radicatel, d’Aizier et d’Oudalle et plus paradoxalement au centre de la ZIP (pointillés oranges +4 à +5 m NGF environ). Cet élément avait partiellement été mis en évidence dans les études passées (Burgéap et BRGM dans les années 1970 pour la zone de Port Jérôme et confirmé à nouveau par Burgéap (2020) sur le secteur de Radicatel.

Cette zone plus haute de la nappe semble constituer une structure continue parallèle à la direction NW-SE de la structure faillée principale entre l'aval des cours d'eau de Radicatel, Fourneau, Commerce, Theluet se prolongeant en rive opposée vers Aizier.

On peut s'interroger sur son origine : cet élément souligne-t-il un axe lithostructural ou une zone d'émergences karstiques occultes sous les alluvions ? On peut également faire l'hypothèse qu'en présence de berges revêtues, imperméabilisées ou colmatées (cf. chapitre 3.2 et 4.3.3), les relations entre la nappe et la Seine pourraient être probablement limitées, faisant remonter localement le niveau de la nappe.

A l'inverse, au niveau de la boucle de Brotonne, sur le secteur de Vatteville, la Seine semble drainer fortement la nappe. Cette influence ne se fait pas ressentir uniquement à proximité des berges mais également très en aval sur une large portion de la plaine alluviale jusqu'à Petiville.

A Port-Jérôme, les niveaux et écoulements sont influencés par les pompages en nappe. On constate un léger abaissement du niveau de la nappe, vers la côte, de 1 à 3 m NGF. Les rabattements engendrés par les prélèvements industriels seraient donc toujours de l'ordre de 2 à 3 m, le niveau moyen s'établissant autour de 4 m NGF (cf. paragraphe 4.2.1).

Enfin, sur le secteur de Tancarville, la nappe semble drainée naturellement vers la Seine et son estuaire.

Au droit de la terrasse alluviale de Quillebeuf-sur-Seine, la nappe semble drainée dans plusieurs directions : le Marais Vernier au sud-ouest, le canal de Saint-Aubin au nord-ouest et la Seine au nord/nord-est. Cependant, le nombre de mesures au droit de ce secteur ne permet pas de valider complètement ces hypothèses.

Localement, la piézométrie est très probablement influencée par les aménagements drainants, tels que les réseaux de fossés ainsi que les petits cours d'eau (Marais Vernier notamment). Toutefois l'échelle de la carte et les nombreuses autres perturbations anthropiques (pompages notamment) ne permettent pas de le distinguer aisément.

Les mesures réalisées en 2017-2019 semblent donc confirmer que la dépression piézométrique observée dans les années 1970 n'est pas ici représentée.

Différence entre les deux situations 2017 et 2019

D'après les cartes piézométriques de 2017 et de 2019, les écoulements des eaux souterraines et les limites des bassins versants souterrains n'évoluent que très peu (Illustration 146 et Illustration 148), confirmant le fait que les deux campagnes aient été réalisées dans des conditions hydrologiques très proches, cf. point réalisé en début de ce chapitre sur la période hydrologique de réalisation de ces deux campagnes (Illustration 143 page 216).

Entre les mesures de 2017 et de 2019, les niveaux de la nappe de la craie varient jusqu'à 3 à 3,5 m en plateaux et de 0,5 à 1 m en vallées humides. Cette information nous renseigne sur l'estimation du battement de la nappe entre les deux périodes de mesures, confirmant les éléments présentés au paragraphes 4.2.2 sur les périodes hydrologiques.

On constate, dans l'ensemble, que l'aquifère a une réponse relativement homogène entre la piézométrie de 2019 et celle de 2017. Les différences les plus importantes s'observent au droit

de points pour lesquels il n'y a eu qu'une unique mesure, soit en 2017, soit en 2019 (Illustration 155).

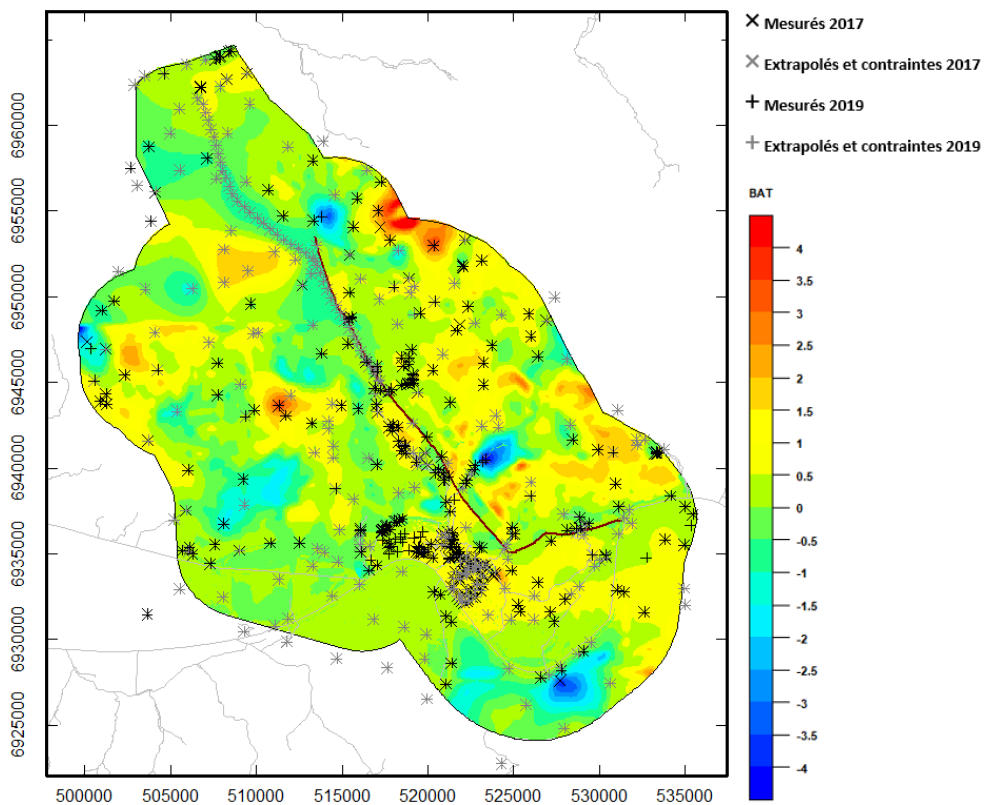


Illustration 155 : Carte de la différence des niveaux piézométriques interpolés entre 2019 et 2017

Profondeur de la Nappe

Les zones non saturées ont été calculées en prenant en compte le MNT 5m ©IGN (Illustration 156 et Illustration 157 page suivante).

Les cartes établies montrent que la nappe est très peu profonde voire sub-affleurante en particulier dans les vallées humides, et plus spécifiquement dans la vallée de la Seine (exutoire principal connecté au niveau de base de la Manche).

A contrario l'épaisseur de la zone non saturée atteint généralement 60 à 80 m de profondeur sous les plateaux, et dépasse même les 100 m au nord de Goderville, vers la mer, et au sud sur certains plateaux crayeux dominant la vallée de la Seine de part et d'autre de la vallée du Commerce (Le Platon, Les Champs Nigauds notamment).

Les cartes proposées (Illustration 158) permettent de faire une estimation grossière, à la précision près des grilles d'interpolation piézométriques et du MNT, des secteurs où la nappe pourrait être potentiellement sub-affleurante ou en charge (cote de la nappe supérieure à celle du sol ou du substratum des formations alluviales récentes).

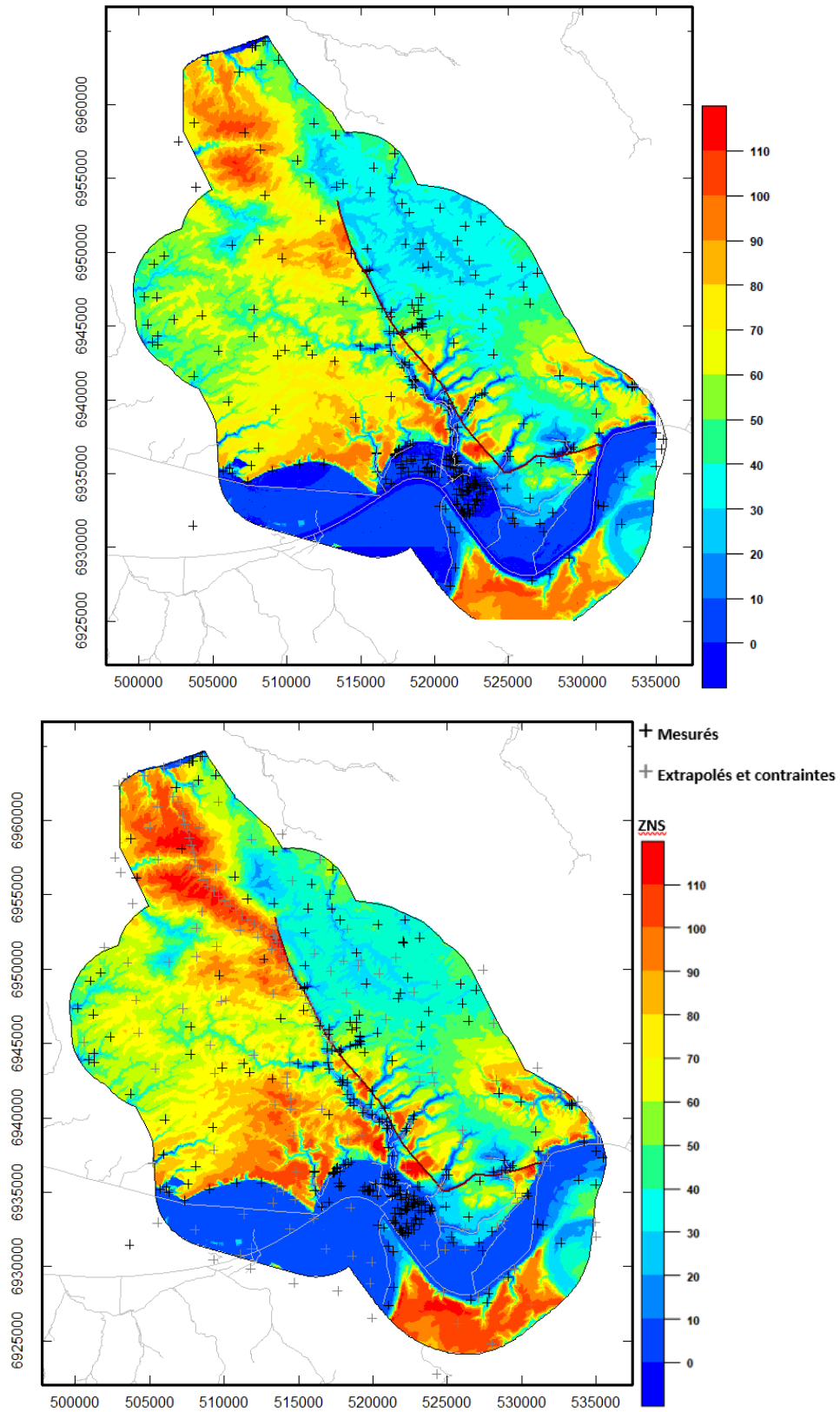


Illustration 156 : Carte de la profondeur de la nappe en 2017 (épaisseur de la zone non saturée) – version 1 (haut) et version 2 (bas)

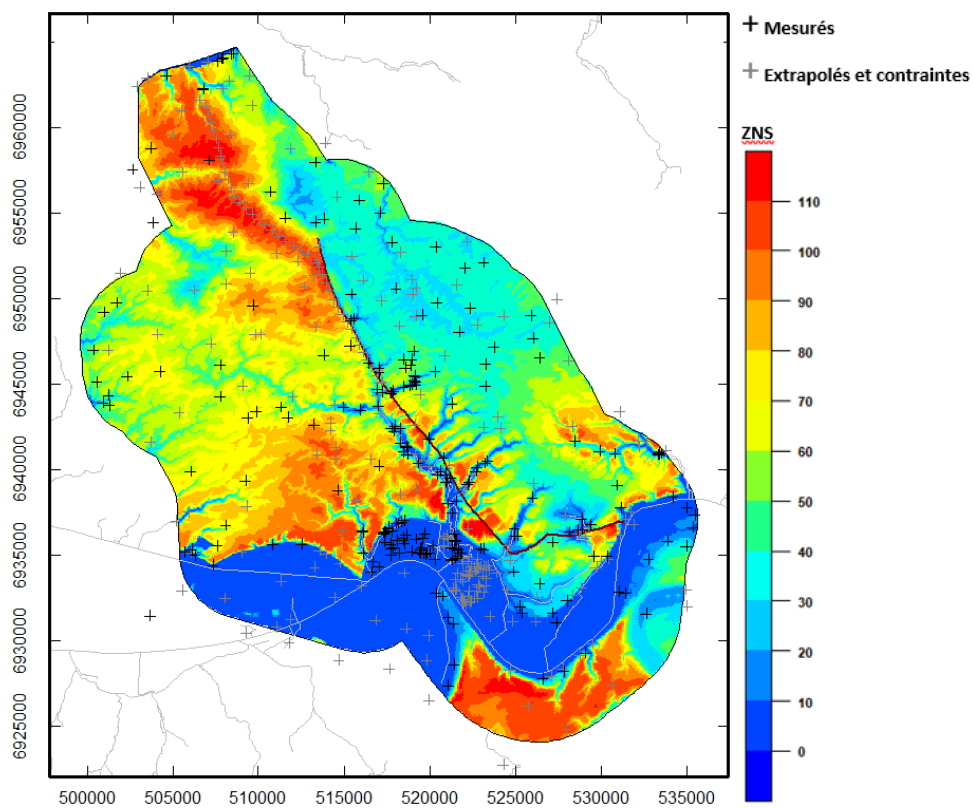
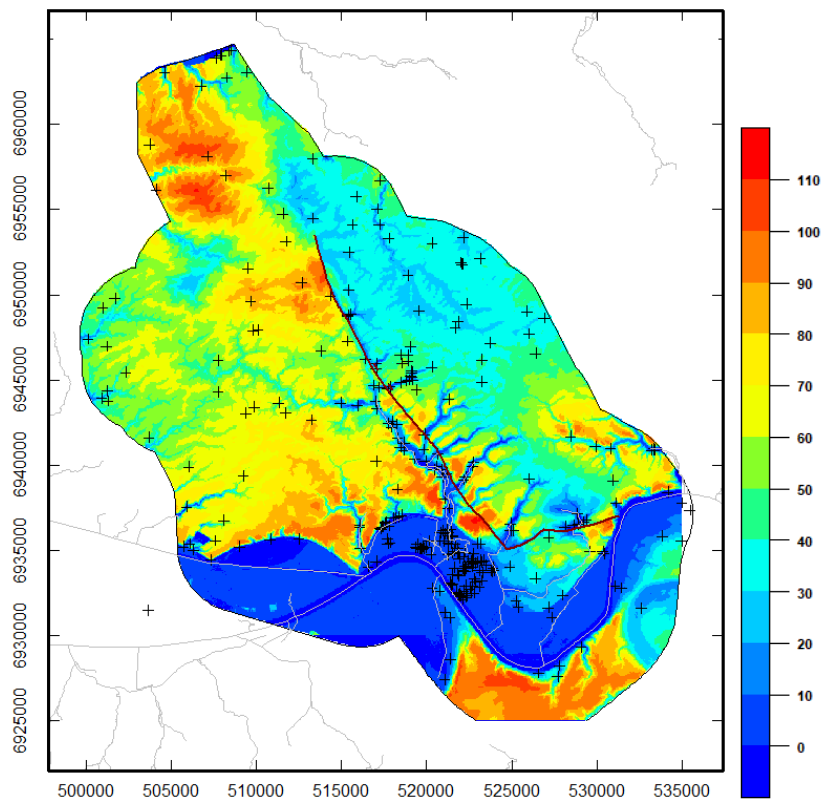


Illustration 157 : Carte de la profondeur de la nappe en 2019 (épaisseur de la zone non saturée) version 1 (haut) et version 2 (bas)

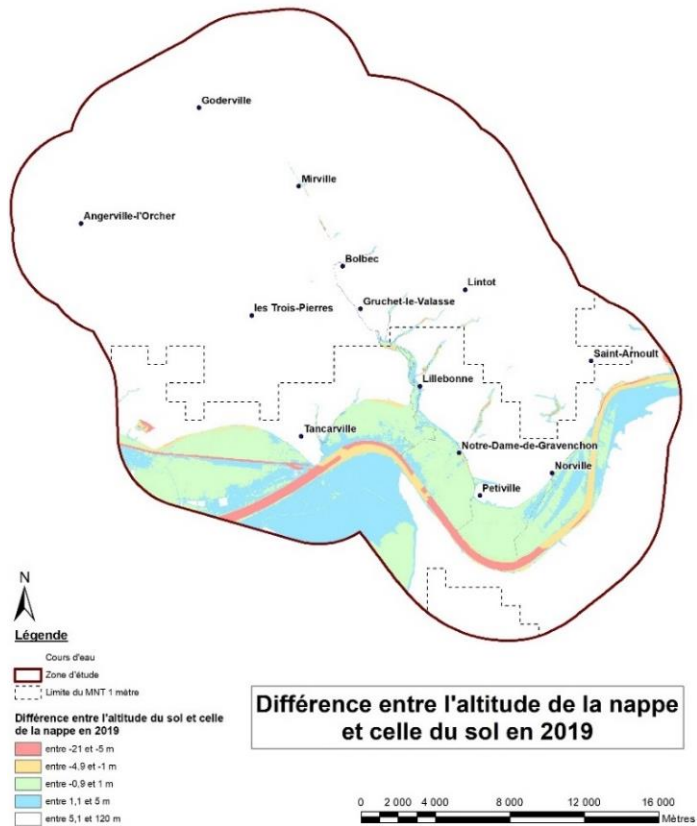
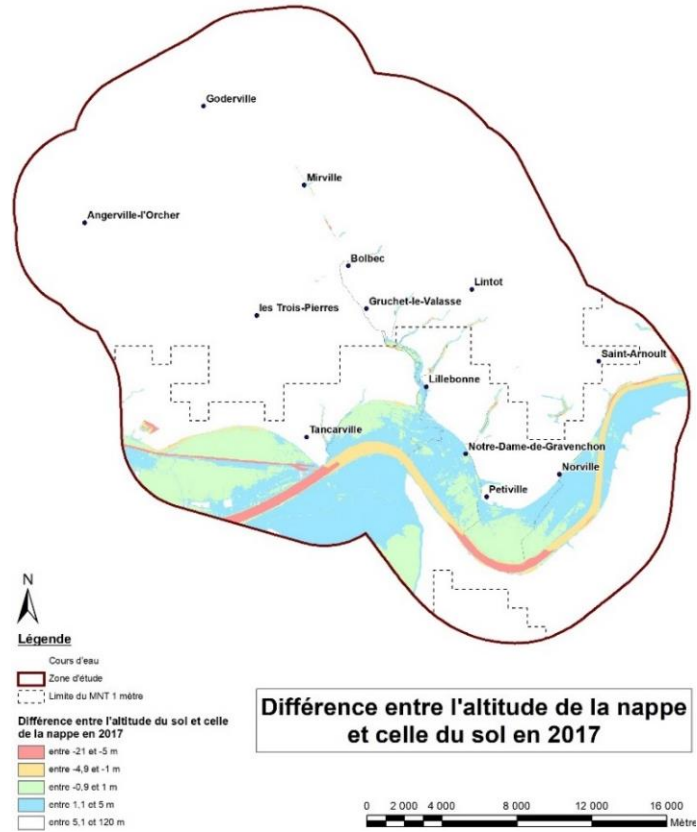


Illustration 158 : Différence entre niveau de nappe interpolé et modèle numérique de terrain

NB : On rappelle que le secteur d'Exxon-Mobil n'a pas pu faire l'objet de mesures en 2019.

4.3. SUIVI DES NIVEAUX DE NAPPE DE LA CRAIE ET DES ALLUVIONS

Dans ce paragraphe nous allons détailler les informations tirées du suivi du niveau des nappes réalisé sur les réseaux piézométriques locaux :

- Les piézomètres du réseau patrimonial DCE (BRGM/OFB) ;
- Les ouvrages du réseau quantitatif du SAGE Commerce.

Les ouvrages appartenant à ces différents réseaux sont représentés sur l'illustration 165 page 242.

4.3.1. Données du réseau national

Sur le territoire d'étude, on dispose de deux piézomètres du réseau BRGM/OFB implantés dans la craie et situés de part et d'autre du système faillé de Fécamp-Lillebonne (cf. Illustration 165).

L'analyse réalisée à partir des données disponibles comprend pour chaque piézomètre l'estimation des grandeurs suivantes :

- les niveaux moyen, minimum et maximum, interannuels et annuels ;
- les amplitudes interannuelles ;
- les statistiques mensuelles interannuelles.

A. Piézomètre des Trois-Pierres

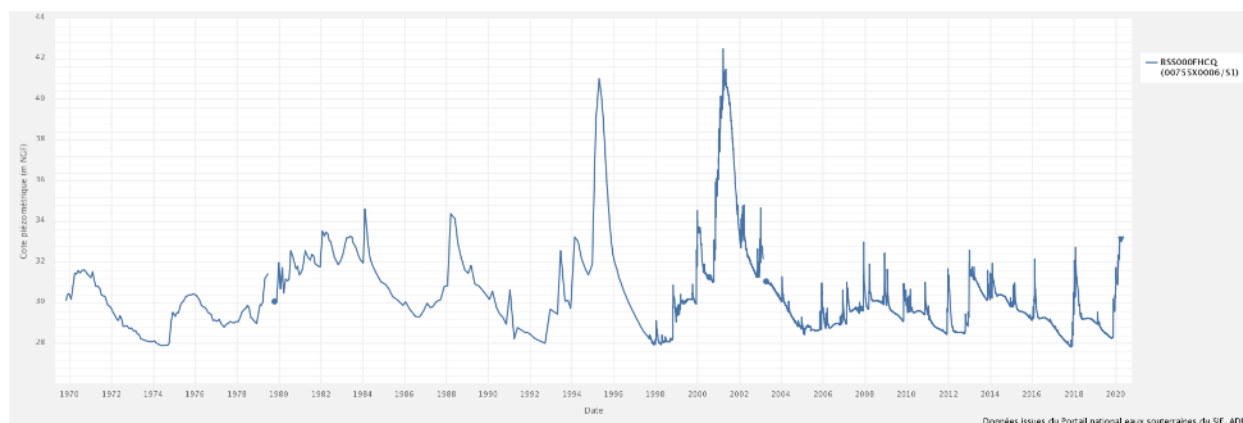


Illustration 159 : Variation du niveau de nappe enregistrée sur le piézomètre des Trois-Pierres (période de mesures de 1969 à 2020) source ADES.

L'illustration 159 montre qu'il existe des cycles de variations annuelles, saisonnières, et des cycles pluriannuels de l'ordre de 5 à 8 ans. Ce dernier correspond sans doute à l'oscillation nord-atlantique (NAO). En effet, le territoire du SAGE Commerce se trouve sous influence d'un climat de type océanique (cf. chapitre 5.2).

Comme le montre le Tableau 20, l'amplitude interannuelle maximum est importante : 14,65 m. Cette valeur dépasse de beaucoup celles des amplitudes calculées ci-après pour les cycles annuels.

On peut donc en conclure que le signal des cycles pluriannuels est prédominant sur celui des cycles annuels.

Date	Cote piézo.	Valeur en m NGF
23/03/2001	Max	42,48
-	Moy	30,21
09/11/2017	Min	27,83

Tableau 20 : Statistiques interannuelles du piézomètre des Trois Pierres, source : ADES

L'illustration 160 le confirme : on remarque en effet que, sur la période 1969-2020, les amplitudes annuelles sont moins importantes. Elles sont en moyenne de 2,5 m (Max : 9,1 m en 2001 et Min : 0,39 en 1977). Celles-ci sont donc beaucoup plus faibles que les variations interannuelles.

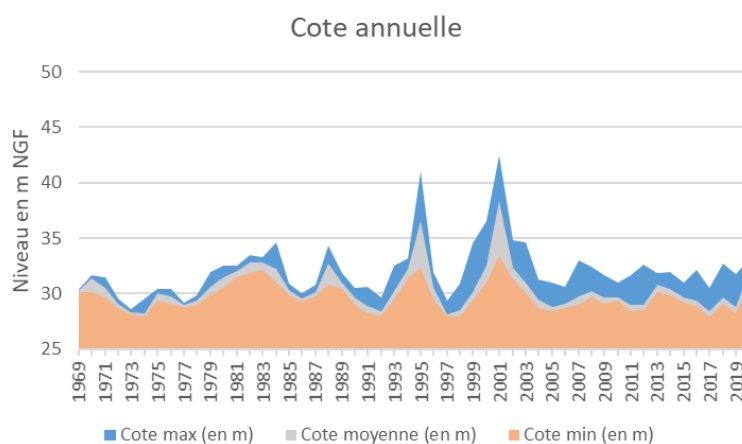


Illustration 160 : Statistiques annuelles du piézomètre des Trois-Pierres, source : ADES

Il est à noter que les valeurs supérieures à 35 m NGF n'ont été atteintes qu'en deux pics sur la période de mesure : en 1995 et 2001. Il s'agit donc a priori de deux situations exceptionnelles de hautes eaux de la nappe. Ce que confirme l'analyse statistique mensuelle présentée dans l'illustration 161 suivante.

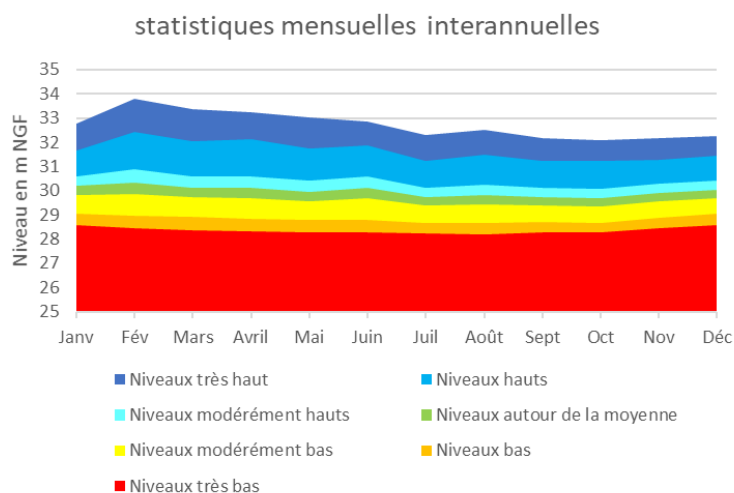


Illustration 161 : Cotes statistiques mensuelles du piézomètre des Trois-Pierres, calcul de l'indicateur piézométrique standardisé (IPS), source : ADES

On remarque que les plus hautes eaux statistiques interviennent généralement à la fin de l'hiver.

B. Piézomètres de Hattenville et Yébleron

Le piézomètre d'Hattenville (00753X0030/S1) possède une chronique suivie de 1969 à 2015, il a depuis été remplacé dans ses fonctions par le piézomètre de Yébleron (00753X0014/F) suivi de 2016 à 2020 (cf. Illustration 162 ci-dessous). Ce dernier sera utilisé par la suite dans le cadre du suivi opéré sur le SAGE Commerce.

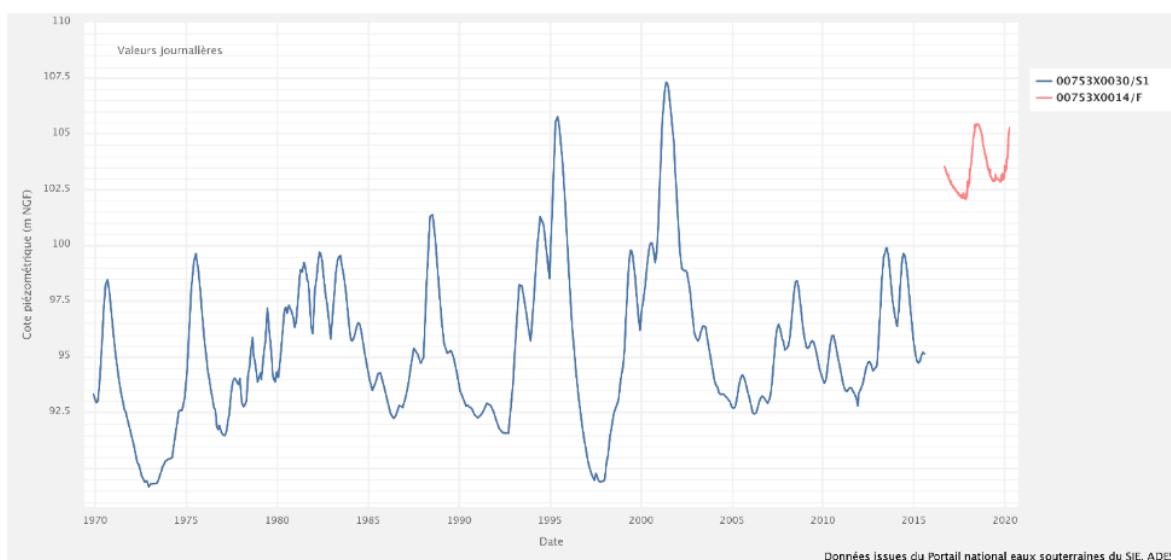


Illustration 162 : Variation du niveau de nappe enregistrée sur les piézomètres d'Hattenville et de Yébleron (période de mesures de 1969 à 2015) source ADES.

L'illustration 162 montre également sur ce secteur qu'il existe des cycles de variations annuelles, saisonnières, et des cycles pluriannuels plus longs de type NAO.

Comme le montre le Tableau 21 suivant, l'amplitude interannuelle maximum est importante : 18,2 m. Cette valeur dépasse également celles des amplitudes calculées ci-après pour les cycles annuels.

Dans ce cas également, le signal des cycles pluriannuels est prédominant sur celui des cycles annuels.

Date	Cote piézo.	Valeur en m NGF
14/05/2001	Max	107,3
-	Moy	95,38
19/02/1973	Min	89,13

Tableau 21 : Statistiques interannuelles du piézomètre d'Hattenville, source : ADES

On remarque que la cote piézométrique moyenne (exprimée en m NGF) est très supérieure à celle du piézomètre des Trois Pierres. La différence est de 65 m entre ces deux ouvrages pourtant situés à la craie. Leur position respective sur les compartiments effondrés et surélevés située de part et d'autre de la faille Fécamp-Lillebonne pourrait donc expliquer ce delta.

Sur la période 1969-2015, les amplitudes annuelles sont moins importantes. Elles sont en moyenne de 3 m (Max : 7,7 m en 1996 et Min : 0,66 en 1991). Celles-ci sont donc beaucoup plus faibles que les variations interannuelles (cf. Illustration 163).

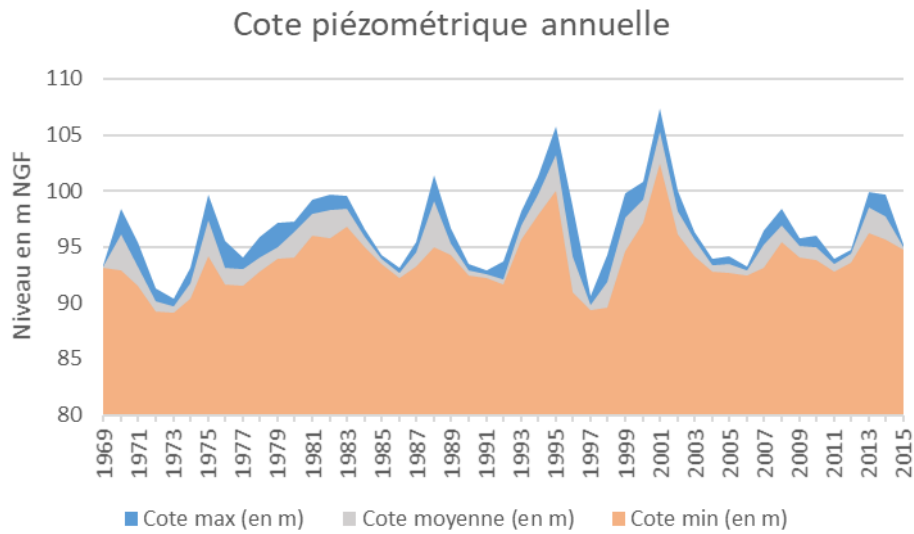


Illustration 163 : Statistiques annuelles du piézomètre d'Hattenville, source : ADES

Dans ce cas également, les valeurs supérieures à 100 m NGF n'ont été atteintes qu'en 1988, 1996 et 2001. Il s'agit donc là également de situations exceptionnelles de hautes eaux de la nappe. Ce que confirme l'analyse statistique mensuelle présentée dans l'illustration 164 suivante.

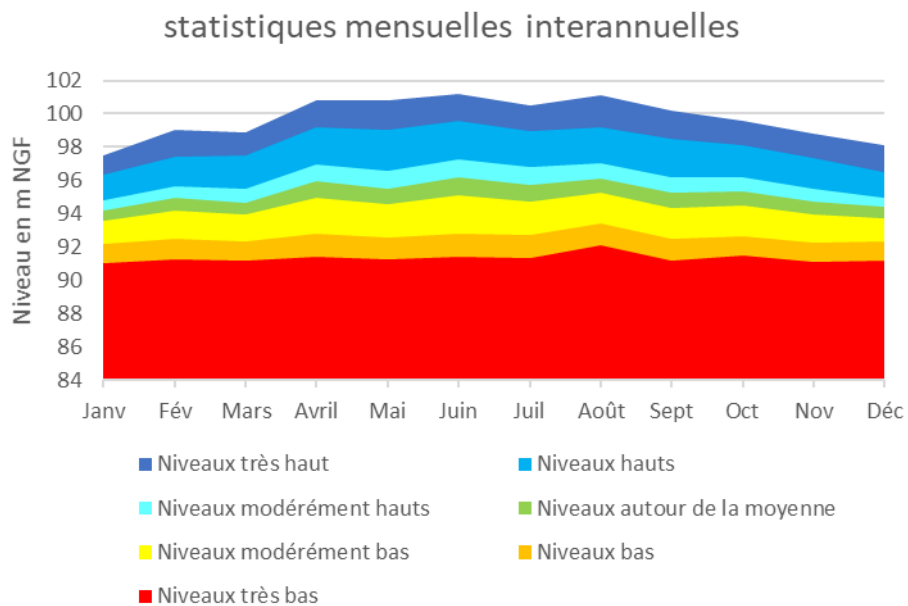


Illustration 164 : Cotes statistiques mensuelles du piézomètre d'Hattenville, calcul de l'indicateur piézométrique standardisé (IPS), source : ADES

Sur ce graphique on distingue que les périodes statistiques de plus hautes eaux interviennent généralement au printemps et se prolongent jusqu'à l'été. Il existe donc un décalage temporel avec les périodes statistiques de précipitations les plus abondantes (automne et début de l'hiver) – (cf. chapitre 5.2). Il existe donc un décalage temporel, de 4 à 6 mois, marquant l'inertie du système aquifère. Ce décalage temporel est plus important pour le piézomètre d'Hattenville que pour celui des Trois-Pierres où il n'est que de 1 à 2 mois seulement.

Il existe donc une dynamique très différente entre ces deux ouvrages situés de part et d'autre du système faillé de Fécamp-Lillebonne.

4.3.2. Mise en œuvre d'un réseau de suivi quantitatif des eaux souterraines du SAGE Commerce

Dans le cadre de cette étude, 10 ouvrages (plus 5 temporaires) ont été équipés sur le territoire du SAGE de manière à assurer un suivi des différents compartiments lithologiques et structuraux. L'implantation des points de suivi s'est faite sur la base des critères suivants :

- Sur les plateaux crayeux de part et d'autre du système faillé de Fécamp-Lillebonne dans les compartiments surélevés et abaissés ;
- Sur les zones de crêtes piézométriques aux extrémités du territoire du SAGE, afin de disposer des variations de niveau sur les zones de conditions aux limites du futur modèle numérique ;
- Au plus près du système karstique développé autour du système faillé principal, notamment dans le vallon de Bolbec ;
- Dans les alluvions à une distance croissante de la Seine ;
- A proximité de certaines zones humides prioritaires.

Cinq autres ouvrages complémentaires, en cours d'équipement par Caux Seine Agglomération, devraient venir compléter le réseau de mesure existant. Ce qui porterait le total d'ouvrages à une vingtaine. Tous les points n'auront pas vocation à être pérenne.

Les ouvrages équipés ont été sélectionnés parmi les forages, puits, piézomètres existants ; en fonction de critères d'accessibilité/disponibilité, de profondeur, de diamètre et d'absence de prélèvements. Un seul piézomètre a été créé spécifiquement pour les besoins de cette étude à St Antoine la Forêt. La coupe de cet ouvrage est reportée en annexe 3.

Les ouvrages ont été équipés, dans une grande majorité, de sondes de mesure en continu des niveaux, de la conductivité et de la température.

Les caractéristiques des ouvrages appartenant au réseau « SAGE Commerce » sont détaillées dans le Tableau 22 en page suivante. Leur localisation a été reportée sur l'illustration 165 présentée page 242.

Important : Le nombre de points de suivi à équiper était limité dans le cadre de ce programme. Il n'a donc pas été possible d'équiper les vallées de doublets ou triplets piézométriques pour pouvoir évaluer les différences de comportement entre les différents aquifères (alluvions fines/grossières/craie).

De plus, il aurait notamment été intéressant de déployer ce suivi entre les secteurs de Radicatel et de Norville. Une réflexion globale serait à mener à ce sujet en lien également avec le déploiement d'un réseau de qualitomètres.

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

BSS	Dénomination	Commune	Z_NGF (m) rep_mes	prof_eau	prof_ouvrage	Hauteur margelle/sol	Géologie	Rôle
BSS002PZJQ	église	Beuzeville la Grenier	119,05	53,44	54,72	1	Craie	Limites modèle SAGE
00756X0142	Dégenetais	Bolbec	73,6	6,74	31	0	Gaize	Zone de Faille
BSS003QDDU	SD5 - Mairie Bolbec	Bolbec	50,8	16,25	50	0,52	Craie	Rôle hydrogéologique de la faille
BSS003QDIO	SD7 - Place des Lions	Bolbec	36	12	30	0,42	Craie	Comportement vallée Bolbec Crue de nappe/risque inondation
00748x0004	ferme la brière	Grainbouville	121,71	60,67	64,70	0,83	Craie	Limites modèle SAGE
BSS002QABW	Abbaye F2	Gruchet le Valasse	14,47	0,53	42	0,26	Craie	ZH Gruchet
BSS003TFDQ	PZ3 Aulnes	Lillebonne	9,08	2,09	8,1	0,76	Alluvions	ZH Lillebonne
BSS003TUCC	SP2 Technosol	Lillebonne	4,98	0,91	5,4	0,52	Alluvions	Fonct. Vallée de Seine Alluvions
BSS003TUBI	Port Jerome 2	Lillebonne	5,87	3,6	4	0,8	Alluvions	Fonct. Vallée de Seine Alluvions
BSS003TUAO	Port Jerome 1 CVS	Lillebonne	5,97	0,91	5,4	0,57	Alluvions	Fonct. Vallée de Seine Alluvions
00752X0033	Le Château	Mirville	95,49	3,87	18,4	0	Craie	Limites modèle SAGE
00752X0023	château de baclair	Nointot	134,14	37,87	40	0,14	Craie	Limites modèle SAGE
00983X0111	Petiville	Petiville	16,2	11,59	12,8	0,8	Craie	Fonct. Vallée de Seine Alluvions
00758X0051	Le bois rond Claville	Saint Arnoult	73,51	32,4	33,7	0,65	Craie	Limites modèle SAGE
BSS003QDJY	PZ St Antoine	St Antoine la Forêt	127,1	70,7	115	0,48	Craie	Dôme Piézo amont Radicatel
00756X0047	SPIE6 Radicatel	St Jean de Folleville	4,97	1,2	37	0,28	Alluvions	ZH Vallée de Seine Fonct. Vallée de Seine Alluvions
00982X0192	Ecostuaire	St Jean de Folleville	5,06	2,19	10,53	0,55	Alluvions	Fonct. Vallée de Seine Alluvions
00758x0041	Fontaine St Jean Baptiste	Triquerville	96,23	1,75	65	0,52	Craie + Albien	Rôle hydrogéologique de la faille
00753X0029	Puits communal	Trouville-Alliquerville	143,59	46,52	48,65	0,57	Craie	Limites modèle SAGE

Tableau 22 : Caractéristiques des ouvrages de suivi piézométrique du SAGE Commerce

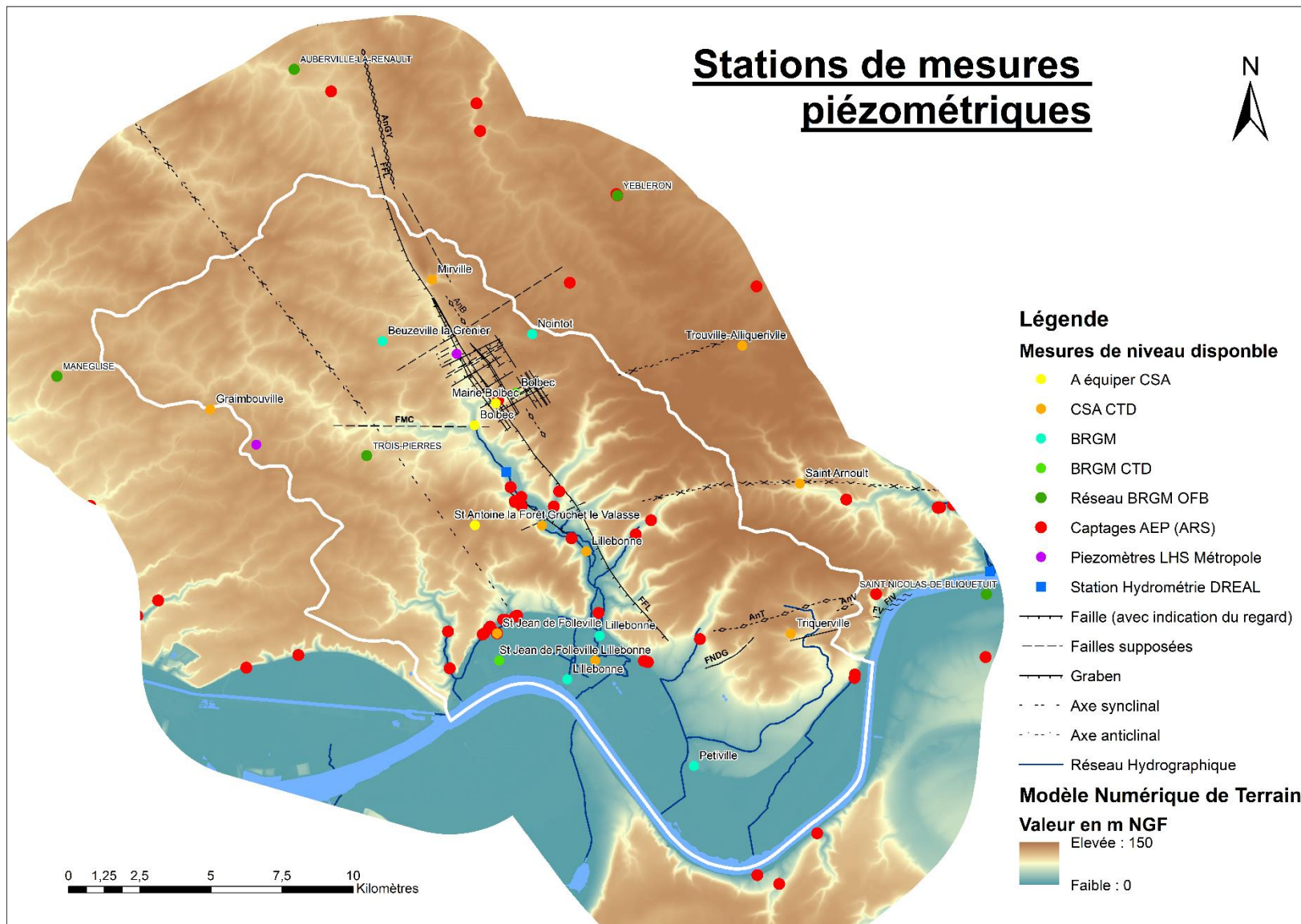


Illustration 165 : Suivi du niveau des nappes réalisé à l'échelle du territoire du SAGE Commerce

4.3.3. Analyse des données collectées sur le réseau du SAGE

L'analyse proposée ci-après couvre au maximum 1 an et demi à deux ans de relevés entre mi 2017 et fin 2019.

Important : le suivi mis en œuvre n'est à ce jour pas suffisant pour décrire l'existence d'éventuelles variations interannuelles. La profondeur de données est, au moment de l'écriture du rapport, de tout juste deux années civiles. Les chroniques sont donc, pour le moment, trop courtes pour pouvoir effectuer des tests statistiques et tout juste assez longues pour décrire des fluctuations annuelles. Les variations présentées ci-après ne sont donc données qu'à titre indicatif.

Pluviométrie pendant la période de suivi

Les données pluviométriques mensuelles pendant la période de suivi sont présentées ci-après à titre de comparaison (Illustration 166). Il est à noter que la pluviométrie a été particulièrement abondante pendant l'hiver 2017-2018 et également à l'automne-hiver 2019-2020.

Les cumuls sont relativement importants localement, pour ces périodes mais également pour l'ensemble du bassin versant de la Seine. Dans les deux cas ces précipitations ont généré des crues remarquables probablement proches d'une fréquence décennale.

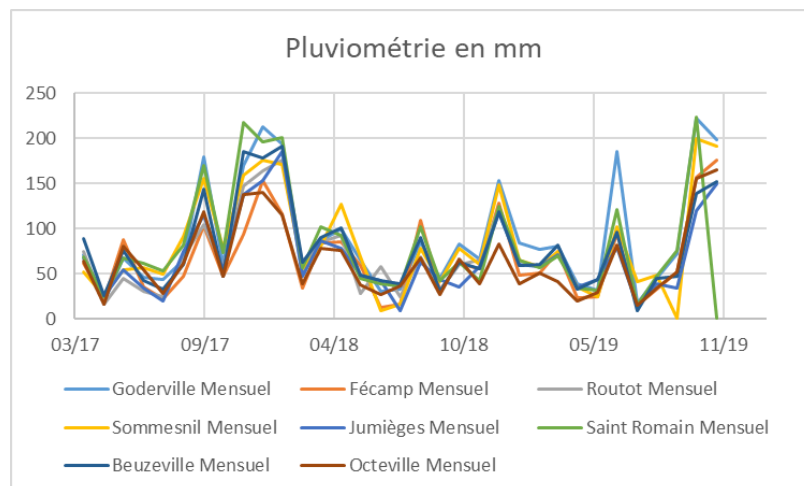


Illustration 166 : Pluviométrie mensuelle pendant la période de suivi des niveaux de nappe

Fluctuation annuelles

A. Plateaux Crayeux

Ouvrages	Amplitudes maximales des variations annuelles	Décalage avec le pic de précipitations	Durée de la vidange	Forme de la courbe
St Arnoult	0,4 m	0 à 1 mois	6 mois	Assez saccadée avec de petits pics
Mirville	3,2 m	0 à 1 mois	6 mois	Assez lisse avec de grands pics
Nointot	2,9 m	ND	ND	Assez saccadée avec de petits pics
Graimbouville	0,5 m	0 à 1 mois	7 mois	Assez lisse avec de grands pics
Les Trois-Pierres	3,6 m	0 à 1 mois	8 mois	Assez lisse avec de grands pics
Triquerville	1,2 m	0 à 1 mois	5 mois	Assez lisse avec des pics assez marqués
Yebleron	2,5 m	6 à 7 mois	3 mois	Assez lisse avec des pics assez marqués
Degenestais	0,5 m	10 à 12 mois	10 à 12 mois	Courbe assez saccadée avec grandes amplitudes
Beuzeville	0,2 m	10 à 12 mois	10 à 12 mois	Courbe assez lisse avec grandes amplitudes
Trouville Alliquerville	< 0,1 m	ND	ND	Oscillation presque plate

Tableau 23 : Caractéristiques principales des chroniques piézométriques du domaine crayeux

Certaines chroniques piézométriques des ouvrages situés sur les plateaux présentent des caractères similaires. Des regroupements ont été proposés à partir de l'analyse de la morphologie des courbes (cf.), leurs principaux éléments descriptifs étant regroupés dans le Tableau 23 ci-dessus.

Les éléments d'interprétation suivants sont proposés :

- Les ouvrages de **St Arnoult, Mirville, Nointot, Graimbouville et les Trois-Pierres** possèdent un signal caractéristique des milieux karstiques normands avec des pics assez marqués correspondant vraisemblablement à des mises en charge de conduits karstiques sous l'effet de précipitations. On observe notamment des effets de dilution (Mirville par exemple) ou à l'inverse d'arrivées d'eaux minéralisées (Nointot), observés sur le paramètre conductivité. Certains signaux avec des courbes saccadées montrent probablement des effets de filtre de l'épikarst ou de variations de la pression atmosphérique (provoquant un effet de dilatation dans les conduits noyés). Il existe peu de décalage temporel entre les précipitations et leur réponse piézométrique. Entre chaque pic, on note une période de drainage de la matrice crayeuse assez importante, qui peut s'étirer sur 6-8 mois.
- Les chroniques piézométriques des ouvrages de **Triquerville et Yebleron** présentent quelques similitudes : une période de recharge assez longue et un période de drainage

de l'aquifère donc plus courte. Par contre, le décalage temporel entre les précipitations et leur réponse piézométrique est important sur l'ouvrage de Yébleron (effet inertiel, traduisant probablement le rôle de filtre des formations superficielles et de la zone non saturée), à l'image du piézomètre d'Hattenville dont le comportement a été analysé dans le paragraphe précédent.

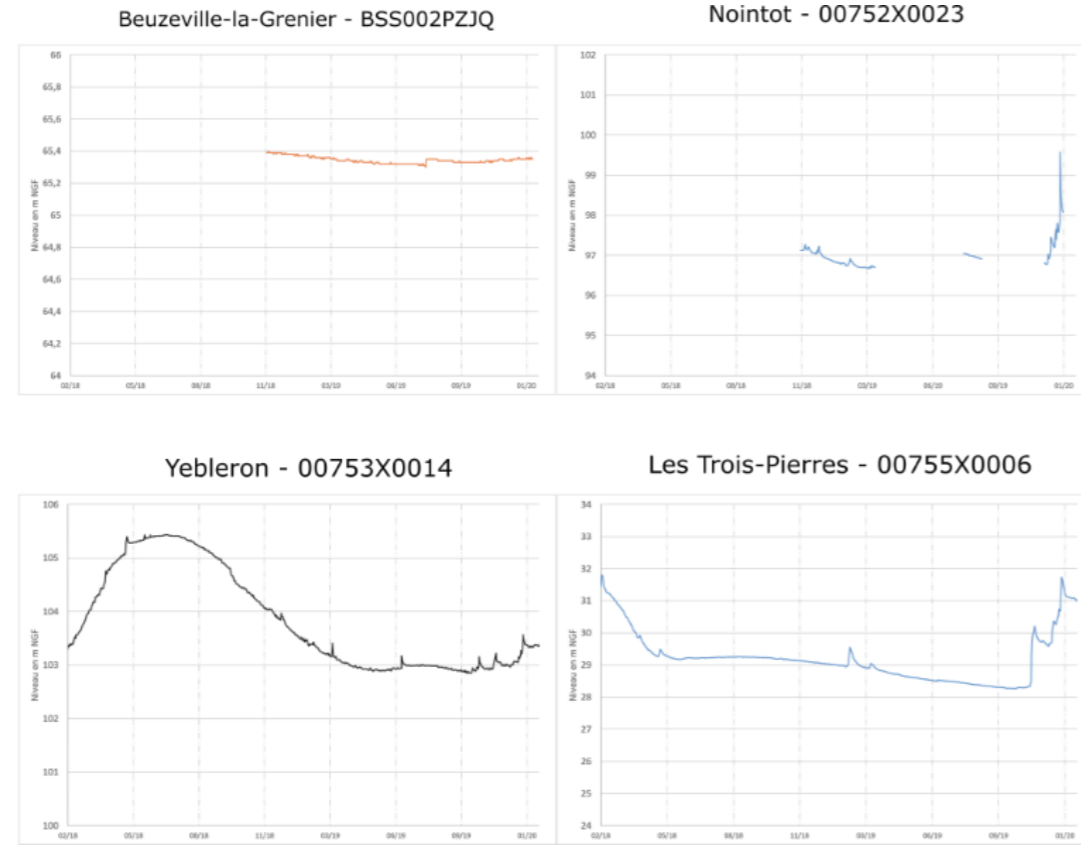
Pour Triquerville, la réponse aux périodes de fortes précipitations est plus immédiate et bien marquée en termes d'amplitude, ce qui pourrait caractériser un aquifère fissuré. A l'inverse pour l'ouvrage de Yébleron la courbe est très lissée ce qui est caractéristique du comportement de la matrice.

- Les chroniques piézométriques des ouvrages **Degenestais et Beuzeville** montrent des fréquences correspondant à de grandes longueurs d'ondes avec des amplitudes très faibles (probablement pluriannuelles). Ces courbes sont souvent caractéristiques des milieux confinés et peu perméables. On peut donc faire l'hypothèse de milieux peu perméables.

A noter : la chronique de Trouville-Alliquerville ne présente presque pas de variations annuelles et interannuelles (attention toutefois à la notion d'échelle en comparaison).

L'analyse de la conductivité montre que les grandeurs caractéristiques de la craie se situent autour 600 à 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. On distingue deux anomalies : 1) l'ouvrage de Mirville, où les eaux sont très peu minéralisées, valeur proche de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ caractérisant habituellement des eaux jeunes, de type eau de surface ou eau souterraine à faible interaction eau/roche ; et 2) l'ouvrage de Desgenestais, où les eaux sont très minéralisées, valeur proche de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ caractérisant habituellement des eaux chargées en éléments particuliers ou dissous, marqueur de pollution ou d'interaction eau/roche forte (on rappelle que la conductivité des eaux de l'Albien de la zone d'étude serait de l'ordre de 200 à 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - cf. chapitre 7 sur la qualité des eaux).

Attention, échelle verticale différente



Attention, échelles verticales différentes

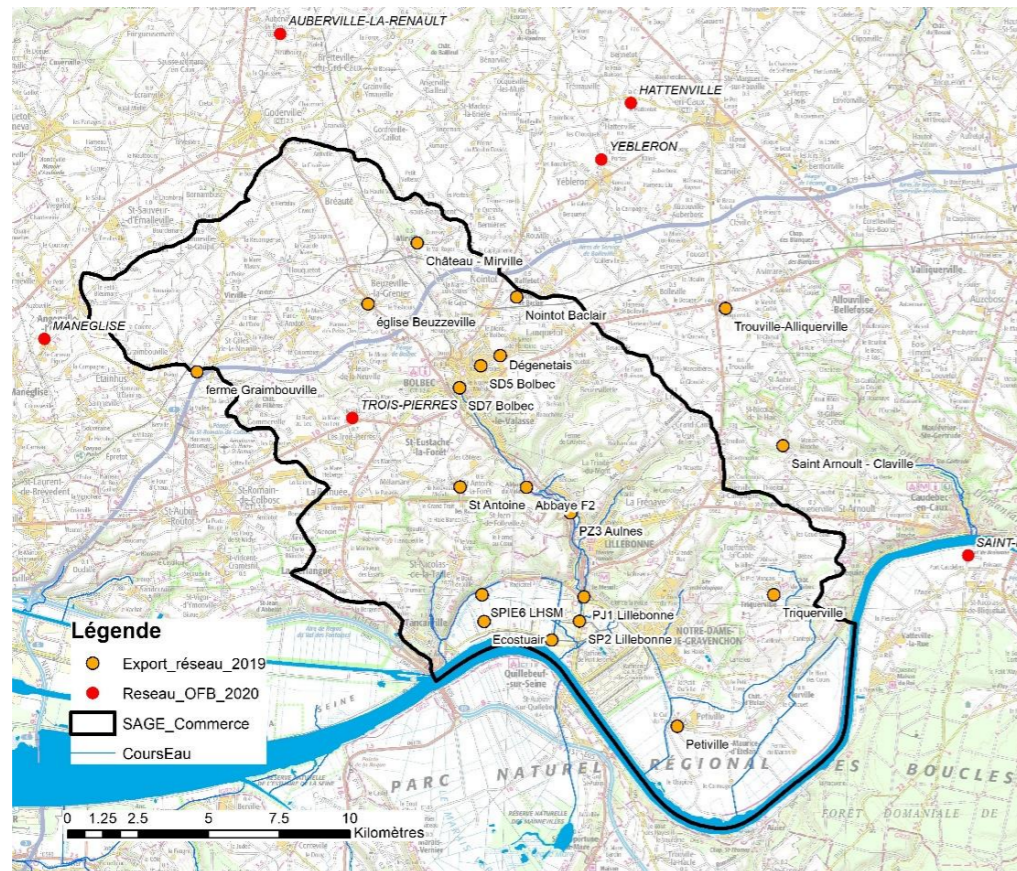


Illustration 167 : Suivi piézométrique des ouvrages en situation de « plateau », positionnés de part et d'autre de la faille Fécamp Lillebonne

B. Vallées de Bolbec/Commerce et plaine alluviale de la Seine

Si dans l'ensemble on dénote une certaine homogénéité du comportement des ouvrages implantés dans une grande majorité dans les alluvions fines (cf. Illustration 165 page 242, pour leur localisation), on peut distinguer tout de même trois types de variations des niveaux de nappe (Illustration 168 pages suivantes) :

- i. Des variations de très faible amplitude (< 0,5 m) et de très faible longueur d'onde (période 1/2 journée) correspondant aux épisodes de marées journalières. Ces variations ne peuvent pas être appréciées compte tenu de l'échelle du graphique. Nous renvoyons le lecteur au chapitre suivant pour plus de précisions ;
- ii. Des variations de faible amplitude (0 à 2 m) et de faible longueur d'onde : période de quelques dizaines de jours, pouvant correspondre soit à des épisodes pluvieux, soit à des marées d'équinoxe dont les effets se font ressentir quasi-instantanément sur les niveaux piézométriques. Ces variations se font ressentir sur l'ensemble des ouvrages ;
- iii. Des variations de faible amplitude (1 à 3 m) et de plus grande longueur d'onde correspondant aux variations saisonnières de l'aquifère régional (cycle hydrologique annuel).

On remarque un décalage temporel entre les variations du piézomètre de Petiville, à la craie, et celles des ouvrages implantés dans les alluvions. Une plus grande inertie est constatée dans la craie (retard de dix à vingt jours environ).

Il est à noter que ces observations se corrèlent bien avec celles réalisées par Fournier (2006) et Burgéap (2020) – cf. paragraphe 4.5.4. Il est à noter qu'une part prépondérante de ces variations est liée directement aux échanges avec le niveau de base des cours d'eau. **Par traitement du signal, Burgéap (2020) estime que le signal lié aux précipitations représente 80 à 90 % du signal enregistré sur les piézomètres implantés dans les alluvions fines du secteur de Radicatel. Les 10% restant représenteraient des variations liées à la marée (journalière et d'équinoxe qui s'atténue rapidement avec la distance au fleuve) ou à des facteurs externes comme les pompes.**

Ces échanges peuvent s'effectuer par transfert de pression ou de masse.

En comparant la chronique du piézomètre Port Jérôme 2 avec celles des piézomètres : Ecostuaire, Spie 6, Port Jérôme 1, Technosol, on constate ce que nous interprétons comme un effet d'atténuation des variations de type ii lors des périodes des hautes eaux du cycle saisonnier iii.

Deux hypothèses peuvent expliquer cette atténuation :

- La première pourrait être **l'effet du réseau de drainage existant** sur l'ensemble de la zone d'étude (cf. paragraphe 3.1). Le fonctionnement de ce réseau limiterait la hausse du niveau piézométrique dans la frange superficielle des terrains, évitant ainsi l'ennoïement de ces anciens marais alluviaux (les remontées de nappes seraient en effet limitées par le fonctionnement du réseau de fossés connectés au fleuve par des clapets (effet de drain et de stockage des fossés sur la nappe alluviale) ;
- La seconde hypothèse est que l'atténuation se fait de manière contrainte par **débordement au-dessus de la cote du sol**. Dans cette hypothèse on s'attendrait à voir un palier. Ce qui n'est pas loin d'être le cas sur les piézomètres Port Jérôme 1 et Technosol, lors de l'hiver 2017-2018. La cote piézométrique est alors comprise entre 3 et 4 m NGF ce qui correspond plus ou moins à la cote topographique de la plaine alluviale.

Il est également envisageable une coexistence des deux phénomènes décrits ci-dessus.

Ce phénomène d'« écrêtage » a été également observé par Burgéap (2020) sur le secteur de Radicatel, invitant là aussi à émettre l'hypothèse de l'effet du réseau de drainage.

Sur le secteur de l'abbaye de Gruchet-le-Valasse, l'absence apparente de variations du forage F2 est liée à l'artésianisme de l'ouvrage et à l'aménagement non adapté du tubage pour un suivi des niveaux. En effet, pour le moment, le niveau enregistré se trouve au-dessus du tube piézométrique, celui-ci déborde en l'absence d'aménagement spécifique. Des travaux vont être mis en œuvre pour adapter la tête de cet ouvrage et en assurer une mesure efficace. Seule la période d'étiage 2019 a vu le niveau descendre sous le niveau du sol.

Le piézomètre PZ3 Aulnes (Lillebonne), implanté 2 km en aval de l'abbaye, montre très peu de variations. On peut donc s'interroger sur le caractère semi-captif à captif de cet ouvrage situé de plus à proximité immédiate du cours d'eau. La coupe lithologique nous indique l'existence de formations argileuses en surface qui pourraient effectivement contraindre les variations et échanges verticaux (cf. paragraphe 4.6.1 sur les zones où la nappe est sub-affleurante).

L'ouvrage de Petiville (craie) possède les plus fortes amplitudes marquant les variations interannuelles. Sur ces variations, Burgéap (1975) indique à partir de l'analyse des suivis mis en œuvre entre 1970 et 1975 que la nappe enregistre des épisodes de crue-décruie qui interviennent 3 à 5 mois plus tard que les périodes de fortes infiltrations.

Les auteurs précisent que le complexe aquifère est constitué par des alluvions grossières et de la craie et que celui-ci est recouvert par une quinzaine de mètres d'alluvions fines peu perméables. L'alimentation de ce complexe aquifère est estimée par les auteurs comme étant plus faible que sur les coteaux. Une partie importante des eaux qu'elle véhicule proviendrait de la craie par émergences occultes dans les alluvions. Les mesures réalisées sur des doublets de piézomètres sur le site Exxon-Mobile, seuls ouvrages disponibles implantés à la fois dans la craie et les alluvions ont permis de montrer que la nappe de la craie était à l'équilibre ou légèrement en charge (jusqu'à 10 cm de différence en plus pour les piézomètres à la craie) sous les alluvions fines.

Il est à noter que les niveaux atteints sur l'ouvrage de Petiville pendant l'hiver 2017-2018 atteignent presque le niveau moyen du PZ3 des Aulnes (alluvions du Commerce) situé pourtant plus de 2 km en amont de la plaine alluviale. Lors de cet épisode, la pente de la nappe entre la vallée du Commerce et la vallée de la Seine s'est fortement réduite, les exutoires étant saturés (remontée de la nappe alluviale sous les effets conjugués de la crue de la Seine et des fortes précipitations).

Une alimentation de la nappe par le fleuve semble peu probable en conditions normales. En effet, les niveaux de la nappe restent toujours supérieurs au niveau moyen de la Seine estimé à 1,4 m NGF (cf. paragraphe 3.4.1) : dans ces conditions, le fleuve draine la nappe. Toutefois, les gradients peuvent s'inverser : notamment lors des périodes de hautes eaux du fleuve (conditions de marées d'équinoxe ou de crue) ou encore sous l'effet des pompages dans la ZIP de Port Jérôme, les écoulements s'effectuent alors de la Seine vers la nappe alluviale.

Plus en amont dans la vallée du Commerce, on constate que le gradient moyen de la nappe est plus important encore : de l'ordre de 3,5 ‰ entre le forage F2 de Gruchet et le PZ3 du parc des Aulnes et de l'ordre de 1,2 ‰ entre PZ3 et SP2 par exemple. Cette observation coïncide également avec les gradients observés sur le niveau des cours d'eau, du Commerce en particulier (cf. paragraphe 3.2.3).

La conductivité dans les alluvions est très variable : de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à plus de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour certains ouvrages de la zone de Port-Jérôme (Technosol et Ecostuaire). Les fortes conductivités pourraient correspondre à une minéralisation plus importante de la nappe sous l'effet d'éléments particuliers ou dissous (contamination confirmée par Apave, 2017 pour le site Ecostuaire). Nous renvoyons le lecteur au chapitre 7 sur la Qualité des eaux pour plus de détails. Le piézomètre PZ3 (alluvions) se trouve quant à lui dans une situation intermédiaire, autour de 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

On note qu'à l'étiage 2019 les valeurs étaient importantes : de l'ordre de 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (caractéristique de la rivière du Commerce à Bolbec) et à l'inverse lors des hautes eaux de début 2018 la valeur est de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (caractéristique de la nappe alluviale non-influencée).

On peut donc faire l'hypothèse d'un effet de dilution des eaux de la nappe alluviale lié aux précipitations hivernales ou encore d'un effet de déconnexion entre la nappe alluviale et les cours d'eau à l'étiage. Les fortes valeurs de conductivité peuvent s'expliquer à priori soit par l'origine anthropique (activités polluantes et contaminations du sous-sol et de la nappe), soit par un transfert par les eaux superficielles provenant de l'amont.

D'une manière générale, dans cet hydrosystème, la conductivité est plus forte en période d'étiage et plus faible en période de hautes eaux ou de recharge importante, marquant l'effet d'une dilution sous l'effet des précipitations.

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

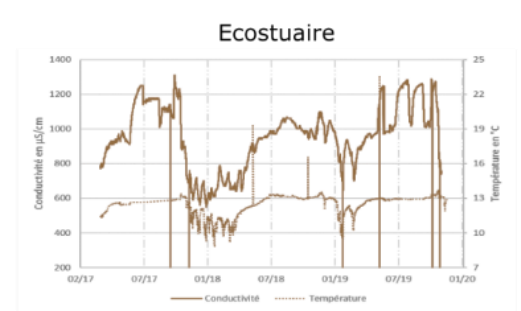
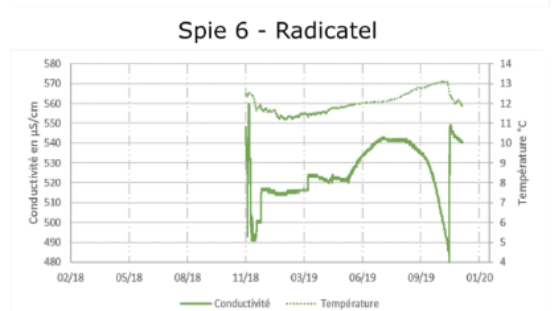
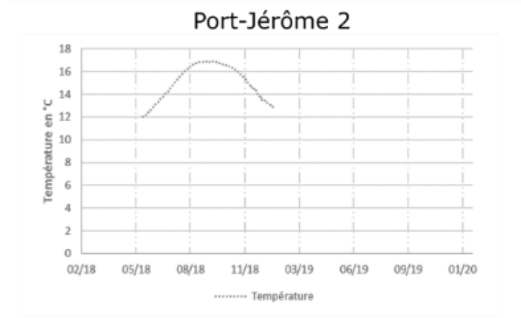
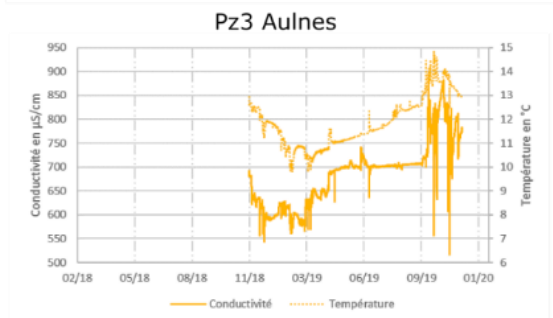
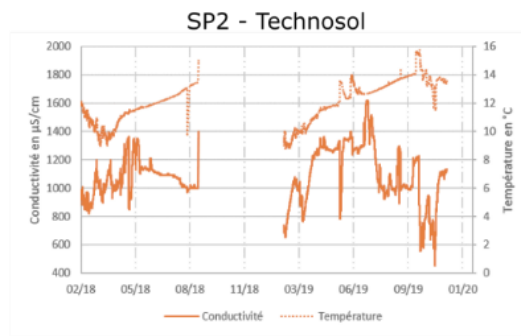
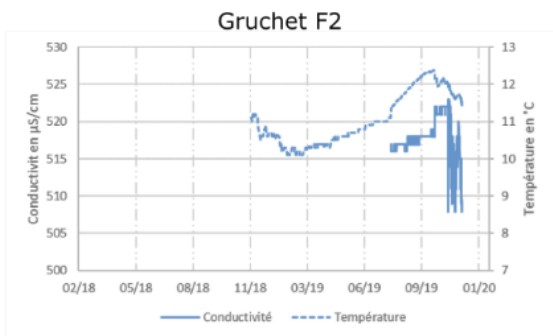
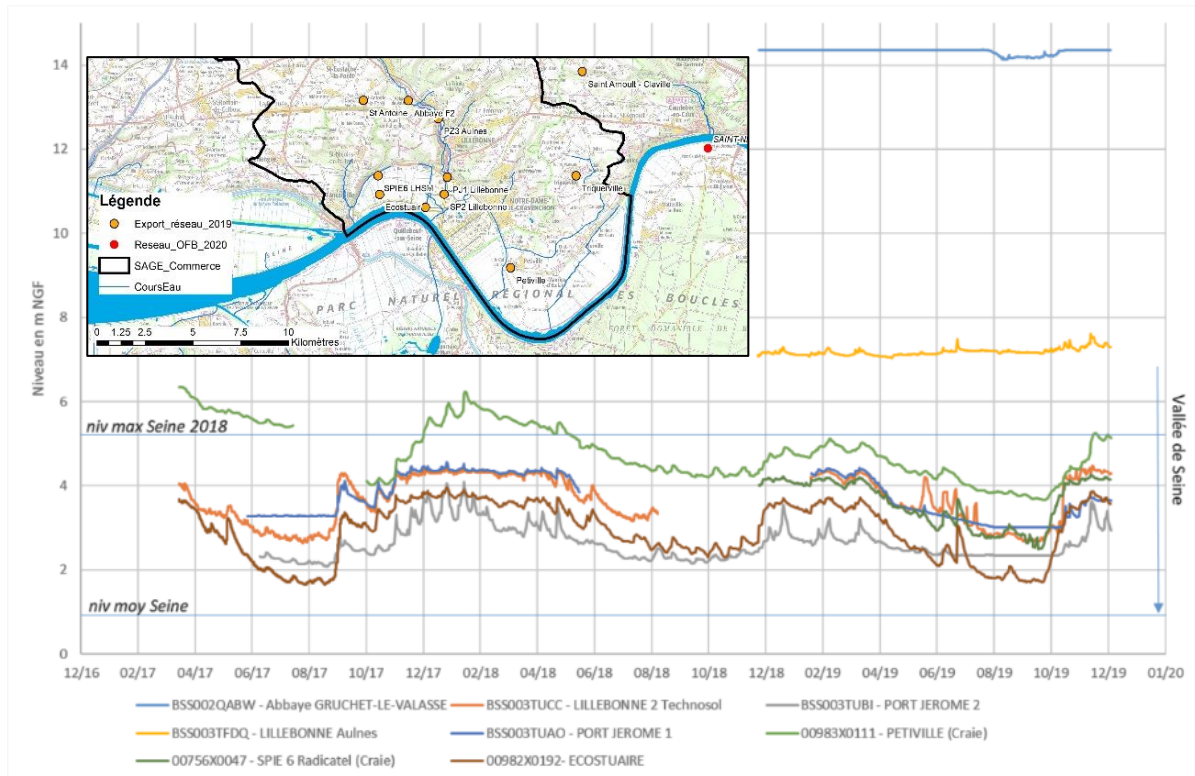


Illustration 168 : Suivi piézométrique des ouvrages en situation de « vallée » sur le territoire du SAGE Commerce

Diffusion de l'onde de marée en vallée de Seine

A. Généralités

En règle générale, l'écoulement des eaux souterraines et superficielles se fait depuis les plateaux crayeux armant le territoire, en direction des vallées et du fleuve. Ce dernier constitue le niveau de base de l'hydrosystème. Celui-ci draine les nappes contenues dans les aquifères et reçoit également les cours d'eau du territoire (cf. paragraphe 4.2). Il est à noter que ce schéma d'écoulement peut localement s'inverser dans la plaine alluviale, où les gradients sont faibles, à l'occasion des crues ou sous l'effet des grandes marées ou encore lors de pompages en nappe. Dans ces conditions, le fleuve alimente alors la nappe.

Comme présenté au paragraphe 3.4.1, les marées du fleuve se traduisent par un déplacement vertical (variation de niveau entre marée haute et basse par pression et élasticité) et même un transfert de flux (courant, lors de la marée montante ou flot par exemple). On rappelle que le courant s'inverse pendant quelques heures.

Les ondes se diffusent dans tout l'estuaire, gagnant l'ensemble de l'hydrosystème (eaux souterraines et superficielles) en s'amortissant progressivement de façon latérale mais également en remontant vers l'amont. Le barrage de Poses, situé à plusieurs dizaines de kilomètres en amont du territoire du SAGE Commerce, marque une limite physique infranchissable sur la Seine, bloquant la diffusion de l'onde de marée plus en amont.

Dans la partie de l'estuaire soumise aux variations tidales, des transferts de masse (flux) peuvent donc intervenir entre le fleuve et les eaux souterraines. Ces échanges peuvent être perturbés (accentués ou limités) par l'anthropisation du fleuve : approfondissement du chenal de navigation de la Seine par dragage ou encore de l'artificialisation des berges (rideau de palplanches, parois béton, etc... - cf. paragraphe 3.2).

B. Dynamique de transmission

Au niveau lithologique Lefebvre et al., (1993) indiquent qu'à Tancarville comme dans tout l'estuaire, le remplissage alluvial est représenté, la plupart du temps, par des graves de fond, séparées par des couches argileuses, des alluvions sablo-argileuses de surface (cf. coupe géologique de la vallée de la Seine 2.6.2).

Dans l'estuaire de la Seine, les alluvions anciennes grossières sont considérées comme un aquifère productif. Il s'y produit un sous-écoulement important. En particulier lorsque les formations de fond affleurent dans le lit, ou lorsque les alluvions fines récentes sont semi-perméables.

Le contraste de perméabilité entre les alluvions inférieures et supérieures est très important de sorte que la nappe des graves de fond peut être considérée comme semi-captive sous les alluvions supérieures fines. Lefebvre (1993) estimant même que de légers phénomènes d'artésianisme peuvent notamment intervenir. Les mesures réalisées en 2017 dans la plaine alluviale de la Seine sur des doublets de piézomètres de la ZIP de Port-Jerôme ont permis de montrer qu'il existait une différence de l'ordre de 10 cm au bénéfice des graves de fond. Cette récente observation confirmerait donc l'hypothèse de Lefebvre. Dans ces conditions, les alluvions fines supérieures constituent alors un écran semi-perméable.

Masséi (2001) a démontré dans ses travaux que les graves de fond des alluvions, très transmissives, situées à quelques mètres au-dessus du captage AEP de Norville (00984X0089/FDEFIN) jouent un rôle important dans le transfert de l'onde de pression tidale

depuis la Seine vers le forage et donc dans la dynamique hydrologique de tout le système karstique, puisqu'une influence tidale est identifiée jusqu'à la source (00984X0062/HY) vers l'amont. L'analyse des fréquences a montré que la piézométrie des graves de fond est pour plus de 50 % dominée par le signal tidal. Leur forte transmissivité les soumet en premier lieu à la dynamique de marnage de la Seine, ce qui prouve une très forte connexion entre le fleuve et l'aquifère.

D'autres enregistrements réalisés par la faculté de Rouen sur 35 piézomètres répartis dans le marais du Hode (entre St Vigor-d'Ymonville et Tancarville à la limite du territoire du SAGE) montrent encore que l'effet du marnage tidal est fortement atténué dans les piézomètres situés dans les alluvions fines (sauf dans les ouvrages situés tout à fait au bord de la Seine pour lesquels les amplitudes restent conséquentes). Ces alluvions fines transmettent mal les variations de pression du fait de leur faible perméabilité. Leur conductivité hydraulique est estimée de 10^{-6} à 10^{-7} m/s. L'essentiel de l'eau mobile est pris en charge par les graves de fond qui ont une conductivité hydraulique beaucoup plus favorable, de l'ordre de 2.10^{-3} m/s (Massei *et al.*, 2012).

Massei *et al.*, 2012 a également mis en évidence que dans les alluvions fines, du fait de leur forte capacité de filtrage des hautes fréquences, la variabilité piézométrique des ouvrages est alors largement dominée par les fluctuations typiques de l'aquifère de la craie.

Concernant ce dernier, Massei *et al.*, 2012 indique que le soubassement crayeux est pour sa part probablement partiellement karstifié sous le remplissage alluvionnaire de la Seine. La nappe circulerait donc dans un aquifère à triple porosité : liée à la porosité matricielle de la craie, à sa porosité de fissure et à la présence de phénomènes karstiques.

Les zones les plus karstifiées de l'aquifère de la craie enregistreraient, sous les alluvions, des événements de crue observables dans la réponse hydrologique des bassins versants superficiels.

C. Atténuation de l'effet de marée

Burgéap (Rognon, 1963 ; Bize *et al.*, 1964) a mis en place un dispositif constitué d'une ligne de piézomètres disposés en travers de la nappe alluviale. Certains atteignaient la craie, d'autres les graves de fonds, d'autres encore les alluvions sablo-argileuses récentes (Illustration 169).

Ce dispositif a permis d'enregistrer, dans les différents piézomètres, les amplitudes de la marée de la Seine et du battement de la nappe correspondant, ainsi que les retards sur la haute et la basse mer atteintes lors des niveaux extrêmes (marées hautes et basses) - (cf. Illustration 169).

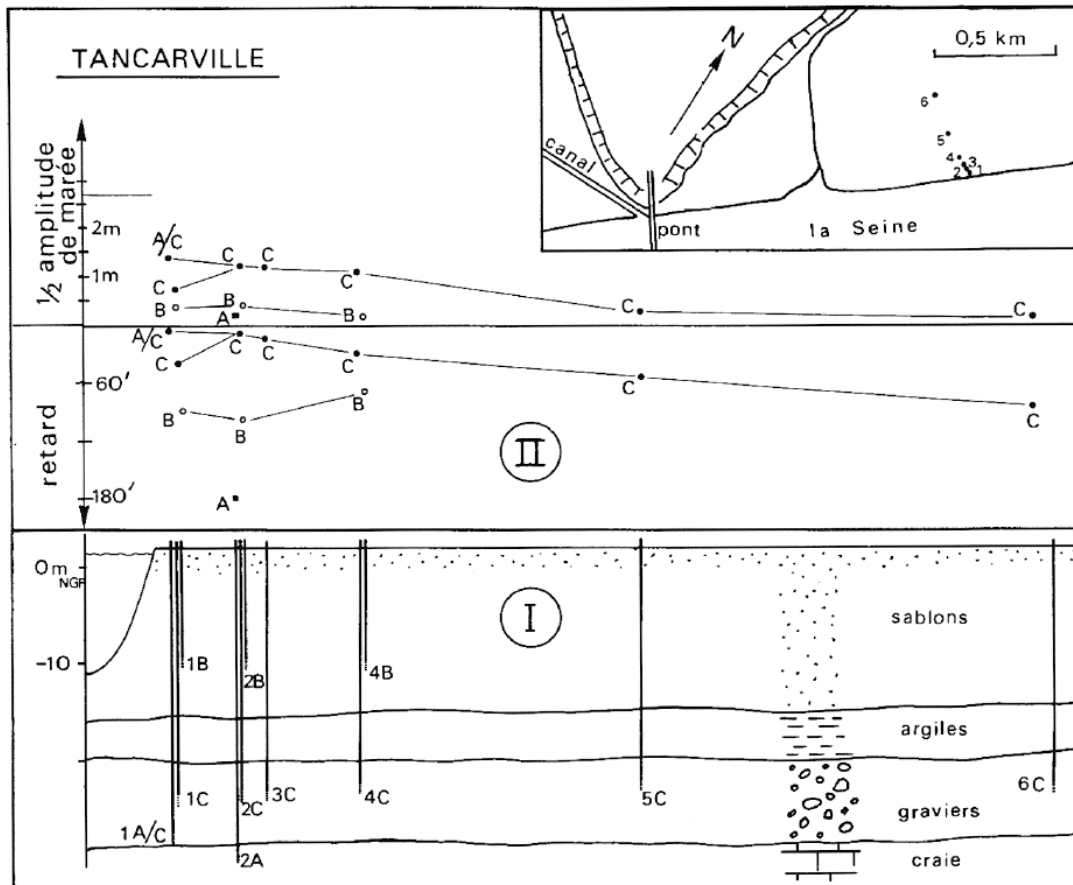


Illustration 169 : dispositifs de suivi de l'hydrosystème de la plaine alluviale proche de Tancarville, source : Burgéap (1963)

Sur l'illustration 169 ci-avant, on distingue pour une même distance à la Seine que :

- L'amplitude de l'onde de marée est plus importante dans les graves de fond. Elle est très faible dans les alluvions fines et dans la craie.
- L'amplitude de la marée s'atténue rapidement avec la distance, notamment dans les alluvions fines et les graves qui disposent d'un nombre de points suffisants.

Le retard, constaté dans la diffusion de l'onde de marée, va croissant des graves de fonds, puis des alluvions fines, jusqu'à la craie. Dans les conditions de l'expérience, sur le triplet de piézomètre n°2, à 50 m de la berge le retard serait respectivement inf. à 1 heure, ~100 min et sup. à 3h. Ce retard augmente avec la distance à la Seine pour les graves de fond.

A titre de comparaison, Burgéap (1975) indique à partir des suivis réalisés sur les ouvrages de la nappe alluviale de Port Jérôme sur la période 1970-1975 que les fluctuations du niveau de nappe consécutives aux variations du niveau de la Seine sous l'effet des marées, s'estompent à 700 m de la rive, vers le nord.

Les calculs du colmatage du lit de la Seine à Tancarville ont abouti à un coefficient de $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ (perméabilité sur épaisseur) ce qui traduirait une perméabilité faible des alluvions récentes constituant une partie des berges et du lit du fleuve.

D. Analyse des chroniques acquises entre 2017 et 2020

Dénomination	Port-Jerome 2	Ecotuaire	Lillebonne 2	Spie 6	Petiville	Port-Jerome 1
BSS	BSS003TUBI	00982X0192	BSS003TUCC	00756X0047	00983X0111	BSS003TUAO
Aquifère	Fines	Fines	Fines	Graves	Craie	Fines
Distance Seine	275	630	1450	1560	1900	2000
Amplitude	0,04	0,02	0,04	0,07	0,01	0,02

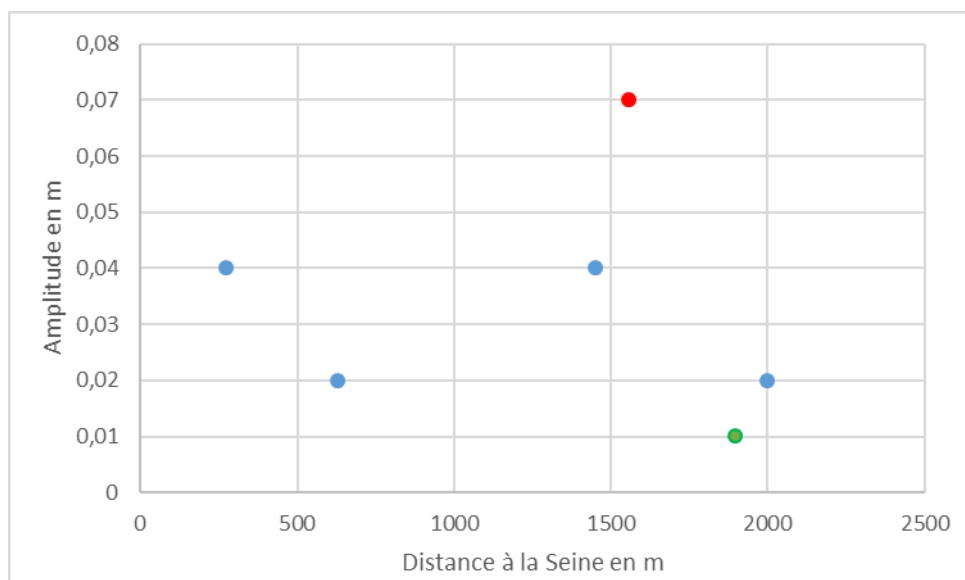


Illustration 170 : Graphique et Tableau de distance des ouvrages au fleuve versus amplitude de marée observée. Les couleurs sont données en fonction de la nappe captée : Alluvions fines en bleu, Grave de fond en rouge, Craie en vert.

Les enregistrements effectués par le BRGM entre 2017 et 2020 (cf. paragraphe 4.3.3) confirment en partie les résultats obtenus par Burgéap sur le secteur de Tancarville :

- Les observations confirment que la diffusion de l'onde de marée journalière se fait avec la plus grande amplitude dans les graves de fond.
- On peut s'attendre à trouver une relation inversement proportionnelle à la distance à la Seine, c'est-à-dire que plus on est proche de la berge et plus l'amplitude de la marée est importante. Toutefois le nombre et la répartition des points de suivis ne permettent pas de le montrer clairement dans le cas présent.
- Si l'onde de marée s'atténue rapidement avec la distance, on constate néanmoins que sa diffusion se fait relativement loin à l'intérieur des terres comme en attestent, sans ambiguïté, les ondes enregistrées sur les ouvrages situés près de 2 km en retrait des berges de Seine (craie et alluvions fines).
- Le comportement des ouvrages implantés dans les alluvions fines montre une relation complexe qui peut être le fait de contrastes lithologiques (entre niveaux sableux et argileux ou fins par exemple) ou du colmatage des berges de Seine.

E. Calcul de la Diffusivité (Thiéry 2020, inédit)

La diffusivité hydraulique ($D = T/S$) est le rapport de la Transmissivité (T) sur le coefficient d'emmagasinement (S) ; elle caractérise la vitesse de réaction d'un aquifère face à une perturbation. Ce calcul peut donc se faire à partir des paramètres T et S idéalement déterminés

par essais de pompage. Ce paramètre peut également être apprécié notamment par l'observation de la diffusion des ondes de marée dans les aquifères de l'estuaire de la Seine.

L'analyse des variations simultanées des niveaux dans les piézomètres et des hauteurs d'eau dans la Seine est réalisée avec le logiciel CATHERINE du BRGM (Thiéry, 2012). Le travail ci-après est tiré des travaux inédits réalisés par Thiéry D. en 2020.

On considère un aquifère bordé d'un côté par une limite rectiligne qui est constituée par une rivière, un plan d'eau ou la mer. Dans l'autre direction, perpendiculaire à la limite, l'aquifère est d'extension infinie (Illustration 171).

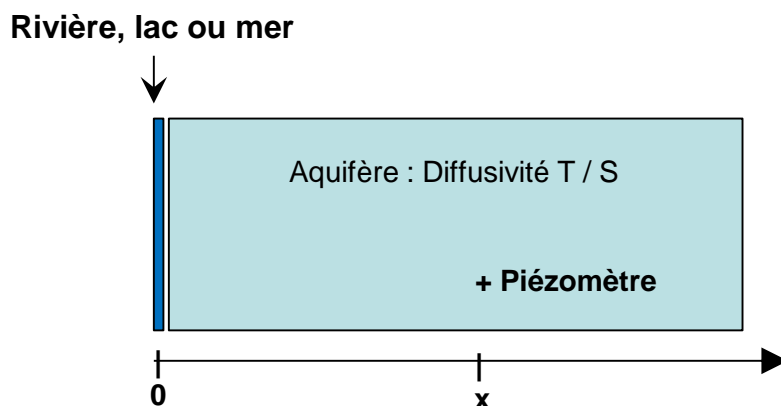


Illustration 171 : Schéma de principe du logiciel CATHERINE
Piézomètre situé dans un aquifère bordé par une rivière, un plan d'eau ou la mer (Thiéry, 2020 inédit)

L'épaisseur mouillée dans l'aquifère est peu variable dans l'espace et le temps. Sa transmissivité est donc considérée comme uniforme.

En moyenne, cet aquifère est soit :

- En équilibre avec cette limite,
- Ou bien soumis à un écoulement constant vers cette limite ou depuis cette limite.

Cet aquifère peut donc être considéré comme un milieu poreux homogène à une seule dimension, d'extension semi-infinie. Il peut ainsi être décrit par les variables suivantes :

- K = Perméabilité à l'eau [LT⁻¹]
- S_L = Coefficient d'emménagement en nappe libre [-]
- S_s = Coefficient d'emménagement captif spécifique [L⁻¹]
- b = Épaisseur moyenne de l'aquifère [L]
- E = Épaisseur saturée moyenne de l'aquifère [L]
- H = Niveau piézométrique (ou charge hydraulique) [L]
- x = Distance à la limite du domaine [L]
- t = Temps [L]

On note T la transmissivité de l'aquifère :

$$\begin{aligned} \text{Si l'aquifère est captif} & : T = K \cdot b & [L^2T^{-1}] \\ \text{Si l'aquifère est libre} & : T = K \cdot E & [L^2T^{-1}] \end{aligned}$$

On note **S** le « coefficient d'emmagasinement des hydrogéologues » de l'aquifère. Ce coefficient d'emmagasinement sans dimension est défini de la manière suivante :

$$\begin{aligned} \text{Si l'aquifère est captif : } S &= S_s \cdot b & [-] \\ \text{Si l'aquifère est libre : } S &= S_L & [-] \end{aligned}$$

On note alors **D** la diffusivité (hydraulique) :

$$D = T / S \quad [L^2T^{-1}], \text{ donc en m}^2/\text{s dans le système international.}$$

On considère que le système est initialement au repos au niveau initial H_i .

Au temps $t = 0$, le niveau de la limite est modifié instantanément d'une hauteur $h_0 = H_0 - H_i$.

On montre facilement que la variation **h** de niveau piézométrique au temps **t**, à la distance **x** de la limite s'écrit :

$$h(x, t) = h_0 \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{4Dt}}\right) \quad (\text{Illustration 172})$$

Avec :

$$\operatorname{erfc}(u) = \text{Fonction « erreur complémentaire » ; } \operatorname{erfc}(u) = 1 - \operatorname{erf}(u) \quad (\text{Illustration 173})$$

$$\operatorname{erf}(u) = \text{Fonction erreur : } \operatorname{erf}(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-z^2} \cdot dz$$

Les fonctions erf(u) et erfc(u) sont disponibles dans le logiciel Excel ® et dans les compilateurs modernes (Fortran 2008 et suivant).

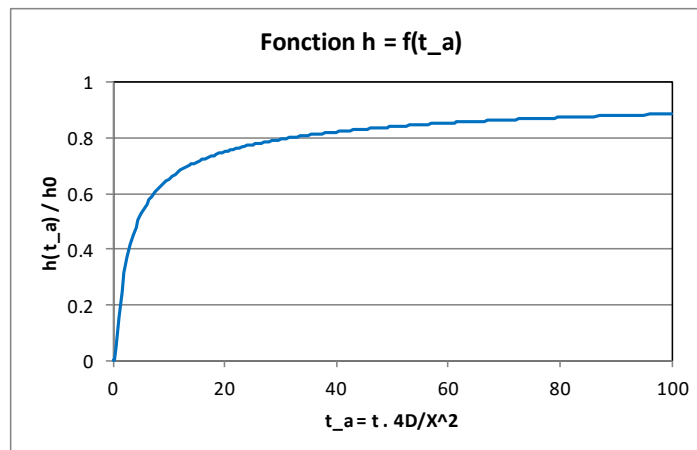


Illustration 172 : Variation de niveau en fonction du temps adimensionnel (Thiéry, 2020 inédit).

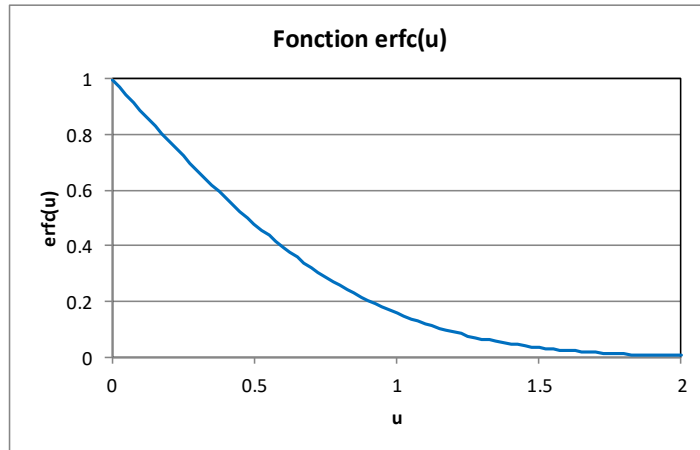


Illustration 173 : Fonction erfc(u). (Thiéry, 2020 inédit)

On considère maintenant que le niveau piézométrique de la limite subit une variation $h_1 = H_1 - H_i$ pendant une durée dt , puis $h_2 = H_2 - H_i$ à partir de cette date.

Pour $t \geq dt$, la variation de niveau piézométrique en un point situé à la distance x de la limite s'obtient alors par le théorème de superposition :

$$h(x, t) = h_1 \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{4Dt}}\right) + (h_2 - h_1) \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{4D \cdot (t - dt)}}\right)$$

De même, par convolution, on obtient pour la date $t = n \cdot dt$ la variation de niveau piézométrique :

$$h(x, n \cdot dt) = \sum_{k=1}^n \left[(h_k - h_{k-1}) \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{4D \cdot (t - k \cdot dt)}}\right) \right]$$

Avec : h_k = variation de niveau piézométrique $H - H_i$ de la date $(k-1) \cdot dt$ à la date $k \cdot dt$

Le théorème de superposition permet de déduire que la solution s'applique également si la nappe n'est pas initialement au repos mais présente un écoulement uniforme dirigé vers la limite ou bien au contraire partant de la limite.

On a vu que l'aquifère à modéliser doit :

- Avoir une transmissivité invariante dans le temps
- Avoir une transmissivité uniforme de la berge du cours d'eau jusqu'à une grande distance englobant le piézomètre.

En pratique on pourra appliquer la méthode :

- Même si la transmissivité varie un peu au cours du temps sous l'influence des variations de la recharge
- Même si la berge du cours d'eau est un peu colmatée.

La trop faible composante de marée sur le signal enregistré (estimée à 10 % par Burgéap 2020) sur les ouvrages précédemment étudié ne permet pas ici d'effectuer ce type de calcul. En effet, tel que décrit au paragraphe 4.3.2, les composantes du signal météorologique et des fluctuations de l'aquifère régional dominant ici largement le signal de marée.

Le calcul a néanmoins pu être réalisé sur la chronique du piézomètre de Sandouville PZ1908 (00974X0128), voisin du territoire du SAGE Commerce, et implanté dans les graves de fond - (Thiéry, 2020 inédit).

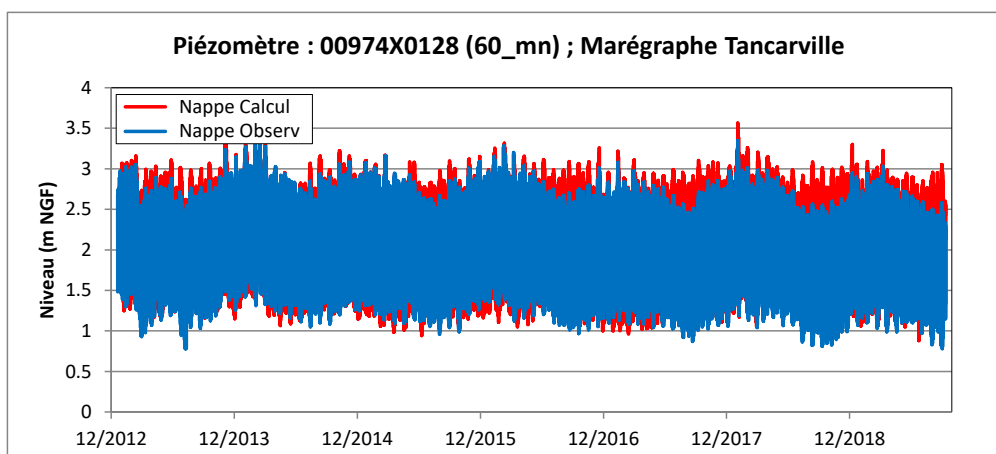
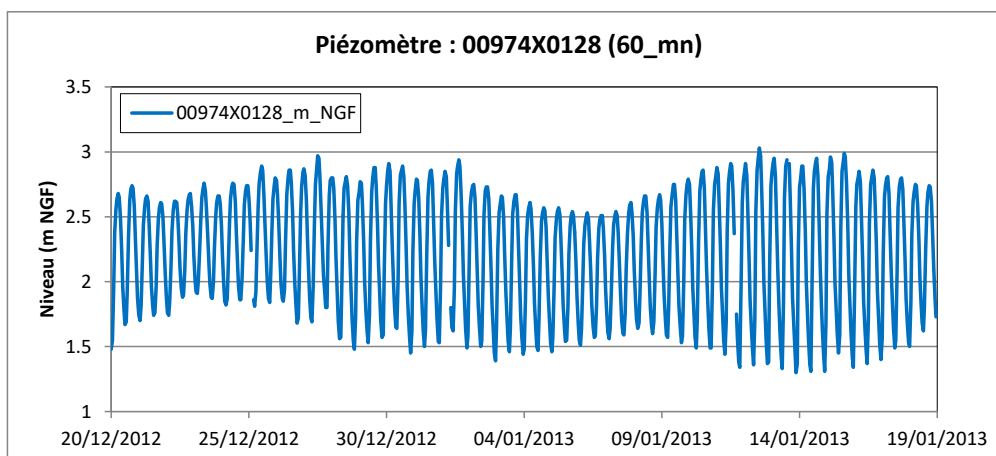


Illustration 174 : Haut détail de la chronique du piézomètre 00974X0128 pendant un mois (période de décembre 2012 à janvier 2013). Bas chronique observée et simulée à l'aide du logiciel CATHERINE (Thiéry, 2020 inédit).

Diagnostic : Forte composante de 12h30 de période et cycles de 14.5 jours.

Distance = 1210 m ; Pas de temps = 60 mn,

Modélisation de la seule composante périodique, après extraction de la composante de grande longueur d'onde.

Diffusivité importante = $52.53 \text{ m}^2/\text{s}$ ($1,9.10^5 \text{ m}^2/\text{h}$) ; Corrélation = 0.915 ; (Niveau constant = 1.205 m).

Remarque : Pour obtenir une simulation optimale, les hauteurs d'eau au marégraphe ont été avancées de 1 heure. Sans ce décalage, le coefficient de corrélation ne serait que de 0.797 donc significativement moins bon.

En bibliographie, les valeurs de diffusivité suivantes sont rapportées pour la vallée de la Seine soumise aux marées :

- En aval de Rouen (Roux et Trémembert, 1978) :
 - $2,8 \cdot 10^4$ m²/h dans le complexe craie fissurée-alluvions des bords de Seine ;
- En amont de Rouen (Thiéry, 2020 inédit, Lefebvre et al., 1993)
 - dans la craie : en moyenne $1,7 \cdot 10^4$ m²/h [$1,2 \cdot 10^3$ à $4,1 \cdot 10^4$] ;
 - dans les alluvions récentes : en moyenne $1 \cdot 10^4$ m²/h [$2 \cdot 10^2$ à $3,9 \cdot 10^4$].

Pour conclure, il semblerait donc que la diffusivité soit plus importante dans les graves de fond que dans la craie et les alluvions récentes. Pour cette dernière unité hydrogéologique, on constate des écarts importants qui s'expliquent probablement par la nature plus ou moins perméable des matériaux. Ces calculs semblent donc confirmer les hypothèses exposées par Masséi *et al.* (2012) sur la transmission des différentes ondes de pression dans les différents compartiments aquifères de la vallée de la Seine.

4.4. PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES ET PRODUCTIVITE

4.4.1. Méthodologie

Une analyse des données relatives à la productivité des ouvrages et aux paramètres hydrodynamiques des principales formations aquifères a été réalisée dans le cadre de cette étude. Les informations ont notamment été extraites de la BSS et de la bibliographie. On citera en particulier les études de Maillary et De la Quèrière (1970), Rico et Fay de Lestrach (1990) qui compilaient une partie des informations antérieures ; et également les études plus récentes, diagnostic et expertises, réalisées notamment par Explore (2007, 2012, 2013, 2017, 2018), Ingétec (2006), Ginger environnement (2005), Horizons (1998).

4.4.2. Productivité des ouvrages

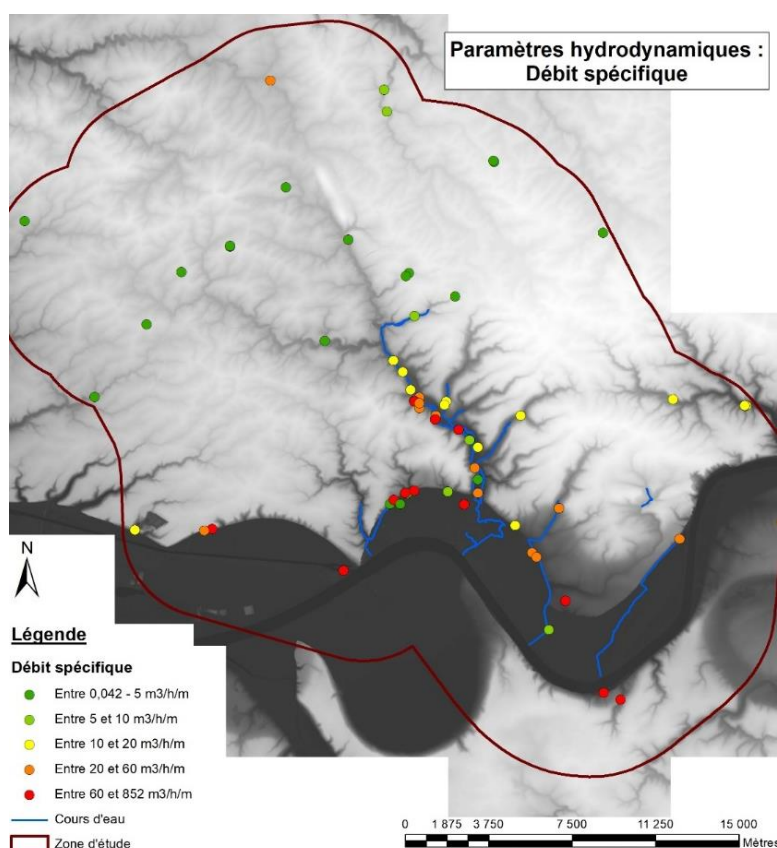


Illustration 175 : Débit spécifique des ouvrages du territoire du SAGE de la vallée du Commerce

Les informations disponibles en termes de productivité (débit spécifique) sur l'ensemble du territoire tendent à montrer que (Illustration 175) :

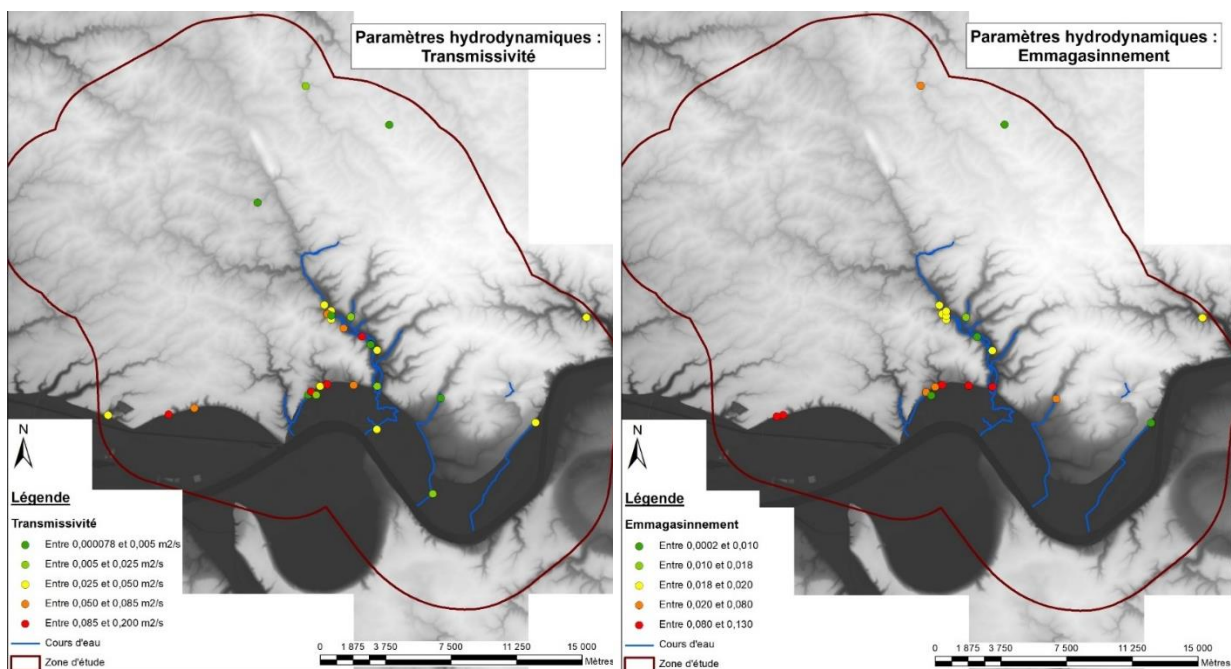
- La productivité des ouvrages en plateau est assez faible dans l'ensemble, que l'on se situe dans le compartiment abaissé ou surélevé de part ou d'autre de la faille ; D'une manière générale on ne dispose que de peu de données sur les ouvrages situés sur les plateaux, alors que de nombreux forages agricoles ont pu y être recensés en particulier (cf. paragraphe 6.2.4). Nous ne pouvons que déplorer la difficulté à pouvoir disposer des données de niveau et de productivité de ces ouvrages.

- La productivité des ouvrages dans la vallée du Commerce est assez hétérogène dans son ensemble :
 - médiocre ($<10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$) à l'amont de la vallée de Bolbec, dans la Gaize ;
 - moyenne (entre 10 et $20 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$) entre Bolbec et Gruchet le Valasse ;
 - excellente ($>20 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$) en aval de Gruchet ;
 - bonne à médiocre au niveau de Lillebonne.
- La productivité des ouvrages dans la vallée de la Seine est globalement bonne à excellente dans la craie avec quelques exceptions.

Rico et Fay de l'Estrac (1990) indiquent que les débits spécifiques sont moins importants sur le compartiment surélevé, où les formations de la Gaize et des Sables de Lillebonne sont affleurants ou sub-affleurants. Les éléments présentés ci-avant ne permettent pas de le confirmer indubitablement. Il a toutefois pu être démontré dans le paragraphe 4.1.1 que la conductivité hydraulique des formations de la base du cénomaniens était inférieure à celle des unités crayeuses supérieures, ce paramètre a une influence certaine sur la productivité.

Selon ces mêmes auteurs, la productivité s'améliorerait en descendant vers le sud de la vallée du Commerce. Il est vrai que les valeurs de productivité des ouvrages semblent meilleures, à l'aval de Gruchet le Valasse et en amont de Lillebonne. Toutefois, les données dont nous disposons à l'heure actuelle ne permettent pas de le démontrer, plus au sud encore, à l'approche de la vallée de la Seine. Les auteurs indiquent que cette observation serait à mettre probablement en relation avec un nombre plus important de sources et avec le développement d'un nombre plus important de réseaux karstiques.

4.4.3. Paramètres hydrodynamiques



Seule la fracturation « active », c'est-à-dire les fissures suffisamment ouvertes, contribue à la perméabilité en grand de l'aquifère. C'est donc l'épaisseur de fracturation active qui détermine

les propriétés de l'aquifère ; les valeurs de transmissivité ($T = K \cdot b$: produit de l'épaisseur par la conductivité hydraulique) peuvent donc être extrêmement variables dans l'espace, suivant la distribution en profondeur des fractures et la densité de fracturation (Massei, 2001).

Or, la densité d'information, relativement faible, ne permet pas de catégoriser les ouvrages en fonction de leur proximité avec les principaux axes structuraux connus.

Dans la vallée du Commerce, entre Gruchet-le-Valasse et Lillebonne, ainsi que dans la vallée de la Seine, les valeurs de transmissivité dans la craie oscillent entre $2 \cdot 10^{-1}$ et $5 \cdot 10^{-3}$ m²/s.

Sur les plateaux, les valeurs sont inférieures à $2,5 \cdot 10^{-3}$ m²/s et correspondent vraisemblablement à un réservoir crayeux plus homogène et moins fracturé.

On rappelle que Masséi et al., (2012) a évalué la conductivité hydraulique des alluvions fines à 10^{-6} à 10^{-7} m/s ; celle des graves de fond a $2 \cdot 10^{-3}$ m/s (cf. paragraphe 4.3.3). Pour l'ensemble alluvial, Archambault (1955) estime que la conductivité hydraulique ne doit pas dépasser $5 \cdot 10^{-4}$ m/s, pour une porosité totale de 33 %. On pourra toutefois rappeler ici que l'ensemble alluvial, tel que décrit dans le volet géologique, présente de fortes hétérogénéités de faciès et de géométrie de ses corps sédimentaires : variations verticales et horizontales, corps lenticulaires, biseaux, surfaces d'érosion, etc... (cf. paragraphe 2.4.4). Ce qui, bien entendu, va impacter les caractéristiques hydrodynamiques intrinsèques des unités aquifère et donc l'organisation des écoulements.

Le coefficient d'emmagasinement (S) représente la quantité d'eau libérée sous une variation unitaire de la charge hydraulique, c'est-à-dire sous l'effet d'une baisse du niveau d'eau. Cet ordre de grandeur caractérise la capacité du réservoir à retenir l'eau (et donc à se comporter comme une éponge). Il conditionne l'emmagasinement de l'eau souterraine mobile dans les vides du réservoir (aspect capacitif). D'une façon générale, pour une même baisse de niveau piézométrique (différence de charge), la quantité d'eau libérée est beaucoup plus grande dans une nappe libre que dans une nappe captive (contrainte).

Un coefficient d'emmagasinement fort (entre 2 à 13%) marque le caractère libre de la nappe. Des valeurs faibles (<2% et beaucoup moins) sont enregistrées sur les secteurs où les alluvions recouvrant l'aquifère de la craie sont reconnus comme étant peu perméables (plus argileux), donnant parfois un caractère semi-captif à captif à la nappe de la craie sous-jacente. C'est le cas notamment pour le forage de l'Abbaye (BSS002QAB/X), implanté dans la vallée du Commerce et dont le fonctionnement a été décrit au paragraphe 3.3.3, celui-ci montrant même un effet d'artésianisme. On précise que ce dernier est intégré au réseau de suivi du niveau des eaux souterraines mis en œuvre dans le cadre de cette étude (cf. paragraphe 4.3.3).

4.5. CIRCULATIONS KARSTIQUES

4.5.1. Généralités sur le fonctionnement du karst normand

L'approche hydrogéologique du fonctionnement des systèmes karstiques s'établit autour de 3 parties (cf. chapitre 2.7) : Le système d'introduction, le système de transport et de stockage et enfin la zone de restitution - cf. Illustration 177.

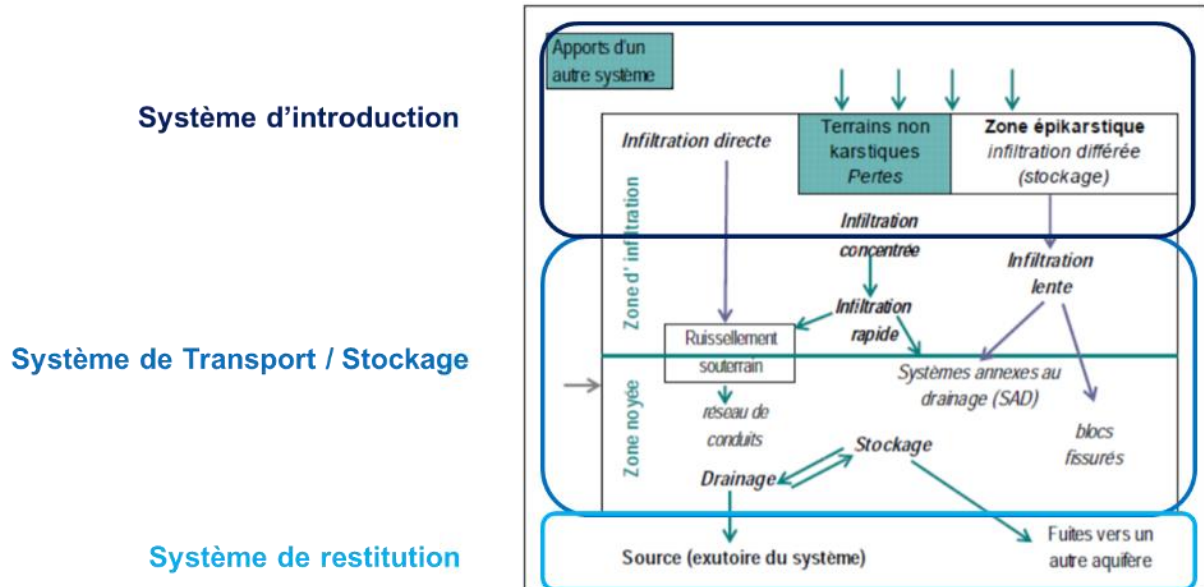


Illustration 177 : Schématisation d'un système karstique (Dörfliger et al., 2010, modifié d'après Mangin A., 1975)

Fonctionnement du système d'introduction

L'épikarst est la partie supérieure du système karstique au sein duquel l'eau est stockée avant de percoler dans l'aquifère (Illustration 178).

Elle collecte et transporte l'eau de surface et les nutriments vers le réseau inférieur. La profondeur de cette zone est variable : de 0 à 15-30 mètres en moyenne.

Elle permet le transport direct ou diffus de l'eau météoritique vers le système aquifère sous-jacent.

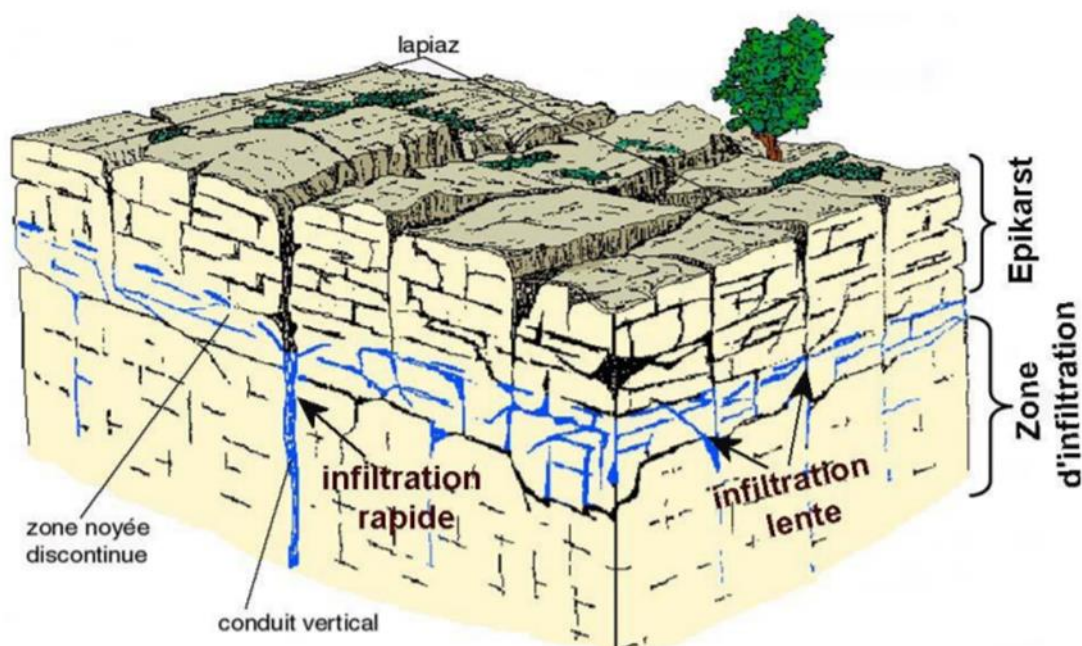


Illustration 178 : Schéma représentatif de la zone épikarstique (Mangin, 1975)

L'université de Rouen a étudié ces processus hydrologiques et plus particulièrement le rôle de stockage des eaux d'infiltration dans les formations superficielles en instrumentant un site atelier sur la commune de Bouville en Seine-Maritime (fonctionnement hydrologique transposable au secteur d'étude) (Dupont et al. 2009).

Les sols limoneux surmontant les argiles à silex sont perméables, ce qui favorise l'infiltration des pluies. En profondeur, la compaction des limons est à l'origine d'une diminution de la perméabilité avec la profondeur (Illustration 179). La diminution théorique de la perméabilité des limons des plateaux, avec la profondeur, suit une loi exponentielle, sans réelle rupture avec les argiles à silex, qui sont compactées mais dans lesquelles la présence de silex (+/- affectés par le gelifract) introduit une hétérogénéité texturale qui induit une perméabilité non négligeable (David, 2016).

A l'interface craie-argile à silex, la désorganisation de la structure de la craie génère un horizon, localement saturé (observations lors de forages), moins perméable que les argiles à silex qui constituent le mur d'un aquifère de sub-surface, situées dans les formations superficielles constituées par les argiles à silex et les limons (Dupont et al. 2009).

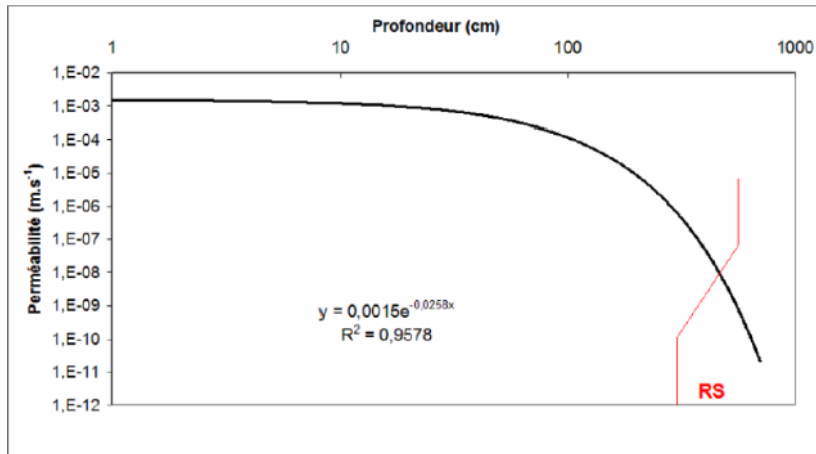


Illustration 179 : Modèle conceptuel d'évolution de la perméabilité des formations superficielles en fonction de la profondeur ; le modèle proposé est fondé sur des mesures de perméabilité réalisées au laboratoire en fonction de quelques valeurs de pression ; en rouge passage de la base des limons aux argiles à silex (Dupont et al. 2009)

Des prospections géophysiques (tomographie électrique et potentiel spontané – PS) réalisées par l'université de Rouen sur le site de Bouville ont montré le rôle des bétoires et « crypto-bétoires » dans le drainage de l'aquifère de sub-surface (Thèse de A. Jardani - 2007). La comparaison des cartes de PS réalisées au printemps et en été (Illustration 180) permet en effet de montrer :

- un abaissement global des niveaux piézométriques de sub-surface entre le printemps et l'été ;
- la présence d'un « entonnoir piézométrique » bien marqué, tant au printemps qu'en été, qui souligne le point d'infiltration principale (doline ou bétoire) des eaux de l'aquifère de sub-surface.

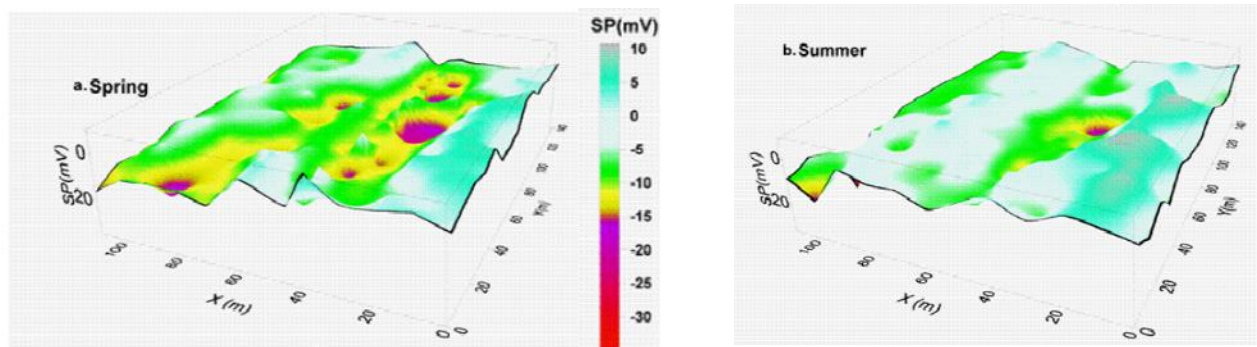


Illustration 180 : Comparaison des cartographies 3D des mesures de PS, réalisées au printemps (a) et en été (b) (Thèse de A. Jardani – 2007 dans Dupont et al. 2009)

Le suivi piézométrique réalisé dans les formations superficielles sur le même site de Bouville en 2007/2008 permet d'illustrer la réponse hydrologique de l'aquifère de sub-surface à la pluviométrie efficace. Au cours du cycle hydrologique suivi (2007/2008), une recharge de l'aquifère superficiel (courbe rouge de l'illustration 181) est enregistrée pendant l'automne (période pluvieuse qui a débuté en septembre), un maintien de hauts niveaux piézométriques pendant les périodes d'hiver et de printemps (avec des écoulements vers la bétoire qui sont compensés par la recharge par les pluies) pour arriver à l'étiage en été (vidange non compensée par des apports pluvieux conséquents).

La comparaison des chroniques piézométriques de l'aquifère superficiel et de l'aquifère de la craie sous-jacent illustre le décalage entre les cycles crue-étiage de l'aquifère superficiel et de l'aquifère de la craie (respectivement courbe rouge et courbe bleue).

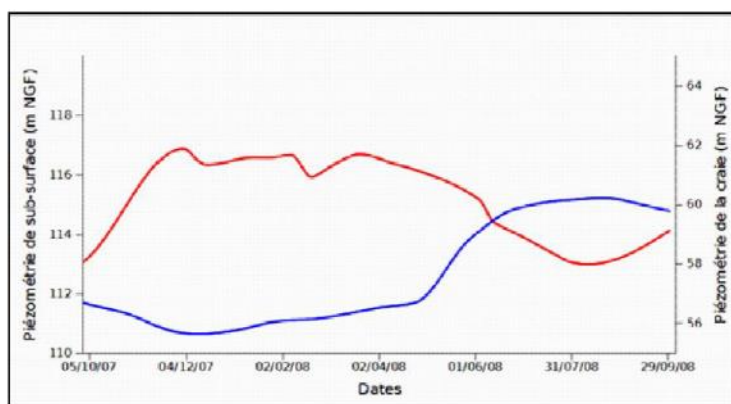


Illustration 181 : Comparaison des chroniques de piézométrie de l'aquifère superficiel (en rouge) et de piézométrie de l'aquifère de la craie (en bleu) – (Dupont et al. 2009).

La recharge de l'aquifère de la craie débute progressivement en hiver pour s'accélérer, au printemps et atteindre les niveaux de crue en été. Ce délai important est lié aux capacités de stockage et d'écoulement dans les formations superficielles. Ce retard peut diminuer localement, en fonction de plus faibles capacités de stockage des formations superficielles et, en particulier des épaisseurs plus faibles de limons des plateaux (Dupont et al. 2009).

Le cas décrit ci-dessus est symptomatique du fonctionnement de l'épikarst. On précise que lorsque que la charge hydraulique est importante (lors de périodes de forts cumuls de précipitation par exemple), les eaux d'infiltration rapide (directe ou différée) s'écoulent de manière prioritaire par rapport aux écoulements souterrains (effet de chasse présenté dans l'illustration 182).

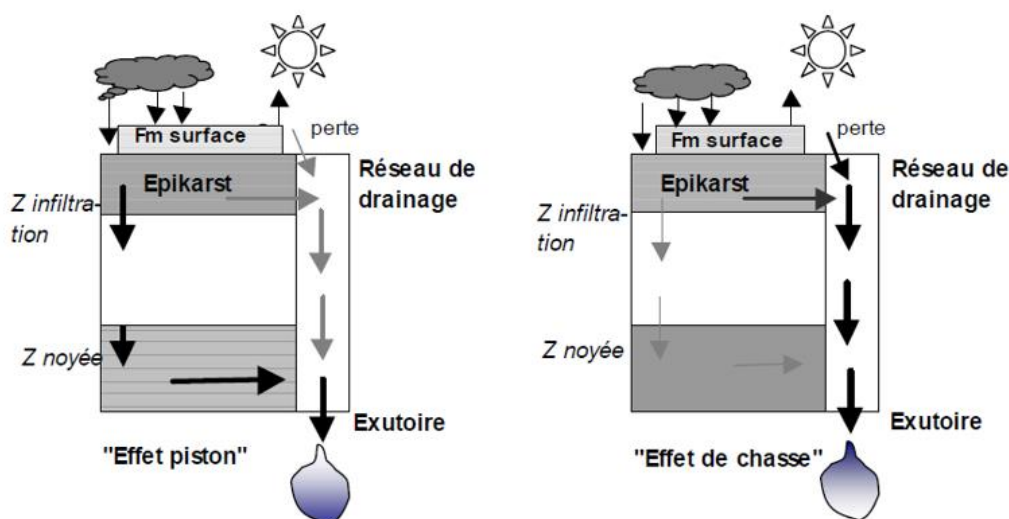


Illustration 182 : Représentation schématique de l'effet piston et de l'effet de chasse (De la Vessière, 2002)

Du point de vue purement hydrodynamique, les engouffrements des eaux de surface ne contribuent pas obligatoirement à une recharge significative de la nappe de la Craie. En revanche,

la qualité des eaux souterraines drainées par le karst de la Craie est fortement influencée par la qualité des eaux de surface engouffrées au niveau des bétoires.

En effet à ce sujet, Massei (2001) indique que les bétoires agissent donc comme des collecteurs des eaux de ruissellement circulant sur les plateaux, en concentrant les eaux de drainage de leur bassin versant.

Le réseau de drainage et le système de restitution

La conceptualisation présentée en introduction de ce chapitre revient à considérer la coexistence de deux milieux différents, l'un assurant une fonction transmissive (drains développés à partir d'un réseau de fractures et/ou sur des discontinuités lithologiques) et l'autre une fonction capacitive (matrice fissurée et/ou réseau de conduits connectés).

Ces deux milieux sont connectés l'un à l'autre d'un point de vue hydraulique, assurant la fonctionnalité du système (Dörfliger et al., 2010 d'après Mangin, 1975) – (cf. Illustration 183).

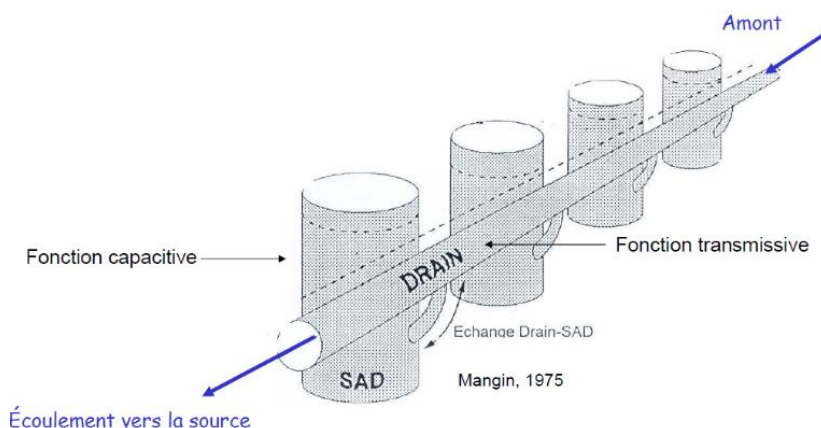


Illustration 183 : Conceptualisation du double rôle capacitatif et transmissif des aquifères karstiques (d'après Mangin, 1975)

En utilisant la turbidité comme traceur naturel, Rico et al. (1993) observent plusieurs types de réponses sur le système de restitution, à l'échelle régionale (Normandie crayeuse) : le signal de sortie multimodal enregistré, indique l'existence de plusieurs points d'introduction des eaux de surface appartenant aux bassins d'alimentation des sources ou puits utilisés pour l'expérience. Ces points d'introduction ont par la suite été identifiés, à l'aide d'expériences de colorations, comme autant de bétoires (système d'introduction).

Les expériences de traçage réalisées sur de nombreux sites à l'échelle régionale ont donné des valeurs de vitesses apparentes assez variables, traduisant la complexité de l'aquifère (Masséi, 2001). Les données compilées sur le territoire du SAGE sont présentées dans le paragraphe ci-après.

4.5.2. Analyse des données de Traçages

Base de données Bétoire-Traçage Normande

Rappel : la Région Normandie (ex territoire haut-normand), le Département de la Seine-Maritime, le Département de l'Eure, l'Agence de l'Eau Seine Normandie, et le BRGM se sont engagés sur la période 2008-2012 dans la création d'un inventaire historique des bétoires, traçages et exutoires, inventaire mis à disposition du public sous forme d'une base de donnée. Afin d'enrichir celle-ci avec de nouvelles informations ou données, l'outil a pris une forme participative. Les acteurs de l'eau (services de l'Etat, collectivités, bureaux d'études, public et associations, etc...) ont donc la possibilité de la renseigner¹⁵. Cette base est consultable sous forme cartographique sur le SIGES Seine-Normandie¹⁶ (David, 2012).

Il est à noter également l'existence d'une fiche de déclaration préalable à toute opération de traçage. Celle-ci est mise à disposition sur le site du SIGES.

Nous invitons donc les différents acteurs à utiliser le plus largement possible cette fiche et à renseigner la base de données afin de contribuer plus efficacement à l'amélioration de la connaissance des phénomènes karstiques et de la vulnérabilité des eaux souterraines captées notamment pour l'alimentation en eau potable.

Synthèse des connaissances sur les circulations karstiques autour de la faille Fécamp-Lillebonne

David et al. (2020) ont recensé 16 opérations de traçages réalisés entre 1973 et 2016 autour de la faille Fécamp-Lillebonne (Illustration 184).

¹⁵ Accès sur demande : <https://tracages.brgm.fr/#>

¹⁶ <http://sigessn.brgm.fr/>

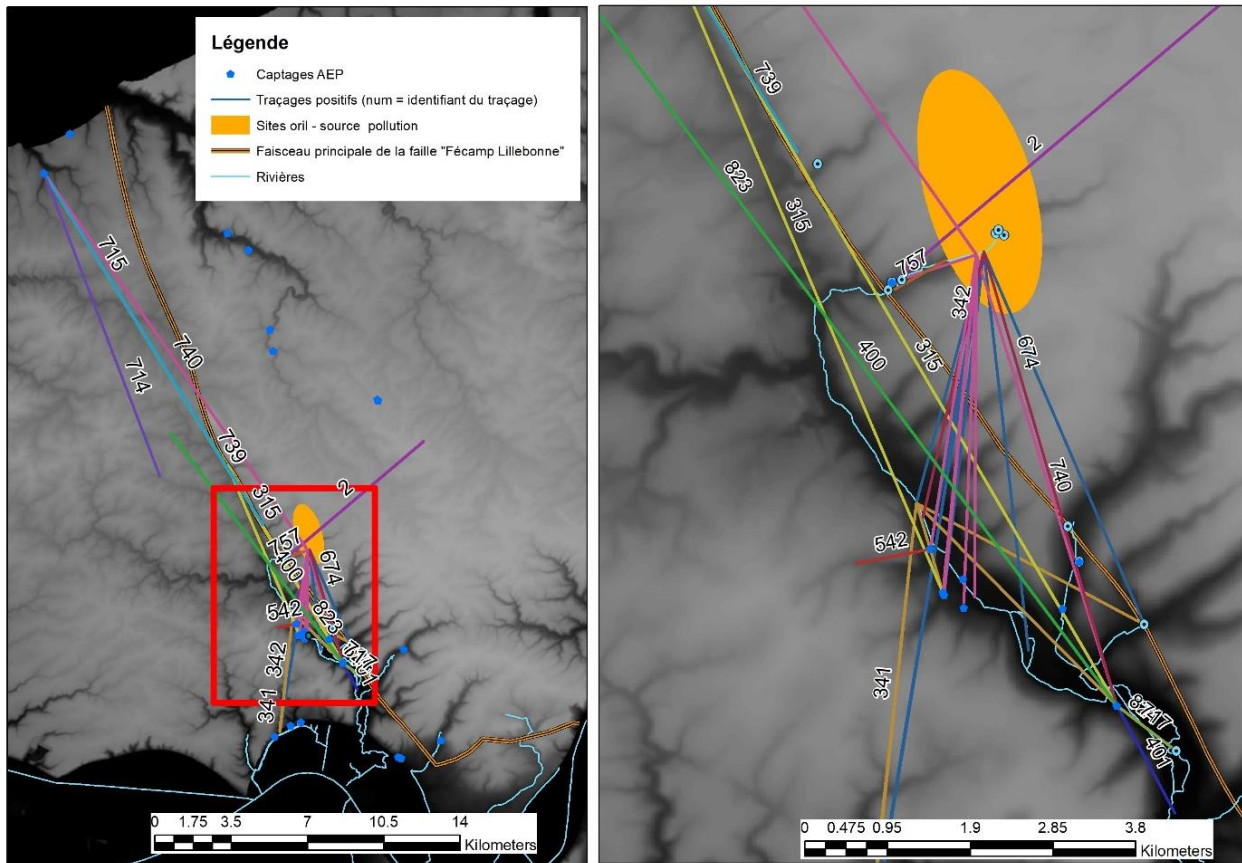


Illustration 184 : Localisation des 16 opérations de traçage disponibles autour de la faille Fécamp-Lillebonne. Chaque couleur de trait correspond à une opération de traçage et son identifiant. Une opération de traçage peut comporter plusieurs points de suivis (plusieurs traits sur la carte). Seuls les résultats positifs de chaque opération de traçage sont affichés

Plusieurs hypothèses ont été formulées :

- A l'amont de la rivière de Bolbec, il existerait un flux ascendant de la nappe entre le forage de Desgenetais et le faisceau de faille F2, confirmant l'alimentation de la rivière par la nappe au niveau des sources de la piscine. Les résultats pour un parcours à travers les gaizes et sables de Lillebonne tendent à montrer l'existence d'une réponse rapide mais conservatrice (restitution sur 80 j env.), compatible avec les observations réalisées sur les sondages carrotés.
- Plus en aval, les pertes de la rivière dont les écoulements se dirigent vers Yport seraient celles identifiées au niveau des faisceaux F1 et F2 pour lesquelles des vitesses de transfert rapide (>100 m/h) et un taux de restitution important >90 % ont été relevés tandis que celles partant vers les captages de la vallée du Commerce seraient plutôt celles situées au niveau de l'église de Bolbec au niveau du faisceau F0 (F0a et F0b) auraient des taux de transferts bien plus lents (< 100 m/h) et des taux de restitution très faibles. Les traçages vers Yport indiqueraient la présence de conduits particulièrement développés et actifs et connectés entre eux le long des faisceaux de faille F1 et F2. Ce qui serait compatible avec les autres expériences de coloration réalisées le long de cet axe comme à Mirville notamment. Les circulations vers le sud et la vallée du Commerce au niveau de la faille F0 se font à priori de façon plus diffuse, les circulations sont probablement plus complexes dans un système moins développé.
- Plus en aval encore, les concentrations en traceur injecté dans la rivière changent très peu entre la zone de perte à Bolbec et la rivière au niveau de la mare « Senoble » dans

la mesure où la nappe n'est pas connectée à la rivière et où il n'y a pas d'apports sur ce tronçon (hors STEP Gruchet et Eurial). Les concentrations en traceurs relevées sur les ouvrages de Gruchet et du Becquet pourraient également suggérer qu'une partie du flux de la rivière traverse la zone non saturée dans la zone où la rivière est perchée (secteur des captages AEP de Gruchet, cf. 7.6.1) alors qu'une connexion plus directe se fait à l'aval de l'Abbaye où la nappe est reconnectée à la rivière (secteur du Becquet). Pour rappel, un pompage sur le forage du Becquet a par le passé asséché une partie de la rivière des Aulnes situé en aval.

Il n'est pas possible à ce stade de préciser si ce transfert se fait via la rivière ou via le karst, ou encore par les deux modes de transfert à la fois. D'autant qu'IDDEA a pu estimer un débit du karst traversé par le forage AEP du Becquet de 31.2 l/s par comparaison des résultats de 2 traçages. Ce chiffre a ensuite été confirmé lors du diagnostic du forage du Becquet (diagraphe au micromoulinet) réalisé par le Bureau d'études Explore en 2014, confirmant l'existence d'un conduit actif au droit de cet ouvrage.

A l'ouest de la vallée, dans le compartiment affaissé, Ginger Environnement (2005) a mis en évidence une connexion entre une béttoire du vallon des Côtieres à Saint Antoine la forêt et les captages de St Marcel, dans une zone suspectée par De la Quèrièrè *et al.* (1988) comme étant affectée par une ou plusieurs failles secondaires (cf. paragraphe 2.5.1). Le résultat sur le forage de St Antoine (F4) montre un écoulement rapide (env. 100 m/h) et une durée totale de restitution de plus de 27 heures qui peut être qualifiée de longue compte tenu de la distance entre le point d'injection et de restitution (845 m environ). La courbe est nettement bimodale : premier pic concentré à 8,5h puis second pic à 21,5h indiquant une circulation complexe, probablement dans plusieurs réseaux karstiques.

Synthèse des connaissances sur les circulations karstiques autour de la faille de Triquerville

Le système du Bébec-Hannetot, est typique des hydrosystèmes karstiques de la Seine-aval dont la typologie a été décrite au paragraphe 2.7.2. Ce système comprend (Massei et al., 2012) :

- un bassin versant superficiel de taille réduite d'environ 8 km² et positionné sur un plateau. Celui-ci est drainé par une perte (perte du Bébec) qui constitue le point majoritaire d'engouffrement des eaux de surface et donc son exutoire principal,
- une source karstique en pied de falaise fluviale, dans la vallée de Seine, constituant la résurgence principale de ce système, en connexion hydraulique avec la perte du Bébec, drainant également l'aquifère régional.
- un forage, positionné à 150 m environ en aval de la source. Celui-ci est implanté dans la plaine alluviale de la Seine. Cet ouvrage, de 35 m de profondeur, occulte les formations alluviales et capte les eaux dans les formations crayeuses (fissurées/karstiques) situées sous les alluvions (Illustration 186).

La source, initialement utilisée comme captage AEP, a été remplacée par le captage « de Norville » (00984X0089) en 1993, en raison de l'apparition trop fréquente de phénomènes turbides.

Le système karstique du Bébec-Hannetot présente ainsi deux modes de circulation pour les eaux souterraines (Fournier, 2006) :

- une infiltration rapide via la perte du Bébec, responsable des contaminations ponctuelles des eaux de la source du Hannetot par les eaux de ruissellement de surface lors des événements pluvieux,

- une infiltration lente à travers la matrice : au travers des formations superficielles, la zone non saturée et la zone saturée.

Masséi (2001) et Duran (2015) précisent les conditions du premier point : lors de périodes de précipitations particulièrement importantes, des écoulements annexes en provenance des vallons peuvent alimenter le Bébec, expliquant en partie la forte variabilité de ses débits (de quelques litres par seconde en étiage à 1 m³/s lors des crues majeures), cf. paragraphe 3.4.3. Le bassin versant offre en effet des caractéristiques géomorphologiques (forte pente, densité de drainage élevée) qui définissent un comportement hydrologique très sensible aux fortes précipitations (Slimani, 2009).

Lorsque ce type d'événements majeurs se produit, la perte du Bébec ne parvient plus à absorber l'intégralité du débit du ruisseau. Au-delà d'un débit estimé à 50 l/s, la perte sature, et le Bébec alimente alors par débordement un ruisseau temporaire appelé la Ravine, qui se dirige vers la Seine (Massei 2001, Duran, 2015) - cf. Illustration 185.



Photo: Janv. 2015



Photo: Avril 2014

Illustration 185 : Perte du Bébec en état de saturation lors de fortes pluies (à gauche) et à l'étiage (à droite) où la totalité du débit est engouffré (Duran, 2015)

La faculté de Rouen a pu mettre en évidence, par l'analyse des fréquences des signaux hauteur/débit et turbidité, que les variations de niveau d'eau à la source du Hannetot et dans le forage d'AEP montraient l'existence d'une influence tidale (période de 0,5 j) de faible amplitude. Cette influence affecte la qualité des eaux à la source en pied de plateau et au forage en plaine alluviale, en aval de la source, **en agissant comme facteur limitant ou favorisant l'amplitude ou le gradient hydraulique établi dans l'aquifère depuis les plateaux vers la Seine** (Fournier, 2006).

Le fonctionnement du système du Hannetot est donc déterminé par le gradient hydraulique défini par la piézométrie de la nappe de la craie et par la hauteur d'eau de la Seine qui, soumise aux variations tidales, impacte ce gradient hydraulique (variable dans le temps). Le drainage du système karstique du Hannetot est donc soumis aux conditions de flux et de potentiel de la Seine. Le drainage de l'aquifère est donc maximum lors des périodes de bas niveau d'eau et de faible débit en Seine (l'été).

Les travaux de la faculté de Rouen (laboratoire M2C) ont permis d'établir pour le forage les principaux facteurs de vulnérabilité : notamment l'existence d'une connexion hydraulique avec la partie naturellement la plus active du système karstique du Hannetot-Bébec. Cette connexion implique la présence d'arrivées d'eaux provenant du bassin versant du Bébec, diluées par des

eaux de nappe. Masséi (2001) a émis l'hypothèse de cheminements préférentiels dans le système crayeux, débouchant dans la zone alluviale (cf. paragraphe 2.7.3).

L'ensemble de ces travaux a permis l'identification des périodes de risque pour la qualité de la ressource en eau captée : événements pluvieux et crues, fort gradient hydraulique, faible débit en Seine et coefficient de marée important. Ces éléments offrent donc certaines indications en termes d'optimisation de la gestion de la ressource concernée (Massei et al., 2012).

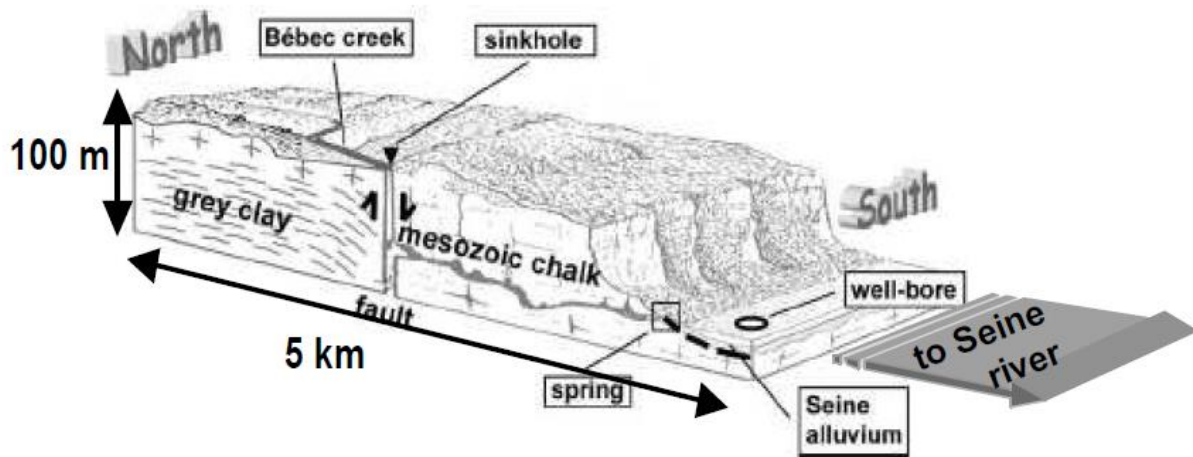


Illustration 186 : Schéma conceptuel de fonctionnement du système karstique du Bébec-Hannetot source : Fournier, 2006

Dans sa Thèse, Léa Duran (2015) a réalisé l'analyse de trois séries de campagnes de traçage distinctes :

- 1999-2001 : 4 traçages à la fuorescéine, dont 2 dans des conditions exceptionnelles (crue majeure de 2001) ;
- 2012 : 3 traçages à la fluorescéine, effectués au printemps ;
- 2013 : 14 doubles traçages (fluorescéine-sulforhodamine) réalisés notamment dans des conditions de variation des conditions de marée (traçages successifs en conditions de marée haute et de marée basse en Seine).

L'injection des traceurs a été réalisée directement dans le ruisseau du Bébec, à proximité de la perte. Les masses injectées étaient de 200 g pour les traçages de la campagne 2013, de 500 g pour la campagne 2012, et variant entre 100 et 1000 g pour la campagne 1999-2001. La mesure du passage du traceur à la source du Hannetot a été effectuée à l'aide d'un fluorimètre GGUN.

Les résultats de l'ensemble des opérations sont présentés ci-après.

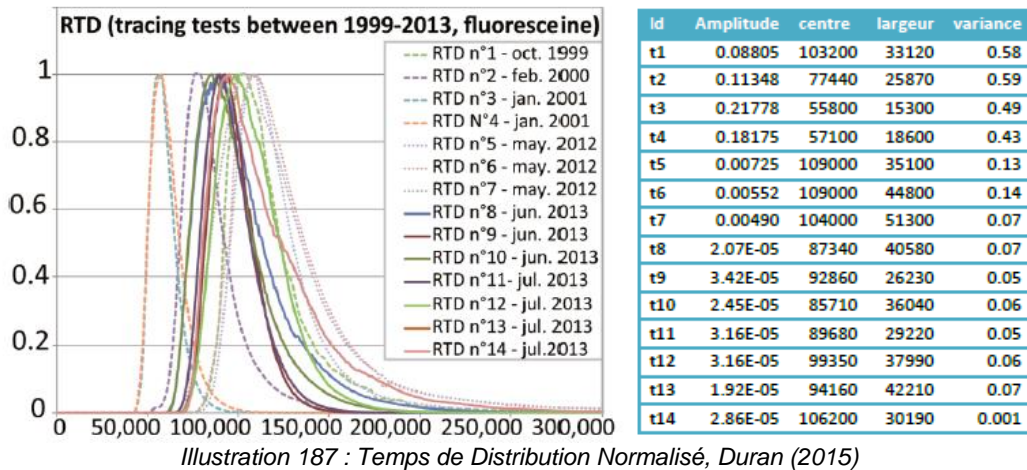


Illustration 187 : Temps de Distribution Normalisé, Duran (2015)

Le taux de restitution des traçages, les temps caractéristiques (temps d'apparition t_{app} , temps modal t_{mod} , temps moyen t_{moy}), les vitesses apparentes associées (vitesse maximale v_{max} , vitesse moyenne ou de transit associée v_{moy}) et les débits moyens lors des différents traçages (Q_{moy}) sont présentés dans le Tableau 24 ci-dessous.

Id	Date	trest (%)	trest (h)	tapp (h)	tmod (h)	t moy (h)	vmax (m/h)	v_moy (m/h)	Qmoy (l/s)
t1	25/10/99	93	59	20	30	32.6	105	64	34.0
t2	17/02/00	99	42	16	22	23.6	131	89	46.7
t3	16/01/01	94	28	13	15	16.5	162	127	64.0
t4	16/01/01	95	30	13	16	17	162	124	63.0
t5	10/05/12	43	70	22	30	32	95	66	34.2
t6	15/05/12	56	85	21	29.5	31	100	68	15.6
t7	24/05/12	42	90	20	33	34	105	62	19.2
t8	24/06/13	32.5	58	17	25	27	124	78	25.1
t9	24/06/13	23.9	24	19	26	27	110	78	25.3
t10	01/07/13	31.1	42	17	24	26	124	81	25.5
t11	01/07/13	25.2	28	18	25	26	116	81	25.5
t12	22/07/13	36.3	36	19	28	29	110	72	36.0
t13	23/07/13	45.4	79	20	26	30	105	70	36.5
t14	26/07/13	50.4	57	19	30	31	110	68	48.1

Tableau 24 : Résultat des traçages à la fluoresceine, Duran (2015)

Les valeurs de dispersivité des différents traçages sont présentées dans le Tableau 25 ci-après.

id	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
alpha	19	19	13	13	80	56	66	67	24	50	30	41	69	26

Tableau 25 : Coefficient de dispersivité calculés à l'aide du logiciel TRAC (Duran, 2015)

Duran (2015) constate que le traceur se déplace plus rapidement en période de crue : le temps d'apparition est plus court en fort débit. Ces courbes montrent une tendance grossièrement linéaire, mais avec des variations notables pour un même débit. Pour la dispersivité, la tendance générale est à la diminution lorsque le débit augmente, bien qu'aucune relation simple ne puisse être distinguée entre les deux paramètres (non-linéarité).

Le débit moyen de la source ne suffit donc pas à expliquer la forme de la réponse du système karstique du Bébec/Hanetot. D'autres paramètres environnementaux peuvent éventuellement

l'influencer, comme la piézométrie ou l'aval hydraulique via la hauteur en Seine par exemple. Dans le cas de la piézométrie, des tendances générales peuvent être observées, bien que là encore, la relation ne soit pas linéaire. Plus la piézométrie est élevée, plus la distribution des temps de séjour est étroite, d'amplitude importante et plus le temps d'apparition est court (Duran, 2015).

Synthèse des connaissances sur les circulations karstiques du système de Radicâtel

Le fonctionnement karstique de ces importantes sources est reconnu notoirement depuis de nombreuses années.

La qualité des eaux de ces ressources montre une corrélation entre la pluie et la turbidité et le niveau de nappe et la conductivité (Illustration 188). Ces signaux enregistrés à l'exutoire sont, en effet ici, l'un des symptômes de ce mode de fonctionnement.

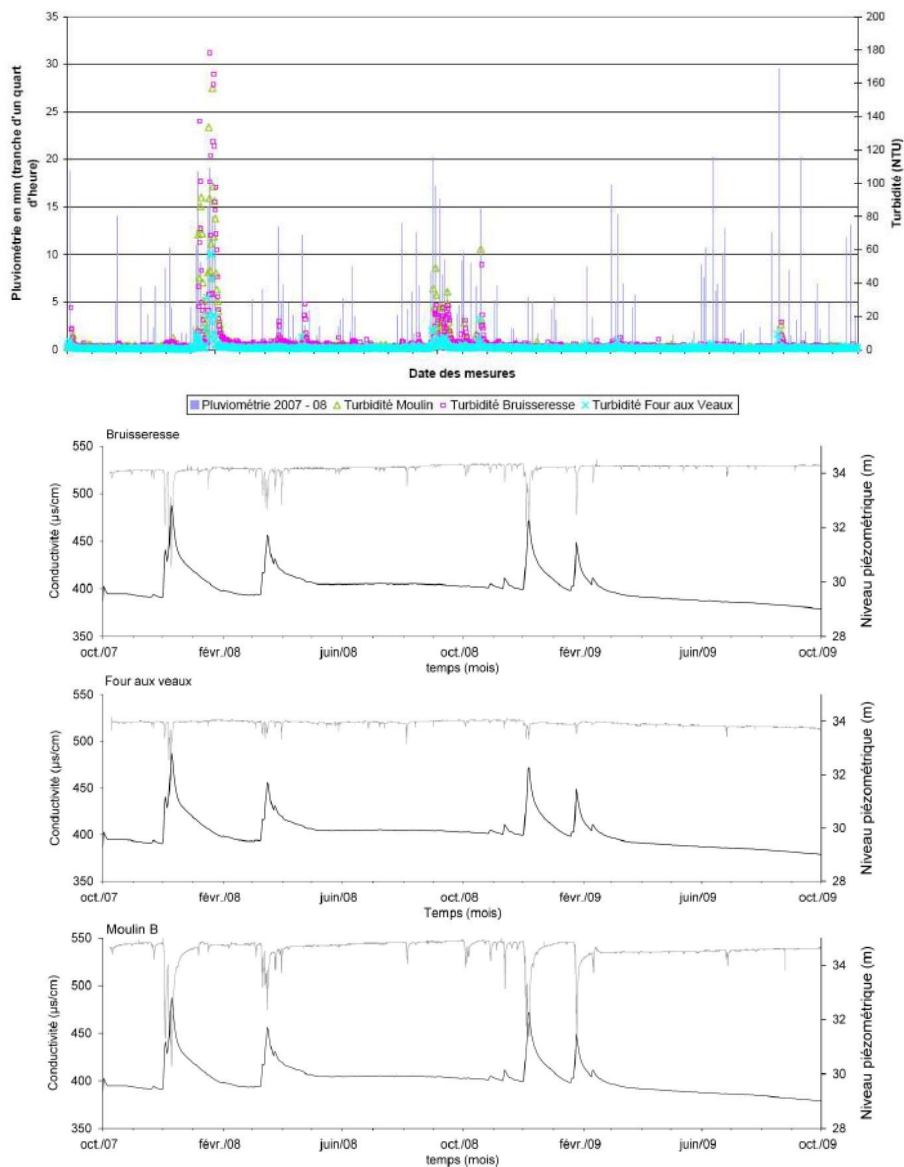
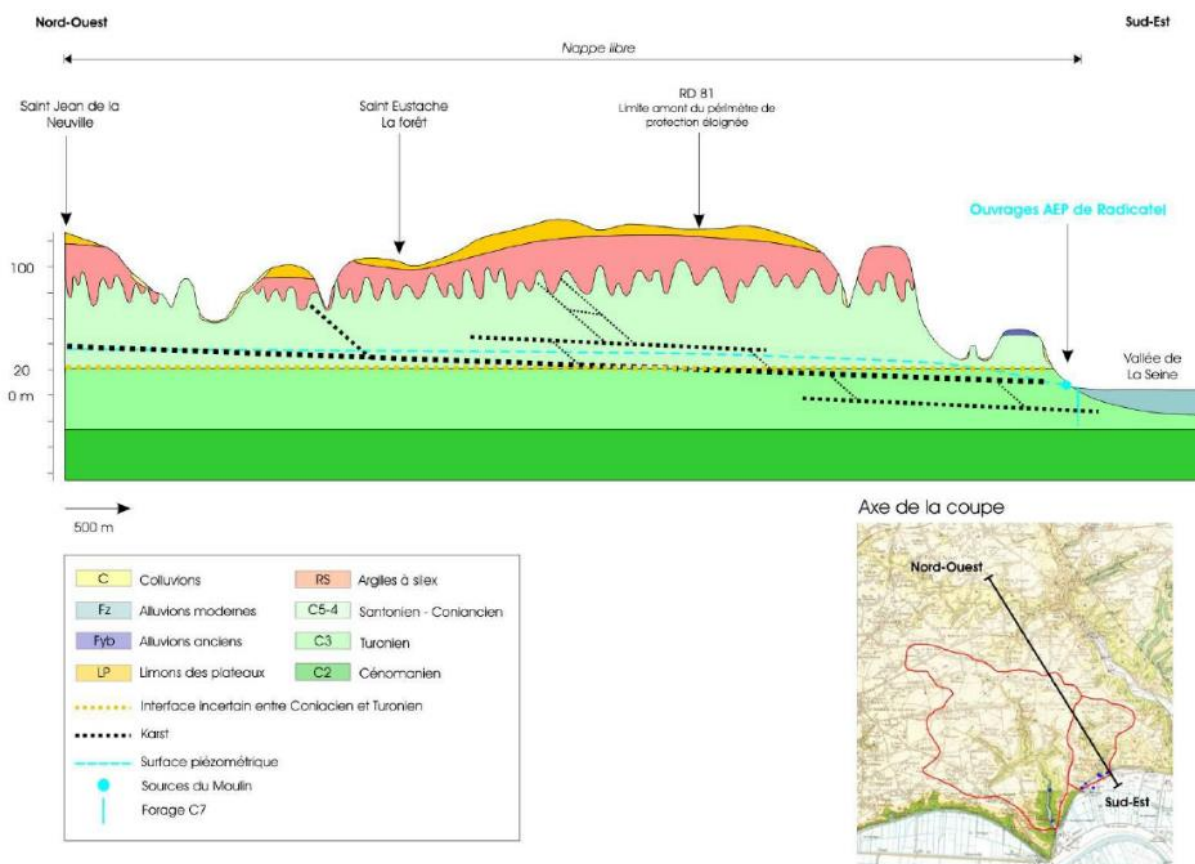


Illustration 188 : Analyse pluie-turbidité en haut (SAFEGE, 2012) et niveau-conductivité (Hanin, 2010) des sources de Radicâtel

Sur l'alimentation de ces sources, SAFEGE (2012) indique que les *hard ground* (discontinuités sédimentaires) des 3 unités de drainage qui ont pu être identifiées (cf. paragraphe 2.7.3) jouent probablement un rôle majeur dans le développement d'un réseau karstique, en servant de support aux principaux drains horizontaux.

La situation des émergences répond ensuite à des facteurs qui sont probablement d'ordre structural : chaque émergence est liée à un système de zones faillées, sans décalages importants. Ces accidents joueraient un rôle de drains lorsqu'ils rencontrent les *hard ground* qui jouent quant à eux un rôle capacitif limitant avec la matrice.

L'hypothèse de fonctionnement de ce système formulée par le bureau d'étude s'appuie sur un schéma stratigraphique (Illustration 189). Celui-ci permet d'expliquer la capture du bassin versant superficiel de la vallée du val d'Arques (Mt Crique) par celui des sources de Radicatel.



Le bureau d'étude propose ensuite une analyse des traçages réalisés en lien avec ce système karstique (Illustration 190 page suivante).

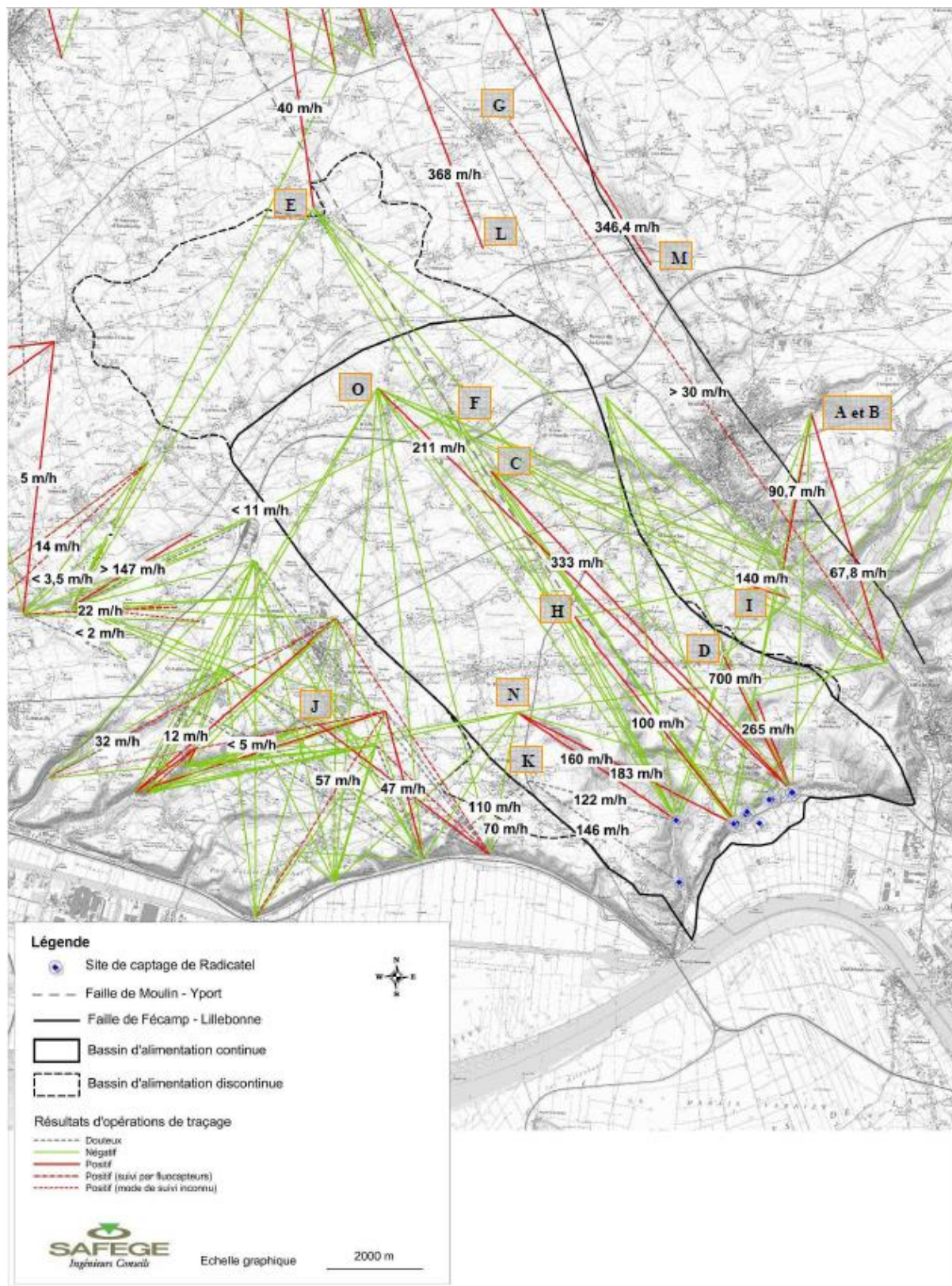


Illustration 190 : Synthèse des traçages analysés dans le cadre de l'étude BAC de Radicatel (SAFEGE, 2012) source : BRGM - IDDEA

Les opérations positives permettent de déduire les entités hydrographiques qu'il convient alors d'intégrer effectivement au bassin d'alimentation. Ainsi ce dernier serait constitué (SAFEGE, 2012) :

- Des entités hydrographiques annexes à la vallée de Seine : Cote de Radicatel, Bois d'Harcourt, Val Eglantier (Vivier),
Selon ce schéma, les sources du Four aux Veaux et la Bruisseresse appartiendraient à la même unité de drainage.
- De la vallée sèche de Saint Eustache/Val d'Arques, interceptée en amont du Mont Criquet (commune de Saint Jean de la Neuville). Il existerait donc une capture de ce bassin versant superficiel appartenant à l'ensemble du Commerce.

La piézométrie réalisée par le BRGM (2017-2019) confirme la présence d'un axe de drainage depuis cette zone en direction des sources de Radicatel, ce qui semble compatible avec les résultats des opérations de traçage relevées dans ce secteur. De plus, des traçages récents réalisés par IDDEA (2019) permettent également d'appuyer le schéma des unités de drainage proposé.

Il est à noter que plusieurs autres opérations de traçage ont révélé des résultats positifs entre la rivière du Commerce et les sources de Radicatel. Toutefois SAFEGE (2012) et David et al. (2020) ont choisi dans leur méthodologie de ne pas retenir ces informations comme probantes. Selon les auteurs, les méthodes mises en œuvre il y a plusieurs décennies pour l'injection et le suivi de ces opérations peuvent être considérées comme douteuses : ces résultats ont donc été écartés.

L'emprise du bassin d'alimentation, reportée sur l'illustration 190, est évaluée à 106 km² par SAFEGE (2012).

A noter, il n'a pas été fait d'analyse comparative de ces traçages dans le cadre de cette étude. Les quelques éléments rapportés en bibliographie ont été regroupés dans le Tableau 26 ci-dessous.

Indice	id BD traçage	id_point_inj	date_injec	nature_tra	quantite_t	unite_trac	vitesse_1e arrivée (m/h)	Temps passage	taux_restitution %
C	672	15716	22/02/2010	Sulforhodamine G	12	Kg	333.7		62.19
C	672	15716	22/02/2010	Sulforhodamine G	12	Kg	333.7		62.19
D	673	10499	22/02/2010	Naphtionate	15	Kg	265		41.9
D	673	10499	22/02/2010	Naphtionate	15	Kg	265		41.9
H			15/01/2007	Fluoresceïne / Uranine			100	48h	
O	742	420	05/12/2011		10	Kg	211		
N	743	15680	05/12/2011		25	Kg	160		
N	743	15680	05/12/2011		25	Kg	183		
-	897	18210	20/05/2019	Fluoresceïne / Uranine	18	Kg	224		10
-	897	18210	20/05/2019	Fluoresceïne / Uranine	18	Kg			

Tableau 26 : Informations rapportées en bibliographie d'après SAFEGE (2012), source : BD Betoire Traçage (2020)

SAFEGE (2012) précise que les traçages positifs se distinguent par de fortes vitesses de transfert (> 200 m/h en moyenne) et des taux de restitution importants, indiquant un système relativement bien développé autour de collecteurs fonctionnels, y compris pour des injections réalisées à des distances importantes de l'exutoire (cf. illustration 190).

4.6. RELATIONS NAPPE-RIVIERE ET ZONES HUMIDES

4.6.1. Relation entre la nappe/rivière

Connexion/Déconnexion des rivières avec la nappe

Les grilles des lignes d'eau sont une représentation cartographique, à un instant donné, de la surface des cours d'eau (mesures présentées au paragraphe 3.2.4), extrapolée à la largeur de la vallée. Les lignes d'eau correspondent aux altitudes du cours d'eau au moment de la mesure de nivellement (cf. paragraphe 3.2). L'altitude de chaque courbe de niveau, extrapolée à la largeur de la vallée, est indiquée en mètres et possède le même plan de référence qui est celui du réseau de Nivellement Général de la France.

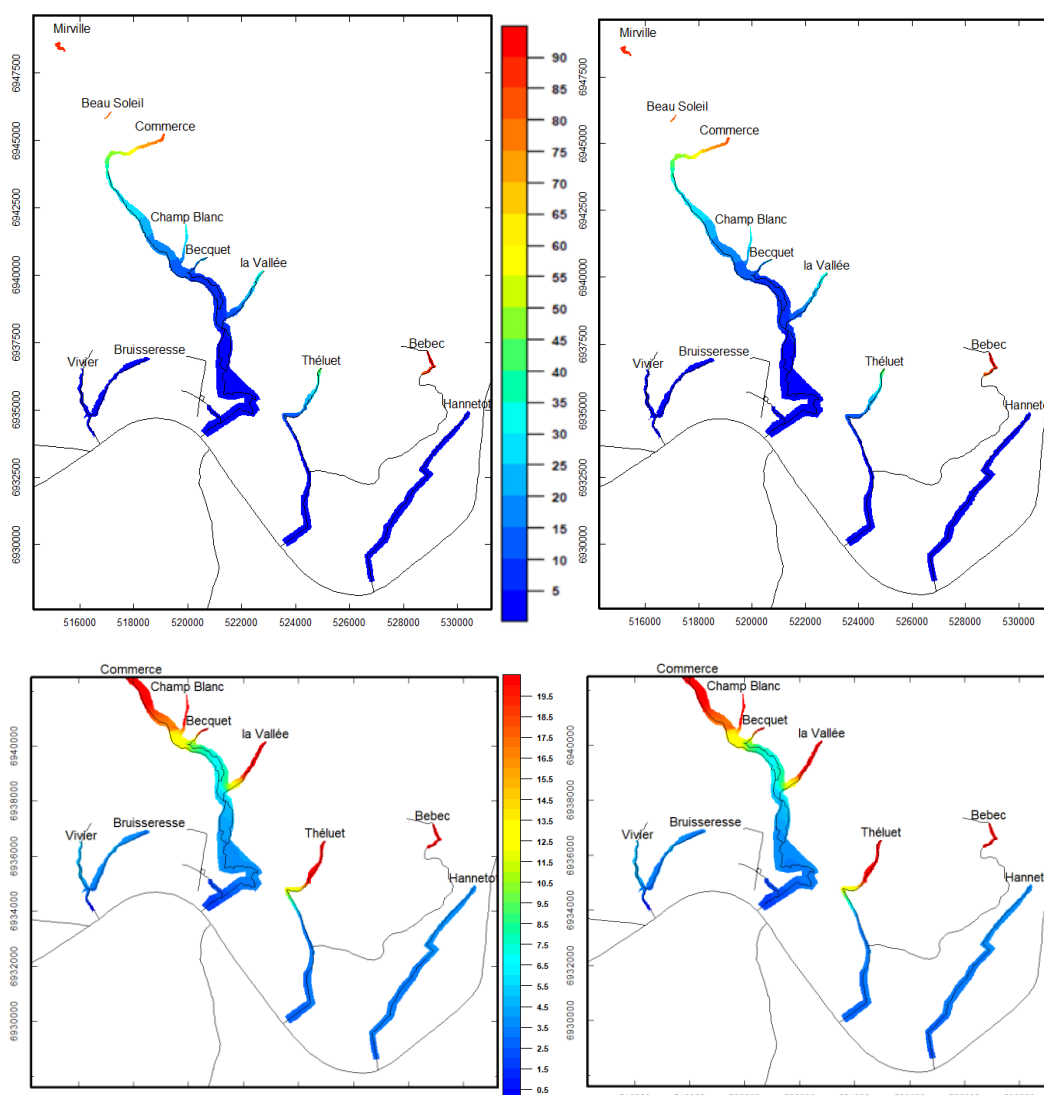


Illustration 191 : Haut : Interpolation des lignes d'eau en 2017 (à gauche) et en 2019 (à droite),
Bas : zoom de 0 à 20 m

Ces cartes donnent donc des indications sur le sens des écoulements et sur le gradient hydraulique (cf. paragraphe 3.2.2).

En comparant l'altitude extrapolée du niveau des cours d'eau dans leur vallée à celle de la piézométrie mesurée, alors il est possible d'évaluer les secteurs où la nappe est supposée connectée ou déconnectée du niveau de la rivière.

Les résultats sont présentés sur l'illustration 192 en page suivante et ont été comparés aux résultats des jaugeages réalisés lors de la même période.

L'analyse de ces résultats permet de préciser que :

- Dans le vallon Bolbec, la rivière et la nappe montrent des zones de connexion/déconnexion au passage des principaux faisceaux de la zone faillée. Ces comportements ont déjà été décrits dans le paragraphe 3.3.3.
- La rivière du Commerce est perchée sur une grande partie de son cours amont. Sur la carte présentée, la reconnexion supposée s'effectue en aval de l'abbaye de Gruchet le Valasse. Les données de jaugeage laissent cependant supposer que des échanges pourraient déjà se produire un peu plus en amont, au niveau du champ captant de St Marcel.
David et al., (2020) indiquent que les zones de reconnections entre la nappe et le cours d'eau du Commerce varient de manière longitudinale le long du profil, en fonction de l'évolution du niveau piézométrique ou de sa charge. Ces différences s'expriment notamment lors des périodes d'étiage et de recharge.
Ainsi, on peut faire l'hypothèse suivante : la zone de reconnexion entre la nappe et la rivière pourrait se trouver au niveau du champ captant de St Marcel en période de hautes eaux de la nappe et se trouver en aval de l'Abbaye lors des périodes de basses eaux.

A noter : La station hydrométrique de Gruchet le Valasse se trouve donc bel et bien sur un secteur où la rivière est déconnectée de la nappe.

- L'aval de la rivière de la Vallée apparaît également comme une zone où une déconnexion entre la nappe et la rivière pourrait se produire. Les données de jaugeage, très hétérogènes sur son parcours, ne permettent cependant pas de le confirmer.
- Une portion de la vallée du Commerce dans sa partie aval sur la zone du Mesnil montre également une possible déconnexion entre la nappe et la rivière, sur un secteur identifié également comme présentant des pertes par les jaugeages effectués.
- Dans la partie urbanisée traversée par le Théluet, la carte proposée montre également que la nappe et la rivière seraient déconnectées.
Les jaugeages réalisés dans ce secteur ont montré que la rivière pouvait effectivement être en perte sur certains tronçons. On peut donc en conclure que la situation est certainement plus hétérogène que ne le montre le calcul effectué, probablement faute de mesures suffisantes en nappe dans ce secteur.
- Pour les cours d'eau de la Brouisseriesse, du Hannetot et même le Théluet dans sa partie aval, la carte montre une zone d'interface proche entre la nappe et les rivières (couleur verte). Ce qui a été confirmé par le suivi piézométrique mis en œuvre dans la vallée de Seine et présenté dans le paragraphe 4.3.3
Les jaugeages montrent sur ces secteurs une perte des débits des cours d'eau. L'une des hypothèses les plus probables pour l'expliquer est la diffusion des flux des cours d'eau dans le maillage de fossés organisés en réseau de drainage. Leur rôle, mis en avant dans cette étude, serait à la fois capacitif et drainant.

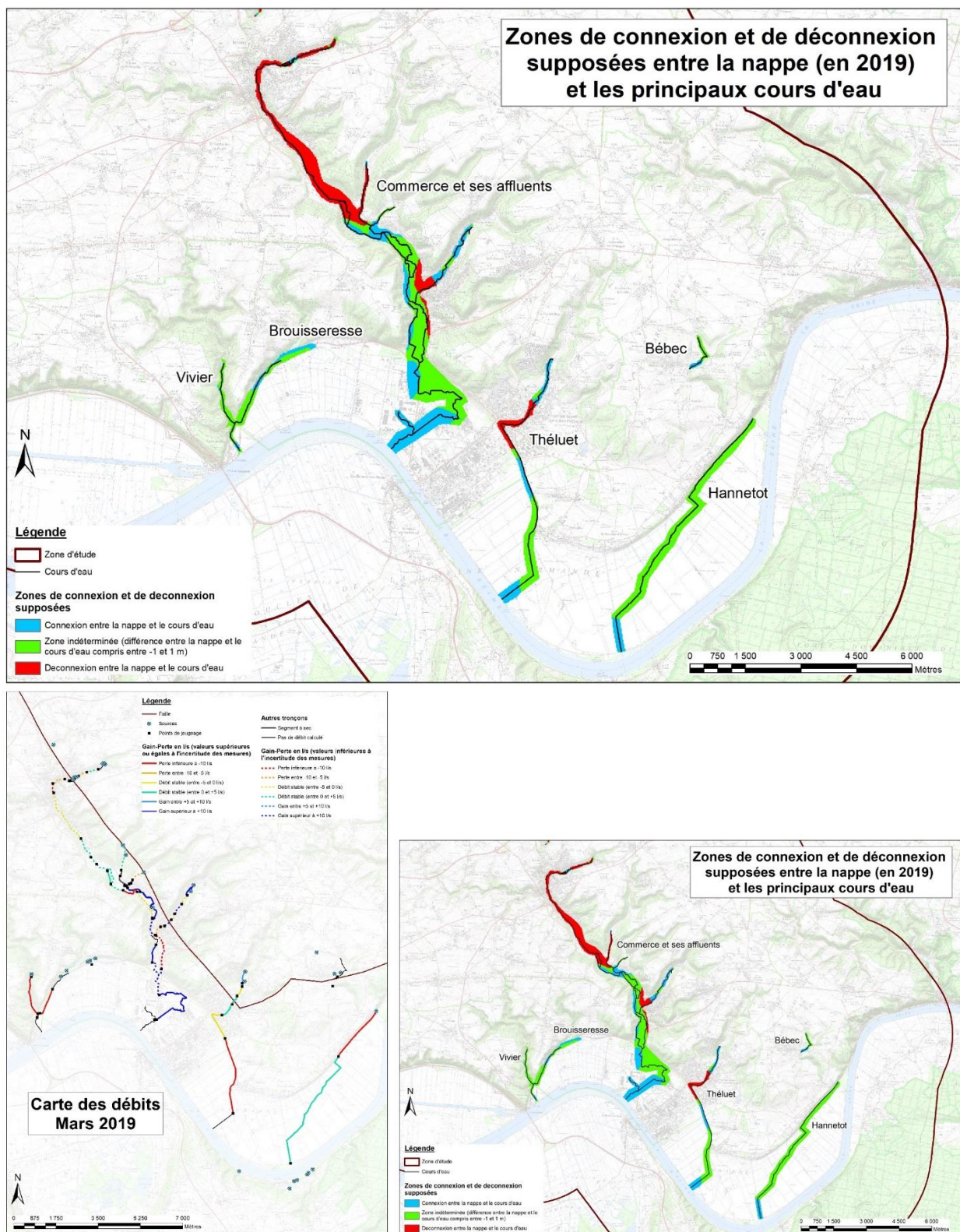


Illustration 192 : Estimation des secteurs où la rivière et la nappe sont en connexion par différence entre la surface piézométrique et les lignes d'eau des cours d'eau.

Comparaison des résultats avec les informations rapportées en bibliographie

Langevin C. (1998) rapporte, dans sa synthèse bibliographique sur les échanges nappes-rivières de la vallée du Commerce, les éléments suivants :

Dans le secteur de Gruchet le Valasse, la rivière du Commerce est déconnectée de la nappe qui se situe 6 à 10 m au-dessous. La rivière est ainsi déconnectée de la nappe depuis le puits St Antoine (00756X0039) jusqu'à l'aval immédiat du forage de la laiterie (00756X0034). Au-delà, à l'aval, un équilibre hydrostatique nappe/rivière existerait. La nappe émergerait ensuite en effet, le long de la route reliant Bolbec à Lillebonne en aval de l'étang de l'Abbaye.

L'auteur précise qu'au niveau de l'Abbaye du Valasse, le Commerce voit son parcours artificialisé. Avant la réalisation des travaux de renaturation, celui-ci était situé à 2-3 m au-dessus du fond de la vallée, son cours serait déconnecté de la nappe.

Dans certaines portions de la Vallée, la profondeur de nappe suggère l'indépendance des écoulements superficiels et souterrains, sans que l'auteur n'identifie précisément de tronçon particulier.

Ces éléments rapportés concordent avec les mesures et observations réalisées dans cette étude, notamment le fait que la zone de reconnexion puisse varier dans l'espace entre le champ captant de St Marcel et l'Abbaye, certainement en fonction des variations des niveaux de nappe.

Influence supposée du karst

Langevin C. (1998) rapporte également que les faibles écoulements de la zone d'émergence en aval de l'abbaye rejoignent ceux du plan d'eau situé en aval de l'Abbaye du Valasse pour former ensuite la rivière des Aulnes. Le ruisseau des Aulnes est l'expression de l'émergence de la nappe. Les apports des sources situées à l'amont du parc des Aulnes s'appuieraient en particulier sur un réseau karstique (cf. assèchement lors du pompage sur le forage du Becquet, après la déviation du cours d'eau au niveau de la voie SNCF). Ces éléments ont été décrits par ailleurs au paragraphe 3.3.3 et semblent donc corroborer les mesures et cartes produites ci-avant.

En ce qui concerne les affluents du Commerce : la source (00756X0086) de la Fontaine Murée et celle de la source Auger (00756X0086) donnent naissance au ruisseau de la Fontaine Murée. Ce ruisseau ne communique pas avec la nappe dont le niveau se situe à 12 m de profondeur. Il se perd un peu plus loin dans le talus du chemin de fer. La fontaine Auger montre parfois un phénomène d'artésianisme qui tenderait à indiquer le caractère captif à semi-captif de la ressource.

Ginger environnement (2005) précise que les traçages réalisés en 1981 et 1982 par la DDE : injection de iodures dans la rivière, avaient mis en évidence des communications entre la rivière et les ouvrages en particulier au forage de St Antoine (F4). Le temps de transfert était d'environ 4 jours pour un taux de dilution de 300.

Deux autres opérations de traçage réalisées en rivière par CPGF (1982) depuis l'amont du vallon de Bolbec ont montré une restitution aux forages de St Antoine, St Marcel, le Becquet et Radicatel (douteux). Selon le bureau d'études, les communications entre la nappe et le cours d'eau semblent s'effectuer tout au long du parcours et pas spécifiquement en aval de Gruchet le Valasse. Le taux de dilution serait de 500 à 1000 au forage de St Antoine et St Marcel.

Ces expériences semblent indiquer une dispersivité importante des traceurs dans la vallée du Commerce, soulignant un cheminement complexe et probablement conservatif. Ces informations viennent compléter les informations du chapitre 4.5.2.

Influence de la lithologie

La superposition des deux ensembles d'alluvions aux faciès contrastés – alluvions périglaciaires grossières sous-jacentes à des alluvions plus récentes, fines et tourbeuses – représente, d'un point de vue hydrogéologique, un contraste de perméabilité très net : d'un côté les alluvions grossières sont très perméables, de l'autre les alluvions fines sont semi-perméables à imperméables. D'après Lefebvre (1993), le coefficient de perméabilité (conductivité hydraulique) des « graves de fond » est de $2 \times 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$ sur le site de Tancarville, tandis que celui des alluvions récentes baisse radicalement à des valeurs de l'ordre de $1 \times 10^{-7} \text{ m.s}^{-1}$ à $1 \times 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$ pour les sédiments limono-argileux et tourbeux (Lefebvre et al., 1993).

Ce contraste de perméabilité, intimement lié à la lithologie des dépôts fluviaux, a un rôle très net sur le comportement des eaux souterraines. En effet, la nappe des « graves de fond » (connectée à la nappe de la craie hébergée par les formations crayeuses ou sableuses sous-jacentes) peut devenir captive ou semi-captive lorsque ces dépôts grossiers sont recouverts des alluvions fines semi-perméables ou imperméables. Plusieurs cas de remontée du niveau piézométrique ont été rencontrés dans les vallées lors de travaux de sondages. C'est le cas notamment vers Gruchet-le-Valasse, dans la vallée du Commerce, où un sondage a rencontré 9 m d'une formation sèche argilo-limoneuse à silex (alluvions mélangées à des colluvions) sous un fond de vallée constamment humide et parcouru par la rivière (Lefebvre et al., 1993). Le percement de la craie, siège de la nappe, a induit une remontée de l'eau à 5 m de la surface, ce qui atteste du caractère captif de l'aquifère de la craie dans les fonds de vallées nappés d'alluvions récentes imperméables.

A noter, l'absence d'eau sur un sondage géotechnique (FP8) réalisé par Ginger CEBTP en 2016 entre la STEP de Gruchet et la laiterie Senoble et qui a rencontré 16 m de formations limono-argileuses et de graves sableuses sèches. L'épaisseur est anormalement élevée.

Plus en aval d'autres sondages pressiométriques (FP 14 et FP15) réalisés près du parc des Aulnes à Lillebonne montrent 8 m d'une succession d'argiles et de graves argilo-sableuses à sableuses surmontant une craie blanche. La nappe se trouve ici à 0,6 m sous la surface du sol.

Au débouché de la vallée du Commerce dans la vallée de la Seine, le niveau d'eau est rencontré sur le FP17 à 0,4 m sous la surface du sol et rencontre près de 10 m d'une argile vaseuse.

Cette configuration peut avoir comme conséquence de rendre indépendants les écoulements superficiels et souterrains. La rivière du Commerce est donc perchée sur le secteur de St Marcel à Gruchet le Valasse. Attention, cette configuration n'implique pas l'absence d'échanges entre les deux unités hydrologiques (nappe et rivière). Il peut exister des phénomènes de drainance ou d'infiltration. Ceux-ci peuvent être diffus ou plus ponctuels : tout au long du parcours du cours d'eau ou au droit de pertes ou de zones faillées. Les prélèvements souterrains peuvent parfois accentuer ces processus naturels (cf. Illustration 194).

Ce cas de figure ne constitue pas l'unique schéma de circulation pour l'ensemble des plaines alluviales, le caractère perméable à semi-perméable des horizons sablonneux des alluvions fines pouvant favoriser le drainage de la nappe sous-jacente vers la rivière (ou l'inverse). Un profil d'équilibre peut alors s'établir entre les deux formations aquifères ; les niveaux se confondent alors, aux abords des deux entités (cf. paragraphe 3.2.4).

Représentation schématique des échanges nappe / rivière :

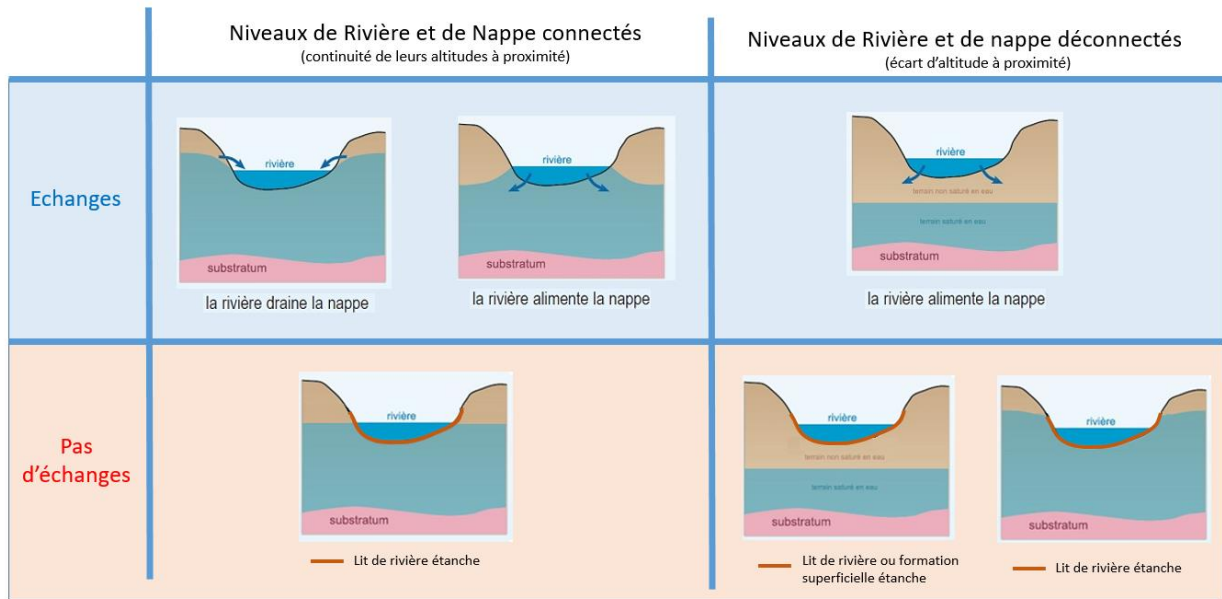


Illustration 193 : Exemples de configurations de relations nappes/rivières possible (David et al., 2020)

4.6.2. Relation supposées des zones humides avec la nappe

Localisation des Zones Humides

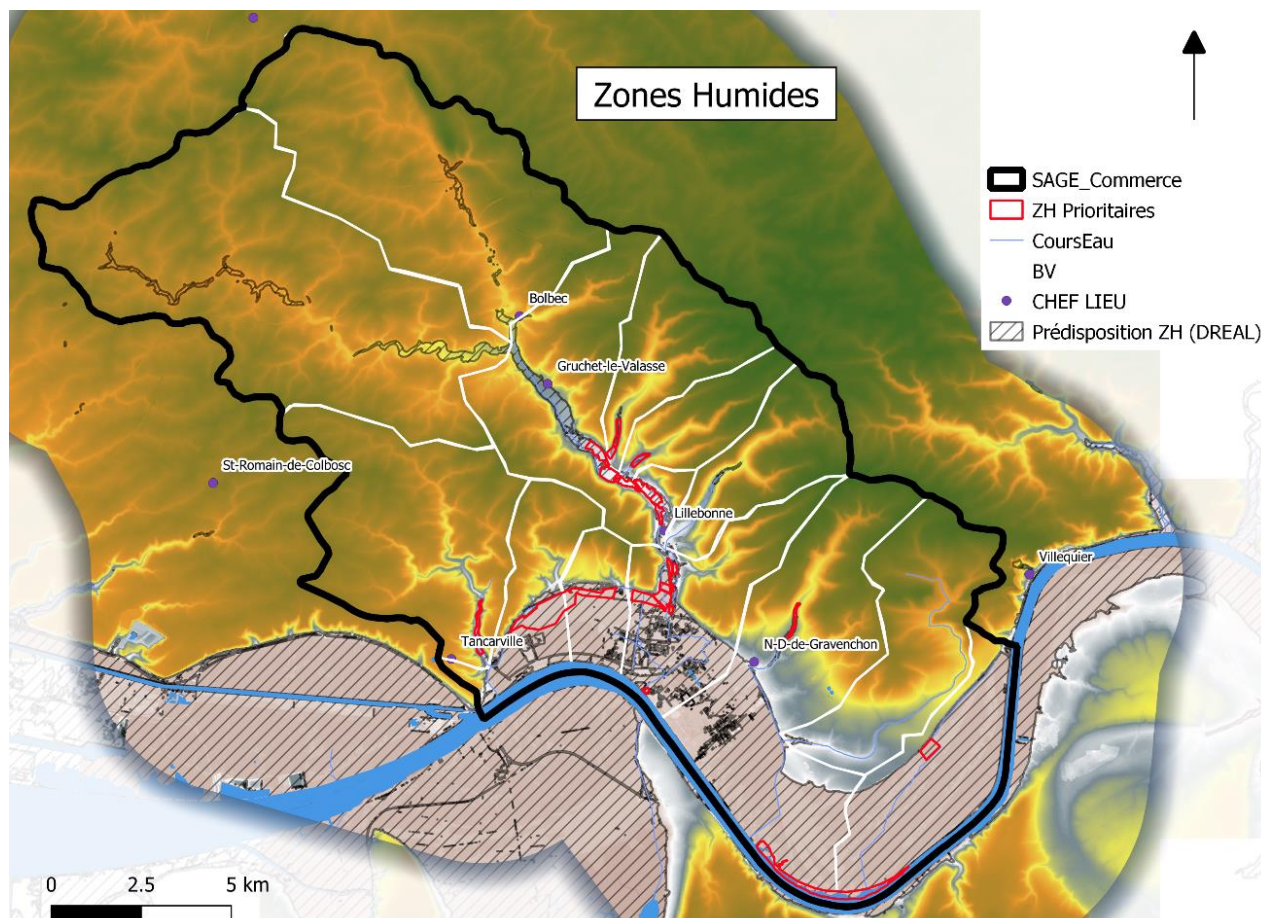


Illustration 194 : zones humides reconnues à l'échelle du SAGE Commerce (source : DREAL Normandie 2018 et SAGE Commerce).

Sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce, toute la plaine alluviale de la Seine et près de la moitié de la vallée du Commerce possèdent une forte prédisposition à la présence de zones humides d'après les données de la DREAL Normandie (Illustration 194).

Au total, le territoire du SAGE a défini 3,5 km² de zones humides prioritaires (ZHP), dont une majorité (2,5 km²) sont situées dans la plaine alluviale de la Seine.

Les autres surfaces de ZHP sont réparties dans la vallée du Commerce, le Vivier et le Théluet.

Dans le Tableau 27 suivant, les surfaces de ces zones humides ont été rapportées à la taille de leur sous-bassin-versant respectif.

Les plus importantes en termes de surface sont celles du Vivier, de la Brouisseresse, de la vallée du Commerce mais également du Hannot-Théluet le long de la Seine.

Bassin Versant	Surface BV (km ²)	Zone Humide Prioritaire du SAGE (km ²)	% ZHP/BV
Vivier	29	0,12	0,4%
Brousseresse	12	0,77	6,4%
Radicatel	6,3	0,32	5,1%
Commerce aval	16	0,51	3,2%
Commerce median	24	0,59	2,5%
Fontaine Murée	13	0,12	0,9%
Val Horrible	8,1	0,07	0,9%
Hannetot	18	0,45	2,5%
Theluet	37	0,5	1,4%

Tableau 27 : Répartition des zones humides prioritaires sur leurs bassins-versants

Lien avec la Zone non saturée

On estime que les zones humides sont potentiellement connectées aux eaux souterraines lorsque la zone non saturée (ZNS) entre la surface du sol et la nappe est inférieure à 5 m (permet une connexion notamment via le système racinaire des plantes).

L'épaisseur de la zone non saturée a été estimée en calculant la différence entre les résultats de la campagne piézométrique de 2019 et le MNT de la zone d'étude. On rappelle que la piézométrie a été réalisée en situation de moyenne à basses eaux (cf. paragraphe 4.2).

L'illustration 195 en page suivante montre que la totalité des zones humides prioritaires se trouve sur des zones où la profondeur de la nappe est faible (ZNS < 5 m). La carte affinée dans la vallée de la Seine permet même d'identifier les secteurs où la nappe est à priori subaffleurante.

Par contre les zones identifiées comme ayant une forte prédisposition aux zones humides sont à l'inverse parfois situées dans des secteurs où la nappe se trouve à une profondeur plus importante (ZNS > 5m). C'est le cas dans la vallée du Commerce en amont de l'abbaye de Gruchet-le-Valasse (cercle noir) jusqu'à Bolbec, et également d'une bonne partie de la vallée sèche du Val d'Arques/Mont Criquet au nord-ouest du territoire.

On fera remarquer que les vallées, orthogonales à la vallée du Commerce possèdent, à priori, des tronçons où la nappe se situe à faible profondeur (encadrés rouges). C'est le cas également de l'amont du bassin versant du Bébec. Des zones humides pourraient donc possiblement être présentes sur ces secteurs non répertoriés.

Sur le secteur de la vallée de la Seine, Burgéap & Sol Paysage (2019) ont mis en évidence un niveau d'engorgement des sols proche de la surface sur le secteur situé au nord de la plaine alluviale de Port Jérôme, près du hameau de Radicatel. Plus au sud et au sud-est, vers la Seine, les niveaux d'engorgements constatés sont plus profonds.

Cette observation tend à confirmer les éléments mis en évidence sur l'illustration 195, compatibles avec la piézométrie mesurée par le BRGM en 2017-2019 et par Burgéap (2020).

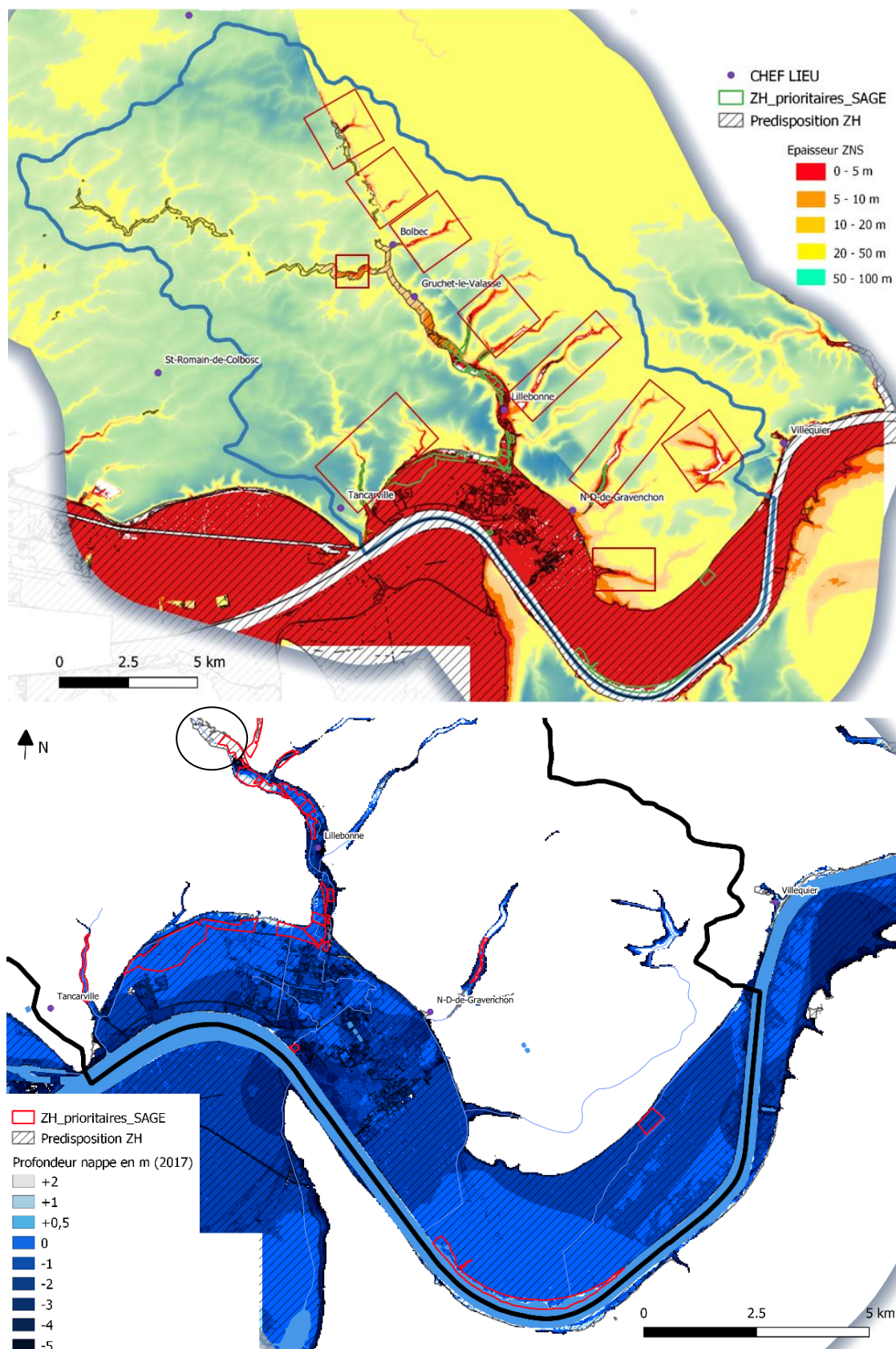


Illustration 195 : Susceptibilité des zones humides aux échanges avec la nappe évalué à partir de la zone non saturée ou profondeur de la nappe par rapport au sol. En Bas, zoom sur la vallée de la Seine.

4.7. SYNTHÈSE PARTIELLE SUR LE FONCTIONNEMENT HYDROGÉOLOGIQUE

4.7.1. Principales unités aquifères du territoire du SAGE Commerce

Sur le territoire du SAGE on distingue trois principales unités aquifères, de par leur épaisseur et leur extension géographique : Les alluvions, les formations crayeuses et les formations sableuses albo-aptiennes.

Les deux premières unités (alluvions et craie) sont en continuité hydraulique alors que l'aquifère crayeux est séparé de celui des sables de l'Aptien-Albien par la formation imperméable des argiles du Gault, cette dernière unité constitue donc le mur de l'aquifère crayeux. L'aquifère des sables apto-albien est donc considéré comme captif alors que l'aquifère crayeux et alluvial est considéré comme libre, à semi-captif (sous les formations superficielles ou d'altération argileuses).

Dans le volet géologique de cette étude, il a pu être mis en évidence que les unités stratigraphiques, pouvaient montrer des variations de faciès significatives : passage de craies dolomitisées ou indurées à des craies sablo-gréseuses ou argilo-sableuses pour le Cénomaniens par exemple. Ces différences dans la lithologie s'expriment également au niveau des propriétés hydrogéologiques des unités rencontrées (porosité et conductivité hydraulique notamment) : c'est le cas par exemple de la craie glauconieuse, des gaizes et les sables de Lillebonne de la base du Cénomaniens où la conductivité hydraulique varie de 10^{-5} à 10^{-8} m/s pour une porosité maximale de l'ordre de 15 à 50% ; c'est également le cas des alluvions avec des unités sablo-graveleuses à la base et des formations argilo-silteuses en surface ; la conductivité hydraulique varie de 10^{-3} à 10^{-7} m/s pour une porosité totale de l'ordre de 10 à 30 %. Ces chiffres montrent donc que l'apparente homogénéité de ces unités hydrogéologiques marque au contraire une grande hétérogénéité de leurs capacités aquifères intrinsèques.

Le territoire du SAGE Commerce est traversé par les systèmes faillés de Fécamp-Lillebonne (N150) et la faille Triquerville (N60-80) qui vont donc affecter, décaler et mettre en contact des formations géologiques aux propriétés hydrodynamiques très différentes : comme les craies, les gaizes, sables de Lillebonne et argiles du gault par exemple.

Ainsi dans le compartiment surélevé, le mur de l'aquifère, proche de la surface, est constitué par les argiles noires du Gault. Dans le compartiment surbaissé, l'aquifère est constitué l'épaisse série crayeuse s'étendant du Sénonien au Cénomaniens, le mur correspond également aux argiles du Gault qui se trouvent alors en profondeur.

Outre l'aspect mécanique que la structuration tectonique va avoir sur les différentes unités géologiques, celle-ci a également favorisé le développement d'une intense karstification, permettant le développement de réseaux karstiques d'une ampleur remarquable à l'échelle régionale. La fissuration et la karstification des unités lithostratigraphiques va modifier les propriétés hydrodynamiques intrinsèques (en particulier l'emmagasinement et la transmissivité des unités aquifères) et donc impacter les écoulements.

4.7.2. Variation des niveaux

Dans le cadre de cette étude le BRGM a pu mettre en place un réseau de suivi des variations du niveau des eaux souterraines, constitué d'une quinzaine de points d'observations répartis entre les plateaux et vallées (dont plaine alluviale de la Seine) dans les différents compartiments hydrogéologiques.

Les observations réalisées à l'échelle du territoire du SAGE Commerce ont pu être complétées par celles disponibles sur d'autres points de suivis du réseau patrimonial DCE (OFB/BRGM) ainsi que sur d'autres piézomètres appartenant à d'autres opérateurs (LHSM, Industriels, etc...).

Les chroniques piézométriques enregistrées entre 2018 et 2019 sur les ouvrages situés sur les plateaux ont permis de proposer des regroupements en termes de comportement :

- Les ouvrages de St Arnoult, Mirville, Nointot, Graimbouville et les Trois-Pierre possèdent une amplitude de pics hivernaux de plusieurs mètres. La période de drainage de la matrice crayeuse qui précède est assez importante : elle peut s'étirer sur 6-8 mois. Les périodes de recharge sont marquées par la présence de signaux caractéristiques des milieux karstiques normands avec des pics de plus faible amplitude assez marqués correspondant vraisemblablement à des mises en charge de conduits karstiques sous l'effet de précipitations. Ce phénomène est confirmé par les observations de la conductivité où l'on observe notamment des effets de dilution ou à l'inverse d'arrivée d'eaux minéralisées. Certains signaux avec des courbes saccadées montrent probablement des effets de filtre de l'épikarst.
- Les ouvrages de Triquerville et Yébleron possèdent une amplitude de pics hivernaux de plusieurs mètres. La période de drainage de la matrice crayeuse qui précède est beaucoup plus faible : sur 3-5 mois. La période de recharge montre un décalage temporel de plusieurs mois avec les précipitations et leur réponse piézométrique est importante sur l'ouvrage de Yébleron (effet inertiel, traduisant probablement le rôle de filtre des formations superficielles et de la zone non saturée) et le rôle inertiel de la matrice. Pour Triquerville la réponse aux périodes de fortes précipitations est plus immédiate et bien marquée en termes d'amplitude, ce qui pourrait caractériser un aquifère fissuré.
- Les ouvrages de Degenestais, Beuzeville et Trouville-Alliquerville ne présentent presque pas de variations annuelles et montrent des fréquences correspondant à de grandes longueurs d'ondes avec des amplitudes très faibles (probablement pluriannuelles) et une durée de vidange très importante. Ces courbes sont souvent caractéristiques des milieux confinés et peu perméables.

L'analyse de la conductivité montre que les grandeurs caractéristiques de la craie se situent autour 600 à 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. On distingue deux anomalies : 1) l'ouvrage de Mirville, où les eaux sont très peu minéralisées, valeur proche de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ caractérisant habituellement des eaux jeunes, de type eau de surface ou eau souterraine à faible interaction eau/roche ; et 2) l'ouvrage de Degenestais, où les eaux sont très minéralisées, valeur proche de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ caractérisant habituellement des eaux chargées en éléments particuliers ou dissous, marqueur de pollution ou d'interaction eau/roche forte (on rappelle que la conductivité des eaux de l'Albien de la zone d'étude serait de l'ordre de 200 à 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Dans la vallée du Commerce et de la Seine, on relève le signal piézométrique **est majoritairement influencé par la pluviométrie**. Burgéap (2020) estime que celles-ci représentent 80 à 90 % du signal. Les 10% restant représenteraient des variations liées à la marée (dont les effets s'atténuent rapidement avec la distance au fleuve), aux variations régionales de l'aquifère ou à des facteurs externes comme les pompages. Ces variations s'expliquent par des transferts de pression ou de masse.

Dans la zone de Port-Jérôme, les observations ont permis d'observer ce qui peut être interprété comme l'effet du réseau de drainage et fossés existants. Le fonctionnement de ce réseau limiterait la hausse du niveau piézométrique dans la frange superficielle des terrains. Cet effet serait notamment influencé/accentué par les fossés connectés au fleuve par des clapets.

Lors de l'hiver 2017-2018 l'effet cumulé des précipitations intenses hivernales et d'une crue de la Seine ont vu la pente de la nappe, entre la vallée du Commerce et la vallée de la Seine, se réduire fortement : les exutoires étant saturés (remontée de la nappe alluviale sous les effets conjugués de la crue de la Seine et des fortes précipitations).

Sur certaines zones où la cote au sol est particulièrement basse, il a notamment été suspecté l'existence de phénomènes de remontée de nappe, occasionnant des débordements ou inondations localisées.

Les fossés ont donc un rôle filtre/tampon jouant à la fois de drain et de stockage ; observations confirmées par Burgeap (2020).

4.7.3. Directions d'écoulements matriciels

Pour rappel, les cartes piézométriques présentées ci-après ont été interpolées par krigeage, avec un modèle de variogramme différent selon le secteur, tel qu'expliqué au paragraphe 4.2.3.

Pour le secteur correspondant au compartiment surélevé, une méthode géostatistique non-stationnaire appelée « krigeage avec dérive externe » a été utilisée pour interpoler la surface piézométrique. Cette méthode consiste à intégrer une topographie dégradée (dérive externe) pour forcer l'interpolation de la piézométrie à reproduire le comportement général de cette topographie. En revanche pour le secteur faillé et le secteur très karstique au nord (vers Yport) cette dérivée externe n'a pas été utilisée (Annexe 4). Cette gestion sectorisée de méthodes d'interpolation a permis d'obtenir les meilleurs résultats. La piézométrie obtenue (Illustration 196 et Illustration 197) met en évidence une piézométrie abaissée dans le compartiment surélevé autour de la faille du fait de la non prise en compte de la topographie (interpolation par krigeage sans dérive externe) pour ce secteur. Ce choix de méthode d'interpolation peut se justifier par une hypothèse de drainage de la nappe par l'axe faillé.

Il est important de rappeler que le bloc est de la Faille (compartiment surélevé) est incliné vers le sud. L'écart d'altitude est d'environ 75m entre Mirville et Lillebonne (d'après les observations d'affleurement et les données de forage disponibles). Cela représente un pendage de 0.5 % (Ragot, 2020 inédit). Ce pendage vers le sud peut guider les écoulements dans cette direction dans la mesure où l'aquifère est constitué de nombreuses discontinuités horizontales pouvant représenter des obstacles à l'écoulement. A l'inverse, un pendage vers le nord affecterait les formations aquifères au niveau du verrou de Bolbec en s'accroissant légèrement vers le nord. Pour les mêmes raisons que celles citées précédemment, ce pendage peut guider les écoulements matriciels.

Les directions d'écoulements matriciels ont été interprétées d'après les cartes piézométriques de mars 2019 et d'avril 2017. Elles ont été matérialisées par des flèches sur l'illustration 196 pour la version 1 de la carte piézométrique et sur l'illustration 197 pour la version 2 prenant en compte les hypothèses de l'effet du drainage karstique sur l'écoulement matriciel.

Ainsi, il apparaît que :

- Dans la version 1 (Illustration 196), la ligne de partage des eaux souterraines entre le bassin versant Manche et le bassin versant Seine est située à 3km au Nord du centre-ville de Bolbec. A partir de cette limite, les écoulements matriciels se font du nord vers le sud entre Nointot et Bolbec pour rejoindre l'axe de drainage de la vallée du Commerce.
- Dans la version 2 (Illustration 197), les écoulements matriciels s'écoulent du Sud vers le Nord sur ce secteur. L'analyse des voies de transfert de la Morpholine vers le captage

d'Yport (David et al., 2020) a montré que seule la version 2 permettrait d'expliquer les teneurs mesurées au captage. La ligne de partage des eaux souterraines entre le bassin versant Manche et le bassin versant Seine dans le compartiment effondré est alors située au niveau du centre-ville de Bolbec.

- Ces deux illustrations permettent également de visualiser l'effet d'une autre hypothèse : celle du rôle non drainant de certains faisceaux de faille guidant les écoulements matriciels dans le compartiment surélevé. Cette hypothèse permet notamment d'expliquer les teneurs en MOR et NMOR retrouvés sur les différentes sources situées le long de l'axe faillée au Sud de Bolbec (David et al., 2020) (cf. chapitre 7 sur la qualité des eaux).

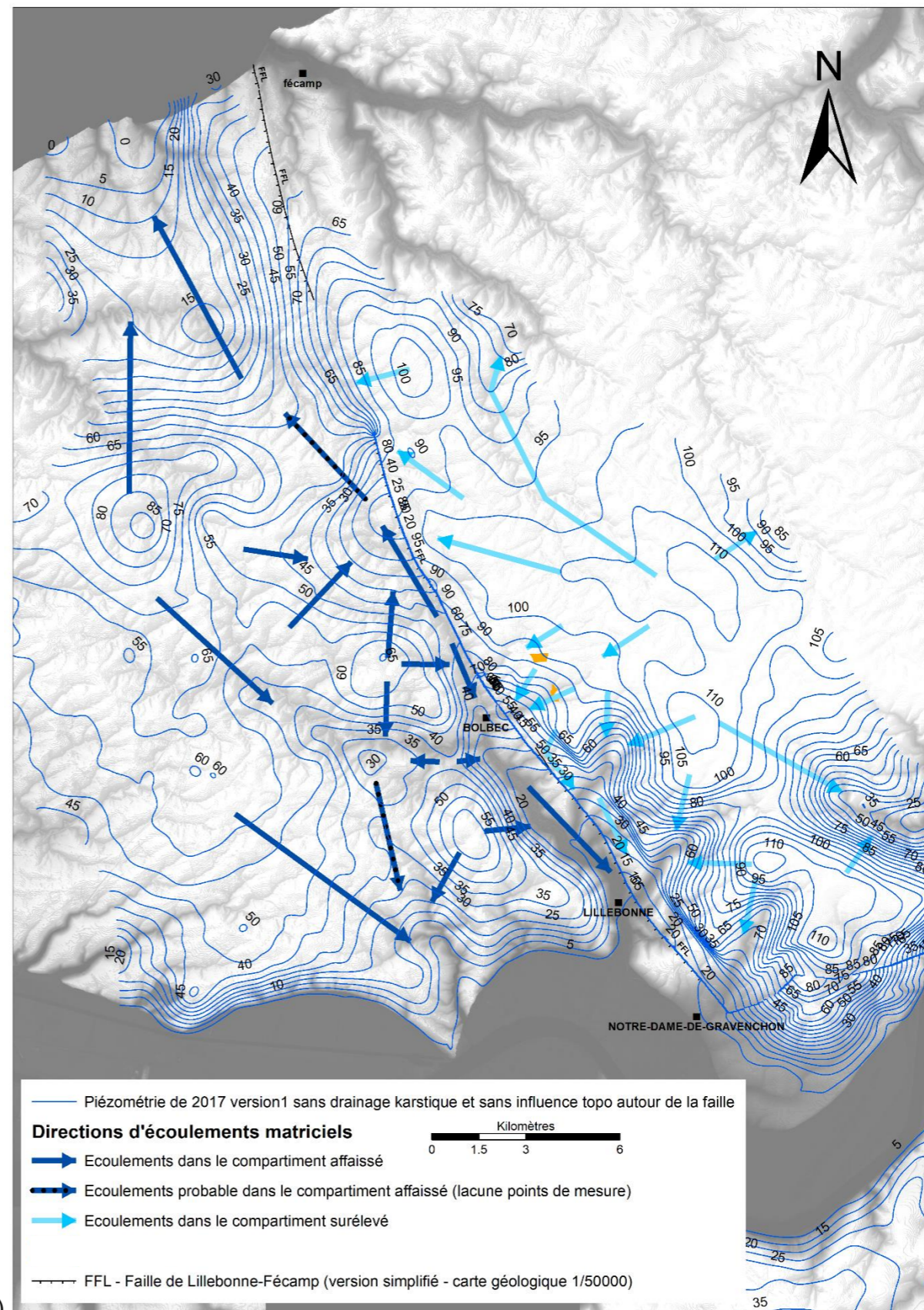
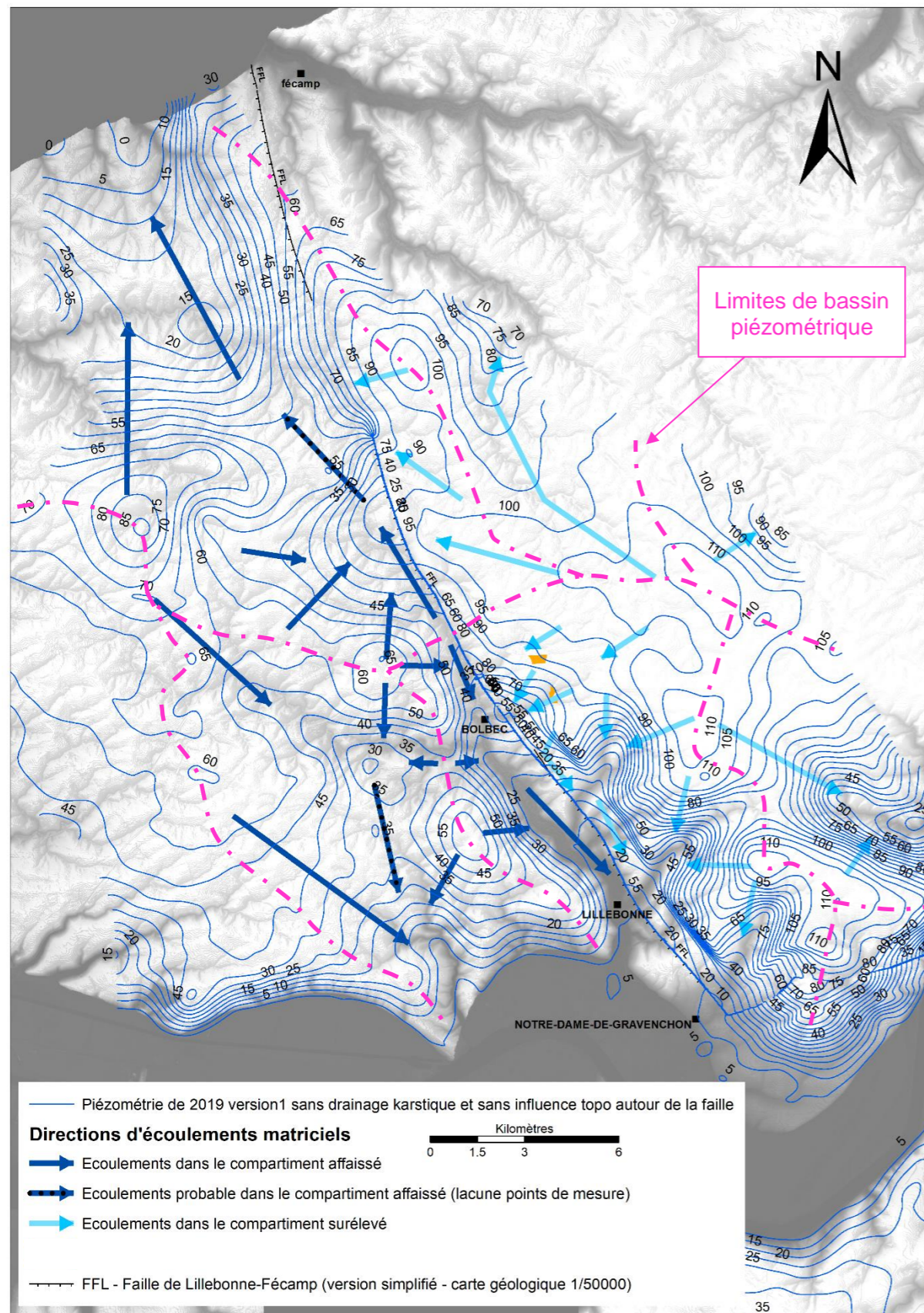


Illustration 196 : Directions d'écoulements matriciels d'après les cartes piézométriques de mars 2019 (a) et d'avril 2017 (b) dans leur version initiale (version 1)

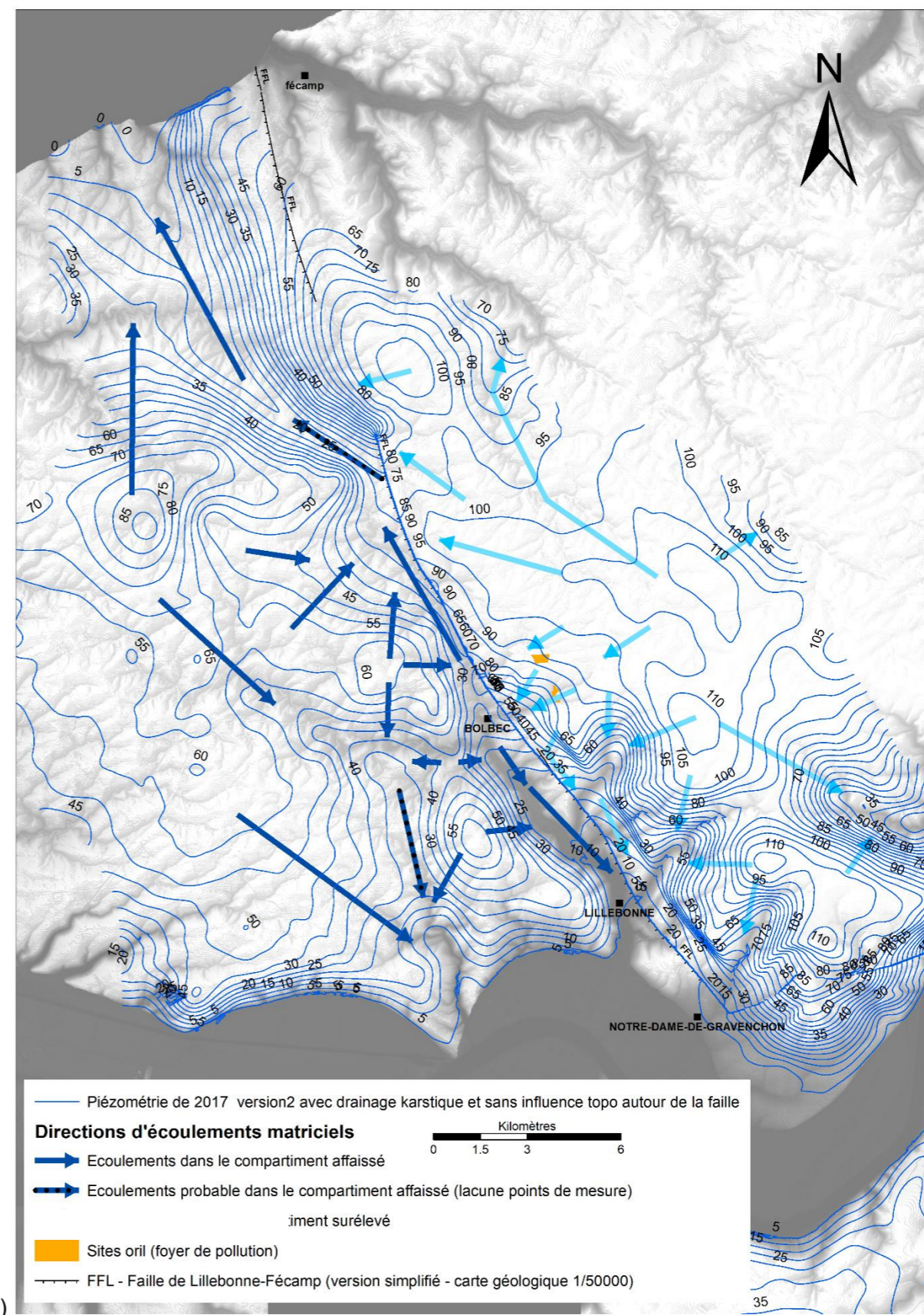
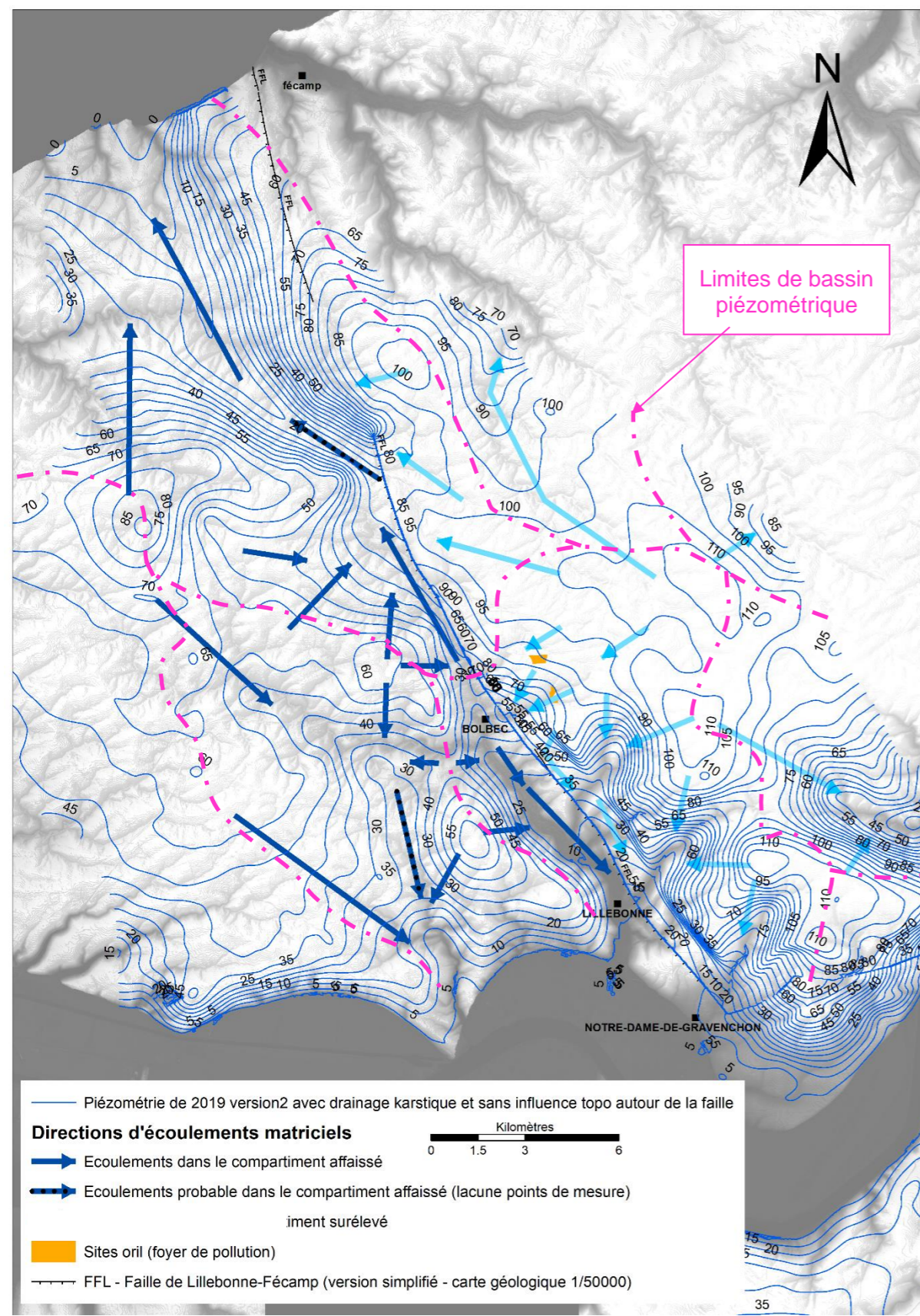


Illustration 197 : Directions d'écoulements matriciels d'après les cartes piézométriques de mars 2019 (a) et d'avril 2017 (b) dans la version 2 prenant en compte l'hypothèse de drainages karstiques

4.7.4. Directions d'écoulements karstiques

Certaines particularités géologiques peuvent conditionner le développement de karst comme cela a été souligné dans le paragraphe 2.7.4 et donc par conséquent favoriser certaines voies de transfert au sein de l'ensemble de l'hydrosystème.

En dehors des zones investiguées par David et al.(2020) - (investigations géophysiques et géologiques) et par celle de J. ragot (Ragot, 2020 inédit) ; il a été nécessaire, faute de données géologiques suffisantes, de s'appuyer sur :

- Les accidents tectoniques supposés par les linéaments (tout escarpement naturel, changements soudains de direction des vallées et thalwegs, - cf. paragraphe 2.5.2).
- Les alignements de sources d'une part et de bétouilles d'autres part, sont en effet souvent révélateurs de l'existence de failles et fractures.

Ces axes fracturés supposés peuvent représenter, en complément des failles observées ou déduites des investigations géophysiques et de l'analyse des sondages, des axes de circulations préférentielles des eaux souterraines, tant verticales qu'horizontales.

Certaines de ces voies de transfert sont par ailleurs mises en évidence par :

- des observations géologiques et hydrogéologiques : effondrements, endokarst, fracturation, pertes, gradients piézométriques et zones de déconnexion nappe-rivière ;
- des résultats de traçages, dont une synthèse a été proposée au paragraphe 4.5.2 ;
- des observations sur la qualité des eaux : teneurs en MOR et NMOR notamment, interprétés en tant que traceurs, mais également d'autres mécanismes hydrochimiques mis en évidence dans le chapitre 7.

Pour le système lié à la faille de Fécamp-Lillebonne, Ragot (2020, inédit) indique que la composante cisailante de la structure peut être à l'origine de fractures transversales obliques aux différentes failles longitudinales qui composent la structure. Ces failles seraient observables dans le secteur où la structure est anastomosée ou encore dite en « tresses fusiformes ». Ainsi à partir de Mirville et jusqu'à Lillebonne, la structure a la géométrie d'un réseau « tresse de failles » dont toutes les composantes ne sont pas encore connues, notamment les fractures transversales. Des voies de transfert sont par ailleurs favorisées par la présence de grabens implantés autour de ces structures orthogonales à la structure faillée de Fécamp-Lillebonne (Illustration 198).

Au niveau du verrou de Bolbec, les réseaux karstiques liés aux pertes de la rivière du Commerce situées dans le compartiment géologique affaissé au niveau du faisceau de faille F0, se dirigeraient dans la vallée du Commerce en direction de Notre-Dame-de Gravenchon (voie de transfert n°5). Ces réseaux karstiques draineraient à la fois les écoulements matriciels du graben de Bolbec et les pertes en rivière. Cet écoulement est facilité par les failles F0a et F0b ainsi que par les karsts développés sur des plans horizontaux et sur des bancs indurés (David et al., 2020).

Sur le compartiment surélevé, le fait que les pertes de la rivière se dirigent vers le nord à Yport pourrait s'expliquer par une infiltration dans un karst présent au niveau du secteur faillé F2-F1 et dont les eaux migreraient sur 2 à 3 kilomètres vers le Nord au-delà la limite de la crête piézométrique délimitant les écoulements matriciels (David et al., 2020). Au sud de cette limite de partage des eaux matricielle, David et al. (2020) fait l'hypothèse que les écoulements karstiques du système faillé F2-F1 serait dirigé vers le sud-est (cf. Illustration 199).

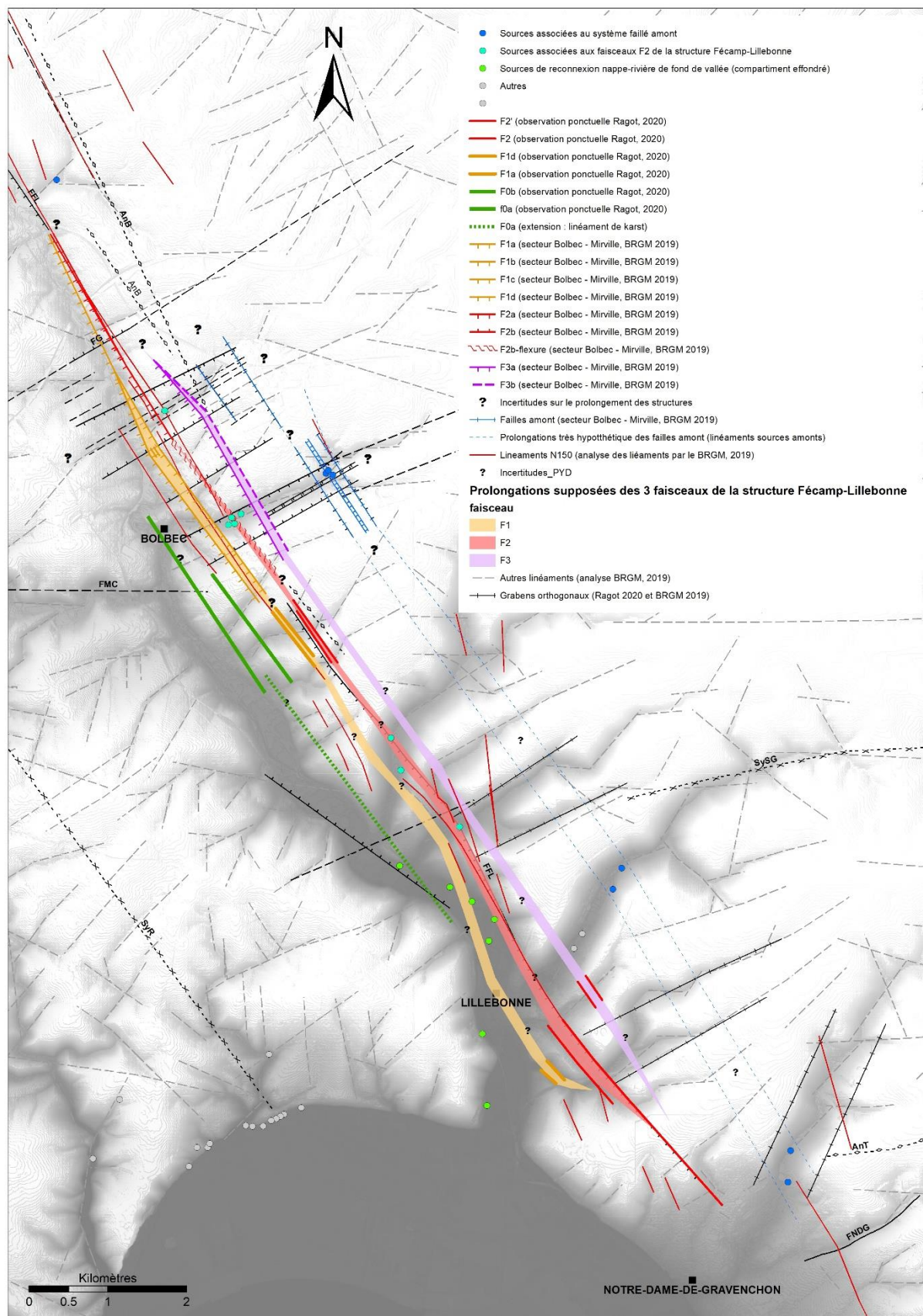


Illustration 198 : Mise à jour du schéma structural du secteur de Bolbec, à partir de l'interprétation des nouvelles données géologiques de 2020 et de l'étude de J. Ragot 2020 (inédit), in David et al., 2020

Il est à noter que les investigations menées sur le secteur sud de la vallée du Commerce, autour de la rivière de la Vallée et du Théluet, ne permettent pas encore aujourd'hui d'avoir le même niveau de détail obtenu sur le vallon de Bolbec. Par analogie, on peut donc suspecter un fonctionnement des écoulements karstiques proche : c'est à dire entre ces vallées perpendiculaires (grabens) et les principaux systèmes de failles décrits ci-dessus (F0, F1 et F2 notamment), avec des zones de pertes ou d'émergences localisée le long ou à l'intersection de ces structures.

Une densification des mesures et observations (géophysiques, géologiques et jaugeages en rivière) et la réalisation d'opérations de traçages permettrait probablement d'apporter ce complément d'information attendu pour confirmer ces hypothèses.

On peut également faire ce même constat pour ce qui concerne les autres systèmes karstiques du territoire du SAGE Commerce, les investigations géologiques et géophysiques n'ont pas permis d'avoir le même niveau de détail qu'autour du système faillé de Fécamp-Lillebonne :

- Pour le **système karstique du Bébec-Hannetot**, les investigations réalisées par l'Université de Rouen nous renseignent sur le fonctionnement du système entre la perte principale, implantée le long du système faillé de Triqueville, et la source du Hannetot située dans la vallée de la Seine dans le compartiment effondré. Les études ont pu mettre en évidence un fonctionnement plus complexe du système karstique lié vraisemblablement à sa morphologie étagée : avec la présence d'émergences secondaires perchées et d'autres occultes, sous les alluvions de la vallée de Seine. A noter : il n'existe pas d'opérations de coloration avec les pertes de la Ravine au niveau du hameau du Noyer ou de Cantepie qui permettraient de préciser encore le fonctionnement de ce système karstique.

Les émergences des pertes des bassins de l'usine de Norville (à Notre Dame de Gravenchon) n'ont jamais pu être localisées. On peut également faire l'hypothèse ici que celles-ci sont dirigées vers la vallée de la Seine, probablement masquées sous les alluvions. La répartition des bêtouilles sur ce secteur est plutôt selon un axe NW-SE, mais en dehors de cet indice il n'est pas possible d'indiquer de direction d'écoulement supposée. A noter également qu'en l'état des connaissances, il n'est pas possible de rattacher ce site au système faillé de Fécamp-Lillebonne ou à celui de Triqueville (ou aux deux à la fois).

- Pour le **système karstique de Radicatel-Vivier**, on dispose d'informations spatiales fournies par de nombreuses opérations de traçages. Celles-ci nous permettent de proposer un schéma d'écoulement souterrain via le karst (écoulements rapides). Il est supposé ici que les écoulements cheminent dans les mêmes directions que les accidents supposés (également marqués par des linéaments et chapelets de bêtouilles) :
 - Au nord-ouest, les directions des écoulements karstiques supposés respectent, a priori, les limites de partage des eaux matricielles. C'est-à-dire que celles-ci seraient dirigées respectivement sur les bassins piézométriques de Saint-Laurent et d'Yport (en dehors du territoire du SAGE Commerce) et en direction du Val d'Arques/Mont Criquet.
 - La capture du bassin versant superficiel et souterrain du MontCriquet est bien dessinée vers le sud, probablement le long d'un axe structural N170. Les opérations de coloration montrent que ce cheminement est rapide dont vraisemblablement karstique.
 - Ce cheminement vers le sud serait intercepté par les systèmes respectifs des sources du Moulin et de la Brouisseresse, que nous avons représenté le long d'axes N120.

Ce schéma d'ensemble, basé principalement sur les observations des résultats de traçage, nous permet de proposer une hypothèse de découpage en différents compartiments ou sous-systèmes karstiques que l'on a associé aux principales émergences : A pour le Moulin, B pour la Brouisseriesse et C pour le Vivier-Tancarville.

A ce stade nous manquons toutefois d'autres éléments contradictoires pour vérifier leur réelle individualisation.

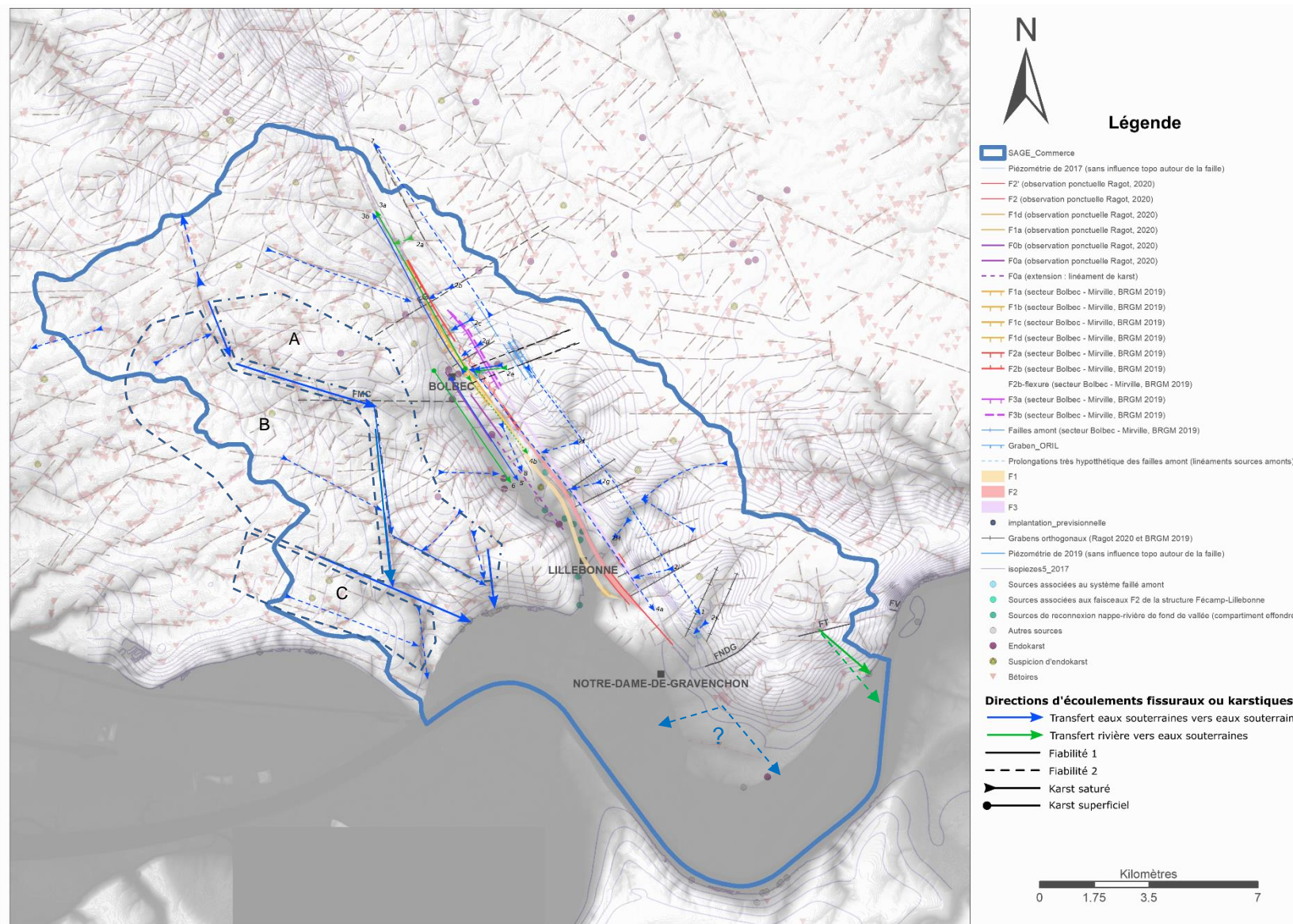


Illustration 199 : Directions d'écoulements karstiques et fissurales supposées d'après David et al., (2020) modifié

4.7.5. Productivité des ouvrages et les paramètres hydrodynamiques

Les informations disponibles en termes de productivité (débit spécifique) sur l'ensemble du territoire ont permis de montrer que :

- la productivité des ouvrages en plateau était assez faible dans l'ensemble, que l'on se situe dans le compartiment abaissé ou surélevé de part ou d'autre de la faille ;
- la productivité des ouvrages dans la vallée du Commerce est assez hétérogène dans son ensemble : de moins de 10 m³/h/m à l'amont de la vallée de Bolbec, dans la Gaize, à plus de 20 m³/h/m dans la craie en aval de Gruchet-le-Valasse ;
- la productivité des ouvrages dans la vallée de la Seine est globalement bonne à excellente, très supérieure à 20 m³/h/m dans la craie avec quelques exceptions.

Concernant le paramètre de transmissivité, dans la vallée du Commerce, entre Gruchet-le-Valasse et Lillebonne, ainsi que dans la vallée de la Seine, les valeurs de ce paramètre varient dans la craie entre $2 \cdot 10^{-1}$ et $5 \cdot 10^{-3}$ m²/s. Sur les plateaux, les valeurs seraient inférieures à $2,5 \cdot 10^{-3}$ m²/s et correspondent vraisemblablement à un réservoir crayeux plus homogène et moins fracturé.

Pour l'ensemble alluvial, la transmissivité ne doit pas dépasser 10^{-2} m²/s avec une variabilité importante : de 10^{-5} à 10^{-6} m²/s dans les alluvions fines à 10^{-2} m²/s pour les graves de fond.

Le coefficient d'emmagasinement varie entre 2 à 13% marquant le caractère libre de la nappe. Des valeurs faibles <2% et beaucoup moins, sont enregistrées sur les secteurs où les alluvions recouvrant l'aquifère de la craie sont reconnus comme étant peu perméables (plus argileux), donnant parfois un caractère semi-captif à captif à la nappe de la craie sous-jacente.

Les calculs réalisés sur la diffusivité des ondes de marée dans la vallée de la Seine ont permis de montrer que la valeur de ce paramètre soit plus importante dans les graves de fond (env. $2 \cdot 10^5$ m²/h) que dans la craie (env. $2 \cdot 10^4$ m²/h) et les alluvions récentes (env. $1 \cdot 10^4$ m²/h). Pour cette dernière unité hydrogéologique, on constate des écarts importants qui s'expliquent probablement par la nature plus ou moins perméable des matériaux ou l'effet de colmatage des berges ou du lit du fleuve (fortement anthropisé).

L'ensemble de ces informations seront complétées, autant que possible, lors de la réalisation du modèle hydrogéologique à venir. Elles s'appuieront sur une analyse statistique sommaire des données disponibles, une fois celle-ci rattachées à leur formation géologique/lithologique d'origine.

5. Calcul des pluies efficaces

5.1. GENERALITES

Afin de modéliser correctement le comportement des ressources en eau souterraine, il est indispensable de pouvoir évaluer et spatialiser la lame d'eau infiltrée. C'est l'une des données importantes de calage. Pour cela les hydrogéologues ont conceptualisé le cycle de l'eau à l'aide des équations du bilan hydrologique. Celui-ci s'écrit classiquement de la manière suivante :

Infiltrations = Précipitations – Evapotranspiration – Ruissellement – Variations Réserve Facilement Utile.

Cette lame d'eau infiltrée va ensuite être stockée et/ou alimenter plus ou moins directement les écoulements souterrains (dont circulations rapides par le karst par exemple). Ces données permettront ensuite d'évaluer la recharge de l'aquifère.

Aussi il convient d'étudier l'ensemble des termes de l'équation et leur variabilité à l'échelle du territoire du SAGE Commerce.

5.2. PRECIPITATIONS

5.2.1. Choix de stations de référence

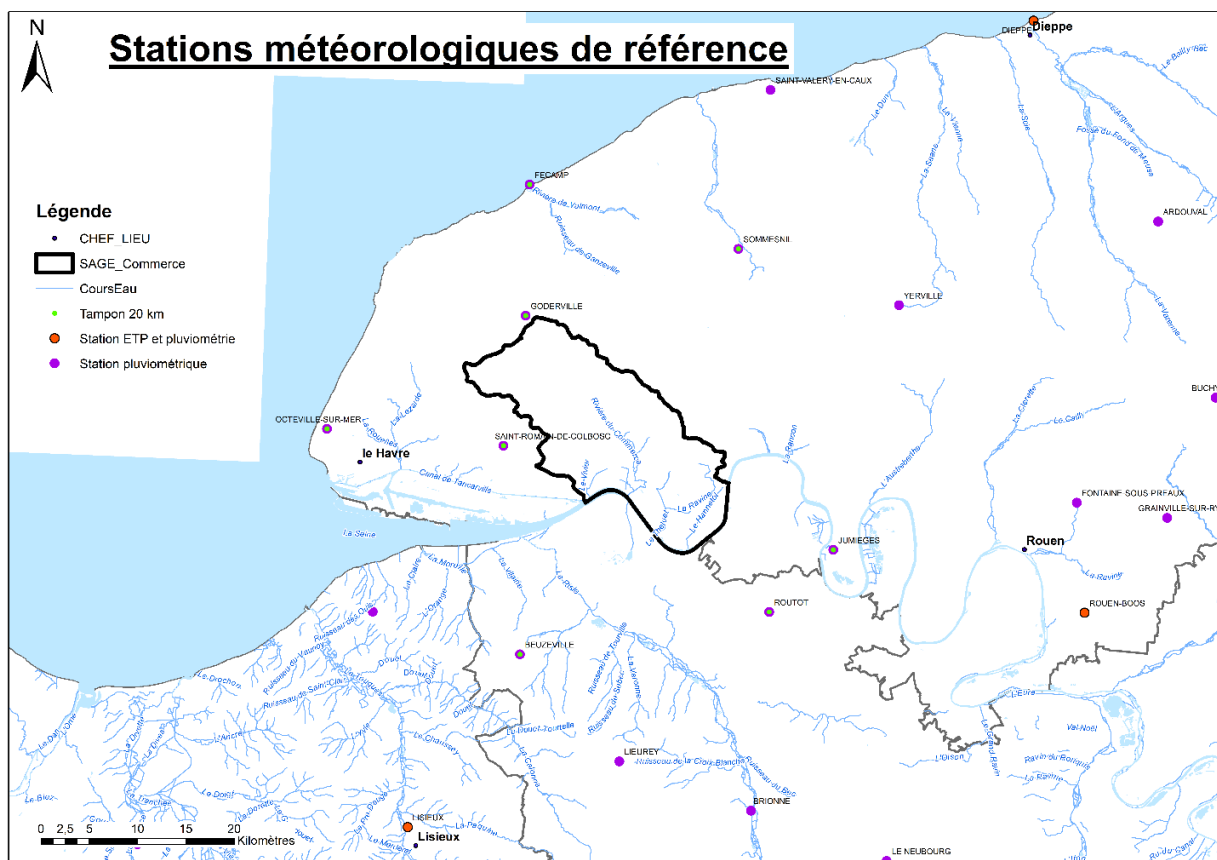


Illustration 200 : Données disponibles des stations météorologiques (BRGM, source : Météo-France)

L'illustration 200 présente les stations météorologiques situées autour du territoire du SAGE Commerce.

8 stations, situées dans un rayon de 20 km autour de la zone d'étude, ont été retenues par le BRGM pour pouvoir étudier les données climatiques dans le détail. Il s'agit des stations de : Beuzeville et Routot dans le département de l'Eure ; Fécamp, Octeville-sur-Mer, Saint-Romain-de-Colbosc, Sommesnil, Goderville et Jumièges dans le département de Seine-Maritime.

Ces stations couvrent toute la période 1980-2019, sauf la station d'Octeville mise en service en janvier 1994.

5.2.2. Données mensuelles

Pour les stations situées autour du territoire du SAGE Commerce, les mois d'octobre à janvier sont statistiquement les plus arrosés, à l'inverse les mois d'avril à juillet sont les moins arrosés (cf. Illustration 201).

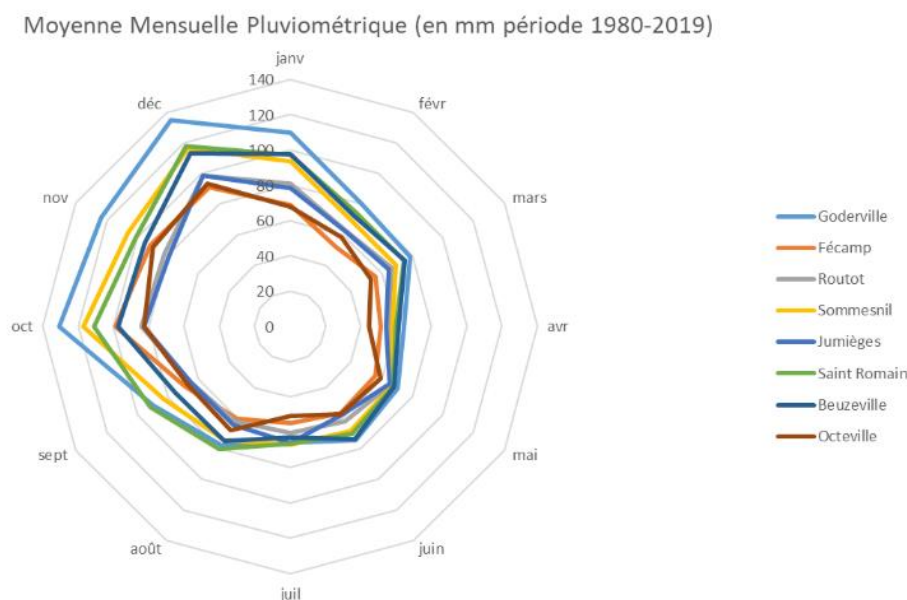


Illustration 201 : Représentation en radar des précipitations moyennes mensuelles des différentes stations (source : Météo-France)

La répartition des moyennes mensuelles étant sensiblement la même pour les différentes stations, nous avons regroupé l'ensemble des données mensuelles des 8 stations afin de disposer d'une statistique globale, à l'échelle du territoire du SAGE Commerce, de répartition des précipitations pour chaque mois (cf. Illustration 202 ci-dessous).

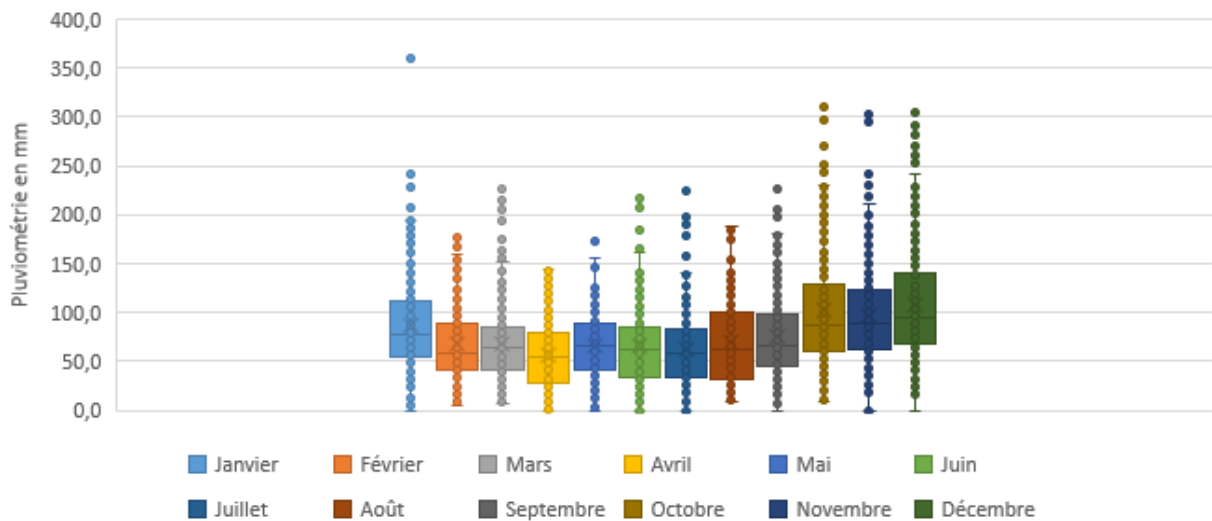


Illustration 202 : Statistiques mensuelles des précipitations de l'ensemble des 8 stations, représentation en « boîte à moustaches » (données : Météo-France période 1980-2019).

Le mois où les précipitations sont statistiquement les moins abondantes est le mois d'avril et à l'inverse le mois où elles sont le plus abondantes est le mois de décembre.

Le graphique suivant (Illustration 203) montre la répartition sur les 40 dernières années des précipitations mensuelles pour chaque station météorologique. Dans l'ensemble les pluies moyennes mensuelles sont comprises entre 60 et 80 mm. A noter : l'intervalle est compris entre 0 et plus de 350 mm/mois.

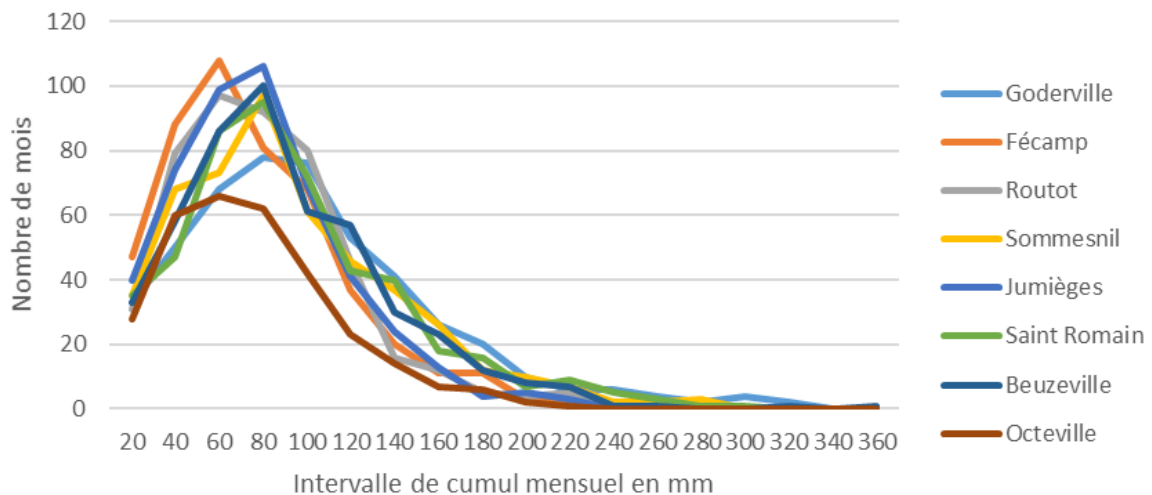


Illustration 203 : Distribution des précipitations mensuelles sur la période 1980-2019 (données : Météo-France).

Le climat est caractéristique d'un régime océanique avec des températures régulières et douces, des pluies assez abondantes et régulièrement réparties sur toute l'année avec une prédominance d'automne.

5.2.3. Données interannuelles

Comme cela a déjà été souligné au paragraphe 5.2 : en fonction de la situation géographique des stations, leur cumul interannuel peut varier de façon significative (cf. Illustration 204 et Illustration 205) :

- Il est supérieur à 1000 mm/an en moyenne pour les stations situées sur les plateaux du Pays de Caux : Goderville, Sommesnil et Saint-Romain-de-Colbosc.
- Il est de l'ordre de 800 mm/an en moyenne pour les stations proches du littoral ou situées dans la vallée de la Seine (Routot, Jumièges, Beuzeville, Fécamp, Octeville-sur-Mer).

A de rares exceptions près, on note que l'ensemble des stations réagit de façon synchrone aux variations climatiques. Ainsi il est possible par exemple de distinguer des années très humides comme 1994 et 2000 et à l'inverse des années très sèches comme 1989, 1996 et dans une moindre mesure 2003.

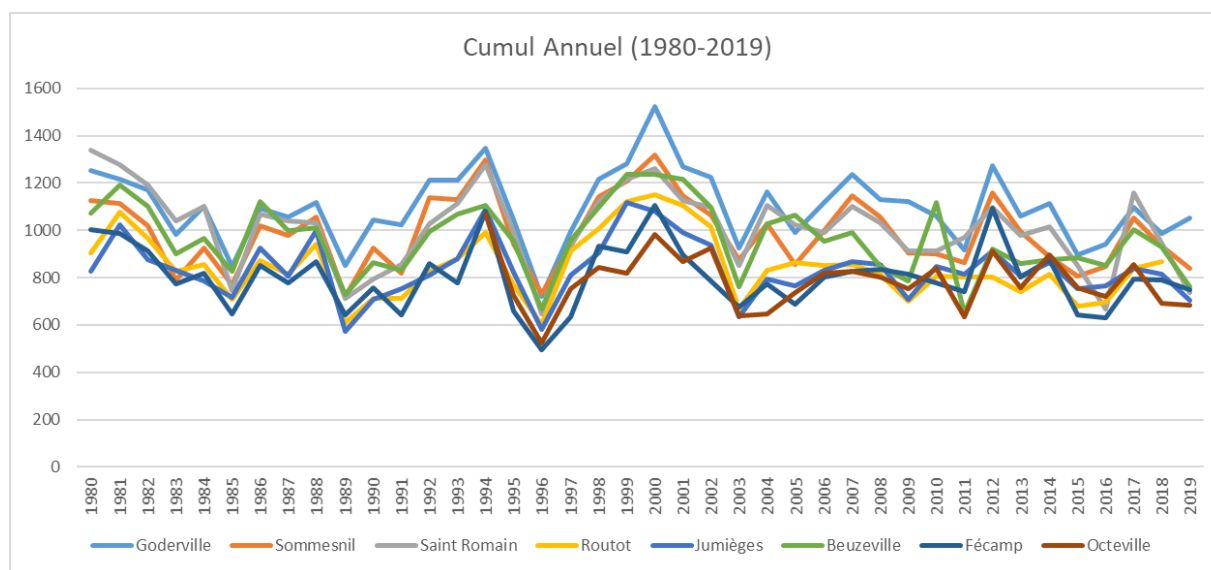


Illustration 204 : Evolution des cumul annuels de précipitation sur la période 1980-2019 (source : Météo-France)

On note dans l'ensemble qu'il ne semble pas y avoir de tendance à la hausse ou à la baisse sur la période d'observation en ce qui concerne l'importance interannuelle des précipitations.

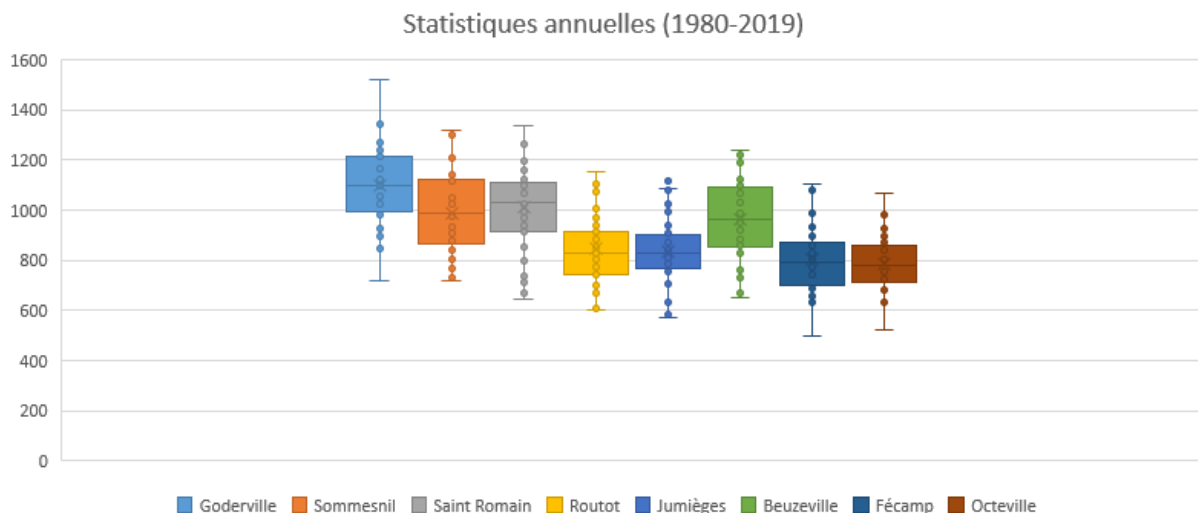


Illustration 205 : Statistiques interannuelles des cumuls de précipitation, représentation en « boîte à moustaches » (données : Météo-France).

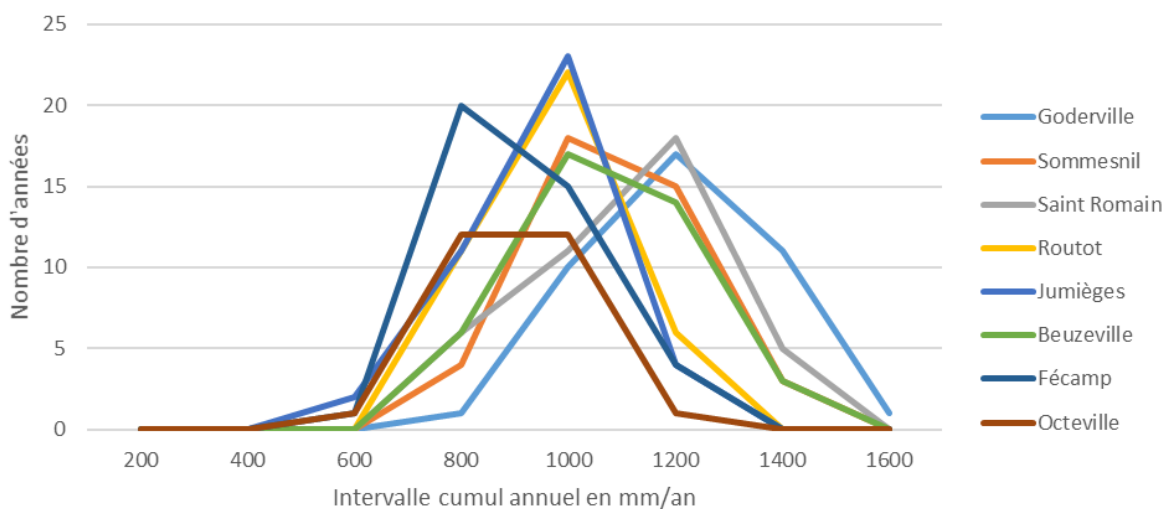


Illustration 206 : Fréquence des précipitations annuelles sur la période 1980-2019 (source Météo-France)

On remarque sur les Illustration 205 et Illustration 206 pour la station de Beuzeville, située dans la vallée de la Morelle (Calvados) à proximité de l'estuaire de la Seine, que la valeur interannuelle de cette station la rapproche de celles du pays de Caux.

Dans l'ensemble, il existerait donc un contraste important entre le nord et le sud du territoire du SAGE Commerce. La différence de cumul annuel serait de l'ordre de 200 mm/an ce qui est tout à fait significatif.

5.2.4. Spatialisation des pluies annuelles

Même si le réseau de stations météorologiques Météo-France couvre d'une façon satisfaisante la majorité du territoire national, il ne permet que difficilement d'appréhender la variabilité spatiale des données climatiques. Dans la majorité des études, les données météorologiques proviennent des postes de mesure les plus proches du site d'étude, et sont transposées sans aucune transformation. Ainsi, la variabilité locale liée à la topographie (altitude) est rarement prise en compte.

Les données spatialisées AURELHY (Analyse Utilisant le RELief pour l'Hydrométéorologie) de Météo-France¹⁷, présentées ci-après dans l'illustration 207, ont été conçues à la Subdivision d'Hydrométéorologie de la Météorologie Nationale pour répondre de façon automatique et opérationnelle à des besoins en cartographie de paramètres pluviométriques statistiques. Après définition de la notion de "paysage" environnant un point de mesure, on expose une méthode de codage et de reconnaissance automatique du "paysage" sur un domaine géographique déterminé.

Pour les besoins de cette étude, nous avons utilisé ces données sous forme de grille de maille 5 x 5 km, présentant les précipitations normales sur la période 1981-2010.

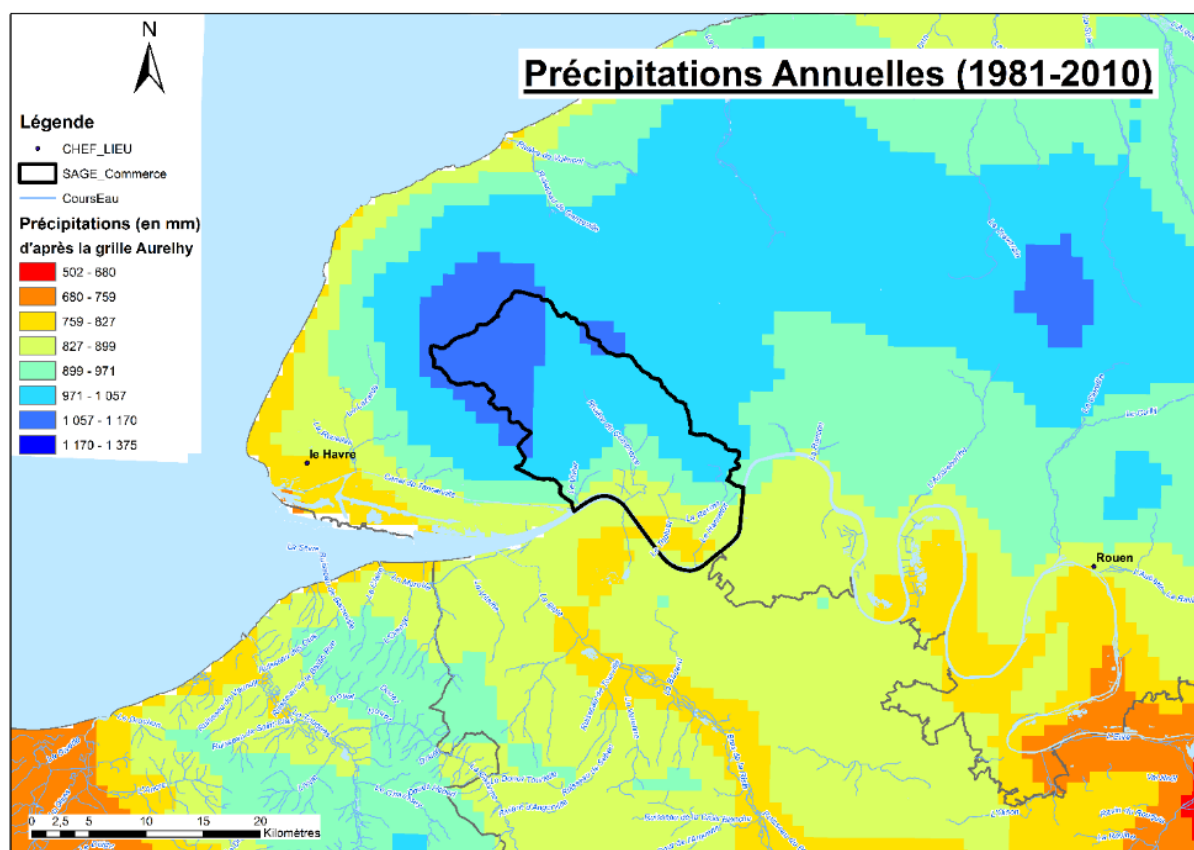


Illustration 207 - Précipitations normales spatialisées Aurelhy sur la période 1981-2010, grille de 5 km (source : Météo France)

¹⁷ Ref source : Claire Canellas, Anne-Laure Gibelin, Pierre Lassègues, Maryvonne Kerdoncuff, Philippe Dandin, Pascal Simon (2014), Les normales climatiques spatialisées Aurelhy 1981-2010: températures et précipitations, La Météorologie - n° 85 - mai 2014, pp.47-55

Ces données (Illustration 207) font également apparaître une variabilité relativement importante de la pluviométrie à l'échelle du territoire du SAGE Commerce : le cumul annuel de précipitations est plus important au nord du territoire, où il peut dépasser 1100 mm/an, alors qu'au sud, à proximité de la vallée de la Seine, il est moins important : de l'ordre de 850 mm/an.

Ces données spatiales sont donc cohérentes avec celles des stations et pourront donc être utilisées par la suite à l'aide d'outils SIG pour évaluer la part des infiltrations, et donc celle de la recharge, à l'échelle du territoire.

5.3. EVAPOTRANSPIRATION

5.3.1. Méthode de calcul

L'Evapo-Transpiration Potentielle (ETP) représente le maximum d'eau (en mm) que peut évaporer le sol et transpirer les plantes à condition que le sol soit bien pourvu en eau et que les plantes couvrent uniformément le sol. Ainsi l'ETP est donnée pour un sol dont la réserve utile est pleine, recouvert d'une surface végétale homogène.

Une approximation possible de cet indice est donnée par la formule Penman-Monteith, dont la formule est la suivante :

$$ET0 = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{Cste}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Avec:

$$\Delta = \frac{4098 e_{sat}(T)}{(T + 237,3)^2}$$

$$\gamma = 0,665 * 10^{-3} P$$

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065 z}{293} \right)^{5,26}$$

$$e_{sat}(T) = 0,6108 e^{\frac{17,27 T}{T + 237,3}}$$

ET0 = évapotranspiration de référence, en mm/j ou mm/h,

Rn = rayonnement global en MJ/m²/j ou MJ/m²/h,

G = flux de chaleur dans le sol par conduction en MJ/m²/j ou MJ/m²/h,

γ = constantes en kPa/°C, *Cste* = 900 pour un pas de temps journalier et 37 pour un pas de temps horaire,

T = température en °C,

P = pression atmosphérique en kPa,

z = altitude par rapport à la mer (m),

es(T) = *esat(T)*, la pression de vapeur saturante en kPa,

ea(T) = pression de vapeur actuelle en kPa = humidité relative * *es* / 100,

u2 = vitesse du vent à 2 mètres du sol en m/s.

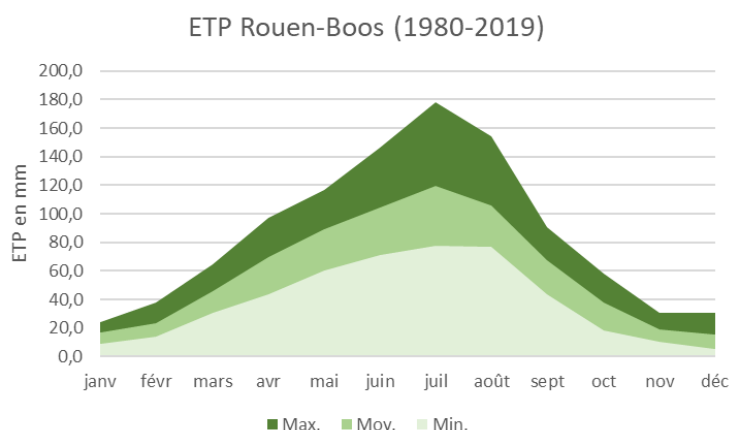
Les données sont calculées au niveau de la station Météo-France la plus proche, celle de Rouen-Boos, située à 40 km environ plus à l'est.

A noter : Il est donc probable que les valeurs d'ETP, ne varient pas de façon linéaires et qu'elles présentent une variabilité. Les stations de Dieppe et Lisieux, situées entre 40 et 50 km du territoire du SAGE, montrent des valeurs globalement moins importantes que celles de Rouen (12 à 15 %

plus faibles). On peut donc supposer que les valeurs présentées ici sont probablement légèrement surévaluées.

5.3.2. Données mensuelles

L'illustration 208 suivante montre que la valeur moyenne de l'ETP de la station de Rouen-Boos varie de façon significative en fonction des mois, de 15 à 120 mm/mois (la moyenne mensuelle est proche de 60 mm/an).



Données Mens. (1980-2019) en mm	Moy.	Min.	Max.
janv	16,6	8,9	24,2
févr	23,7	13,7	37,7
mars	45,9	30,3	64,5
avr	69,4	44,0	97,1
mai	89,5	60,3	116,5
juin	104,2	71,2	146,1
juil	119,8	77,3	178,1
août	105,6	77,2	154,0
sept	67,4	43,3	90,8
oct	37,5	18,5	57,8
nov	19,2	10,2	30,4
déc	15,2	5,7	30,6
Moyenne annuelle	714,1	460,6	1027,8

Illustration 208 : Moyennes mensuelles d'ETP à la station de Rouen-Boos sur la période 1980-2019 (source : Météo-France)

Conformément aux paramètres pris en compte dans le calcul de Penman-Monteith, les valeurs calculées sont faibles de novembre à février, période où le couvert végétal est plus faible, et sont fortes de juin à septembre, période de développement végétal plus important. Faute de pouvoir la mesurer in-situ.

5.3.3. Données interannuelles

La moyenne interannuelle d'ETP (Illustration 209) pour la station de Rouen-Boos est comprise entre 600 et 800 mm, ce qui est relativement important. Ces valeurs représenteraient aujourd'hui de 55 à 75% du cumul annuel de précipitations. On rappelle que ces valeurs sont probablement surestimées pour le territoire du SAGE de la vallée du Commerce.

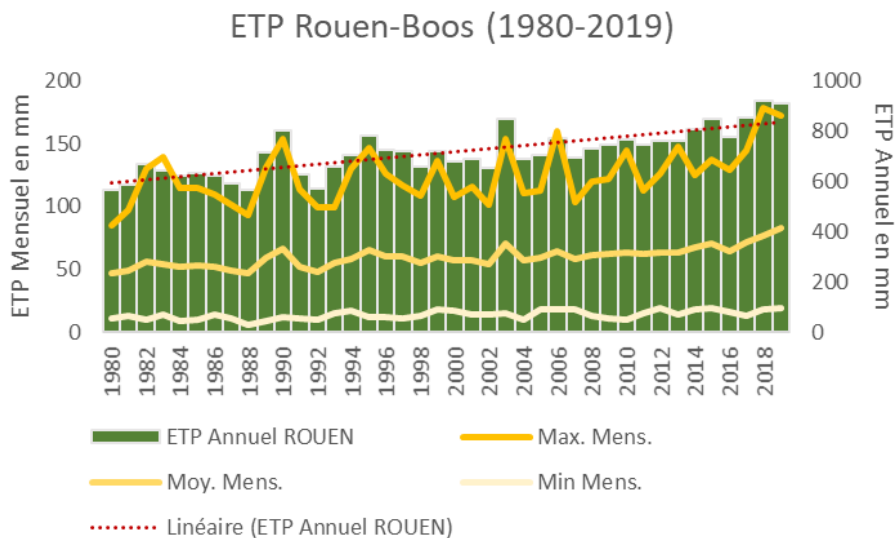


Illustration 209 : Evolution de l'évapotranspiration potentielle sur la période 1980-2019 à la station de Rouen-Boos (source : Météo-France, évaluation par la méthode Penman-Monteith)

A souligner : On fera remarquer que la moyenne annuelle a augmenté ces 40 dernières années (période 1980-2019) d'après la courbe de tendance tracée sur le graphique de l'illustration 209 ci-contre.

Il est important de souligner ici que la valeur d'ETP n'est pas spatialisée, mais il est évident que celle-ci est probablement plus importante au droit des zones boisées et moindre sur les espaces urbanisés par exemple. On rappelle que les prairies et bois représentent environ 35% du territoire et les espaces urbanisés environ 15 %, le reste étant globalement occupé par des terres cultivées.

5.4. RESERVE UTILE DES SOLS

Le réservoir en eau utilisable d'un sol, souvent appelé « Réserve Utile » (RU), représente la quantité d'eau maximale que le sol peut contenir et restituer aux racines pour la vie végétale.

La valeur de RU dépend de plusieurs caractéristiques du sol¹⁸ :

- la texture de la terre fine : la RU d'un horizon de sol argileux est de l'ordre de 1,7 mm/cm de sol, celle d'un horizon de sol argilo-limoneux de l'ordre de 2 mm/cm de sol et celle d'un sol sableux de l'ordre de 0,7 mm/cm de sol ;
- la teneur en éléments grossiers : la RU dépend à la fois de la quantité et de la nature des éléments grossiers, par exemple, des silex retiennent de l'ordre de 2% d'eau, tandis que des calcaires peuvent en retenir plus de 30% ;
- la profondeur du sol : la RU est une grandeur intégrée sur l'épaisseur de sol, qui diffère grandement selon ce paramètre. Selon les applications, on retiendra comme valeur « la profondeur du sol » ou la « profondeur d'enracinement ». Ces deux paramètres sont également difficiles à appréhender : si la profondeur de sol est simple à déterminer lorsque le sol se développe sur un substrat dur, il n'en va pas de même dans les autres cas.

¹⁸ Information du groupement Gis-Sol : <https://www.gissol.fr/thematiques/reserve-utile-en-eau-des-sols-18>

Concernant la spatialisation de la réserve utile à l'échelle du territoire du SAGE Commerce, le BRGM a utilisé ces données :

- Le Référentiel Régional Pédologique de Haute-Normandie (RRP HN), et en particulier la carte au 1 /250 000 (version novembre 2018) de la répartition spatiale des types de sol présents dans les petites régions naturelles de l'ex-région Haute-Normandie. Ces travaux ont été établis par le Conservatoire d'espaces naturels Normandie Seine (CEN) pour l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN).
- A chacune des unités de sol délimitées par cette base de données nationale des sols, ont été affectées les valeurs de RU mentionnées dans la carte pédologique de Haute-Normandie au 1/250 000ème (SERDA, 1988).

La carte des Réserves Utiles (RU) retenues pour le calcul de la pluie efficace est présentée à l'illustration 210.

On note que les valeurs de RU varient de plus de 200 mm pour les limons épais issus de loess dans la partie nord du territoire (sur les plateaux) à 50 mm dans les secteurs fortement industrialisés et sur les terrasses alluviales de la Seine. Les formations sur les versants et les vallées ont des valeurs intermédiaires proches de 100 mm.

Il existe à l'échelle du territoire du SAGE Commerce une forte hétérogénéité spatiale dans la répartition des valeurs de réserve utile. En résumé, les sols ont des réserves hydriques importantes sur les plateaux, à l'inverse des sols rencontrés en vallée qui ont des réserves jusqu'à 4 fois moins importantes.



Données Pédologiques de référence

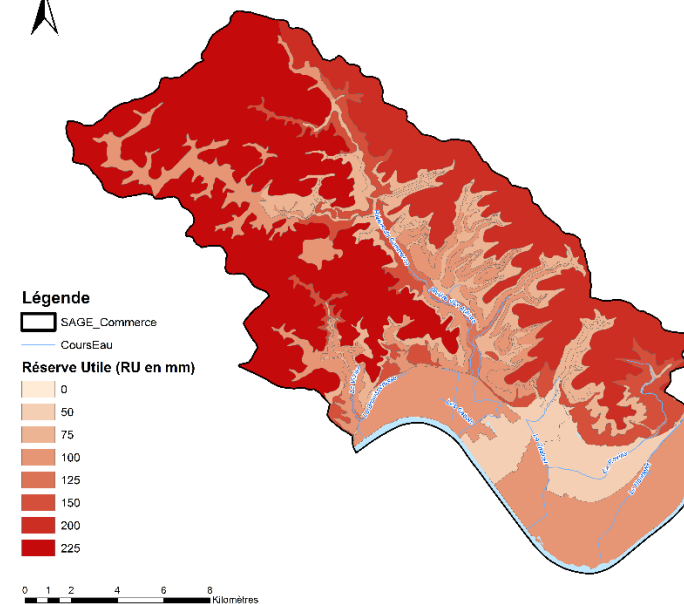
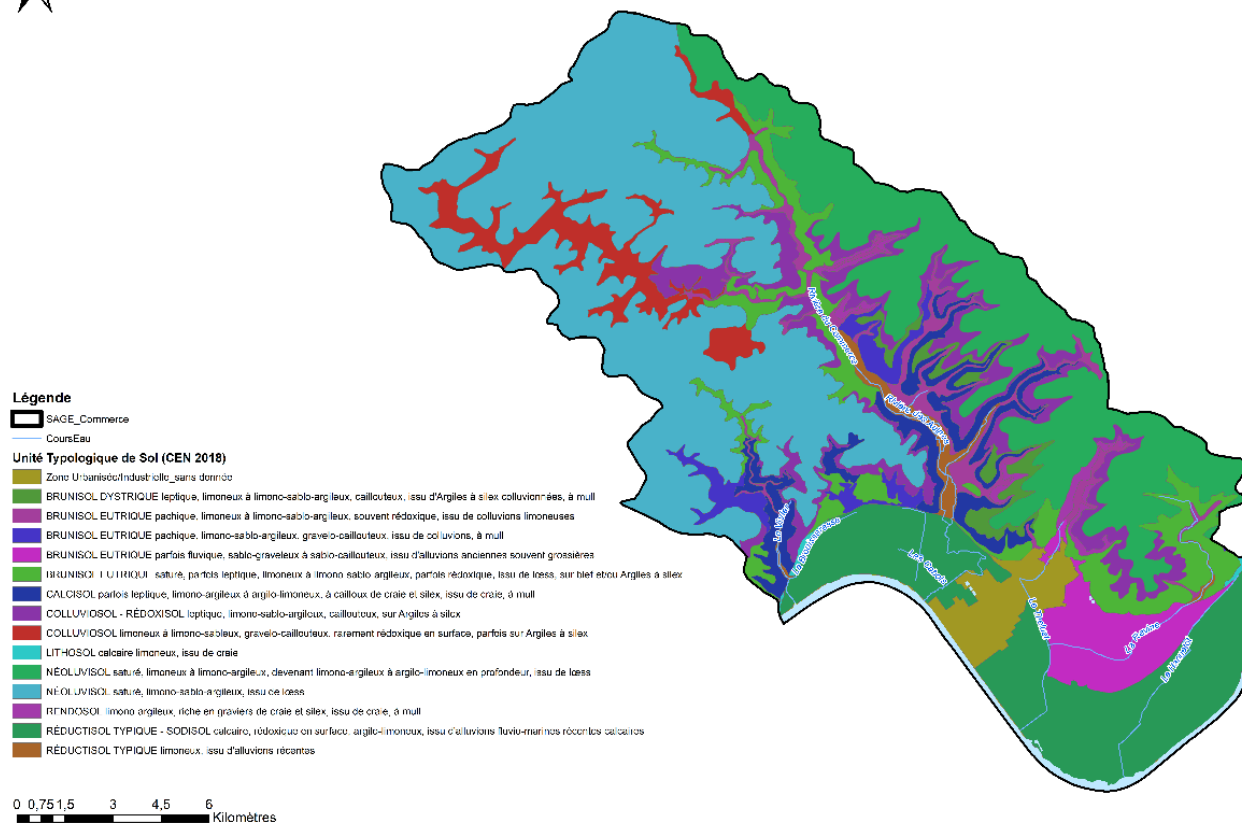


Illustration 210 : Carte pédologique et évaluation de la réserve utile des sols (source : CEN, 2018) valeurs de RU évaluées d'après SERDA (1988).

5.5. CALCUL DE LA PLUIE EFFICACE

5.5.1. Notion de pluie efficace

"Les précipitations efficaces représentent la quantité d'eau fournie par les précipitations qui reste disponible, à la surface du sol, après soustraction des pertes par évapotranspiration réelle", " Les précipitations efficaces sont égales à la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration réelle" (G. Castany, 1982).

5.5.2. Données bibliographiques

CPGF (1978) indique sur la base de plusieurs méthodes de calcul que les valeurs de précipitations efficaces s'étendent de 124 à 545 mm. La lame d'eau moyenne serait de l'ordre de 310 mm (Illustration 211).

Méthode	Période	Paramètres utilisés	Pluie efficace
Formule de Turc	1925-1968	P=1018 mm, T = 10.1°C	415 à 545 mm
Formule de Turc	1945-1960	P=658 mm au Havre	310 à 355 mm
Bilan mensuel	1971-1975	P du Cap de la Hève	124 à 487 mm
Formule de Turc	1951-1980	Bolbec et Lillebonne (Atlas)	443 et 388 mm
Formule de Turc	1968-1977	Bolbec P=930 mm	338 mm
Formule de Thornthwaite	1968-1977	Bolbec P=930 mm	328 mm
Dosage des chlorures	1978	Stations météo. de Bolbec	258 mm
Formule de Penman	1990-1997	Stations météo. du Pays de Caux	200 à 400 mm

Illustration 211 : Calcul des pluies efficaces par différentes méthodes analytiques, source :CPGF (1978)

L'Atlas hydrogéologique de Seine-Maritime (1990), cf. Illustration 212 ci-après, indique des valeurs de pluies efficaces comprises entre 226 et 443 mm pour le secteur de Bolbec/Villequiers. Les valeurs de plus de 400 mm étant indiquées comme correspondant aux secteurs situés sur les plateaux de la pointe du Pays de Caux.

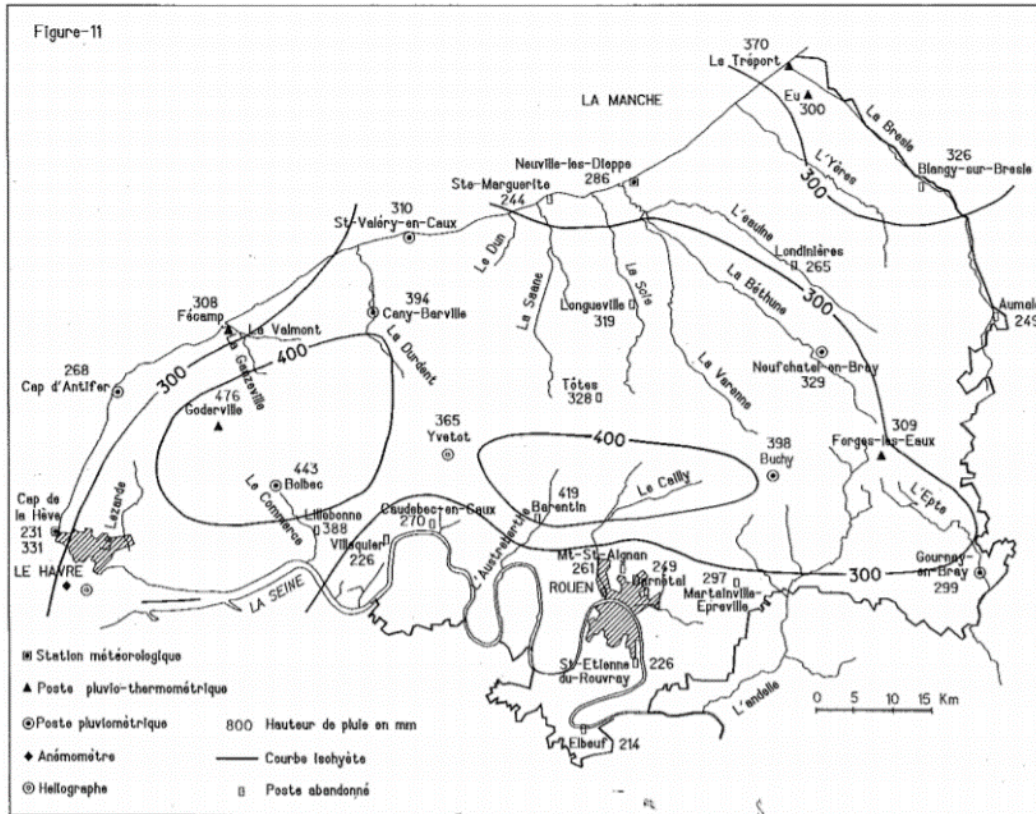


Illustration 212 : Evaluation des pluies efficaces à l'échelle du Département de Seine-Maritime - Extrait de l'Atlas Hydrogéologique de 1990 (Chemin et al., 1992)

5.5.3. Evaluation avec l'outil ESPERE¹⁹

Dans le cadre de cette étude, des estimations des pluies efficaces ont été réalisées avec le logiciel ESPERE (Lanini et Caballero, 2015) : calcul à l'aide des méthodes de Thornthwaite, Dingman et Edijatno & Michel.

On précise que pour effectuer ces calculs, les données journalières du pluviomètre de Goderville ont été utilisées (station la plus « humide » du territoire) ainsi que les valeurs d'ETP de la station de Rouen-Boos sur la période 1998-2018. Le choix de la station de Goderville a probablement tendance à surestimer la valeur de pluie efficace, car il s'agit de la station enregistrant le plus fort cumul interannuel (cf. chapitre 5.2).

Les résultats des calculs donnent des valeurs moyennes interannuelles de pluies efficaces de l'ordre de 500 mm (cf. Illustration 213). Ces valeurs sont plus élevées que celles indiquées plus avant mais restent néanmoins comprises dans la fourchette haute des valeurs reconnues en bibliographie.

¹⁹ Rapport BRGM/RP-65164-FR

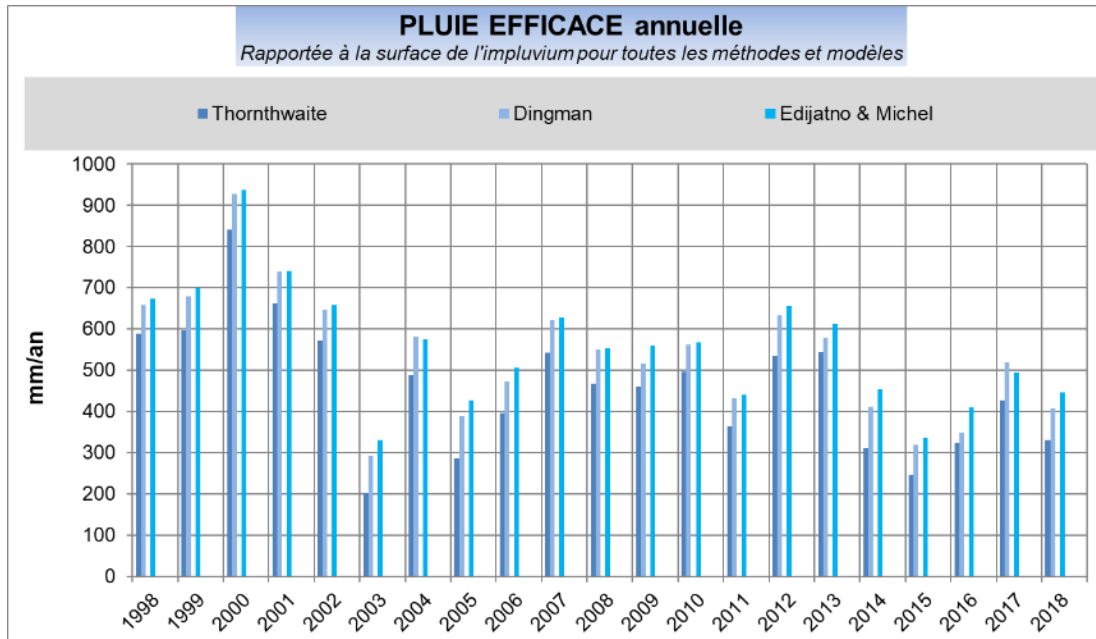


Illustration 213 : Evaluation des pluies efficaces annuelles sur le territoire du SAGE Commerce à l'aide du logiciel ESPERE

5.6. RUISSELLEMENTS

5.6.1. Généralités

En général, les ruissellements sont souvent considérés comme peu abondants en pays crayeux, où les vallées se creusent souvent jusqu'à la nappe. Les ruisseaux sont alors alimentés par cette dernière, qu'ils drainent (Ginger Environnement, 2005).

La capacité des sols à infiltrer ou non les eaux et la capacité des formations géologiques et leurs horizons d'altération à retenir l'eau et la libérer (capacité aquifère) vont contribuer d'une part à la recharge des aquifère et d'autre part à l'alimentation des cours d'eau via les ruissellements et les échanges nappes-rivières.

5.6.2. Evaluation à partir de l'indice IDPR

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer la susceptibilité du territoire au ruissellement, notamment : l'Indice De Persistance des Réseaux (IDPR) est un indicateur qui va nous renseigner sur la capacité des sols à laisser infiltrer les eaux ou au contraire à ruisseler.

La création de cet indice s'appuie sur le fait que l'organisation du réseau hydrographique est dépendante des formations géologiques qui le supportent. Les paramètres qui interviennent dans l'organisation du réseau hydrographique sont la lithologie, la pédologie et la couverture végétale. Ces paramètres influencent grandement la perméabilité et la rugosité de la surface, qui conditionnent à leur tour la vitesse du ruissellement et le rapport de l'écoulement sur l'infiltration. La densité de drainage est donc un indicateur révélateur des propriétés des formations géologiques. L'IDPR devient ainsi le moyen de quantifier ce rôle en comparant un réseau théorique établi selon l'hypothèse d'un milieu parfaitement homogène (indice de développement ID) au réseau naturel mis en place sous le contrôle d'un contexte géologique hétérogène (de persistance des réseaux PR) – (Mardhel et Gravier, 2005).

Pour résumer, un bassin formé de matériaux très perméables aura en général une densité de drainage faible (indice faible). A l'inverse, un bassin formé de roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes ou des argiles, va souvent présenter une densité de drainage élevée (indice fort).

L'illustration 215 et le Tableau 28 page suivante montrent globalement le caractère très infiltrant des formations à l'échelle du territoire du SAGE Commerce, en particulier sur les plateaux.

On relève toutefois quelques nuances plutôt marquées au sud du territoire, où les valeurs de l'IDPR sont plus fortes : dans la vallée de la Seine, et l'aval du Commerce et sur quelques secteurs autour de St Nicolas-de-la-Taille, St Jean-de-Folleville, Auberville-la-Campagne et St Jean-de-la-Neuville plus au nord. Le secteur de Triquerville et Norville est également concerné.

Valeur de l'IDPR	Signification	Proportion de la pluie efficace prise en compte pour l'estimation de l'infiltration	Proportion de la pluie efficace prise en compte pour l'estimation du ruissellement
0 - 200	infiltration très majoritaire	95 %	5 %
200 - 400		85 %	15 %
400 - 600	infiltration Moyenne	75 %	25 %
600 - 800		65 %	35 %
800 - 1000		55 %	45 %
1000 - 1200		45 %	55 %
1200 - 1400		35 %	65 %
1400 - 1600	Ruissellement moyen	25 %	75 %
1600 - 1800		15 %	85 %
1800 - 2000	Ruissellement majoritaire	5 %	95 %

Illustration 214 : Classes d'infiltration ou de ruissellement proposées à partir de la valeur de l'IDPR source : David (2016), adapté au contexte Normand d'après Mardhel et al. (2005)

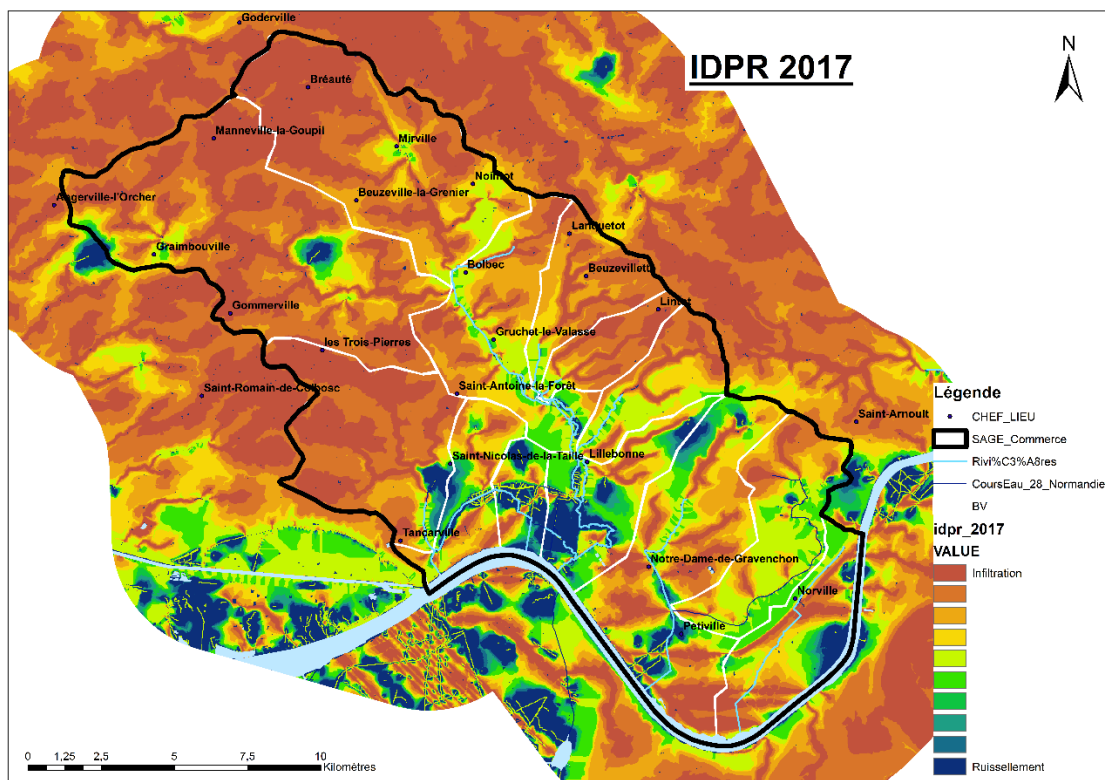


Illustration 215 : Carte de l'Indice de Développement et de Persistance des Réseaux – IDPR v.2017 sur le territoire du SAGE Commerce (source : BRGM)

Nom du bassin versant	Valeur moyenne de l'IDPR 2017	Proposition facteur de ruissellement D'après David (2016) en %
Rivière de Bolbec	584	25
La Fontaine Murée	388	15
Le Val Horrible	303	15
Rivière de la Vallée	699	35
Rivière du Commerce	1153	55
Le Vivier	309	15
La Brouisseresse	699	35
La Ravine/Bébec	742	35
Le Théluet	702	35
Le Hannetot	828	45
Rivière de Radicatel	1308	65
Val d'Arques	303	15
Vallée Mirville	312	15

Tableau 28 : Valeur calculée de l'IDPR moyen par bassin versant

5.6.3. Autres méthodes d'évaluation

Une autre méthodologie possible pour estimer la capacité des sols à ruisseler serait d'attribuer un coefficient de ruissellement en fonction du type de sol, de la pente et de l'occupation du sol selon les classifications proposées par Martin (1997), Dubreuil et al. (2002) ou encore Bussard (2005). Ces méthodes pourraient être comparées ou combinées avec l'indice IDPR pour affiner les résultats.

Dans la bibliographie, Ginger environnement (2005) indique que les bassins versants proches de Gruchet-le-Valasse ont en commun un faible ruissellement par rapport à l'infiltration : en moyenne 10 % seulement de la pluie efficace partirait en ruissellement (contre 90 % d'infiltration).

A une autre échelle encore, Bessière et David (2017), dans une étude régionale cherchant à estimer les apports des bassins versant crayeux à l'estuaire de la Seine, montrent également que le ratio recharge (infiltration) sur pluie efficace, serait de l'ordre de 85 à 90 % et même davantage pour le territoire du SAGE Commerce (Illustration 216 page suivante).

Seuls 10 à 15 % environ de la pluie efficace pour les bassins versants de la rive droite de la Seine comme la Lézarde et l'Austreberthe (Bessière et David, 2017) servent, à priori, à l'alimentation directe des cours d'eau (par ruissellement). Une majorité de ces pluies efficaces s'infilte donc pour servir à l'alimentation de la nappe. Les cours d'eau drainent la nappe, celle-ci contribue donc massivement à leur débit (voir paragraphe 5.7.3 plus loin).

Masséi et Fritier (2010) indiquent qu'en période de fortes précipitations, les ruissellements peuvent représenter jusqu'au quart (25 %) des apports latéraux des bassins versants.

Une autre approche encore a été réalisée par l'analyse des courbes de débit de la rivière du Commerce au niveau de la station hydrométrique de Gruchet le Valasse : l'estimation du débit de base du cours d'eau réalisée à l'aide de l'outil ESPERE (méthode de Wallingford avec les données de débit de la station de Gruchet) indique que le débit serait alimenté principalement par la nappe (environ 90 %), les ruissellements ne contribuant qu'à hauteur de 10 % au débit du Commerce.

L'ensemble de ces observations, réalisées par des méthodes et à des échelles différentes, confortent l'hypothèse d'une capacité de ruissellement globalement faible sur les plateaux mais plus importante autour des vallées et notamment dans certains secteurs de la vallée de la Seine.

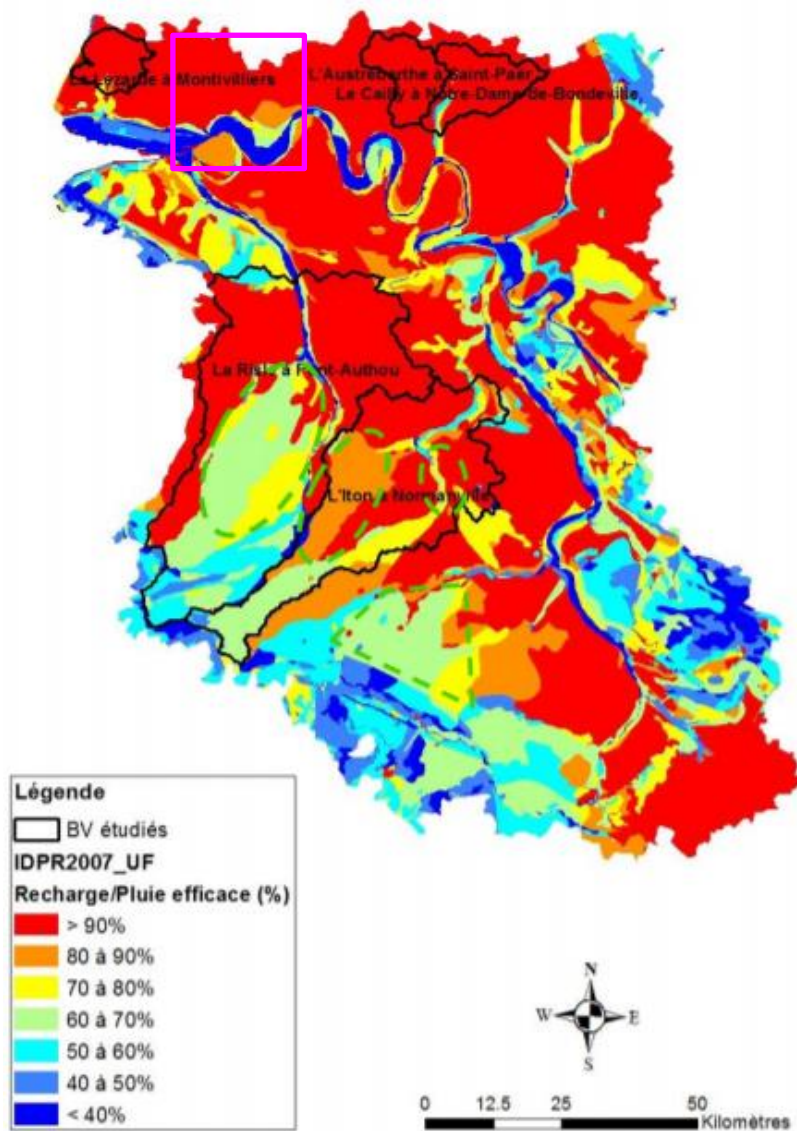


Illustration 216 : Distribution de la recharge en fonction de la pluie efficace (Bessière et David, 2017), modifié, l'encadré rose matérialise le secteur de la vallée du Commerce.

5.7. CALCUL DE LA LAME D'EAU INFILTREE

5.7.1. Valeurs bibliographiques

Dans l'étude BAC des ressources AEP de Radicatel, SAFEGE (2012) propose une évaluation spatialisée de la recharge. Il est notamment estimé que la lame d'eau infiltrée est plus élevée à l'approche ou au droit des vallées (infiltration supérieure à 300 mm/an), à la différence des zones de plateaux qui infiltrent moins (148 mm/an).

Les auteurs insistent sur la contribution des différentes surfaces à l'alimentation des nappes. Ainsi, les zones de plateaux sont les mieux représentées à l'échelle du BAC de Radicatel (elles représenteraient plus de 70 % du territoire incluant plateaux et amorces de versant). Cette meilleure répartition des zones de plateaux compense la faible infiltration qui y a lieu. *In fine* ces zones contribueraient à hauteur de 86% à l'alimentation de la nappe.

Par cette méthode SAFEGE démontre que la recharge moyenne spatialisée serait de 216 mm/an

5.7.2. Calcul à l'aide de l'outil GARDENIA

Présentation de l'outil

GARDÉNIA (modèle Global À Réservoirs pour la simulation des DÉbits et des Niveaux Aquifères) est un **modèle hydrologique global** de bassins versants (Thiéry D, 2003).

Cet outil permet de simuler les principaux mécanismes du cycle de l'eau dans un bassin versant (pluie, évapotranspiration, infiltration, ruissellement) par une succession de réservoirs en cascade qui représentent respectivement :

- les premières dizaines de centimètres du sol dans lesquelles se produit l'évapotranspiration (zone d'influence des racines de la végétation),
- une zone intermédiaire qui produit un écoulement rapide,
- une ou deux zones aquifères qui produisent l'écoulement lent.

Le modèle pourra être utilisé notamment pour calculer la recharge, et plus généralement les différents termes du bilan hydrologique (Illustration 217).

Il permettra notamment, dans une certaine mesure, de différencier les deux composantes de l'écoulement souterrain :

- celle rapide que l'on peut assimiler au ruissellement superficiel voire, dans le cas de la craie, à la composante rapide des écoulements karstiques ;
- celle plus lente que l'on peut assimiler souvent à la composante matricielle des écoulements souterrains.

Le code de calcul réalise une séparation non-linéaire des flux entre ruissellement et infiltration (Thiéry 1988, 2003, 2004c) ce qui permet ensuite de calculer les différents termes du modèle.

Une fois celui-ci calé, l'outil est en mesure de simuler au choix :

- des débits,
- des niveaux piézométriques,
- ou les deux simultanément.

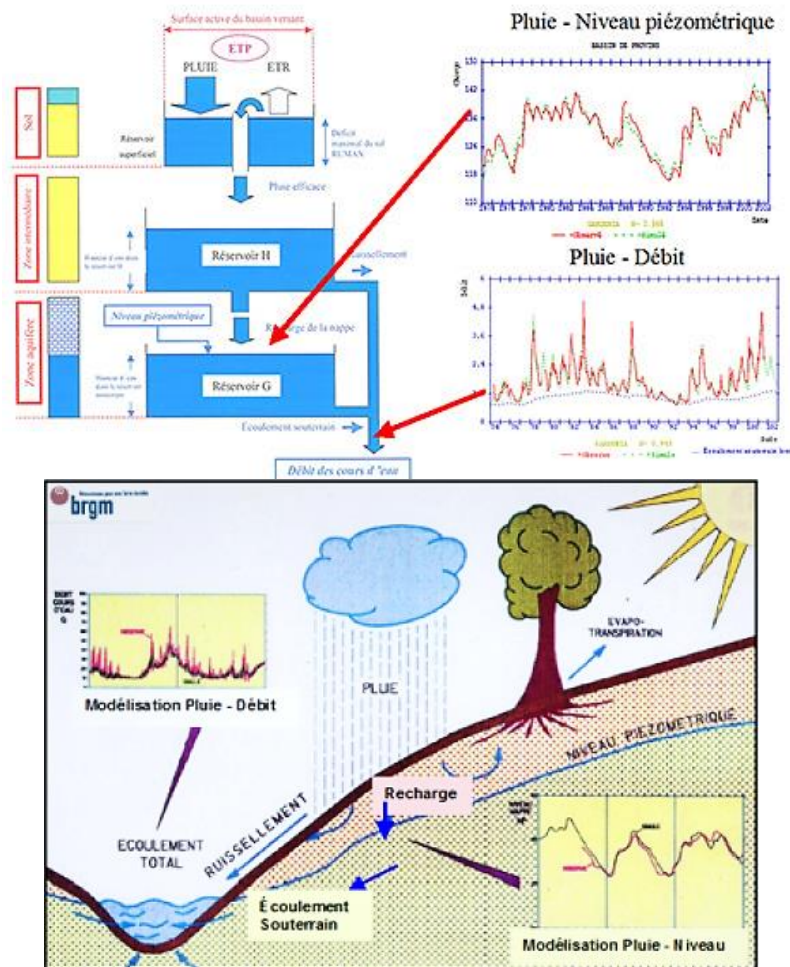


Illustration 217 : schéma de principe du fonctionnement du Modèle GARDENIA

Données d'entrée

Les données de Pluie, ETP, Débit et Piézométrie ont été utilisées au pas de temps journalier sur la période de 1995 à 2019. Une période de 4 années a été utilisée pour initialiser le modèle.

Les stations de mesures étaient celles de :

- Goderville pour la pluviométrie : le choix de cette station maximise probablement la pluie efficace sur le secteur, cf. paragraphe 5.2 ;
- La station de Rouen a été prise pour l'ETP : là également ces mesures sont assez éloignées de la zone d'étude comme le montre le paragraphe 5.3 ; un calcul affiné sera utilisé ultérieurement pour le modèle (somme pondérée entre les stations les plus proches ou données spatialisées de Météo France) ;
- La chronique de débit est celle de l'unique station de mesure du débit installée sur le bassin versant du Commerce, à Gruchet-le-Valasse (H9943420), cf. paragraphe 3.4.2.
- La chronique piézométrique est celle du piézomètre d'Hattenville (00753X0030/S1) situé sur le compartiment surélevé.

Calage du modèle

Le calage consiste à ajuster les paramètres du modèle de telle sorte qu'il permette de calculer des niveaux piézométriques et/ou des débits aussi proches que possible des valeurs observées.

Le calage se fait par une méthode d'ajustement semi-automatique à partir d'un jeu de paramètres initiaux.

	SIM 1	SIM 2
Taille du BV*	118 km ²	7,3 km ²
Débit extérieur exporté ou importé**	Oui	Non
Coef. Emmagasinement (%)	1,9	1,7
Coef. R *** Niv piézométrique simulé et observé	0,91	0,94
Coef. R Débit simulé et observé	0,3	0,7

Tableau 29 : principaux paramètres d'ajustement utilisés pour les simulations

*Pour la simulation 1, la taille du bassin versant a été estimée à partir des indications topographiques fournies pour la station de mesure de la DREAL. Pour la simulation 2, la surface du bassin versant a été estimée au niveau du passage du principal faisceau de la faille Fécamp-Lillebonne au droit de Bolbec.

**Un facteur d'échange permettant de caractériser les échanges en souterrain a été pris en considération afin d'optimiser le calage du modèle. Une valeur négative, attestant de fuites non négligeables en souterrain, a été obtenue pour ce paramètre, ce qui est cohérent avec les informations collectées dans le cadre de la synthèse bibliographique de ce bassin versant.

*** Le Coefficient de corrélation R, est ici un indicateur statistique utilisé pour traduire la performance du modèle, exprimant la corrélation entre la simulation et l'observation.

On note que le calage s'effectue avec la plus grande difficulté pour la simulation 1 : le modèle n'arrive pas à caler le débit du cours d'eau avec la surface du bassin versant et la recharge calculée (Tableau 29).

Pour cette simulation 1, pour pouvoir caler les valeurs simulées avec celles observées, il est nécessaire d'exporter le débit souterrain associé et de limiter les ruissellements.

Seul le calage plus satisfaisant de la simulation 2 est représenté ci-après sur l'illustration 218. Pour affiner les résultats de la simulation pluie/débit il faudrait améliorer la prise en compte du ruissellement et d'ajouter les volumes prélevés/rejetés (en particulier celle d'Oril situé en amont).

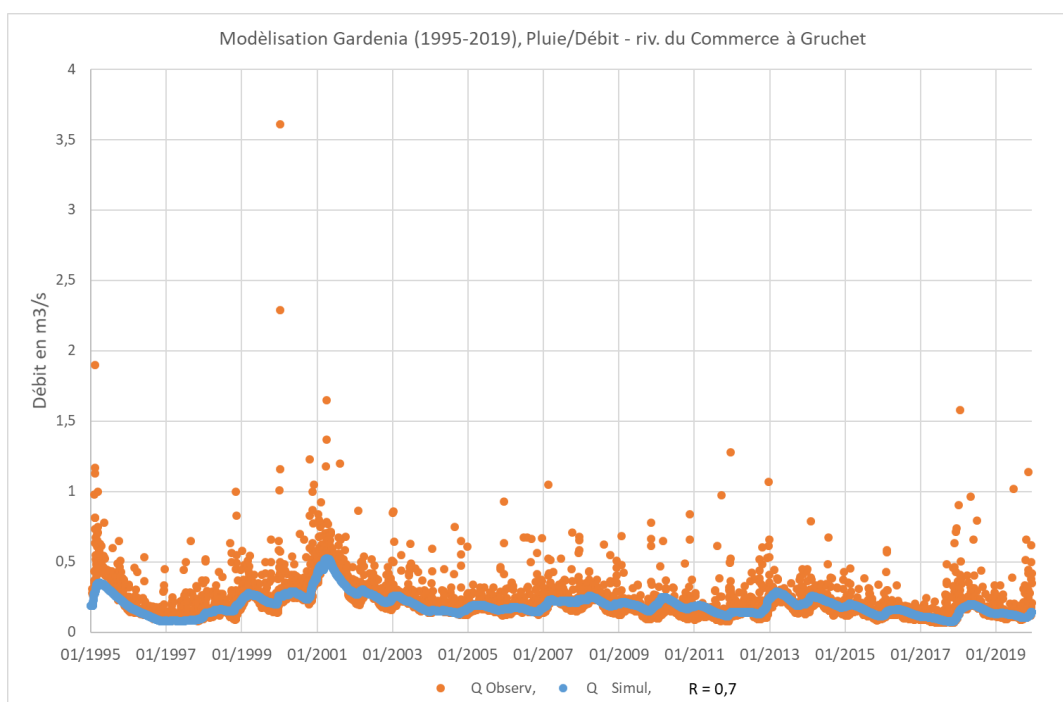
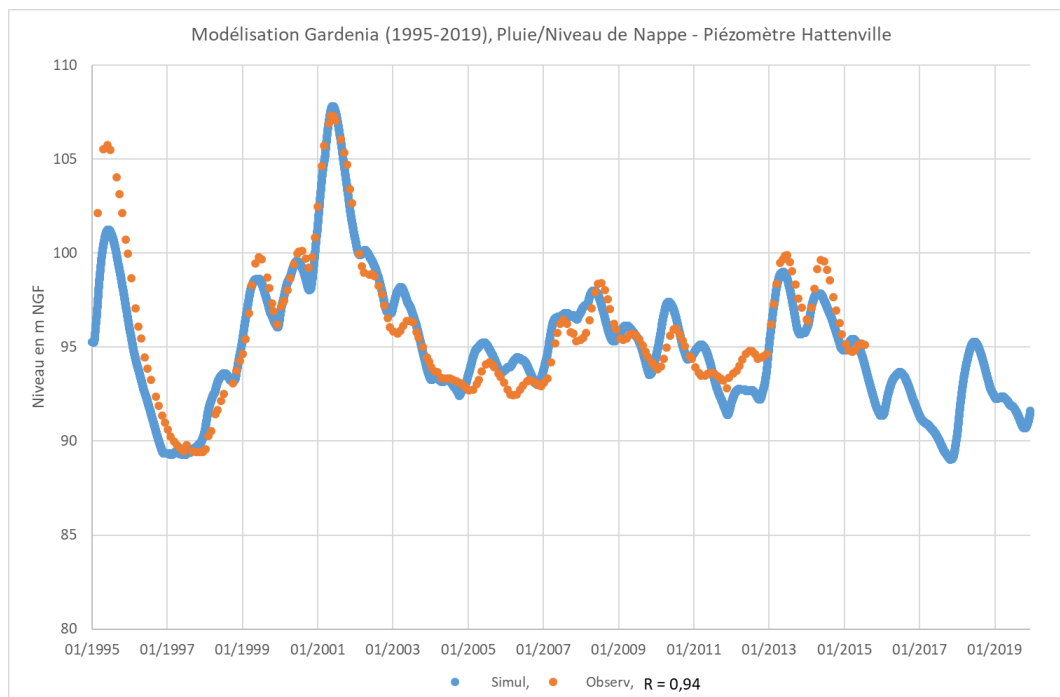


Illustration 218 : Niveaux et Débits simulés respectivement au piézomètre d'Hattenville (00753X0030/S1) et à la station de Gruchet de Valasse sur le Commerce (H9943420) – simulation 2

Résultats des simulations (GARDENIA – ESPERE)

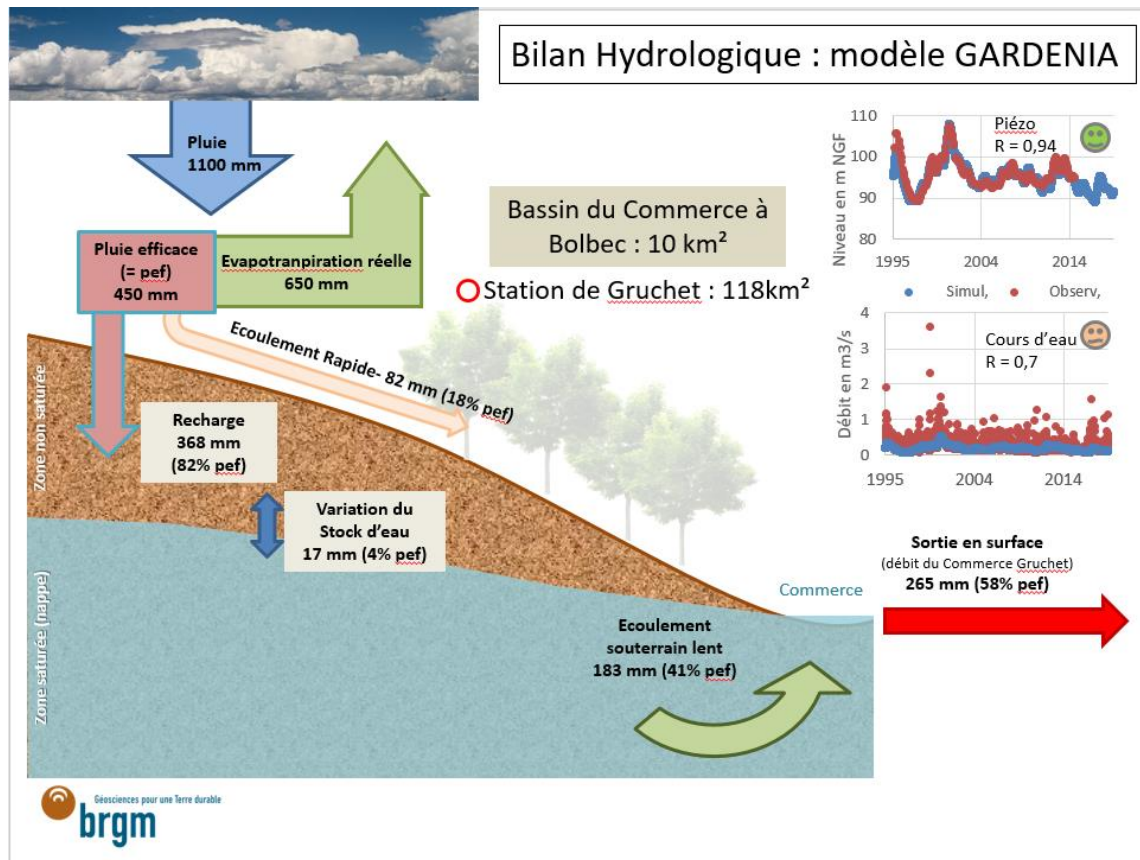


Illustration 219 : Principaux résultats obtenus avec l'utilisation du modèle GARDENIA

On rappelle que le modèle ne cale pas bien en considérant une surface de bassin de 118 km² correspondant à l'ensemble de son bassin versant topographique au droit de la station hydrométrique de Gruchet-le-Valasse (le modèle sur-estime alors la part d'alimentation par les eaux souterraines) alors que le calage est davantage satisfaisant avec une surface de bassin versant bien plus petite : de l'ordre de 10 km² (cf. Illustration 220).

Les calculs effectués (Illustration 219) indiquent alors que la pluie efficace serait de l'ordre de 450 mm et que la recharge se situerait autour de 360 mm par an sur le bassin versant modélisé. La valeur moyenne de pluie efficace est cohérente avec celle estimée par ESPERE estimée par les différents modes de calculs à 500 mm environ.

Au sujet des ruissellements, le modèle GARDENIA évalue les écoulements rapides à 18 % environ. Cette valeur est probablement surestimée par le modèle car il n'est pas possible de dissocier les bassins versants souterrains et superficiels dans ce type de modèle global. Or, le Commerce à la station de Gruchet reçoit les ruissellements d'un bassin versant topographique plus important que 10 km².

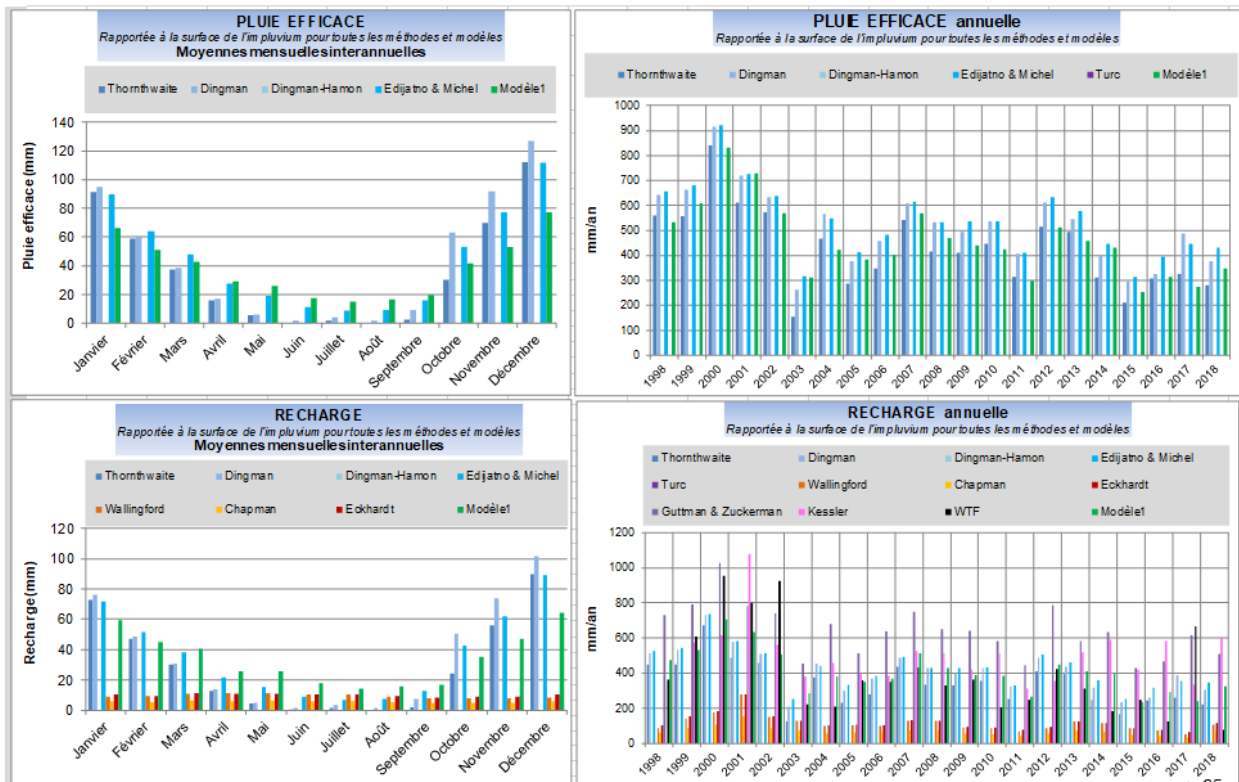
Le modèle réalisé confirmerait donc le schéma d'alimentation mis en avant dans le cadre des investigations réalisées par le BRGM (géologie, jaugeages, lignes d'eau et piézométrie) : au droit de la station de mesure du débit, le Commerce se trouverait en position perchée au-dessus de la nappe. Le cours d'eau ne recevrait plus d'alimentation par les eaux souterraines en aval du centre-ville de Bolbec. La station serait donc tributaire des débits fournis par les eaux souterraines en amont de Bolbec (et des éventuelles pertes) auxquels il faudrait ajouter les ruissellements sur le bassin versant.

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

Les calculs de la pluie efficace et de la recharge proposés par ESPERE permettent d'évaluer les flux d'eau souterrain et superficiel transitant au droit de la station hydrométrique de Gruchet le Valasse.

Ce calcul a été appliqué au bassin piézométrique « réel » de la station, de surface évaluée à 47 km² à partir des relevés piézométriques de 2017 et 2019.

Modèle ESPERE



Prends en compte le nouveau BV piezo de la station de Gruchet = 47 km²

Periode 2013-2015

Entrées	Pluie efficace	56 400 000	
	TOTAUX	56 400 000	
Sorties	Prélèvements bruts	1 704 277	3%
	Rejets estimés	573 214	1%
	Prélèvements nets	1 131 063	2%
	Flux eau surface (stations jaugeage)	17 280 000	30%
	Flux souterrains (dont 1892160 matriciel)	39 245 000	68%
TOTAUX	57 656 063		
BILAN		-1 256 063	-2%

On estime que 60 % env. de la pluie efficace tombe en dehors du BV piezo du Commerce

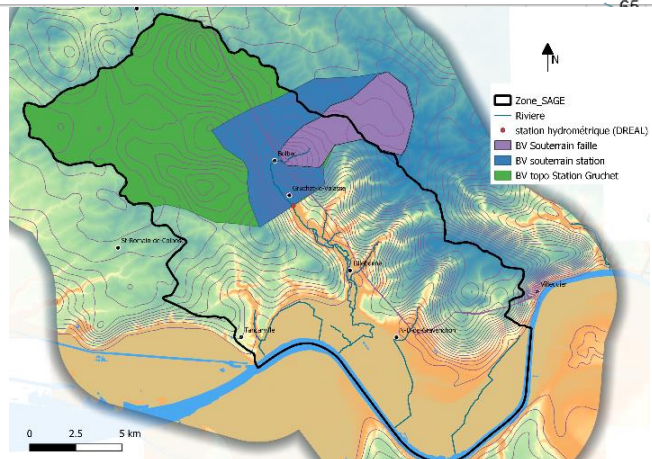


Illustration 220 : Bilan Hydrologique global au droit de la station hydrométrique de Gruchet le Valasse

Les calculs montrent qu'au droit de la station hydrométrique, le flux souterrain représenterait environ 60 % de la pluie efficace tombant sur le bassin de 47 km² contre 30 % pour les eaux superficielles. Cette différence explique le débit spécifique « anormal » de cette station de Gruchet (déconnexion entre les eaux superficielles et souterraines).

Les modèles globaux de type Gardenia mis en œuvre dans le cadre du projet ECHANGES (Bessière et David, 2017) avaient également permis de montrer qu'il existait un débit de fuite souterrain à l'exutoire des 5 bassins versants tests du bassin versant de la « Basse Seine » tant en rive droite qu'en rive gauche. Ces débits de fuite représentaient environ 15 % des pluies efficaces pour la Lézarde et l'Austreberthe, par exemple.

Dans le cas du Commerce, par comparaison avec les valeurs estimées pour l'ensemble du bassin versant superficiel de la station (118 km²), on estime que la part d'eau tombant sur ce bassin topographique et contribuant à l'alimentation de bassins piézométriques autres que celui du Commerce (de 47 km²) serait de l'ordre de 60 % (flux vers les BV piézo de Radicatel et Yport, à priori).

Comparaison avec d'autres valeurs bibliographiques

Les pluies efficaces et les recharges estimées par le modèle Gardenia ont été comparées aux pluies efficaces et recharges estimées par 6 autres méthodes en utilisant l'outil ESPERE (Illustration 221) pour un bassin de 10 km² ; cela permet de situer les résultats GARDENIA par rapport aux estimations des autres méthodes.

Il est intéressant de noter que les méthodes de filtre (Wallingford, Eckhardt) (méthodes qui estiment la recharge à partir des chroniques de débit des rivières) donnent des valeurs de recharge plus faibles que les modèles Gardenia (Bessière et David, 2017).

Le modèle Gardenia permet en effet d'estimer la part d'écoulement souterrain pour les BV et même de simuler des fuites vers d'autres BV. En effet lorsque des fuites souterraines existent dans un bassin versant, la lame d'eau de la rivière est inférieure à la lame d'eau de la pluie efficace (une partie de la pluie efficace a pour exutoire le cours d'eau et une partie s'échappe en souterrain) ; et il est donc cohérent dans ce cas que les méthodes filtres qui évaluent la recharge à partir des chroniques de débits rivières, sous-évaluent la recharge du bassin versant puisqu'effectivement l'ensemble des écoulements ne passent pas tous par la rivière.

Il apparaît aujourd'hui nécessaire, pour fiabiliser le calcul du bilan hydrologique, de déplacer la station de jaugeage du cours d'eau du Commerce sur sa partie aval, sur un tronçon connecté aux eaux souterraines, en dehors de la zone d'influence de la Seine.

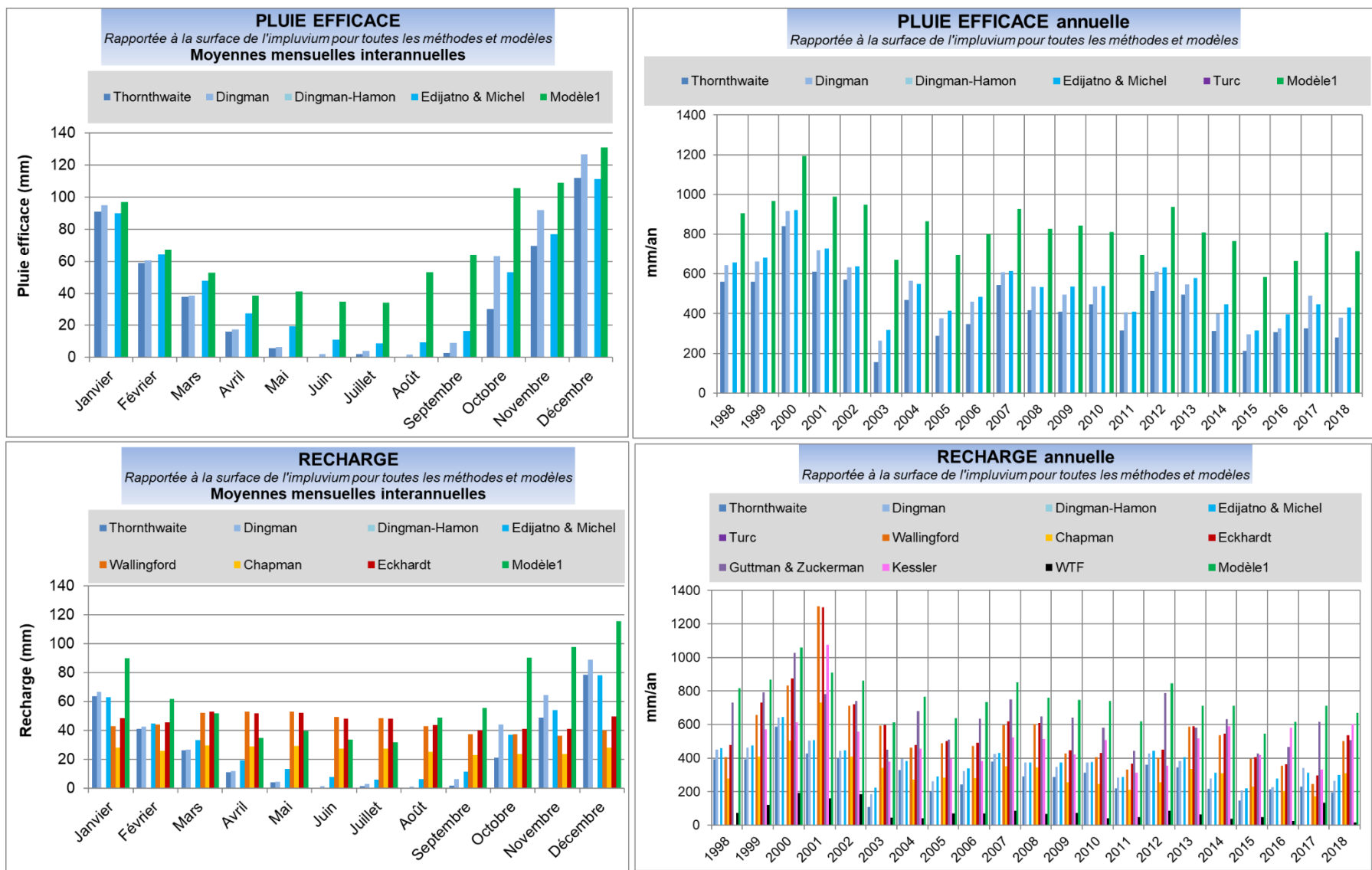


Illustration 221 : Comparaison des calculs de pluie efficace et de recharge par les outils ESPERE et GARDENIA (Modèle 1)

A titre de comparaison, SAFEGE (2012) a estimé la lame d'eau annuelle infiltrée, sur le bassin d'alimentation de captage (BAC) des ressources AEP de Radicatel, à environ 272 mm/an (Illustration 222). Cette valeur est nettement inférieure à la majorité des résultats obtenus par les outils ESPERE et GARDENIA, qui utilisent d'autres jeux de données.

Région de Auzouville - Bilan hydrologique

Coefficient de ruissellement	0.015
Valeur maximum de la RFU	160
Valeur initiale de la RFU	0
Année de départ	1971
Année de fin	2000

Paramètres thornwaite	
I	37,3877604
a	1,09820417

Stations météorologiques de référence : Auzouville - Rouen

1971 - 2000	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	TOTAL
Precipitations	87,5	120,3	117,9	106,3	80,5	61,3	70,2	62,3	63,4	64,6	65,5	55,0	954,8
Température	14,6	11,1	6,95	4,9	3,7	4,05	6,7	8,45	12,15	14,7	16,95	17,05	
i	4,98969819	3,3077255	1,6387858	0,9701505	0,63657207	0,729	1,5511621	2,197	3,7879951	5,0410499	6,2416519	6,2969692	
K	1,05	0,91	0,75	0,7	0,73	0,78	1,02	1,15	1,32	1,33	1,33	1,24	
Ruissellement	1,3	1,8	1,8	1,6	1,2	0,9	1,1	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	14,3
Déficit P-R	86,2	118,5	116,1	104,7	79,3	60,4	69,1	61,4	62,4	63,6	64,5	54,2	940,5
ETP	75,0	48,1	23,7	15,1	11,5	13,6	31,0	45,1	77,1	95,7	111,9	105,0	652,8
ETR	75,0	48,1	23,7	15,1	11,5	13,6	31,0	45,1	62,4	63,6	64,5	54,2	507,8
RFU	11,2	81,6	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	160,0	145,4	113,3	65,9	15,1	15,1
Lame infiltrée	0,0	0,0	14,0	89,6	67,7	46,8	38,2	16,3	0,0	0,0	0,0	0,0	272,6

Illustration 222 : Bilan Hydrologique annuel évalué par la méthode de Thornwaite pour le BAC de Radicatel, SAFEGE (2012)

Le calcul proposé pour réaliser cette évaluation s'appuie sur la méthode de Thornwaite. La station météorologique de référence est celle d'Auzouville pour les précipitations et Rouen pour l'ETP. La valeur de RFUmax est fixée à 160 mm.

Dans cet exemple, il est à noter que le bilan spatialisé, présenté au paragraphe 5.7.1, est inférieur au calcul fourni par le bilan hydrologique présenté ci-dessus.

5.8. SYNTHÈSE PARTIELLE

Plusieurs méthodes permettent, par une approche simplifiée, de réaliser une estimation de l'infiltration. Plusieurs d'entre elles ont été testées dans ce chapitre :

La première, par la spatialisation des paramètres hydroclimatiques, et de la capacité des sols à infiltrer ou ruisseler a permis de montrer que les valeurs présentaient une grande variabilité entre les plateaux au nord du territoire et la vallée de la Seine au sud. Respectivement de l'ordre de 200 mm/an sur les plateaux, 300 mm/an dans les versants des vallées et seulement 100 mm/an dans la plaine alluviale. La spatialisation a permis de démontrer l'importance des plateaux comme zone de recharge sur le territoire. SAFEGE (2012) estimant même leur contribution à 70 % du volume total infiltré pour le BAC de Radicatel.

La seconde estimation a été réalisée à l'aide de l'outil ESPERE, permettant de comparer les valeurs de recharge obtenues par différentes formules analytiques. Les valeurs moyennes estimées pour la station de Gruchet-le-Valasse sont de l'ordre de 350 mm/an. La même évaluation réalisée à l'aide de l'outil de modélisation GARDENIA, nous renvoie une valeur proche, de 368 mm/an. Ces valeurs sont nettement plus élevées que celles estimées par l'évaluation spatialisée.

Il est probable que la première méthode, trop simplificatrice, conduite à minimiser les termes favorisant la recharge.

Dans la suite du programme d'étude, une nouvelle évaluation des données d'entrée du système sera réalisée à l'aide du modèle MARTHE. L'outil de modélisation des hydrosystème permettra en particulier l'intégration d'information climatologiques spatialisées comme la base de donnée SAFRAN de Météo France. L'intérêt d'utiliser de telles données spatialisées a été souligné notamment par la forte variabilité que connaît le territoire d'étude : en particulier en termes de précipitation, d'évapo-transpiration entre les plateaux au nord et la vallée de Seine au sud où des écarts annuels de plus de 30 % ont été mis en évidence pour ces paramètres. On a pu également constater des écarts entre l'ouest et l'est du territoire pour ces mêmes paramètres. Il conviendra donc dans le futur modèle mathématique de représenter le plus fidèlement possible ces variations.

Dans le cadre de cette étude, il a notamment pu être démontré, en utilisant ces méthodes et outils, que la station hydrométrique de Gruchet le Valasse était alimentée à environ 70 % par les eaux souterraines et à 30 % environ par les eaux superficielles. D'après les mesures réalisées et les résultats mis en avant dans cette étude, les eaux souterraines proviennent uniquement d'un bassin piézométrique de 10 km² environ situé en amont du faisceau de faille principal, à l'est de la ville de Bolbec. Les eaux souterraines et les eaux superficielles étant déconnectées au droit de la station.

Le bassin versant topographique (de surface) de la station est de 118 km². Par le calcul, on a pu également estimer que 60 % des eaux souterraines qui s'infiltraient sur ce bassin versant superficiel de 118 km² étaient exportées vers les bassins piézométriques (souterrains) de Radicatel et Yport.

Ces éléments permettent légitimement d'indiquer que la station de mesure hydrologique n'est pas représentative de son milieu. Les éclairages nouveaux, géologiques et hydrogéologiques, nous permettent désormais de mieux comprendre pourquoi : le rôle de la géologie structurale principalement et du karst permettent une différenciation entre les bassins topographiques et souterrains comme cela a pu être souligné dans le volet hydrogéologique.

6. Bilan des volumes prélevés et rejetés

6.1. METHODOLOGIE D'INVENTAIRE

6.1.1. Inventaire des données de prélèvements

Un inventaire des points de prélèvements et des volumes prélevés a été dressé en consultant et en confrontant diverses sources de données : base prélèvements de l'agence de l'eau, base GEREP pour les installations classées (DREAL), base de données de la police de l'eau (DDTM76), base de données des services vétérinaires (DDPP)²⁰. En complément, des enquêtes ont été menées par envoi de questionnaires à l'ensemble des communes (pour le recensement des forages), des syndicats d'eau (pour obtenir les données de prélèvements au pas de temps mensuel) et des industriels (pour obtenir les données de prélèvements pour l'industrie au pas de temps mensuel) de la zone d'étude.

Ces prélèvements ont été distingués en fonction des principaux types d'usage : les besoins en alimentation en eau potable (AEP), les utilisations pour l'agriculture (dont irrigation et l'élevage) et les utilisations pour l'industrie.

6.1.2. Inventaire des données de rejet

Un inventaire des points de rejets et des volumes rejetés a été dressé en consultant et en confrontant diverses sources de données (AESN BNPE, GEREP principalement). En complément, des enquêtes ont été menées par envoi de questionnaires aux industriels (pour obtenir les données de rejets au pas de temps mensuel) ainsi qu'aux exploitants des 3 grandes STEP de la zone d'étude.

6.2. BILAN DES PRELEVEMENTS

6.2.1. Localisation des points de prélèvements

La précision des informations transmises nous a permis, dans la plupart des cas, de faire une distinction entre prélèvements dans la nappe versus dans les eaux superficielles et de faire le rattachement (lien) entre les informations de volumes prélevés et le point d'eau qui lui correspond (forage/puits/source ou prise d'eau).

Au total, 189 ouvrages de prélèvements ont été identifiés et sont présentés dans les illustrations suivantes. La répartition des usages de ces différents points de prélèvements est la suivante :

- 58 ouvrages industriels identifiés, dont 36 en eaux souterraines, 15 en eaux de surface et 7 en eaux indéfinies ;
- 48 ouvrages AEP identifiés, uniquement en eaux souterraines ;
- 83 ouvrages agricoles identifiés, dont 80 en eaux souterraines, 2 en eaux de surface et 1 en eaux indéfinies.

²⁰ L'accès à ces informations a nécessité la signature d'une convention.

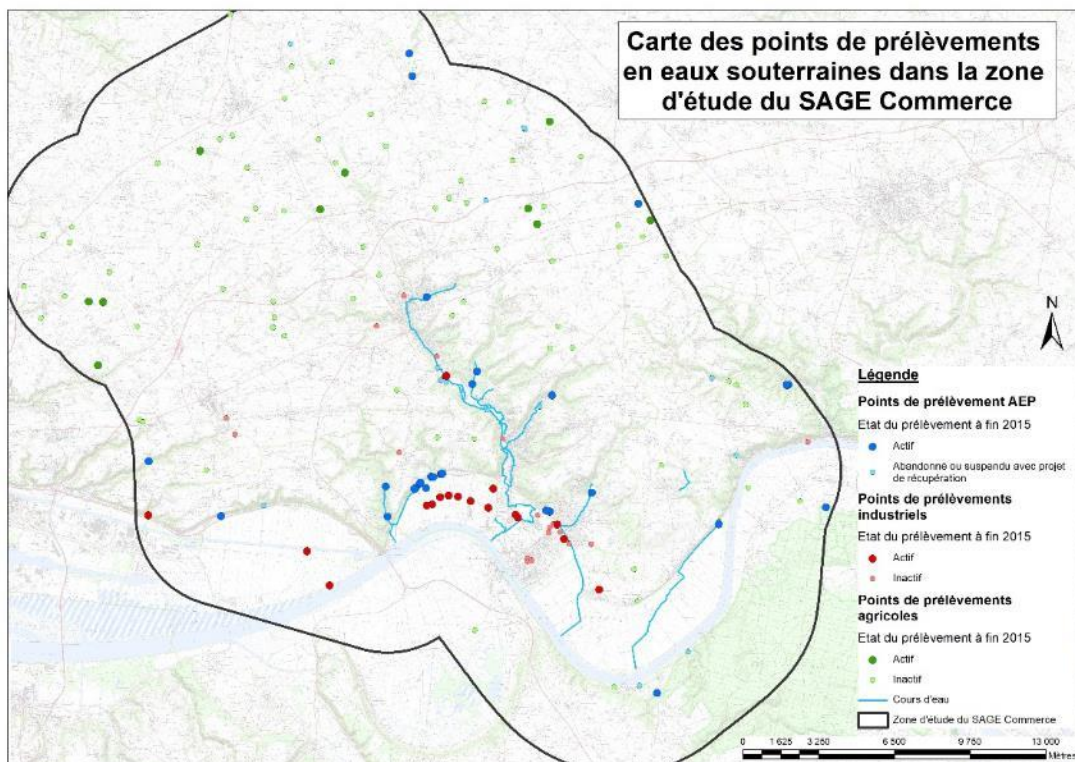


Illustration 223 : Ouvrages de prélèvements en eaux souterraines en fonction de leur usage : AEP, industriel ou agricole

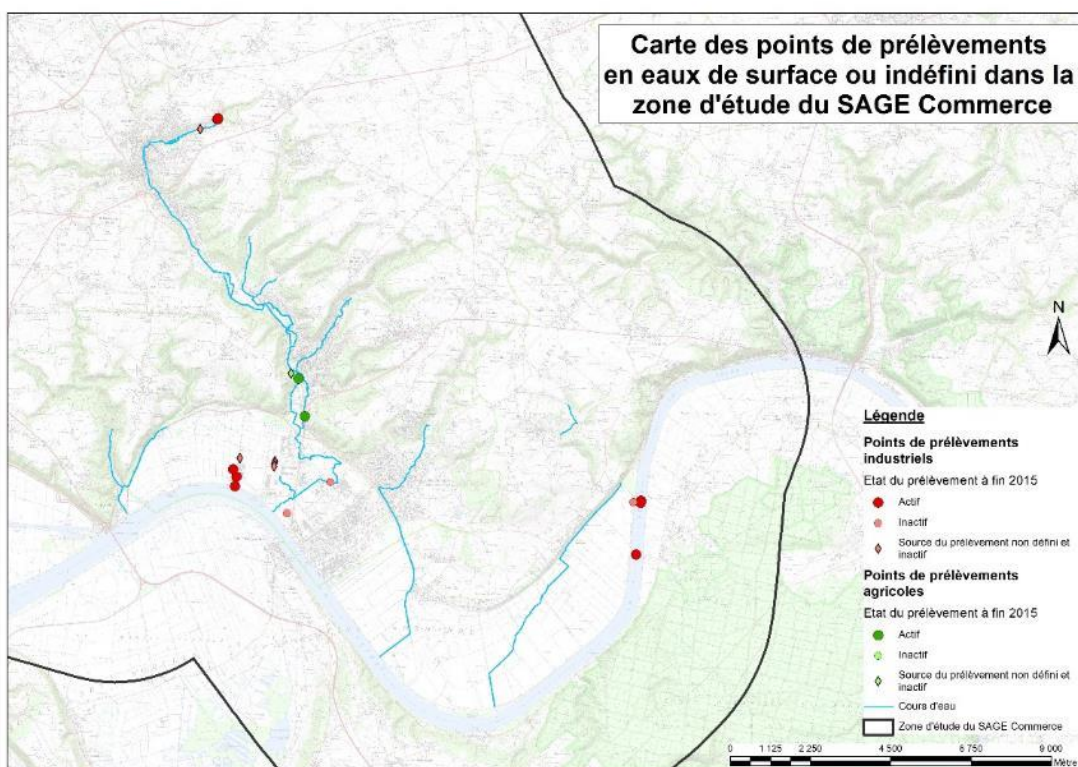


Illustration 224 : Ouvrages de prélèvements en eaux de surface en fonction de leur usage : AEP, industriel ou agricole

6.2.2. Prélèvements Industriels

L'inventaire des prélèvements industriels dans la zone d'étude a été réalisé à partir de la base de données redevance de l'AESN et de la base de données GEREP (DREAL). En effet, les établissements remplissent annuellement des déclarations pour se conformer à la réglementation.

Les volumes annuels ont été recueillis sur la période : 1994 – 2015.

Comme évoqué plus avant, les points de prélèvements ont été rattachés dans une grande majorité à des ouvrages (forage ou prise d'eau par exemple) ce qui a permis de les localiser précisément à l'intérieur du site industriel auquel il est rattaché : par exemple par les coordonnées du point BSS dans le cas d'un prélèvement d'eau souterraine. Dans le cas où il n'a pas été possible de rattacher le point de prélèvement à un ouvrage celui-ci a alors été positionné au centroïde du site, ou à proximité du cours d'eau dans le cas d'un prélèvement d'eau de surface. Si aucune information n'était disponible tant sur l'établissement que sur l'ouvrage utilisé, par défaut le point a été positionné au centroïde de la commune.

Localisation et origine des prélèvements

La zone d'étude du SAGE Commerce recense 58 points de prélèvements industriels. Ces points se situent essentiellement en vallées de Seine et du Commerce. Quelques points de prélèvements sont également présents au niveau des plateaux ouest de la zone d'étude, vers St Romain-de-Colbosc (Illustration 225).

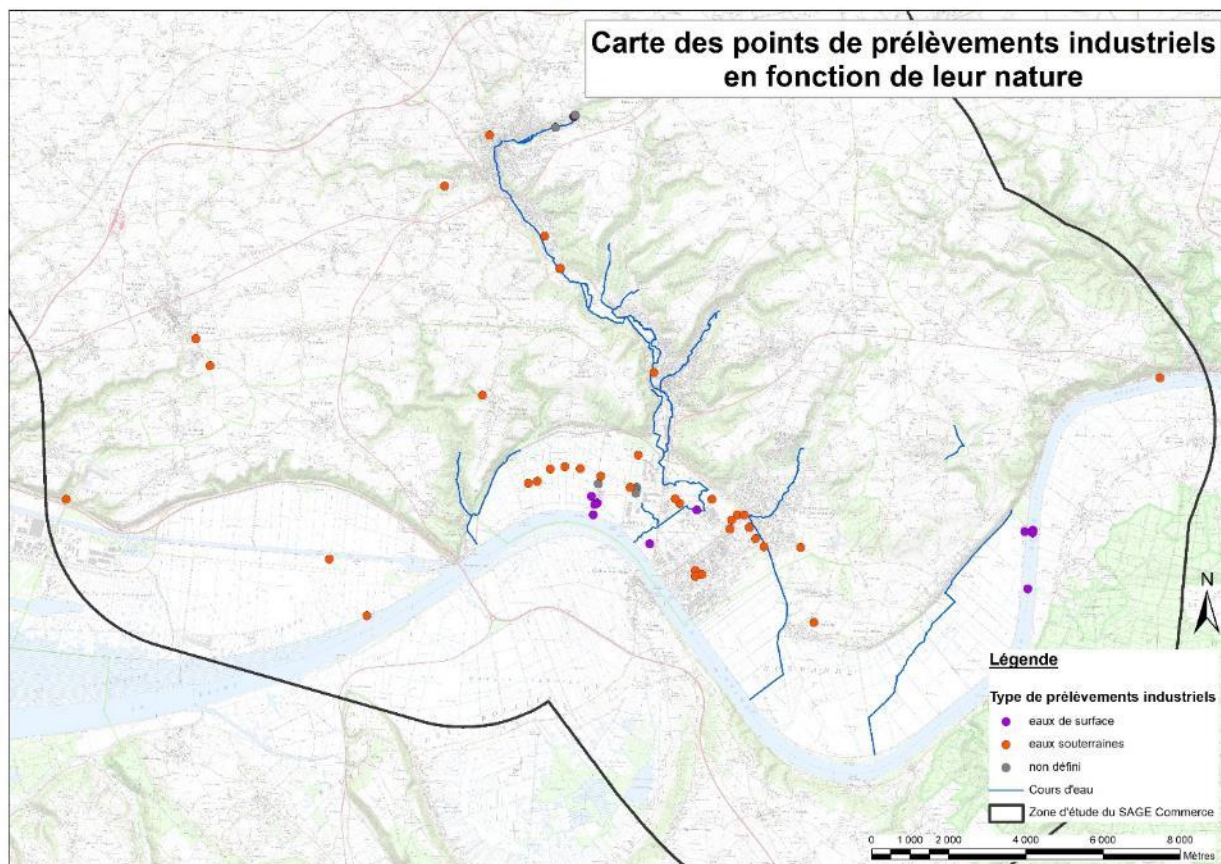
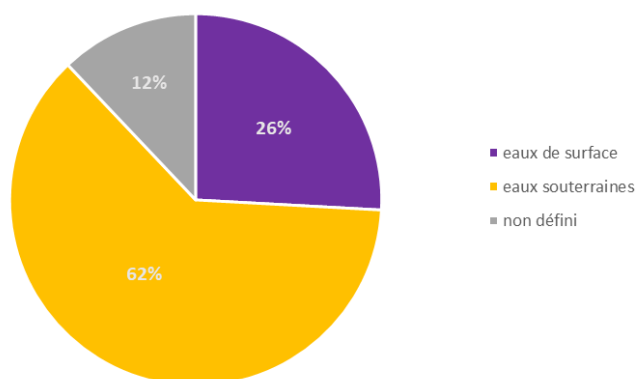


Illustration 225 : Carte de localisation des points de prélèvements industriels sur la zone d'étude

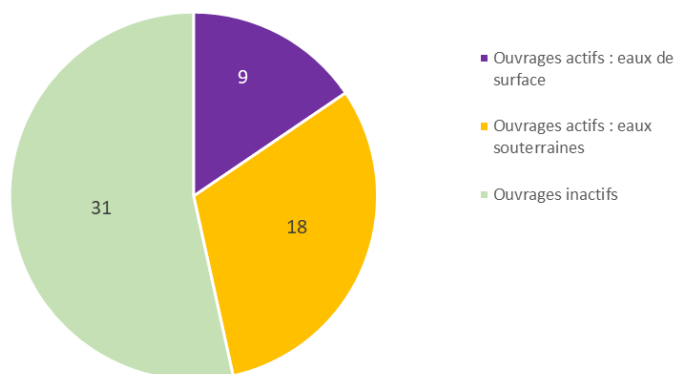
La répartition de la source de ces prélèvements, entre eaux de surface ou eaux souterraines, est présentée dans les graphiques ci-dessous (Illustration 226).

Illustration 226 : Répartition des sources d'eau des prélèvements industriels

Répartition des types de prélèvements des ouvrages industriels (entre 1994 et 2015)



Répartition des types de prélèvements des ouvrages industriels (en 2015)



En 2015, sur les 27 points de prélèvements actifs, 18 concernaient les eaux souterraines et 9 les eaux de surface. La majorité (62%) des prélèvements industriels sont donc réalisés dans les eaux souterraines (en nombre d'ouvrages).

Il est à noter que les points de prélèvements en eaux de surface se situent tous en vallée de Seine à l'exception d'un ouvrage se situant dans l'amont de la vallée du Commerce à Bolbec (ORIL).

Evolution des volumes prélevés

Le graphique suivant (Illustration 227) présente l'évolution des volumes prélevés en fonction de la source de prélèvement : eaux de surface ou eaux souterraines. Il est à noter qu'entre les années 1994 et 2007, une part non négligeable des ouvrages n'étaient pas renseignés pour la provenance de leur prélèvement. Leur provenance est alors identifiée comme « non définie ».

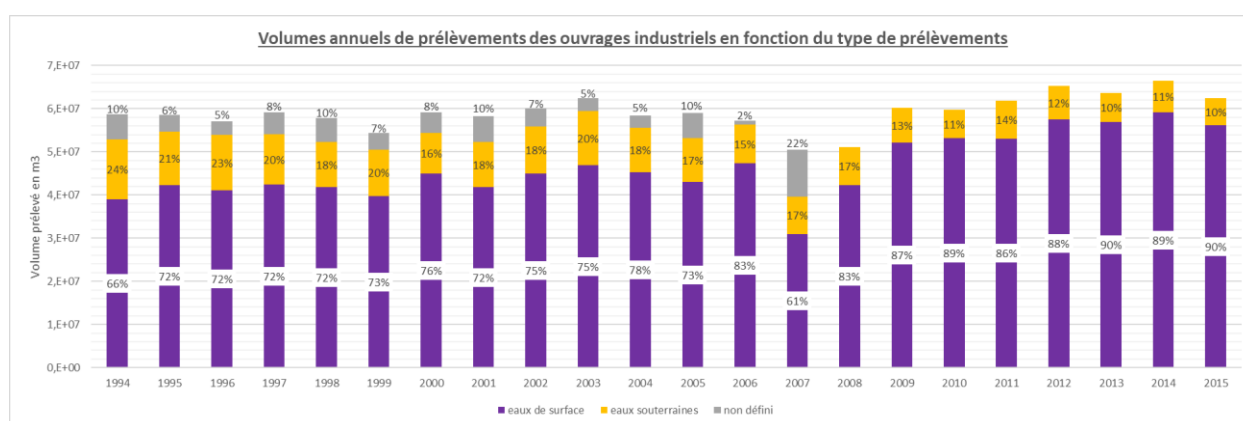


Illustration 227 : Volumes annuels prélevés par les ouvrages industriels en fonction de la source du prélèvement

Entre 1994 et 2015 la part des volumes prélevés dans les eaux souterraines est passée de 24 % (en 1994) à 10 % tandis que la part des volumes prélevés dans les eaux de surface est passée de 66 % (en 1994) à 90 %. La part des volumes annuels prélevés dont la provenance n'est pas

définie est comprise entre 2 % et 22 %. Cependant elle n'est pas de nature à influencer fortement la répartition des prélèvements entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

La part des prélèvements en eaux de surface est donc bien plus importante que celle des eaux souterraines, alors que le nombre d'ouvrages prélevant en eaux de surface est plus faible que ceux prélevant en eaux souterraines. De plus, il est constaté que la part des prélèvements en eaux de surface augmente au détriment de celle en eaux souterraines.

Les graphiques suivants présentent respectivement : l'évolution des volumes prélevés entre 1994 et 2015 (Illustration 228) et l'évolution du volume moyen prélevé par ouvrage entre 1994 et 2015 (Illustration 229).

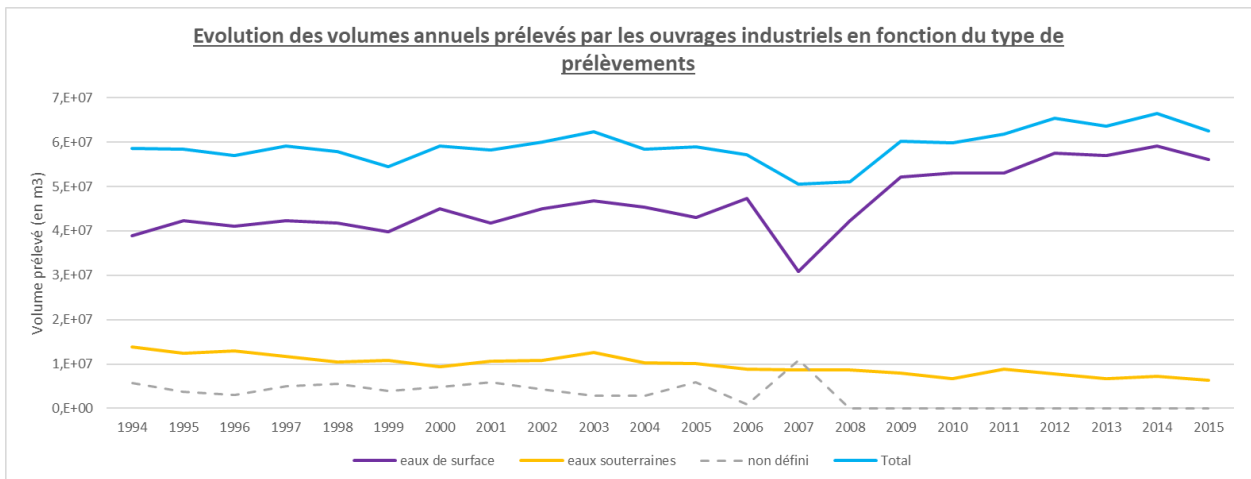


Illustration 228 : Evolution des volumes annuels prélevés par les ouvrages industriels

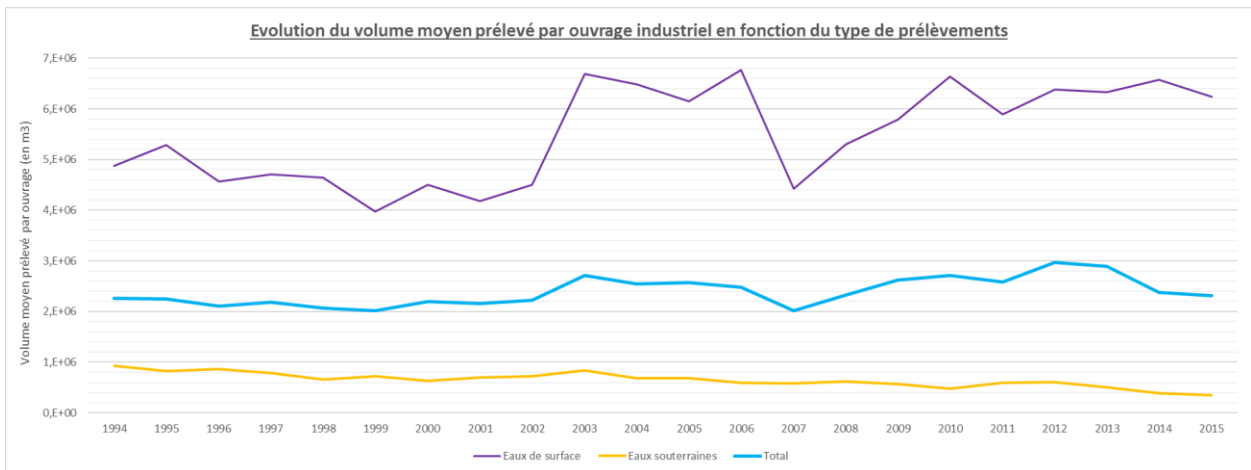


Illustration 229 : Evolution du volume moyen prélevé par ouvrage industriel en fonction du type de prélèvement

Entre 1994 et 2015, les volumes prélevés par les ouvrages industriels ont augmentés : ils sont passés de 58 500 000 m³ en 1994 à 62 500 000 m³ en 2015 (+ 4 Mm³/an). Cette hausse n'est cependant pas linéaire car une baisse des prélèvements est à noter en 2007 et 2008.

Concernant les prélèvements en eaux souterraines, les volumes ont diminué depuis 1994 de façon assez linéaire : de 14 000 000 m³ en 1994, à 6 400 000 m³ en 2015 (-7,6 Mm³ ; -54 %).

Concernant les prélèvements en eaux de surface, les volumes se corrèlent bien avec les volumes totaux prélevés. En 2007, une baisse importante de ces prélèvements est constatée, plus

importante que celle de volumes totaux. Cependant cette baisse coïncide avec un pic de prélèvement « non défini ». Cette baisse est donc à minimiser. Enfin, pour les prélèvements en eaux de surface, il est également à observer une hausse des volumes prélevés : ceux-ci évoluent de 39 000 000 m³ en 1994 à 56 000 000 m³ en 2015 (+17 Mm³/an).

La hausse des prélèvements en eaux de surface qui est observable à partir de 2009 est à mettre en rapport avec la hausse des volumes prélevés par TEREOS BENP dans la rivière de Radicatel/Cahots et la Seine. En effet, entre 1994 et 2008, le volume moyen prélevé est de 5 438 000 m³ alors qu'à partir de 2009, il est de 21 577 000 m³.

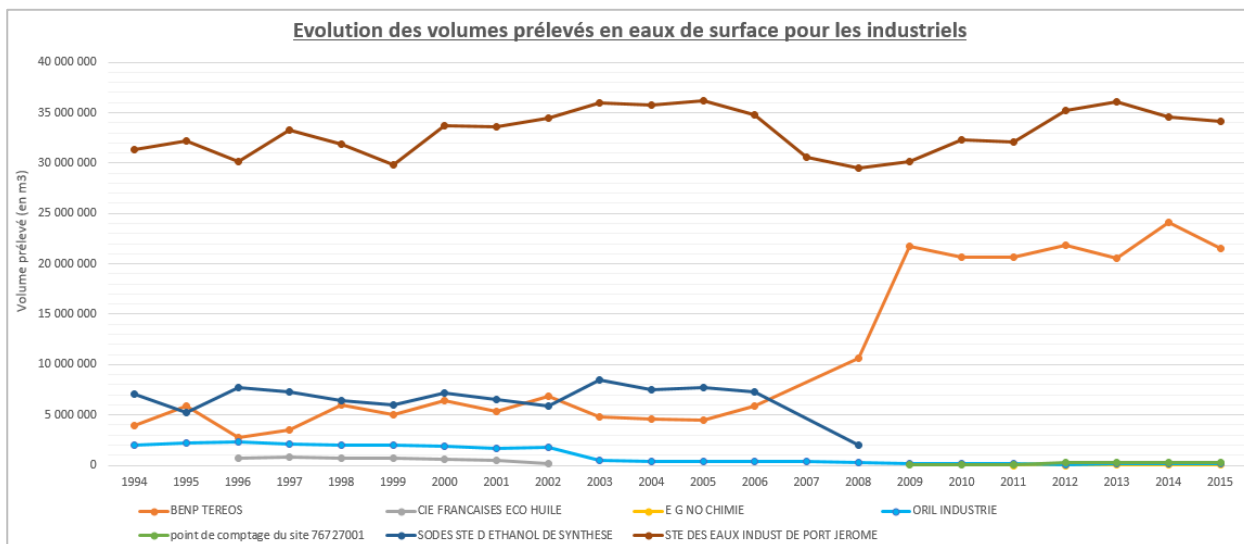


Illustration 230 : Evolution des volumes prélevés en eaux de surface par les industriels

A fin 2015, les principaux volumes prélevés pour les usages industriels se situent en vallée de Seine (Illustration 231). Comme vu précédemment, les volumes les plus importants sont prélevés en eaux de surface.

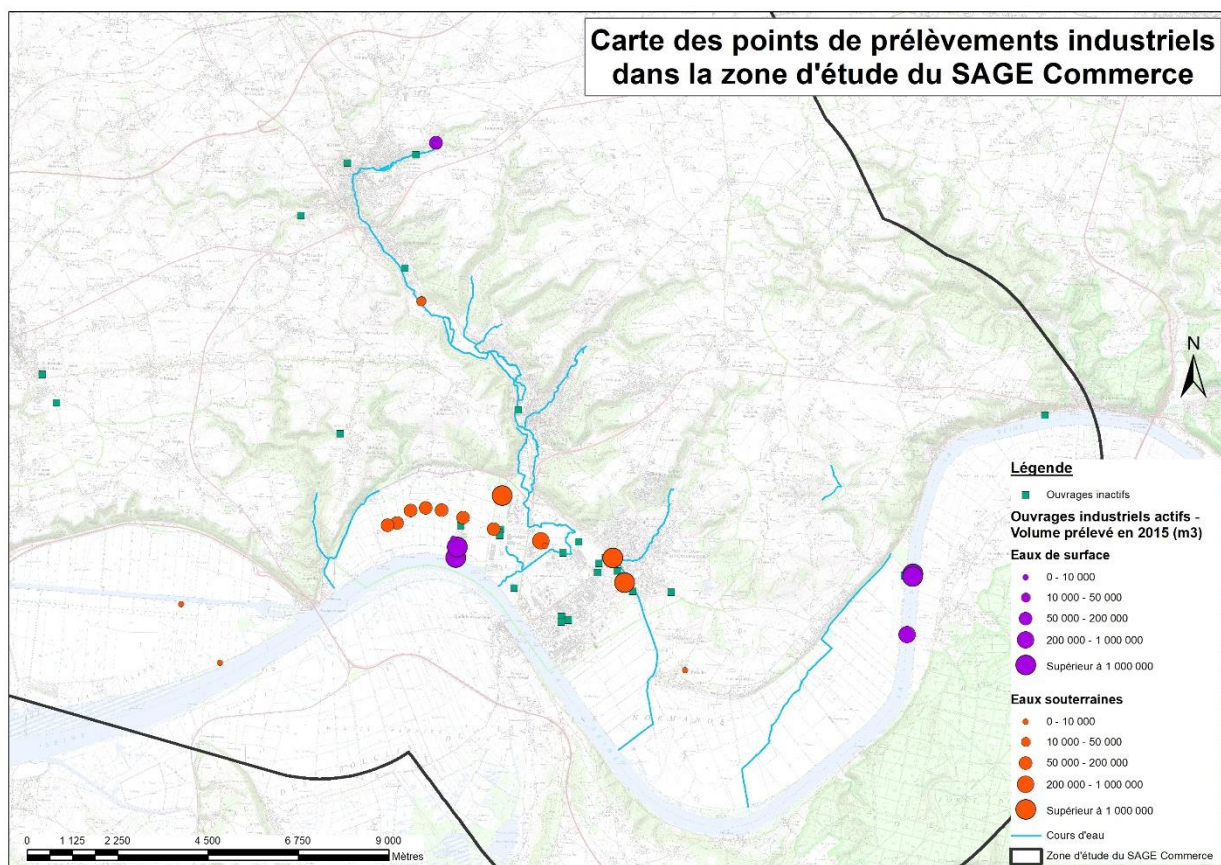


Illustration 231 : Volumes prélevés en 2015 pour les ouvrages industriels

Le cas de la zone industrielle de Port Jérôme

La zone industrielle de Port-Jérôme, située en vallée de Seine, est le 3^e pôle industriel et portuaire de Normandie. De fait, ce secteur regroupe de nombreuses industries « lourdes » qui nécessitent, pour leur fonctionnement, de grands volumes d'eaux, et ont donc une demande importante en eau.

Ces industriels s'approvisionnent en eau de 2 manières, soit par le biais d'ouvrages de prélèvements propres (en eaux de surface et/ou en eaux souterraines), soit par un réseau d'eaux industrielles alimenté par le site de production de Norville (Illustration 232 ci-dessous).

Ce site de production a été mis en service en 1972, pour pallier à la surexploitation de la nappe alluviale de la vallée de la Seine au droit de la zone industrielle de Port-Jérôme. Ce site permet, par un prélèvement directement en Seine, d'éviter que les industriels ne prélèvent dans les nappes d'accompagnement du fleuve ou dans les petits affluents de la Seine, ce qui avait entraîné par le passé un important déséquilibre quantitatif et qualitatif de l'hydrosystème.

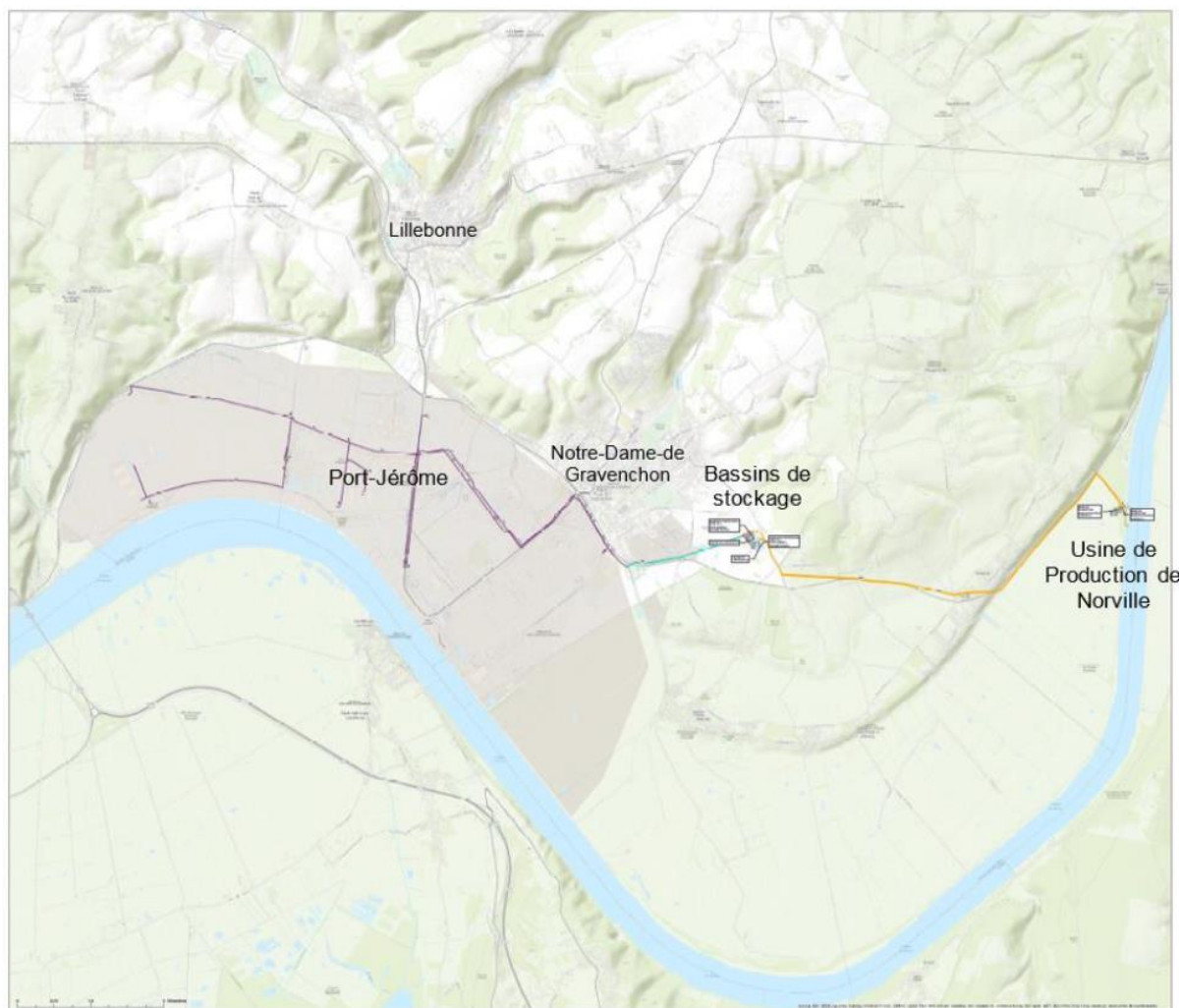


Illustration 232 : Localisation de l'usine de Norville, des bassins de stockage, de la zone industrielle de Port-jérôme et des principaux réseaux de distribution (canalisations en orange, bleu ciel et violet)

En effet, dans les années 1960-1965, les prélèvements d'eaux souterraines provoquaient des dépressions piézométriques impactant le fonctionnement de la nappe, en accentuant les relations Seine/nappe et le fonctionnement des zones humides. En conséquence, une pénétration des eaux saumâtres de la Seine (chlorurées) dans l'aquifère sous la zone industrielle a été observée (cf. chapitre 7.7 pour la partie qualité).

En 1960-1970, les prélèvements moyens dans les eaux souterraines devaient être compris entre 50 000 et 62 000 m³/j pour une trentaine de forages existants, soit environ 1600 à 2000 m³/j par ouvrage.

L'usine de Norville a produit en moyenne, sur les années 2015 à 2018, environ 30 Mm³/an à elle seule, ce qui représente 84 400 m³/j en moyenne. L'usine dispose d'une capacité de production de 150 000 m³/jour.

Les données de 2015 à 2017 indiquent que 90,4 % de l'eau produite par l'usine de Norville est consommée principalement par deux consommateurs : ESSO-EXXON MOBIL (49,9 %) et la CODAH (40,5 %, aujourd'hui Le Havre Seine Métropole). Trois autres consommateurs se distinguent ensuite : Terreos-BENP (4,8 %), Lanxess (2,4 %) et United Chemical (1,7 %). Ces 5 consommateurs consomment 99,3 % de l'eau produite par l'usine de Norville (Illustration 233 et Illustration 234).

	CONSOMMATION en m ³					
	2015	2016	2017	2018 (partiel)	Moyenne 2015 à 2017	
ESSO-EXXON MOBIL	14 670 504	15 701 063	13 737 285	8 220 554	14 702 951	49.9%
CODAH	11 707 800	12 082 600	11 979 400	7 514 990	11 923 267	40.5%
TEREOS-BENP	1 262 116	1 647 264	1 324 623	699 510	1 411 334	4.8%
LANXESS	642 214	709 759	761 278	424 467	704 417	2.4%
UNITED CHEMICAL	543 410	491 666	483 215	275 619	506 097	1.7%
ECO HUILE	92 903	36 345	1 109	678	43 452	0.1%
G.C.A. STOCKAGE	45 419	42 892	31 656	83 325	39 989	0.1%
OREADE	27 564	19 085	29 964	8 918	25 538	0.1%
THERMAL CERAMICS	20 094	26 185	25 695	16 953	23 991	0.1%
DELISLE	17 855	17 769	19 486	9 726	18 370	0.1%
PLATEFORME PRIMAGAZ	15 188	2 873	15 101	1 358	11 054	0.0%
SCORI	11 122	7 475	8 402	4 202	9 000	0.0%
LOGISTIQUE VAL DE SEINE	3 932	10 162	10 149	1 625	8 081	0.0%
DE RIJKE NORMANDIE	6 666	5 100	12 319	2 238	8 028	0.0%
SONOTRI	3 683	5 107	3 295	418	4 028	0.0%
G.C.A. STOCKAGE (Ex Lorafret)	1 295	1 881	188	000	1 121	0.0%
B.M. CHIMIE	1 105	226	534	28	0 622	0.0%
AIR LIQUIDE	185	91	589	627	0 288	0.0%
SENALIA UNION	228	203	266	23	0 232	0.0%
P.I. OREADE	17	000	439	000	0 152	0.0%
P.I. RD 982	23	131	000	42	0 051	0.0%
Dufour	000	000	53	3	0 018	0.0%
NORMANDIE ENROBES	000	1	000	000	0 000	0.0%
S.N.C.F.	009	394	15	000	-0 123	0.0%
TOTAL	29 073 332	30 807 484	28 445 061	17 265 304	29 441 959	

Illustration 233 : Consommation de l'eau produite par l'usine de Norville (en m³)

Consommateurs de l'eau industrielle produite par l'usine de Norville

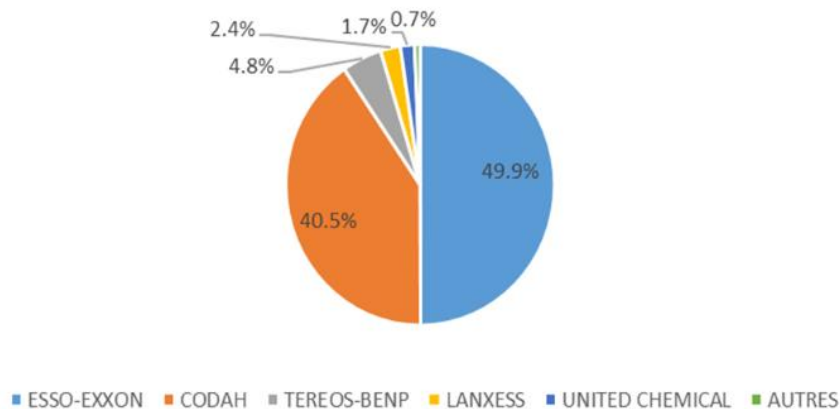


Illustration 234 : Principaux consommateurs industriels de l'eau produite par l'usine de Norville (moyenne des années 2015, 2016 et 2017)

Au paragraphe 4.4.2., la productivité des ouvrages situés en aval de Gruchet est considérée comme excellente (>20 m³/h/m). La zone industrielle de Port Jérôme se situe dans cette zone de très bonne productivité. Les cônes de rabattements des forages de la zone industrielle de Port-Jérôme sont compris entre 1 et 3 mètres. En 1960-1970, les volumes prélevés étaient compris entre 1600 et 2000 m³/j soit une production comprise entre 22 et 83 m³/h/m. Ces chiffres confirment la bonne productivité des forages dans la zone de Port-Jérôme (en aval de Gruchet).

Mensualisation des données

Les volumes des prélèvements industriels recueillis ne sont que des volumes annuels. La mensualisation de ces données part du principe que les industries de la zone d'étude ne montrent pas de saisonnalité dans leur consommation en eau. Ce principe permet donc de supposer que les volumes prélevés sont constants tout au long de l'année. Les volumes annuels ont ainsi été divisés par 12 afin de les mensualiser.

6.2.3. Prélèvements pour l'Alimentation en Eau Potable

Une enquête a été réalisée par le BRGM par envoi de questionnaires à tous les producteurs d'eau de la zone d'étude (syndicats d'eau, délégataires et communes/intercommunalité). Il leur a été demandé de fournir :

- les données de prélèvements pour chaque ouvrage au pas de temps mensuel ;
- les éventuels projets de création de nouveaux ouvrages de prélèvement ;
- les éventuels projets d'abandon d'ouvrages de prélèvement.

Pour consolider cette base, nous nous sommes également appuyés sur les informations fournies par la base de données redevances de l'AESN (déclaration des volumes annuels prélevés).

Les volumes mensuels recueillis auprès des exploitants (syndicats d'eau et communes) couvrent la période 1994 – 2018. Les volumes annuels issus de la base de l'agence de l'eau couvrent quant à eux la période 1994 – 2015. Ce qui implique que le BRGM dispose de données consolidées uniquement sur la période 1994 – 2015.

Il est à noter que nous avons dû également tenir compte des changements de structure administrative des syndicats (regroupement de communes) ou de changement d'opérateur du réseau d'eau dans ces estimations.

Localisation et origine des prélèvements

On recense 48 ouvrages dédiés à l'AEP sur la zone d'étude du SAGE Commerce. La totalité de ces prélèvements sont réalisés en eaux souterraines.

A la fin 2015, 63% de ces ouvrages étaient actifs, soit 31 ouvrages (Illustration 235).

Les causes d'abandon des 17 ouvrages abandonnés ou suspendus avec un projet de reprise sont : un débit pas assez important (1 ouvrage), des teneurs en pesticide trop importantes (3 ouvrages), des contraintes techniques trop importantes (1 ouvrage), de forts problèmes de turbidité (3 ouvrages), d'autres paramètres (5 ouvrages) ou une raison inconnue (4 ouvrages) (Tableau 30).

Cause d'abandon	Ouvrages concernés
Débit	BRETTEVILLE-DU-GRAND-CAUX
Teneurs en pesticides	VILLEQUIER SOURCE YEBLERON F1 YEBLERON F2
Contraintes techniques	VIEUX PORT
Turbidité	CERLANGUE ST-JEAN-ABBETOT NORVILLE ST-MACLOU-LA-BRIERE F2
Autres	GRUCHET - ST-MARCEL F1 GRUCHET - ST-MARCEL F2 GRUCHET-LE-VALASSE F3 GRUCHET-LE-VALASSE PUITES LILLEBONNE BECQUET (LE)
Raison inconnue	LE FLACQ LILLEBONNE FONTAINE-BRUYER RADICATEL C6 ST-ARNOULT FOND DES MARES

Tableau 30 : Ouvrages abandonnés et cause d'abandon, source : ARS Normandie, 2020

Au cours de l'année 2015, quatre ouvrages ont été suspendus pour cause de pollution, avec projet de pouvoir reprendre la distribution. Des volumes ont ainsi été prélevés dans les premiers mois de l'année avant arrêt.

Etat des ouvrages AEP de la zone d'étude (à fin 2015)

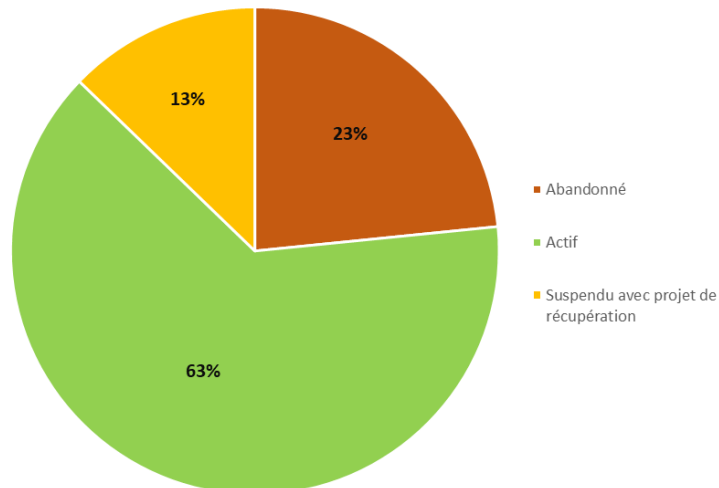


Illustration 235 : Proportion des ouvrages AEP actifs, abandonnés et suspendus avec projet de récupération à fin 2015 sur la zone d'étude

Les ouvrages AEP se situent majoritairement en vallée. Un nombre important d'ouvrages se situent dans le secteur des sources de la Brouisseresse et de Radicatel (ouvrages exploités par le Havre Seine Métropole, anciennement CODAH). Les autres ouvrages se répartissent principalement dans les vallées du Commerce et de ses affluents, du Théluet, du Hannebot. D'autres ouvrages encore se trouvent en limite avec la plaine alluviale de la Seine (Illustration 236).

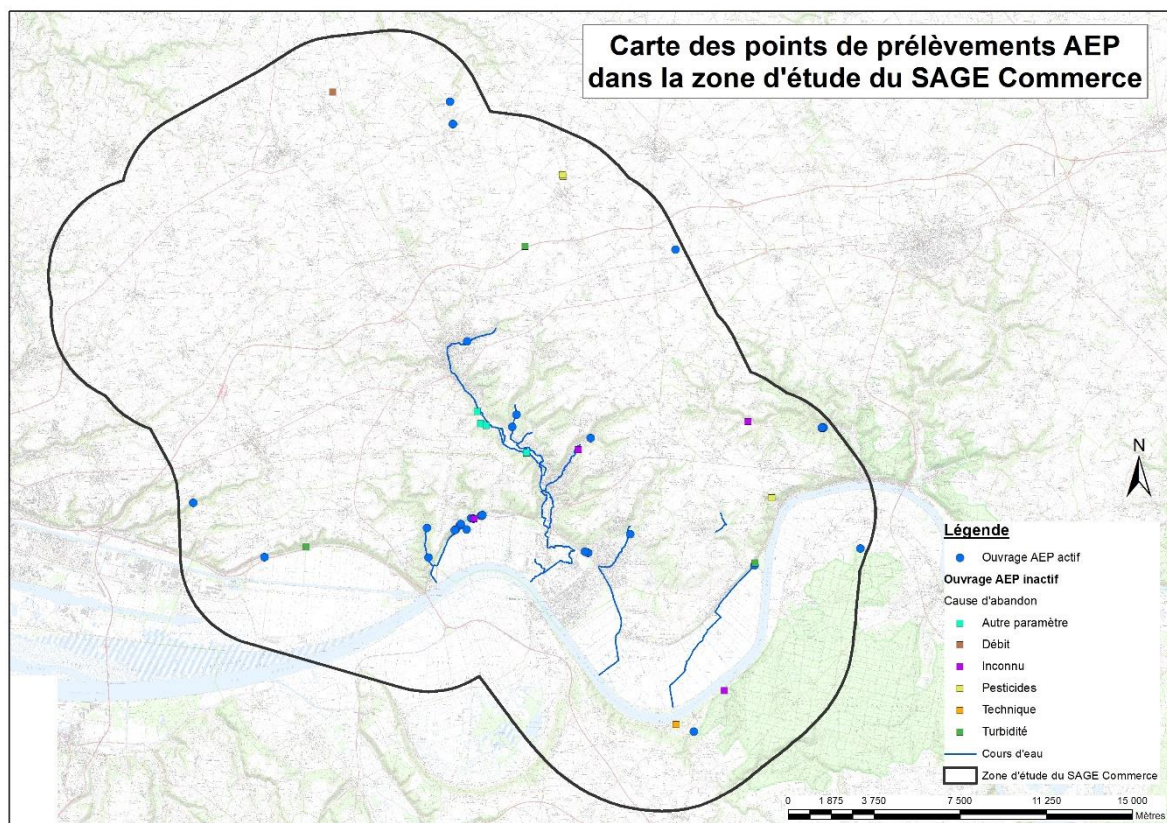


Illustration 236 : Carte de localisation des points de prélèvements AEP sur la zone d'étude

Le nombre d'ouvrages actifs pour une année donnée peut donc varier au fil des abandons et des mises en services. Le graphique suivant (Illustration 237) présente le nombre d'ouvrages actifs sur la période 1994 - 2018.

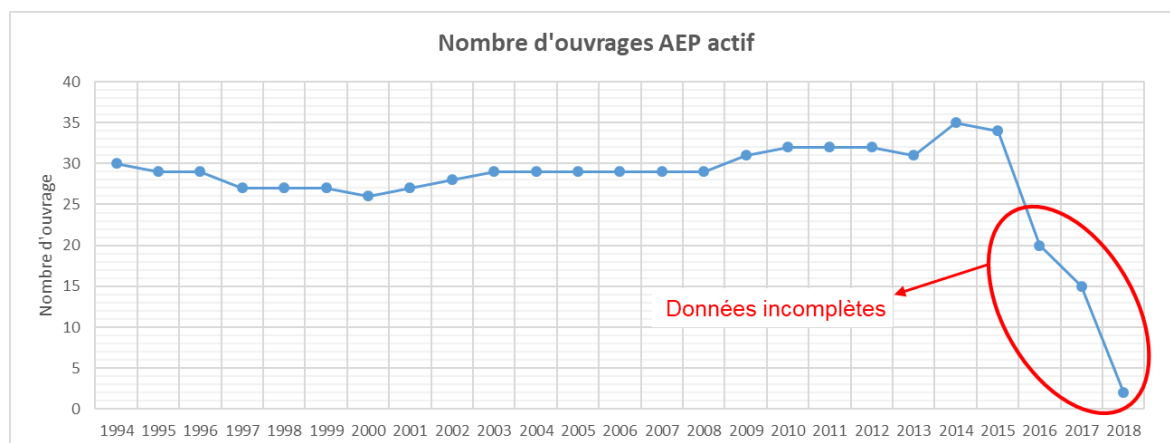


Illustration 237 : Evolution du nombre d'ouvrages actifs entre 1994 et 2018. Les données reçues après 2015 n'étaient pas totalement consolidées dans les différentes bases de données.

On constate une forte baisse du nombre d'ouvrages AEP actifs entre 2016 et 2018. Cette baisse est due à la non consolidation des données des dernières années précédant la demande d'extraction de la base de données.

Entre 1994 et 2008, le nombre d'ouvrages AEP actifs sur la zone d'étude est relativement stable (en moyenne de 28 ouvrages). Une légère hausse est à observer entre 2009 et 2013, en passant

à une moyenne de 32 ouvrages actifs. Enfin, une hausse plus marquée est observable en 2014 et 2015 avec un nombre d'ouvrages AEP actifs de 35 et 34.

Evolution des volumes prélevés

Le graphique suivant (Illustration 238) présente l'évolution des volumes prélevés par les ouvrages AEP dans les eaux souterraines.

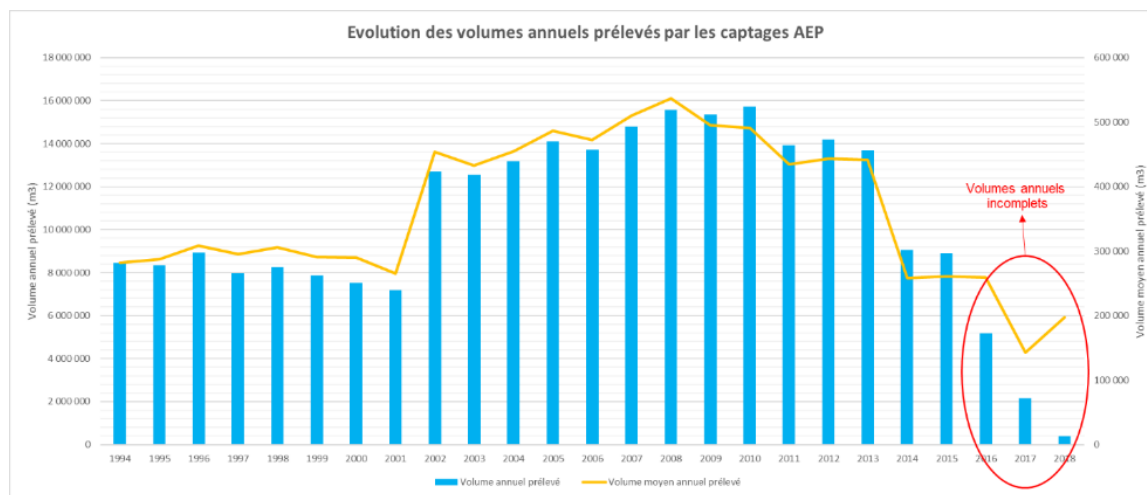


Illustration 238 : Evolution des volumes moyens annuels prélevés par ouvrages AEP entre 1994 et 2018 sur l'ensemble de la zone d'étude du SAGE Commerce, cf. illustration 236 pour la localisation des ouvrages.

Les volumes prélevés pour les usages AEP sont stables de 1994 à 2001 avec un volume annuel prélevé situé autour de 8Mm³. Pendant cette même période, le volume annuel moyen prélevé par ouvrage est situé autour de 291 000 m³ (environ 800 m³/j).

Entre 2002 et 2010, les volumes prélevés augmentent fortement pour être compris entre 12,5 Mm³ (en 2003) et 15,7 Mm³ (en 2010). Cette hausse est due à l'augmentation des volumes prélevés au niveau des captages de Saint-Jean-de-Folleville (1,7 Mm³), de Saint-Nicolas-de-la-Taille (3,2 Mm³) et de Yébleron (0,5 M m³) dans une moindre mesure. Le nombre d'ouvrages de prélèvement n'ayant pas augmenté au cours de cette période, à l'exception des années 2009 et 2010 (Illustration 237), le volume annuel moyen de prélevé a donc fortement augmenté. Il se situe pour cette période autour de 481 000 m³ par ouvrage (environ 1300 m³/j). La forte augmentation (+170 %) concerne principalement le champ captant de Radicatel.

Entre 2011 et 2013, les volumes prélevés diminuent légèrement. Ils sont compris entre 13,6 Mm³ (en 2013) et 14,1 Mm³ (en 2014). Cette période correspond à une augmentation du nombre d'ouvrages de prélèvement (Illustration 237), ce qui a conduit à une légère diminution du volume annuel moyen prélevé. Celui-ci est de 440 000 m³ par ouvrage (environ 1200 m³/j).

Enfin, en 2014 et 2015, une diminution nette des volumes prélevés est à noter. Ces volumes sont autour de 9 Mm³/an. Ces volumes sont légèrement supérieurs à ceux prélevés entre 1994 et 2002. Cependant le nombre d'ouvrages de prélèvement au cours de cette période a fortement augmenté. Le volume annuel moyen prélevé est ainsi de 260 000 m³ par ouvrage (environ 710 m³/j), c'est-à-dire inférieur à celui de la période 1994 – 2002.

L'illustration suivante présente la répartition spatiale des volumes prélevés en 2015 pour les ouvrages AEP de la zone d'étude.

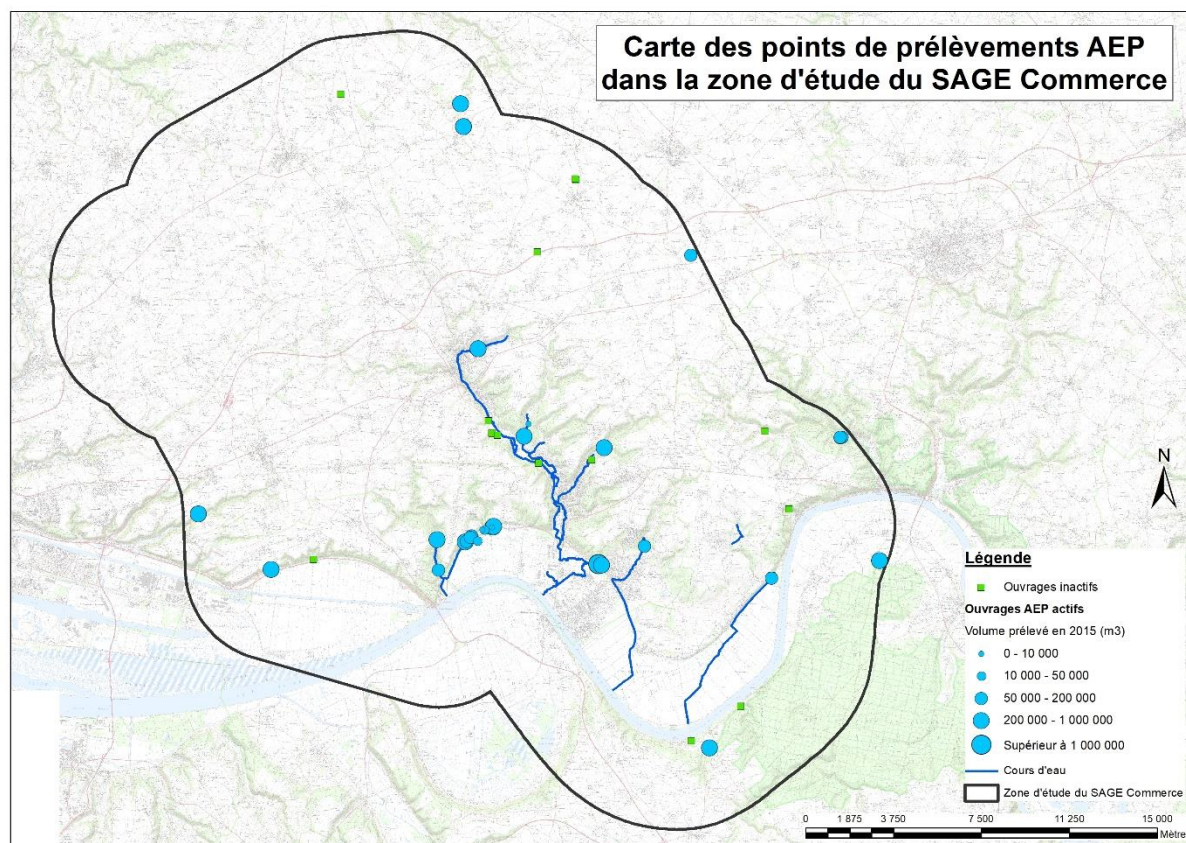


Illustration 239 : Volumes prélevés en 2015 pour les ouvrages AEP

Les ouvrages AEP dont les volumes prélevés sont les plus importants (supérieurs à 600 000 m³/an) se situent dans la vallée de la Brouisseresse, du Vivier et en vallée de Seine, au niveau de Notre-Dame-de-Gravenchon et Aizer. D'autres volumes importants sont prélevés dans la vallée du Commerce et sur les plateaux (entre 150 000 et 600 000 m³). Enfin, il est intéressant de constater que de nombreux petits volumes (inférieurs à 150 000 m³) sont également prélevés au niveau de la vallée de la Brouisseresse.

Mensualisation des données

Les volumes mensuels disponibles montrent qu'il existe une variabilité saisonnière des volumes prélevés en fonction des mois de l'année. Ces variations de volumes doivent être dues à des variations de la consommation.

Ainsi, un coefficient de répartition par mois a été déterminé pour l'ensemble des ouvrages de la zone d'étude afin de mensualiser les volumes annuels en prenant en compte les variations mensuelles observables.

Ce coefficient de répartition a été déterminé à partir des volumes mensuels de 21 ouvrages AEP entre 1995 et 2016. Les années incomplètes (présentant moins de 11 mois de données) ont été écartées. Ainsi, à partir de la somme par mois des volumes prélevés par ces 21 ouvrages, un coefficient de répartition a été calculé (somme des volumes pour un mois donné divisée par la somme des volumes totaux). Ce coefficient a ensuite été lissé afin d'éviter les effets de pépité (Illustration 240). Le résultat est présenté dans le Tableau 31 ci-après.

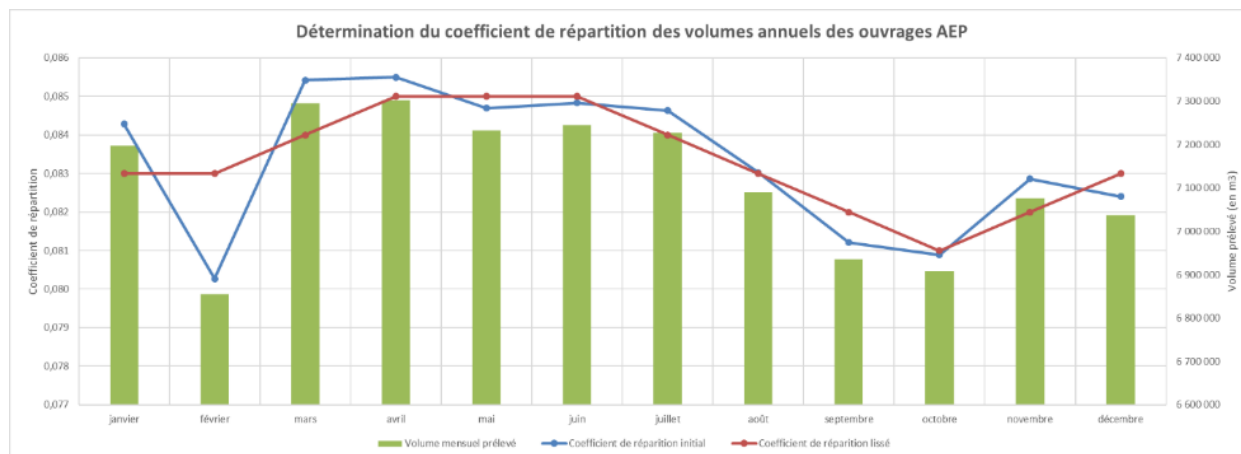


Illustration 240 : Détermination du coefficient de répartition des volumes annuels des ouvrages AEP

Mois	Coefficient de répartition	Mois	Coefficient de répartition
Janvier	0,083	Juillet	0,084
Février	0,083	Août	0,083
Mars	0,084	Septembre	0,082
Avril	0,085	Octobre	0,081
Mai	0,085	Novembre	0,082
Juin	0,085	Décembre	0,083

Tableau 31 : Coefficient de répartition (lissé) des volumes annuels des ouvrages AEP

6.2.4. Prélèvements Agricoles

L'inventaire des prélèvements agricoles dans la zone d'étude a été réalisé à partir du croisement entre les bases de données de l'AESN, de la DDTM (Police de l'Eau) et de la BSS. Pour cette dernière, les ouvrages recensés comme ayant un usage agricole (irrigation, abreuvement ...) ont été retenus. Les points de prélèvements sont localisés au moyen des coordonnées BSS ou, à défaut, au centroïde de la commune.

Les volumes mensuels et annuels disponibles dans la base de données de l'AESN et ceux estimés concernent la période : 1994 – 2015. La date de création des forages a été prise en compte dans l'estimation des volumes prélevés pour l'irrigation et l'abreuvement.

Afin d'estimer au mieux les volumes prélevés pour les besoins agricoles, le BRGM s'est appuyé sur une méthode d'estimation décrite dans le paragraphe suivant : « Mensualisation des données ». Les volumes annuels ont ensuite été calculés à partir des volumes mensuels estimés. Ainsi, et contrairement aux captages AEP et industriels, cette partie sur les prélèvements agricoles débutera par la mensualisation des données.

La base de données de l'Agence de l'Eau ne comporte que très peu de volumes renseignés. En effet, les exploitants ne sont pas obligatoirement tenus de déclarer les volumes inférieurs à 7 000 m³/an. Aussi, la méthode de calcul proposée surestime très probablement les besoins pour les usages animaux, notamment puisque les exploitations agricoles sont généralement reliées au réseau d'alimentation en eau potable. Ce dernier peut servir totalement ou partiellement à couvrir les besoins en eau. L'estimation proposée est donc une fourchette haute.

Mensualisation des données

▪ Conditions

Les usages des ouvrages agricoles situés dans la zone d'étude sont principalement divisés en 2 catégories : l'irrigation et l'abreuvement. Les usages de ces ouvrages n'étant pas renseignés de façon précise dans les bases de données, il a été nécessaire de les définir.

Pour définir ces usages, les parcelles situées dans un rayon de 500 mètres autour du point de prélèvement ont été extraites afin de connaître leur nature : blé, orge, pâturage ... Ces parcelles sont issues de la base de données du Registre Parcellaire Graphique (RPG). La distance de 500 mètres retenue correspond à la longueur standard des enrouleurs pour l'irrigation. Ceux-ci étant compris entre 200 et 700 mètres, une valeur de 500 mètres a été retenue car une longueur de 700 m implique de grandes parcelles et une de 100 à 200 mètres un arrosage direct de la parcelle.

Suite à ces extractions, pour chaque ouvrage de prélèvement, le ratio de la surface consacrée aux pâturages : prairies permanentes et prairies temporaires, est calculé ainsi que celui de la surface des parcelles consacrées aux cultures nécessitant de l'irrigation : blé tendre, maïs (grain et ensilage), orge et protéagineux. Le ratio de ces 2 types de parcelles est comparé et permet de définir l'usage le plus probable de l'ouvrage de prélèvement concerné.

▪ Irrigation

La méthode utilisée pour estimer les volumes mensuels des ouvrages de prélèvements ayant un usage dominant « irrigation » consiste à estimer la dose d'irrigation nécessaire en fonction du type de culture, de la pluie et de l'évapotranspiration maximale (ETM20) de façon journalière sur la période 1994-2015 (cette méthode est utilisée par la Chambre d'Agriculture de l'Eure afin de calculer la dose d'irrigation préconisée dans les bulletins envoyés aux agriculteurs).

L'ETM est l'évapotranspiration tenant compte de l'espèce considérée et de son stade végétatif. L'ETM corrige l'ETP à l'aide d'un coefficient Kc calculé expérimentalement pour chaque espèce en fonction de son stade végétatif.

Cette dose d'irrigation calculée est ensuite utilisée pour estimer le volume d'eau apporté par l'exploitant à sa parcelle et donc le volume d'eau potentiellement prélevé. Les données utilisées pour cela sont les suivantes :

- Inventaire des points de prélèvement recensés dans la zone d'étude ;
- Données SIG du registre parcellaire graphique de 2015 (îlots PAC et groupes de cultures associées en 2015) ;
- Cartographie de la réserve utile (RU) des sols (source : carte régionale des sols au 1/250 000) ;
- Données de pluie à la station de Saint-Romain-de-Colbosc et de Goderville et d'ETP à Rouen-Boos pour le calcul de l'ETM ;
- Données des coefficients culturaux (Kc) pour le blé, l'orge, le maïs et les pois (Annexe 4).

Les différents groupes de cultures pratiqués dans la zone d'étude ainsi que leurs surfaces respectives sont présentés dans l'annexe 4. Il est à noter que la surface des différentes cultures a peu évolué dans le temps. La répartition des cultures de 2015 a ainsi été retenue pour l'ensemble de la période 1994 – 2015.

Pour chaque pas de temps journalier j , la dose d'irrigation nécessaire a été calculée ainsi :

- $ETM(j) = ETP(j) \times Kc$
- Si $RU(j-1) + Pluie(j) - ETM(j) < \text{Seuil RU}$, Dose d'irrigation(j) = $\text{Seuil RU} - RU(j-1) + Pluie(j) - ETM(j)$
- Si $RU(j-1) + Pluie(j) - ETM(j) > \text{ou} = \text{Seuil RU}$, Dose d'irrigation(j) = 0
- $RU(j) = RU(j-1) + \text{Dose d'irrigation} + Pluie(j) - ETM(j)$

Comme déjà vu au chapitre 5.4, la réserve utile n'étant pas homogène à l'échelle du bassin versant, trois valeurs différentes ont été retenues par simplification :

- une réserve utile de 200 mm a été utilisée pour les plateaux ;
- une réserve utile de 150 mm a été utilisée pour la vallée de la Seine et les vallées de la zone d'étude ;
- une réserve utile de 50 mm a été utilisée pour trois zones de la vallée de Seine qui sont constituées de sols de terrasses et de formations sablo-caillouteuses.

Le seuil minimal de réserve utile a été fixé à 50 mm sur l'ensemble du bassin versant (cf. chapitre 5.4 précédent).

Les doses d'irrigation nécessaires ainsi calculées au pas de temps journalier pour la période 1994-2015 ont été multipliées par la surface des parcelles concernées. Ces valeurs ont ensuite été regroupées par ouvrage de prélèvement pour obtenir le volume journalier prélevé pour chaque ouvrage. Ce volume journalier a ensuite été converti en volume mensuel et annuel :

- Dose irrigation journalière x Surface de la parcelle = Volume d'eau journalier apporté à la parcelle par l'exploitant d'un ouvrage ;
- \sum Volume d'eau journalier apporté à différentes parcelles par l'exploitant d'un ouvrage = Volume d'eau (total) journalier prélevé par cet ouvrage ;
- Regroupement des Volume d'eau journalier prélevé par cet ouvrage par mois = Volume d'eau mensuel/annuel prélevé par cet ouvrage.

L'illustration 241 suivante présente les volumes annuels moyens prélevés ainsi estimés (volume total prélevé divisé par le nombre d'ouvrages actifs) en fonction de la pluviométrie, de l'ETP et des doses d'irrigation totales.

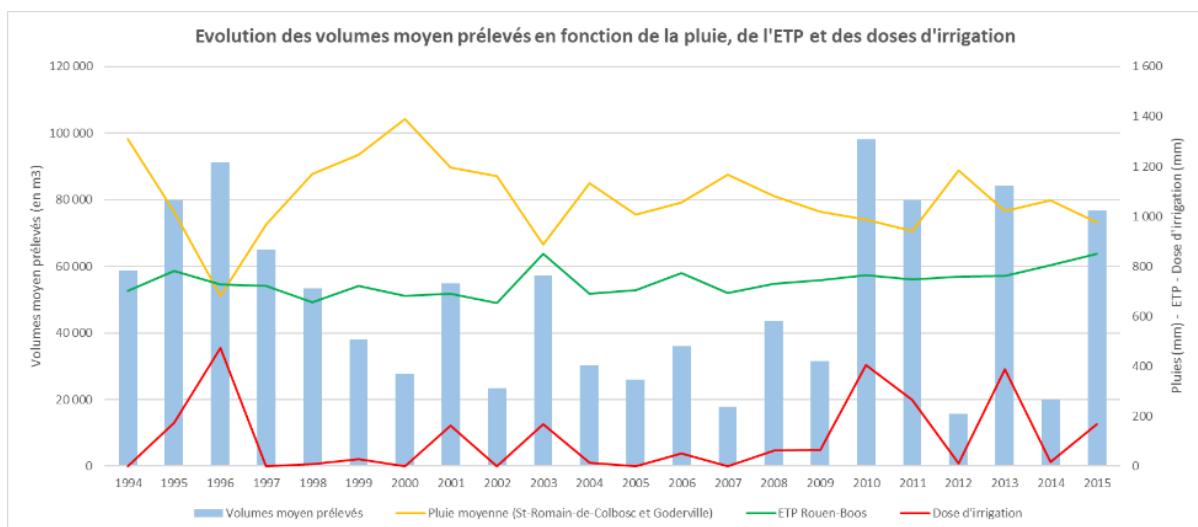


Illustration 241 : Evolution des volumes prélevés en fonction de la pluie, de l'ETP et des dose d'irrigation

Il est à constater que les pics de prélèvements correspondent bien aux pics des besoins d'irrigation. Les années concernées par ces pics sont 1996, 2001, 2003, 2010, 2013 et dans une moindre mesure 2006 et 2008.

Les principaux pics de prélèvements se superposent également assez bien aux années enregistrant une baisse des précipitations (années sèches), par exemple aux années 1996, 2003 et 2013 notamment.

- Abreuvement

La méthode utilisée pour estimer les volumes mensuels des ouvrages de prélèvements ayant un usage dominant « abreuvement » consiste à estimer le volume d'eau annuellement consommé par le bétail et ainsi obtenir une estimation du volume pompé annuellement en chaque ouvrage. Ce volume est ensuite divisé par 12 afin d'obtenir les volumes mensuels.

En complément des données disponibles dans la base de données de l'AESN, la DDPP76 a été sollicitée afin d'obtenir une extraction d'informations sur les élevages industriels de la zone étude comprenant les données suivantes : raison sociale de l'établissement, adresse, commune, type d'élevage (bovins, volaille, etc...) et effectif (nombre de bêtes).

Ainsi pour chaque forage rattaché à une exploitation, le nombre de têtes de bétail est multiplié par les consommations moyennes admises pour les différents types d'élevages (Tableau 32).

Consommation moyenne	l/j	M3/an
Vache	80	29.2
Veaux	20	7.3
Génisse ou taurion	40	14.6
Autre bovin	40	14.6
Truie mère	20	7.3
Porc engraissement	10	3.65
Porcelet	5	1.83
Poulet	0.15	0.05
Dinde	0.45	0.16
Canard	0.3	0.11
Poule	0.2	0.07
Lavage porcherie	1025	374.4
Lavage étable	499	182.5
Lavage clapiers	131.5	48
Lavages poulaillers	137	50

Tableau 32 : Estimation de la consommation moyenne en eau souterraine par tête selon le type d'élevage (source : schéma régional d'alimentation en eau potable de Bretagne)

Les exploitations concernées par ces forages concernent uniquement des exploitations de vaches laitières avec leurs veaux.

Sur la zone d'étude, la grande majorité (81 %) des exploitations concerne effectivement les vaches et les veaux : vaches laitières, vaches allaitantes et veaux (Illustration 242). Les autres exploitations concernent les porcs (6 %), les volailles (6 %) et les chiens (4 %).

Type d'exploitation présentes sur la zone d'étude

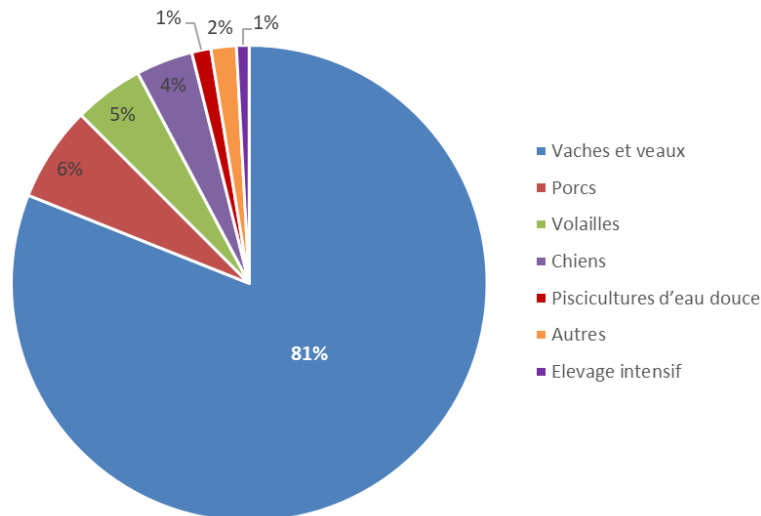


Illustration 242 : Différents types d'exploitations d'élevage présentes dans la zone d'étude

Localisation et origine des prélèvements

La zone d'étude du SAGE Commerce recense 83 points de prélèvements agricoles dont 69 ayant été créés avant fin 2015.

A partir de la méthode décrite dans les paragraphes précédents, un usage a été attribué aux 69 ouvrages de prélèvements agricoles (Illustration 243). La majorité (77 %) des ouvrages concernent l'irrigation.

Usages des ouvrages de prélèvements agricoles

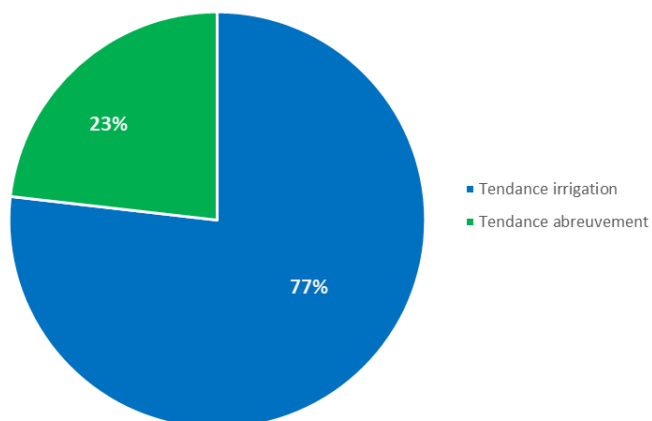


Illustration 243 : Répartition des usages des ouvrages de prélèvements agricoles

La très grande majorité des prélèvements agricoles proviennent des eaux souterraines. En effet, sur 69 ouvrages de prélèvements agricoles, 66 prélèvent en eaux souterraines (Illustration 244). Les 3 ouvrages prélevant en eaux de surface ou dont l'origine est indéterminée ont un usage pour l'abreuvement.

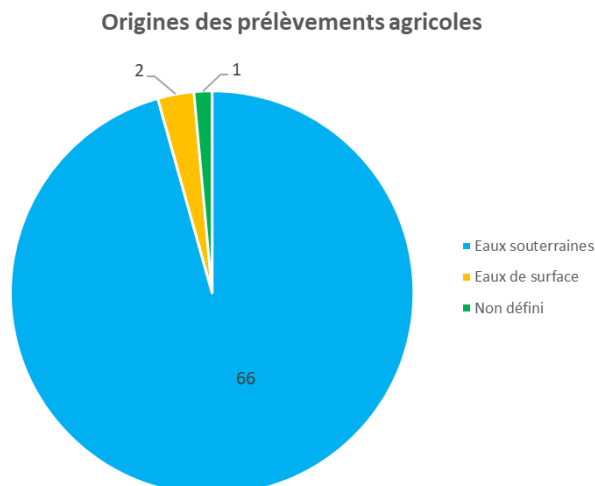


Illustration 244 : Origine des prélèvements agricoles

Les ouvrages de prélèvements pour les besoins agricoles (irrigation et abreuvement) sont en très grande majorité localisés sur les plateaux. Quelques rares ouvrages sont situés en vallée de Seine ou dans la vallée du Commerce (Illustration 245).

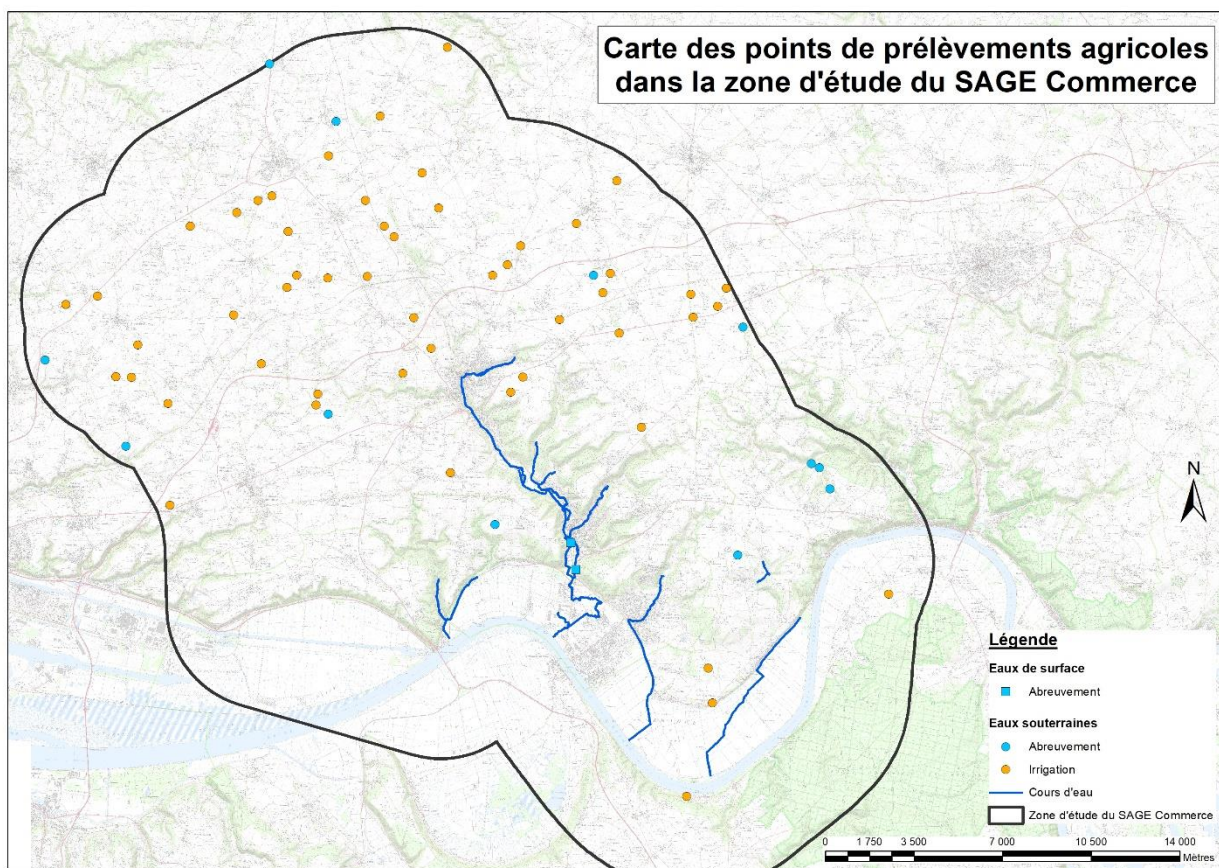


Illustration 245 : Carte de localisation des points de prélèvements agricoles (irrigation et abreuvement) sur la zone d'étude (2015)

Evolution des volumes prélevés

Le graphique suivant présente l'évolution des volumes totaux annuels prélevés (en eaux souterraines) pour les ouvrages ayant un usage estimé d'irrigation.

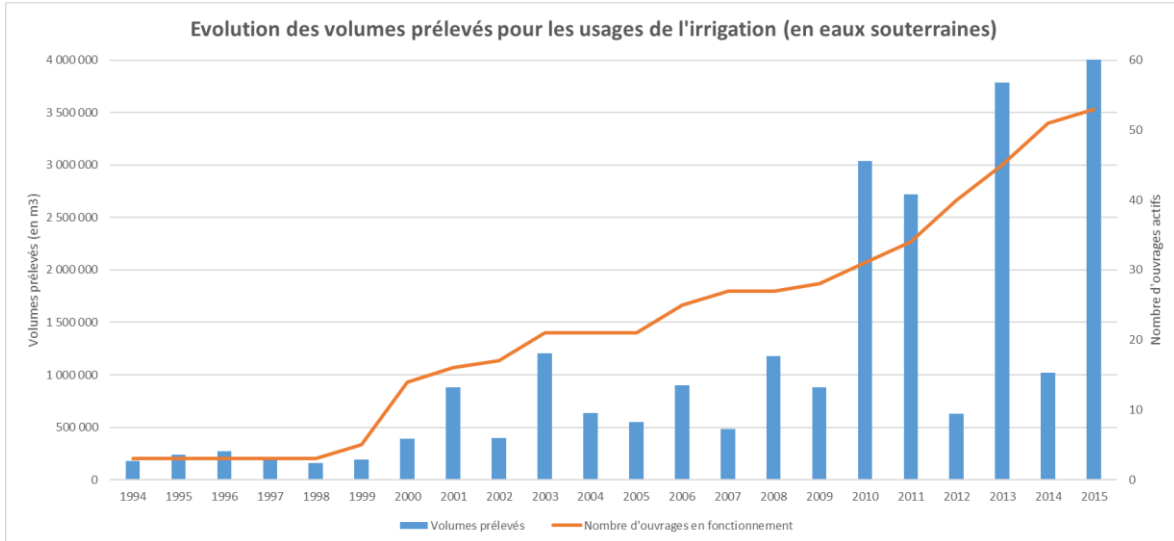


Illustration 246 : Evolution des volumes totaux annuels prélevés (estimés) pour l'irrigation entre 1994 et 2015

Les volumes prélevés pour les besoins de l'irrigation sont irréguliers dans le temps. En effet, certaines années comme 2010, 2011, 2013 ou 2015 sont marquées par des volumes prélevés supérieurs à 2,5 Mm³ (maximum de 4 Mm³ en 2015), alors que les années 2009, 2012 ou 2014 présentent des volumes prélevés inférieurs à 1 Mm³. Malgré ces variations notables, il est possible d'observer une augmentation générale des prélèvements entre 1994 et 2015 (de 0,2 Mm³/an à 4 Mm³/an). Cette augmentation accompagne corrélativement celle du nombre d'ouvrages de prélèvement d'eaux souterraines.

L'illustration 247 présente l'évolution théorique du volume moyen prélevé par ouvrage pour l'irrigation entre 1994 et 2015.

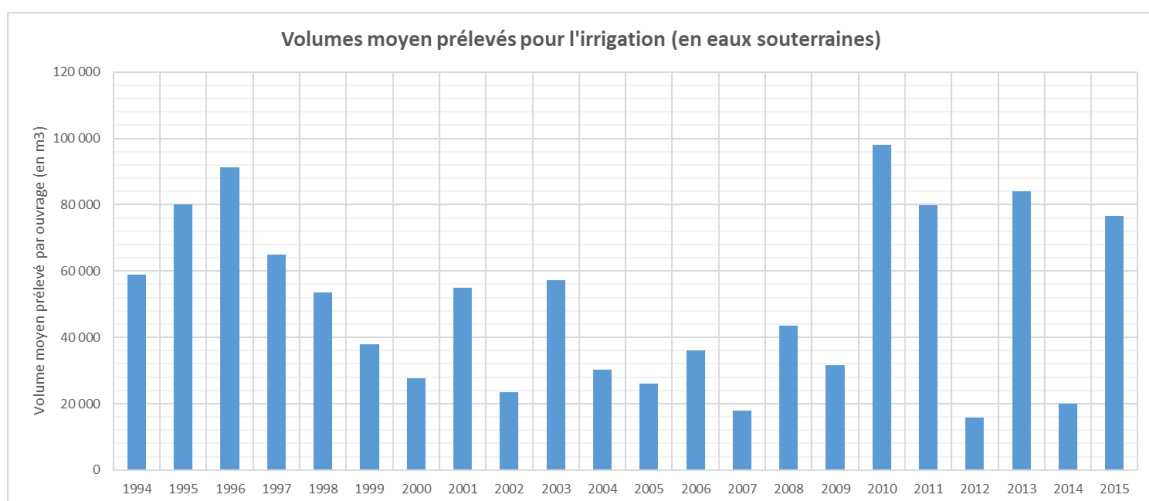


Illustration 247 : Evolution théorique du volume moyen prélevé par ouvrage pour l'irrigation (en eaux souterraines) pour la période 1994-2015)

Le graphique suivant présente la variation mensuelle des volumes prélevés (cumulés) pour l'irrigation par mois entre 1994 et 2015 (Illustration 248). La saisonnalité des prélèvements est bien visible. Les prélèvements se situent essentiellement entre Avril et Septembre avec un pic en Juin et Juillet.

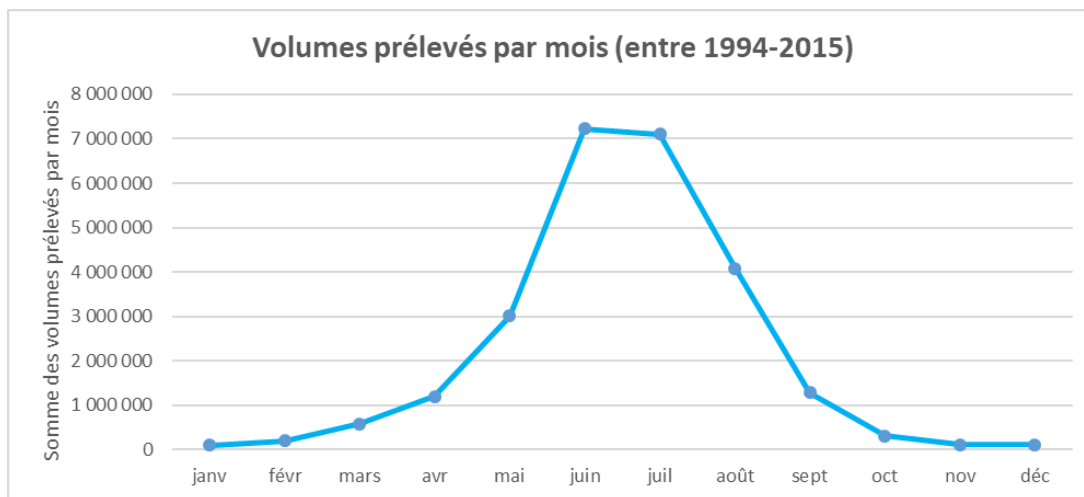


Illustration 248 : Variation des volumes mensuels prélevés (cumulés) pour l'irrigation sur la période 1994 - 2015

Le graphique ci-dessous (Illustration 249) présente l'évolution des volumes prélevés en eaux de surface et en eaux souterraines par les ouvrages ayant un usage pour l'abreuvement.

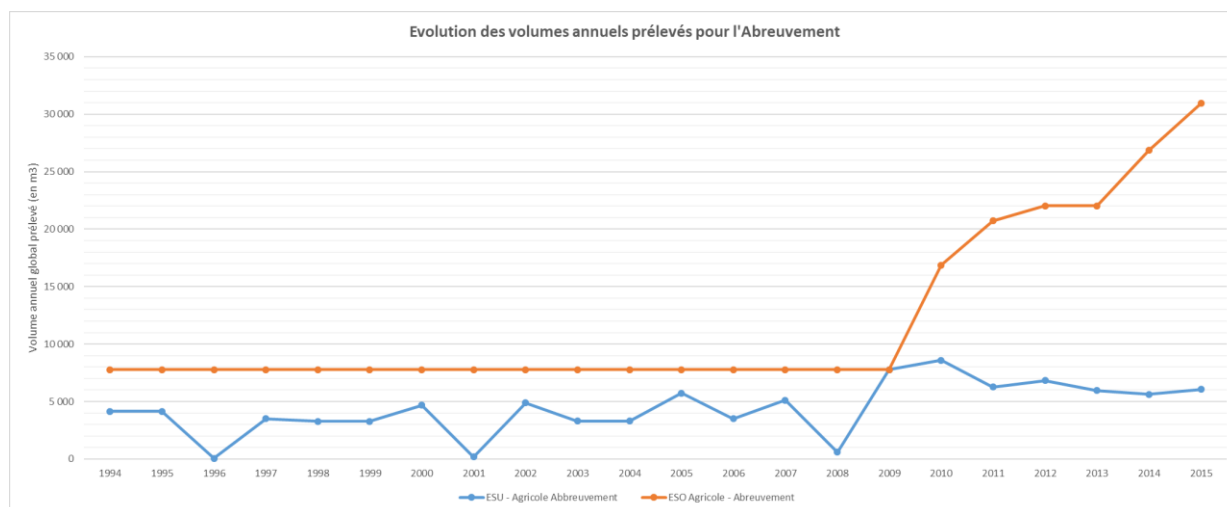


Illustration 249 : Evolution des volumes annuels prélevés en eaux souterraines et en eaux de surface (données AESN) pour l'abreuvement, entre 1994 et 2015

Les volumes prélevés en eaux souterraines sont plus importants que ceux prélevés en eaux de surface pour cet usage « abreuvement » : de l'ordre de 0,03 Mm³ en 2015 pour les ESO contre à peine 10 000 m³ pour les eaux de surface.

Les prélèvements pour répondre aux besoins en abreuvement ont augmenté à partir de l'année 2009, à la fois en eaux souterraines et de manière peu significative pour les eaux de surface (meilleure prise en compte des volumes prélevés ?). Cette tendance à la hausse des prélèvements correspond à la hausse du nombre d'ouvrages de prélèvement en eaux souterraines (Illustration 250).

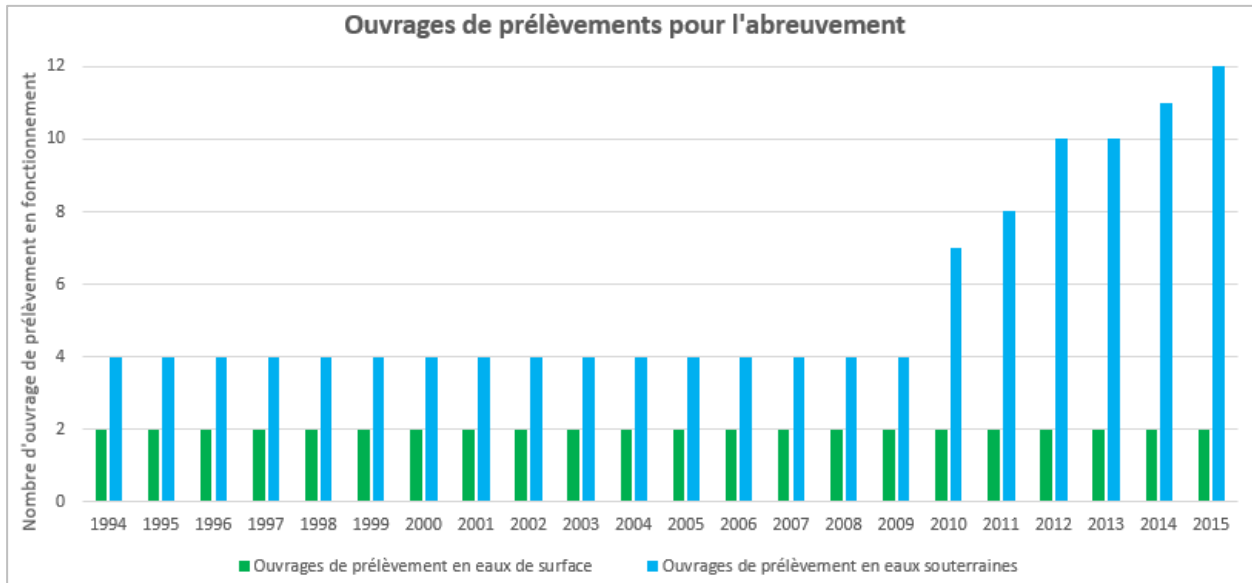


Illustration 250 : Evolution du nombre d'ouvrages de prélèvement pour l'abreuvement

En 2015 on a donc prélevé à des fins agricoles, au sens large du terme, un peu plus de 4 Mm³ au global dont une large majorité pour l'irrigation (estimation uniquement pour les eaux souterraines) et 30 000 m³ pour l'abreuvement dans les eaux souterraines également, et enfin 10 000 m³ environ pour l'abreuvement seul dans les eaux de surface.

La carte ci-après (Illustration 251) présente la répartition des volumes prélevés pour les besoins agricoles. Comme présenté précédemment, les volumes prélevés pour l'irrigation sont plus important que ceux pour l'abreuvement. La répartition des volumes prélevés pour l'irrigation est assez hétérogène sur les plateaux.

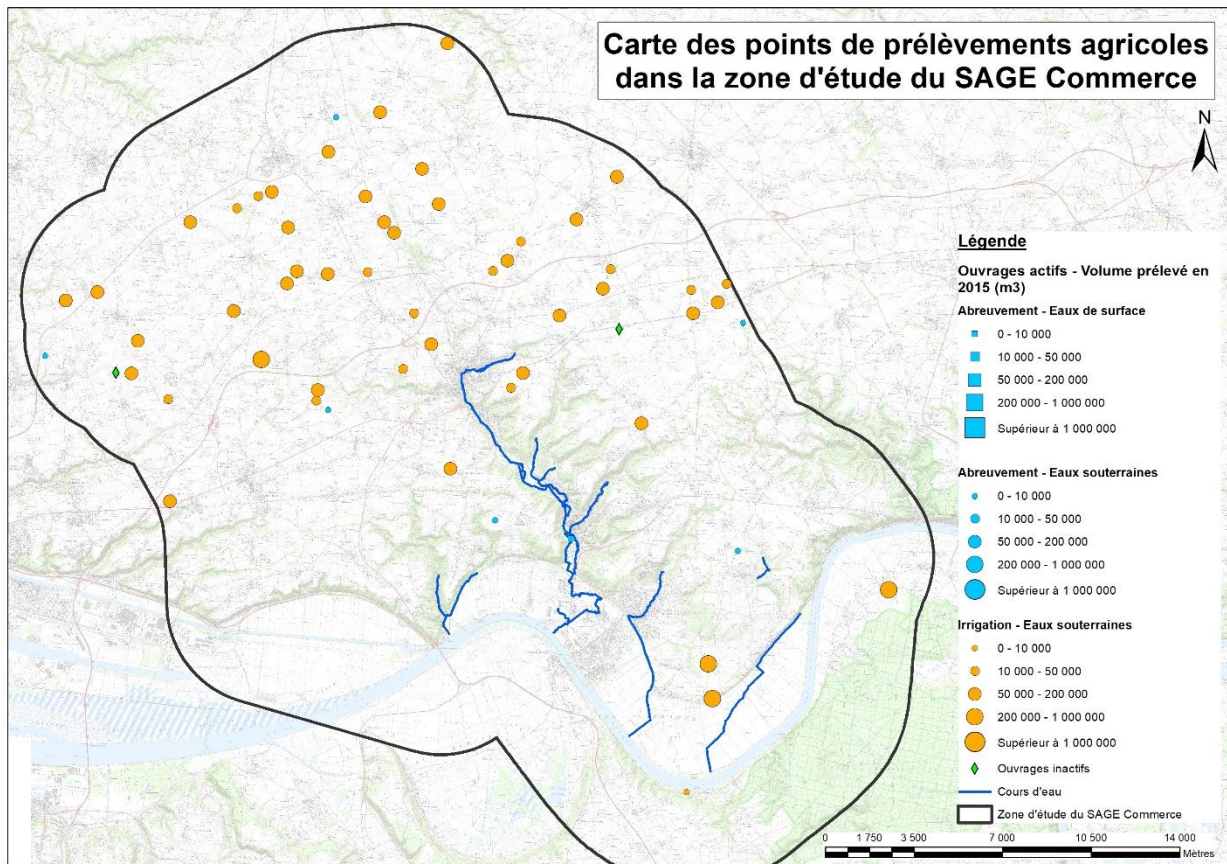


Illustration 251 : Volumes prélevés en 2015 par les ouvrages agricoles (irrigation et abreuvement)

6.2.5. Synthèse des données de prélèvements

Synthèse des données

Le Tableau 33 ci-dessous présente une synthèse des prélèvements annuels agricoles, industriels et AEP de la zone d'étude.

	Prélèvements agricoles	Prélèvements industriels	Prélèvements AEP
<i>Origines des prélèvements</i>	Majoritairement en eaux souterraines (80 ouvrages), 2 ouvrages en eaux de surface et 1 ouvrage non défini	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 62 % en eaux souterraines ▪ 26 % en eaux de surface ▪ 12 % non défini 	Uniquement en eaux souterraines
<i>Points de prélèvements</i>	<p>53 ouvrages ayant une tendance à l'irrigation et 16 ouvrages ayant une tendance à l'abreuvement.</p> <p>Augmentation du nombre d'ouvrages actifs depuis 1994.</p>	<p>Majorité de points présent en vallée de Seine ou du Commerce.</p> <p>Point de prélèvements en eaux souterraines plus important qu'en eaux de surface.</p>	<p>Majorité des ouvrages situés en vallée.</p> <p>65% des ouvrages actifs (à fin 2015).</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1997 – 2008 : en moyenne 28 ouvrages actifs. ▪ 2009 – 2013 : en moyenne 32 ouvrages actifs. ▪ 2014 – 2015 : en moyenne 35/34 ouvrages actifs
<i>Evolution des volumes</i>	<p><i>Irrigation :</i> Prélèvements sont essentiellement compris entre Avril et Septembre</p> <p>Volumes prélevés très fluctuants au cours du temps mais avec une tendance générale à l'augmentation</p> <p><i>Abreuvement :</i> Volumes prélevés en eaux de surface bien plus importants que ceux en eaux souterraines Hausse des volumes prélevés à partir de 2009</p>	<p>Augmentation générale des volumes prélevés.</p> <p>Augmentation des volumes et de la part des prélèvements issus des eaux de surface.</p> <p>Augmentation des volumes et de la part des prélèvements issus des eaux souterraines</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1994 – 2001 : volume prélevé et volume annuel moyen stable ; ▪ 2002 – 2010 : forte augmentation des volumes prélevés et du volume annuel moyen ; ▪ 2011 – 2013 : légère baisse des volumes prélevés et du volume annuel moyen ; ▪ 2014 – 2015 : forte baisse des volumes prélevés et du volume annuel moyen ; ▪ Données incomplètes entre 2016 et 2018 (non prises en compte)
<i>Mensualisation</i>	<p>Irrigation : estimation des volumes mensuels et annuels par la méthode de la dose d'irrigation</p> <p>Abreuvement : estimation basée sur le nombre de têtes de bétails</p>	Pas de saisonnalité des prélèvements	Coefficient de répartition calculé à partir des volumes mensuels de 21 ouvrages AEP

Tableau 33 : Tableau de synthèse des prélèvements dans la zone d'étude du SAGE Commerce

Prélèvements annuels

▪ Les ouvrages de prélèvements

Les points de prélèvements en eaux souterraines sont bien plus nombreux que ceux en eaux de surface. En effet, les points de prélèvements en eaux souterraines représentent 86 % des ouvrages contre 10 % pour les eaux de surface (et 5 % pour les ouvrages dont cette donnée n'est pas connue).

La zone d'étude compte un total de 176 ouvrages de prélèvements (à fin 2015).

La répartition des usages de ces différents points de prélèvements est présentée dans le graphique ci-dessous (Illustration 252). L'usage agricole des prélèvements en eau (tous types confondus) est le plus important en nombre d'ouvrages, soit 70 ouvrages soit 40 %. L'usage industriel représente 33 % des ouvrages (soit 58 ouvrages) et l'usage pour l'alimentation en eau potable représente 27 % (soit 48 ouvrages).

En revanche, la répartition de ces usages diffère dès lors que l'origine du prélèvement est prise en compte. En effet, dans le cas des eaux souterraines, le principal usage répond aux besoins agricoles avec une part importante dédiée à l'irrigation. Cependant les besoins pour l'alimentation en eau potable (AEP) sont plus importants que les besoins industriels (32 % contre 24 %). Dans le cas de l'eau de surface, le principal usage est l'usage industriel (88 %) puis l'usage agricole, plus précisément pour l'abreuvement. Les besoins en eau potable et pour l'irrigation ne sont pas concernés par les prélèvements d'eau de surface.

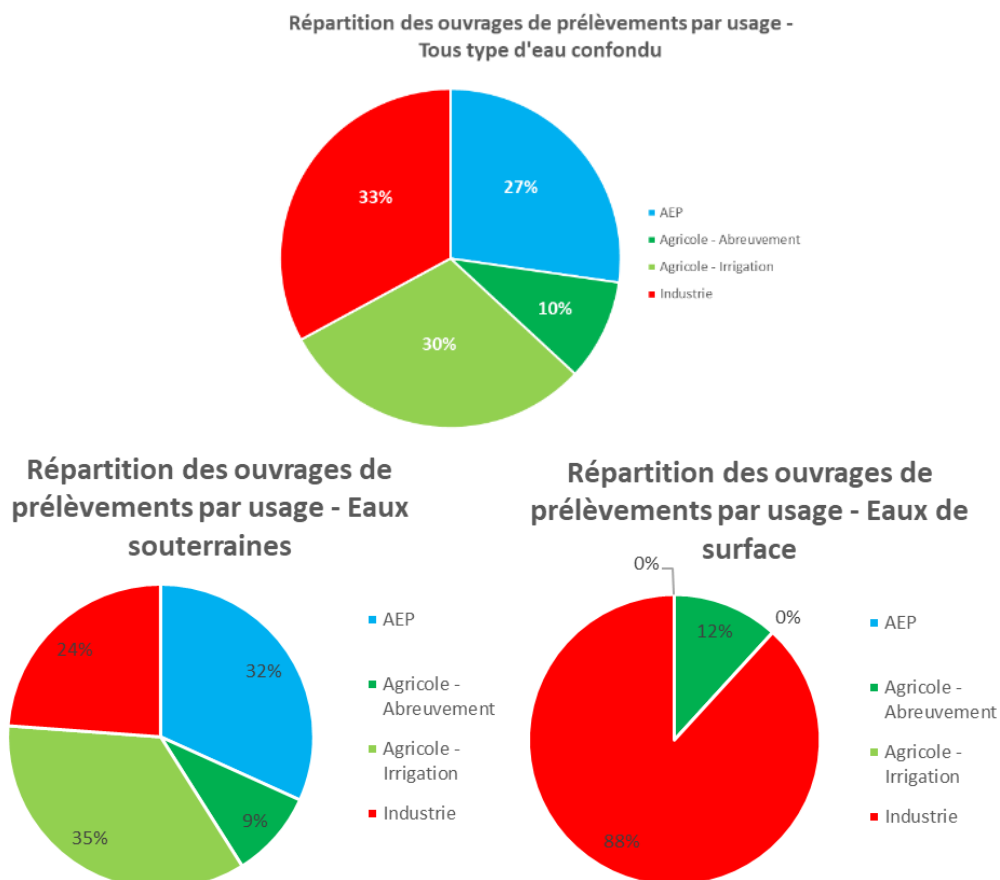


Illustration 252 : Répartition des ouvrages de prélèvements par usage

Entre 1994 et 2015, le nombre d'ouvrages de prélèvement a nettement augmenté. En revanche cette hausse n'est pas homogène.

En effet, la hausse des ouvrages de prélèvements est uniquement due à la hausse des ouvrages de prélèvements en eaux souterraines (Illustration 253). La hausse la plus marquée concerne les ouvrages dont l'usage est agricole.

A contrario, les ouvrages de prélèvements en eaux de surface ont légèrement diminué en nombre et ne contribuent pas à la hausse globale du nombre d'ouvrages de prélèvement (Illustration 254).

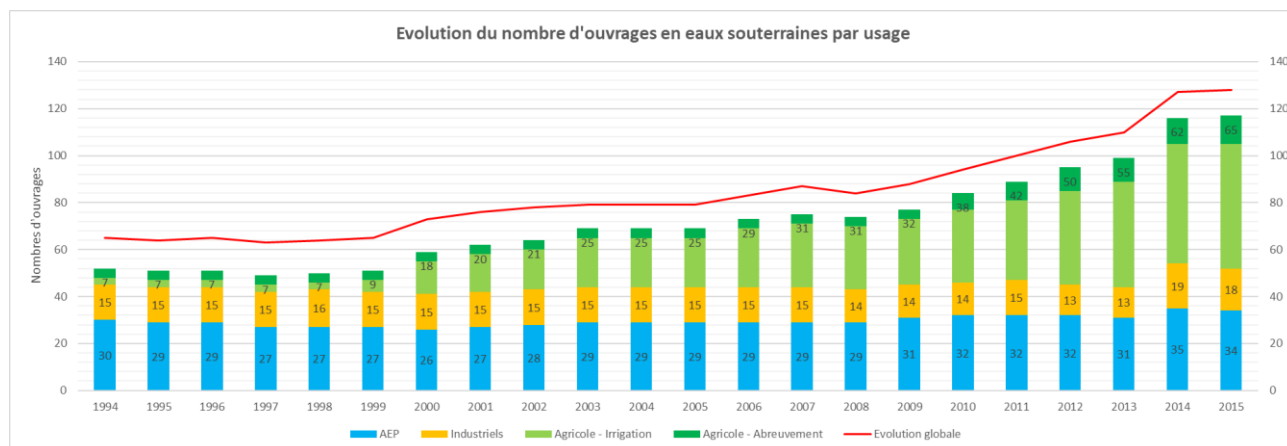


Illustration 253 : Evolution du nombre d'ouvrages par usage pour les eaux souterraines (le nombre d'ouvrages indiqué dans les barres du diagramme représentent les usages AEP, eau industrielle et eau agricole dans son ensemble)

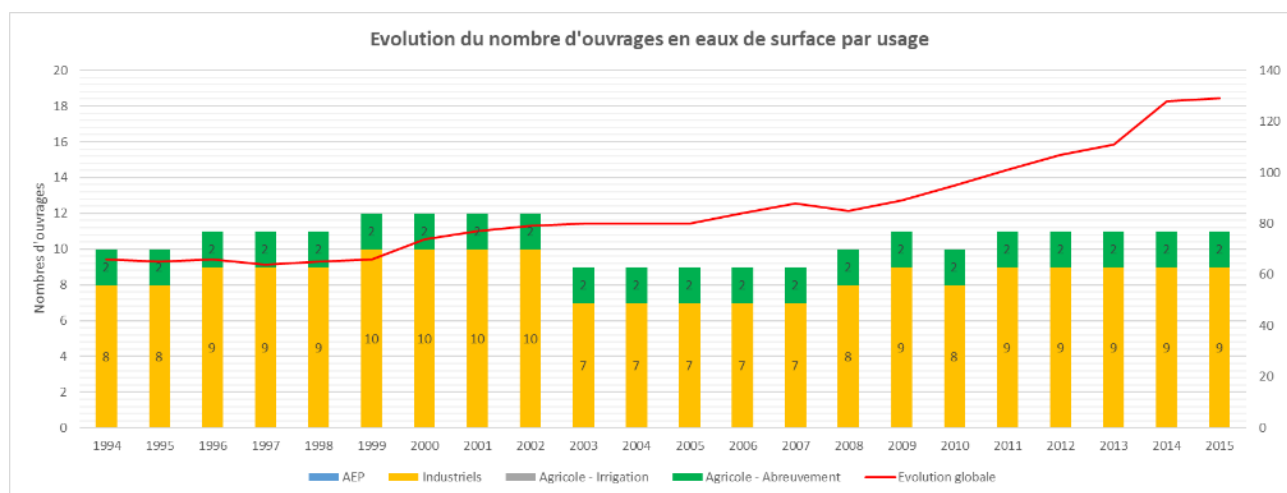


Illustration 254 : Evolution du nombre d'ouvrages par usage pour les eaux de surface

▪ La répartition des volumes prélevés

Les volumes prélevés entre 1994 et 2015 ne sont pas répartis de façon homogène. En effet, malgré un nombre plus important d'ouvrages prélevant dans les eaux souterraines, ces volumes prélevés ne correspondent (en moyenne) qu'à 33 % des volumes globaux prélevés. La majorité des volumes prélevés proviennent ainsi des eaux de surface (Illustration 255). Cette répartition a peu évolué entre 1994 et 2015.

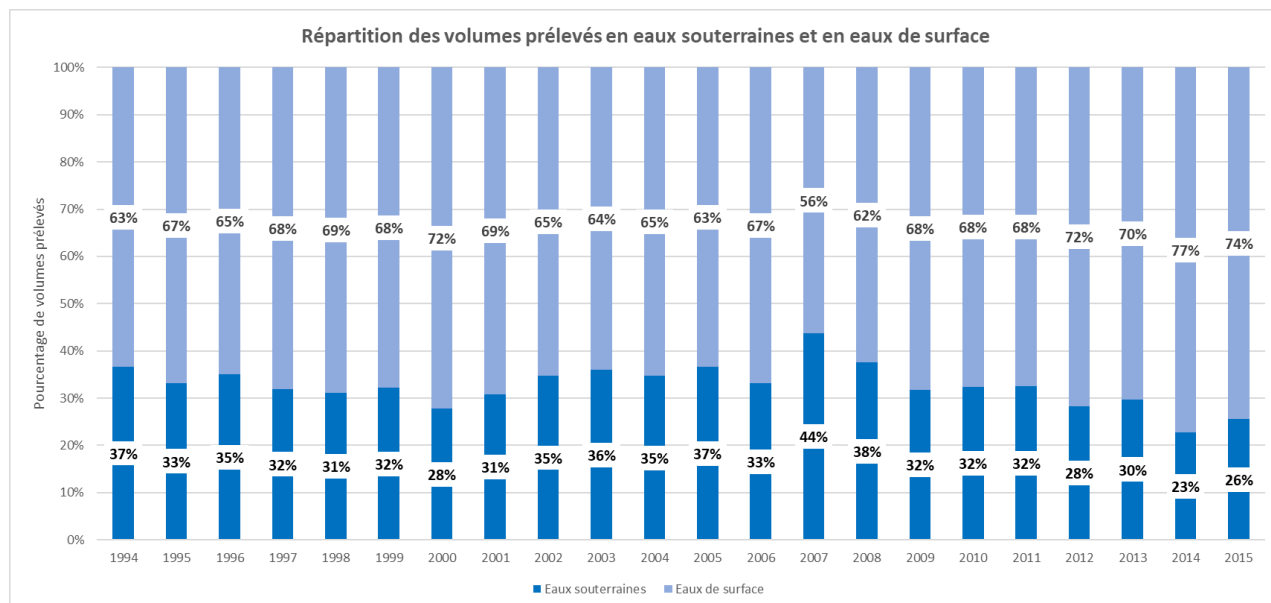


Illustration 255 : Répartition des volumes prélevés en eaux souterraines et en eaux de surface entre 1994 et 2015

En comparaison avec le nombre d'ouvrages de prélèvements en eaux souterraines et en eau de surface, le volume moyen prélevé par ouvrage en eaux souterraines est bien inférieur à celui prélevé en eaux de surface : environ 327 000 m³ pour les eaux souterraines et 4 433 000 m³ pour les eaux de surface en prenant en compte l'usine de Norville. En ne prenant pas en compte les volumes prélevés par cette usine, le volume moyen prélevé par ouvrage en eaux de surface est de 1 557 000 m³.

Concernant la répartition des volumes prélevés en fonction des usages, ceux-ci non plus ne sont pas homogènes.

Pour les prélèvements en eaux souterraines (Illustration 256 page suivante), de 1994 à 2001 les volumes prélevés pour les besoins industriels représentaient la majorité des prélèvements (de 54 à 62 %). A partir de 2002, les volumes prélevés pour les besoins en eau potable sont devenus les prélèvements majoritaires de la zone d'étude (entre 46 et 63 %). Pour rappel, en 2002 les volumes prélevés ont fortement augmenté (+ 5,4 Mm³). Ce changement de répartition est ainsi dû à une augmentation des prélèvements pour les besoins en eau potable.

Il est à noter que depuis l'année 2010, la part des prélèvements pour les besoins agricoles en irrigation a augmenté, passant d'une moyenne de 2 % entre 1994 et 2001 à une moyenne de 11 % de 2010 à 2015. Ce changement de répartition est dû à une l'augmentation du nombre d'ouvrages de prélèvement agricole. En revanche, la part des prélèvements pour les besoins agricoles en abreuvement reste très faible, moins de 1 % des volumes prélevés.

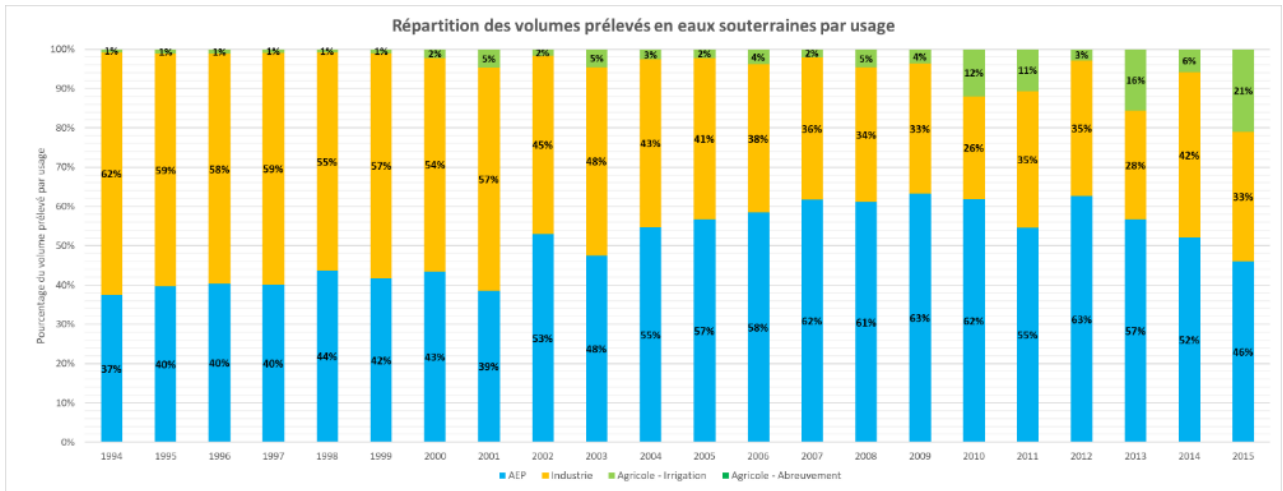


Illustration 256 : Répartition des volumes prélevés en eaux souterraines par usage

Pour les prélèvements en eaux de surface (Illustration 257), la répartition des volumes prélevés est constante dans le temps. La très grande majorité des prélèvements est utilisée pour les besoins industriels.

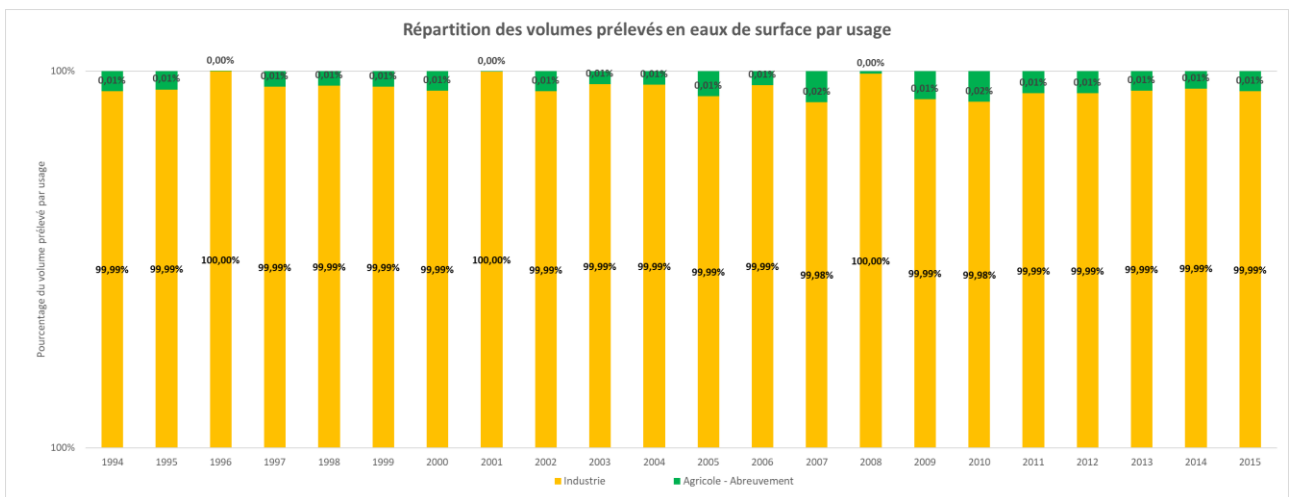


Illustration 257 : Répartition des volumes prélevés en eaux de surface par usage

Ainsi les volumes moyens annuels prélevés les plus importants sont ceux en eaux de surface pour les besoins industriels (Illustration 258). Il s'agit des volumes moyens les plus importants de la zone d'étude même si des variations importantes sont observables entre 1994 et 2015. Une grande partie de ces volumes en eaux de surface proviennent de l'usine de Norville. Si les volumes prélevés par cette usine sont exclus, les volumes moyens prélevés les plus importants sont alors ceux en eaux souterraines pour les besoins en eau potable de 2002 à 2008 et non ceux en eaux de surface pour les besoins industriels.

Pour les volumes annuels prélevés dans les eaux souterraines, les plus importants sont également ceux pour les besoins industriels sur la période 1994-2001. En revanche ce volume diminue et est même dépassé par les besoins pour l'alimentation en eau potable. Cette baisse est due à une diminution des volumes totaux prélevés en eaux souterraines pour les besoins industriels (pas de baisse du nombre d'ouvrage sur la même période).

Enfin, les volumes moyens les plus faibles sont ceux pour les besoins agricoles en eaux souterraines et en eaux de surface. Bien que l'on constate une augmentation (estimée) des

prélèvements en eaux souterraines à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude ; corrélativement à une multiplication significative du nombre d'ouvrage depuis le début des années 2000 (nbre x 3,6/15 ans).

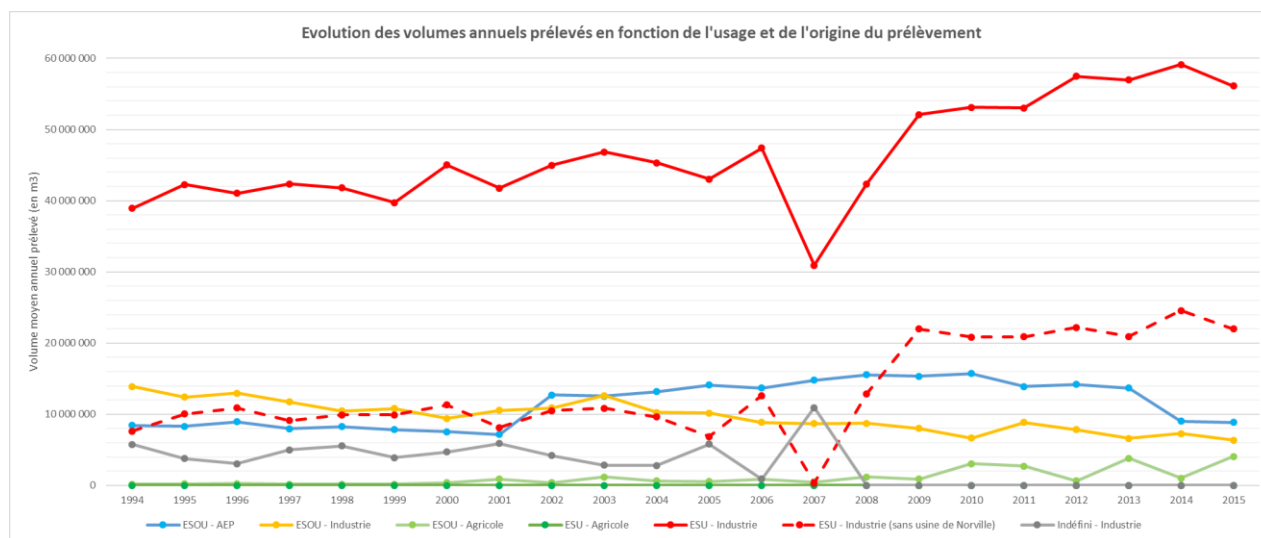


Illustration 258 : Evolution des volumes annuels prélevés représenté en fonction des usages et de l'origine du prélèvement (ESO = eaux souterraines et ESU = eaux de surface)

▪ Les volumes totaux prélevés

Entre 1994 et 2015, les volumes prélevés sont en augmentation. Cette augmentation est essentiellement due à l'augmentation des volumes prélevés dans les eaux de surface. En effet, l'augmentation des volumes totaux prélevés dans les eaux souterraines est beaucoup plus limitée (Illustration 259).

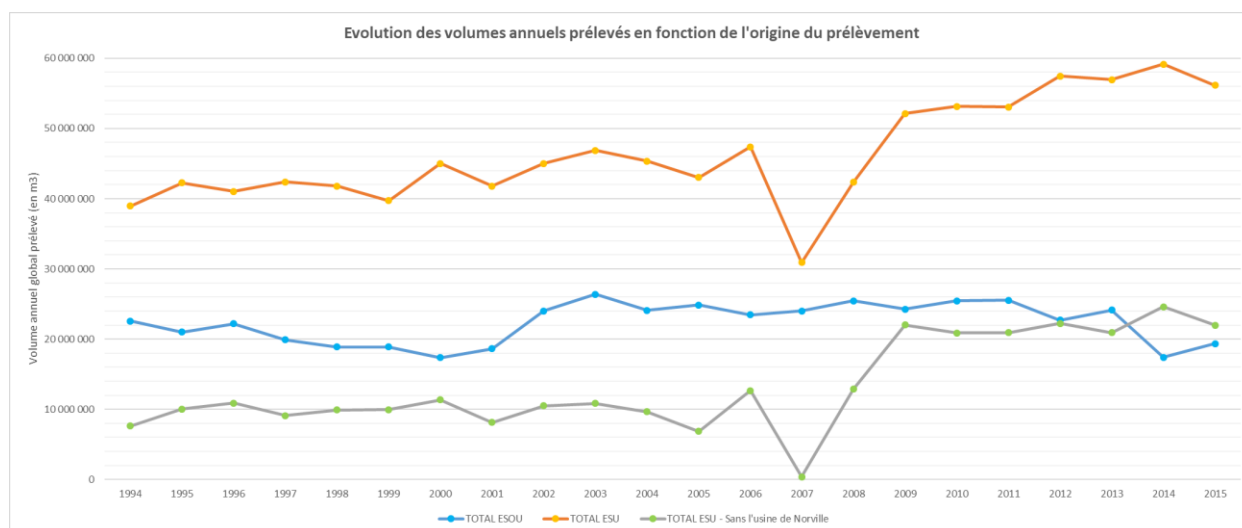


Illustration 259 : Evolution du cumul de volumes annuels prélevés en fonction de l'origine du prélèvement (Eaux Superficielles ou Souterraines)

Les volumes prélevés en eaux de surface qui ont connu la plus forte augmentation sont ceux destinés aux besoins industriels (+23 % sur la période 2004-2014). Ils constituent la

plus grande part des volumes prélevés au sein de la zone d'étude ainsi que de l'augmentation des prélèvements observable entre 1994 et 2015 (Illustration 260).

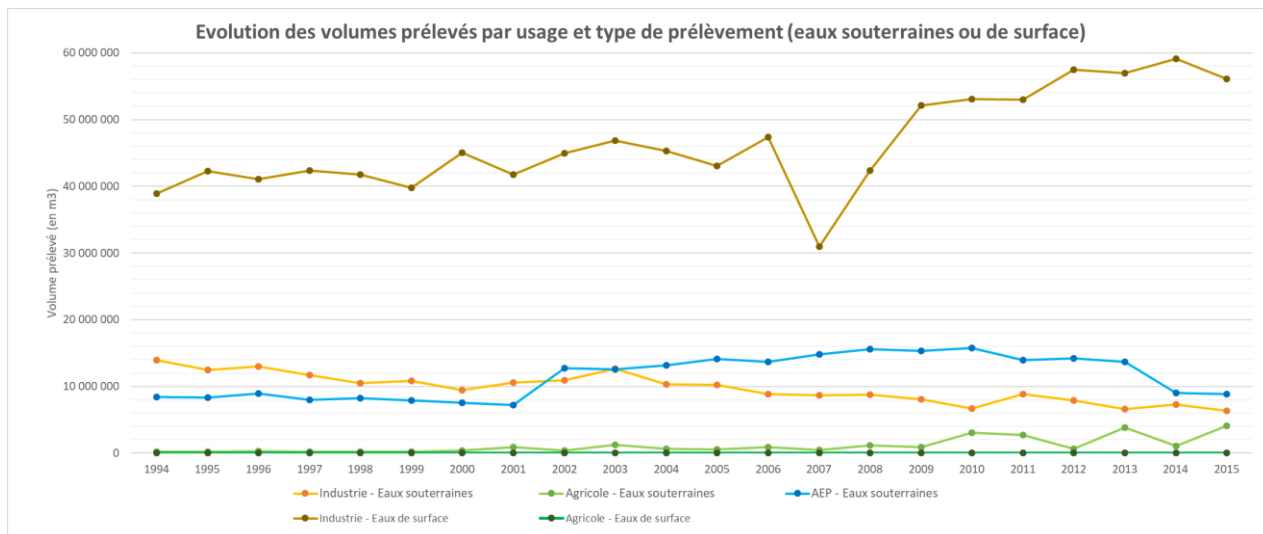


Illustration 260 : Evolution des volumes prélevés en fonction des usages et de l'origine du prélèvement

Prélèvements mensuels

Le graphique ci-dessous présente la répartition mensuelle des prélèvements en eaux souterraines pour les 3 usages définis : AEP, industriels et agricoles.

Les volumes prélevés pour les besoins agricoles sont sensibles aux variations saisonnières, ce qui est beaucoup moins le cas des volumes prélevés pour l'industrie ou pour l'alimentation en eau potable. Ainsi, seuls les besoins pour l'agriculture jouent un rôle dans la répartition inter-mensuelle des volumes prélevés au cours d'une année, les mois d'avril à septembre étant les mois où les volumes prélevés en eaux souterraines sont les plus importants.

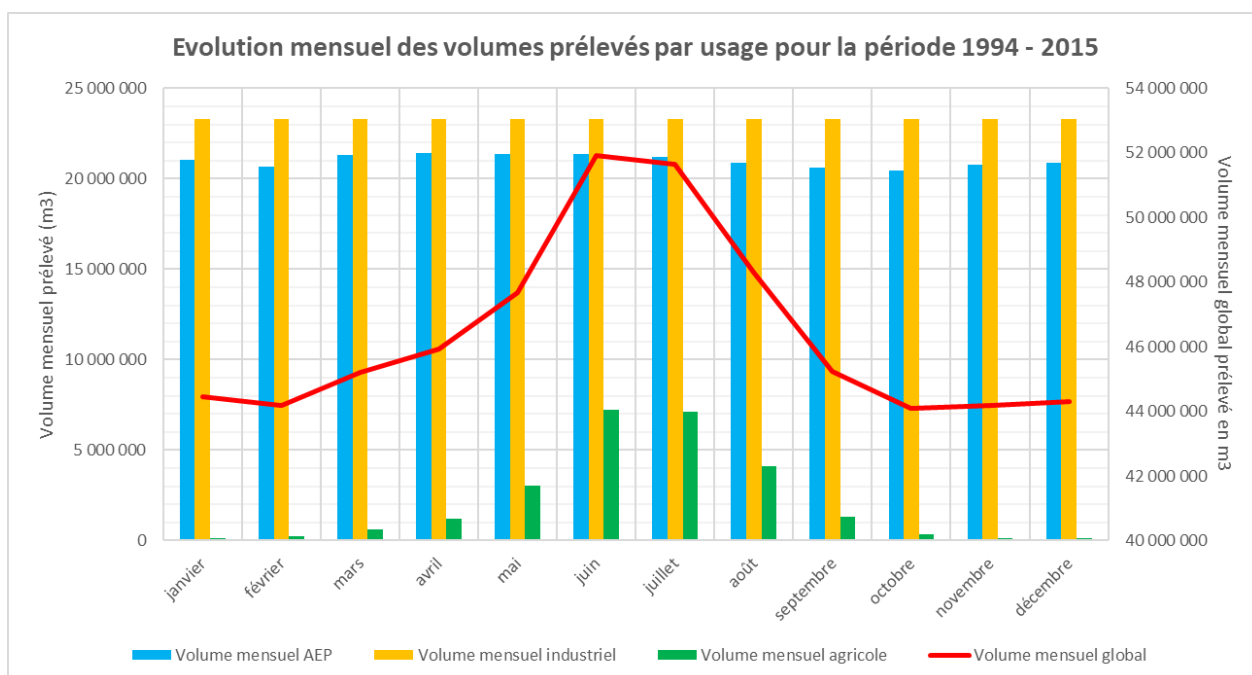


Illustration 261 : Répartition mensuelle des volumes totaux d'eau souterraine prélevés par usage

6.3. BILAN DES REJETS

6.3.1. Localisation des rejets et milieux de rejets

La zone d'étude comprend 64 points de rejets (Illustration 263). Parmi ces rejets, 55 sont des rejets de STEP communales, 3 des rejets des STEP des agglomérations situées sur la zone d'étude (Lillebonne, Notre-Dame-de-Gravenchon et Gruchet-le-Valasse) et 6 sont des rejets de STEP industrielles. Au vu des volumes importants rejetés par les 3 STEP des métropoles, celles-ci seront comptabilisés avec les STEP industrielles afin de ne pas masquer les volumes rejetés par les STEP communales.

Les rejets des STEP industrielles se localisent au niveau de la vallée de la Seine et du Commerce. Ces rejets sont effectués dans les cours d'eau.

Les rejets des STEP communales sont localisés aussi bien sur les plateaux que dans les vallées. Ces rejets sont effectués en rivières et sur les sols (Tableau 34 et Illustration 262).

Milieu de rejet	Nombre de rejet
Rivières	7
- Eau douce	3
- Eau douce de surface	2
- Estuaire (dont étang salé)	2
Sol	48
TOTAL	55

Tableau 34 : Répartition des milieux de rejets des STEP communales présentes sur la zone d'étude

Type de rejets des points de rejets de la zone d'étude

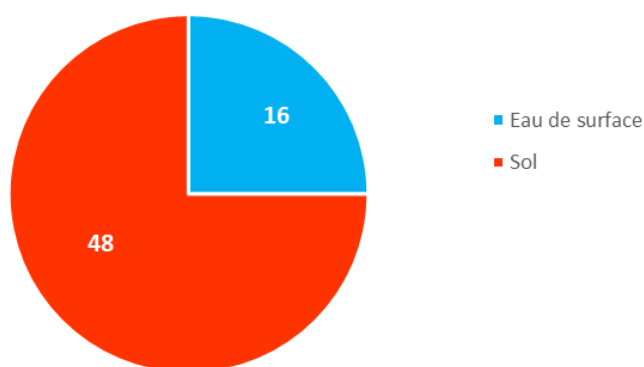


Illustration 262 : Type de rejets des STEP de la zone d'étude (industrielles et communales)

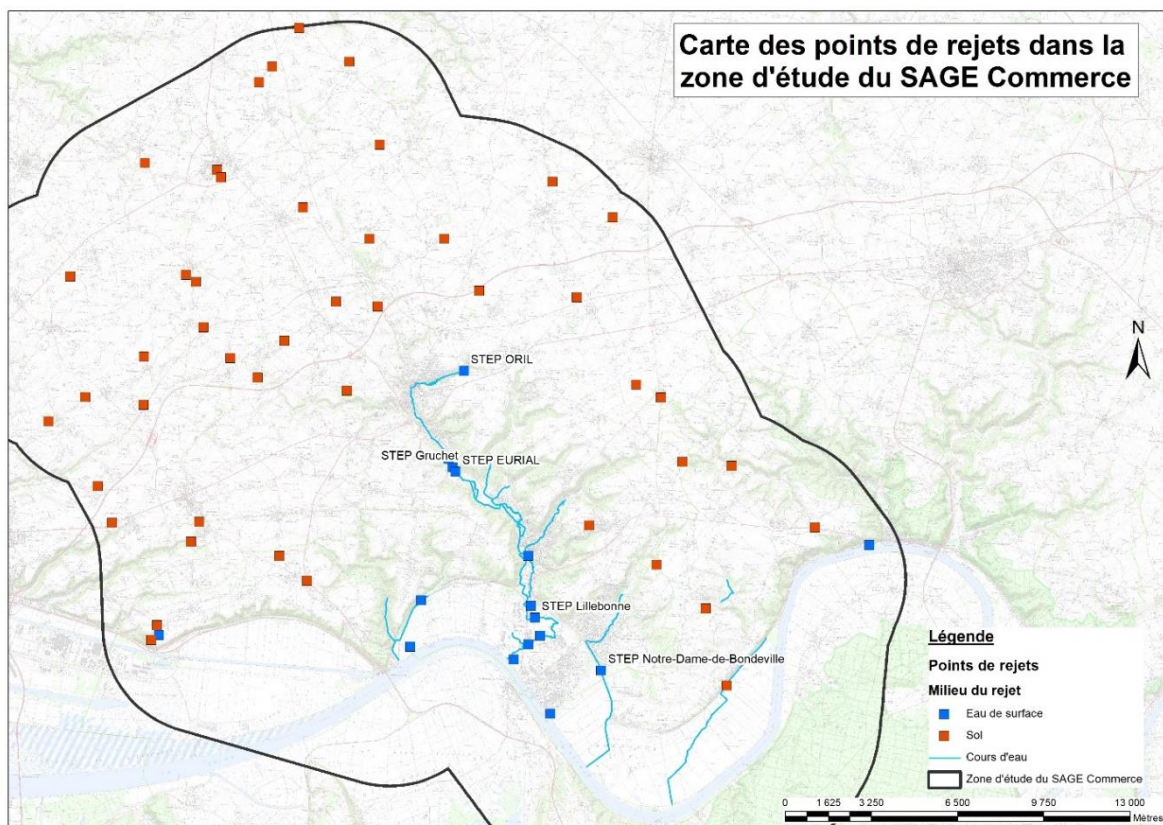


Illustration 263 : Carte des points de rejets en fonction du milieu de rejet

6.3.2. Evolution des principaux rejets à l'échelle du SAGE Commerce (ESU)

Parmi les 9 STEP industrielles et des agglomérations présentes sur la zone d'étude, 5 d'entre elles ont communiqué leur volume mensuel rejeté entre 2000 et 2017. Il s'agit des STEP de Lillebonne, Notre-Dame-de-Gravenchon, Gruchet-le-Valasse, ORIL et EURIAL. Les volumes rejetés par la STEP de Radicatel sont uniquement les volumes annuels entre 2013 et 2016.

L'analyse des volumes mensuels rejetés a permis de mettre en évidence l'absence de saisonnalité marquée pour ces STEP (Tableau 35). En effet, les volumes rejetés chaque mois représentent entre 7 % et 10 % du volume total rejeté annuellement.

MOIS	LILLEBONNE		NOTRE-DAME-DE- GRAVENCHON		GRUCHET		ORIL		EURIAL	
janvier	698318	9%	616307	10%	838647	9%	347169	9%	84430	9%
février	628774	8%	562545	9%	777098	8%	350492	10%	76399	8%
mars	660621	8%	526469	8%	778903	8%	363924	10%	83873	9%
avril	635209	8%	486196	8%	710123	8%	336801	9%	78139	8%
mai	656487	8%	527391	8%	728772	8%	283976	8%	79289	8%
juin	616651	8%	471332	7%	730041	8%	308767	8%	76338	8%
juillet	649128	8%	476013	7%	746057	8%	257953	7%	78273	8%
août	617594	8%	494296	8%	746073	8%	140159	4%	80292	9%
septembre	612840	8%	477556	7%	730041	8%	299513	8%	78707	8%
octobre	682077	9%	555532	9%	816080	9%	352570	10%	78295	8%
novembre	666672	8%	584973	9%	823920	9%	356269	10%	74535	8%
décembre	727832	9%	659934	10%	865706	9%	274609	7%	69623	7%
Total	7852203	100%	6438544	100%	9291461	100%	3672202	100%	938193	100%

Tableau 35 : Répartition mensuelle des principaux volumes rejetés en m³ (somme des volumes rejetés par mois entre 2000 et 2017)

L'évolution des volumes rejetés par les 3 STEP des agglomérations entre 2000 et 2016 est présentée ci-dessous.

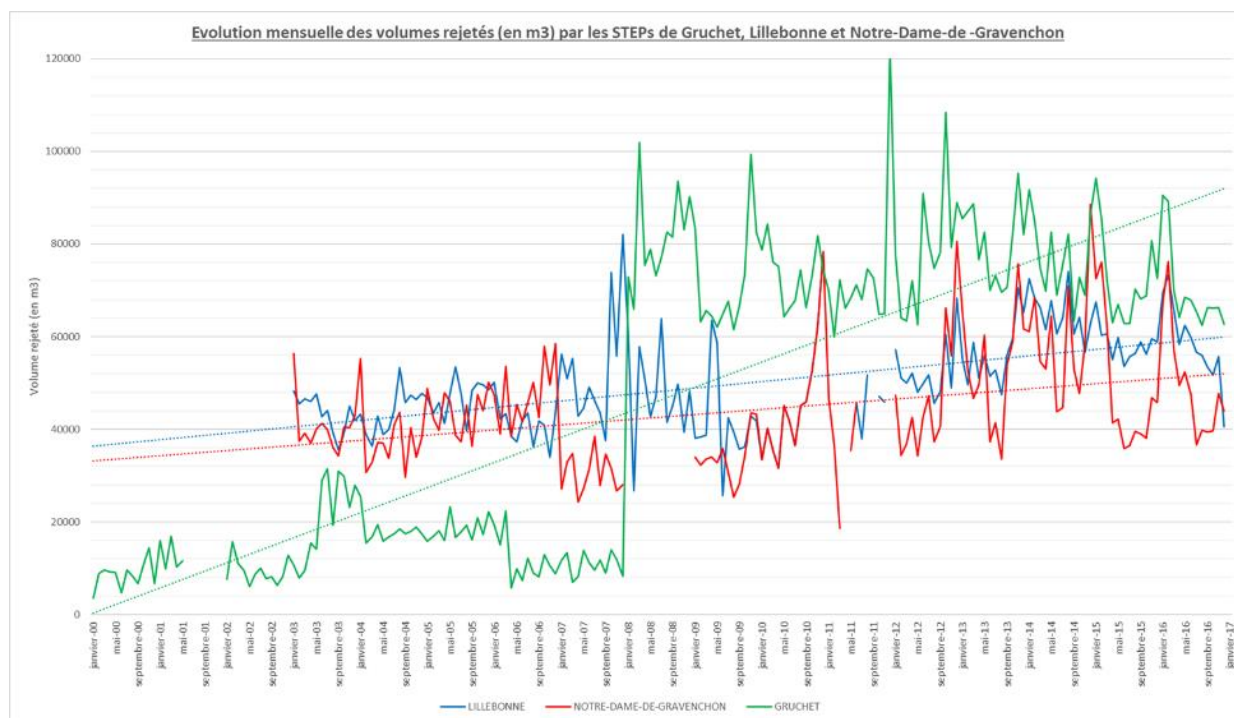


Illustration 264 : Evolution des volumes rejetés par les STEP de Lillebonne, Gruchet et Notre-Dame-de-Gravenchon entre 2000 et 2016

La tendance générale pour ces 3 STEP est à une augmentation des volumes rejetés en rivière.

L'évolution des volumes rejetés par les 2 STEP industrielles entre 2000 et 2016 est présentée ci-dessous.

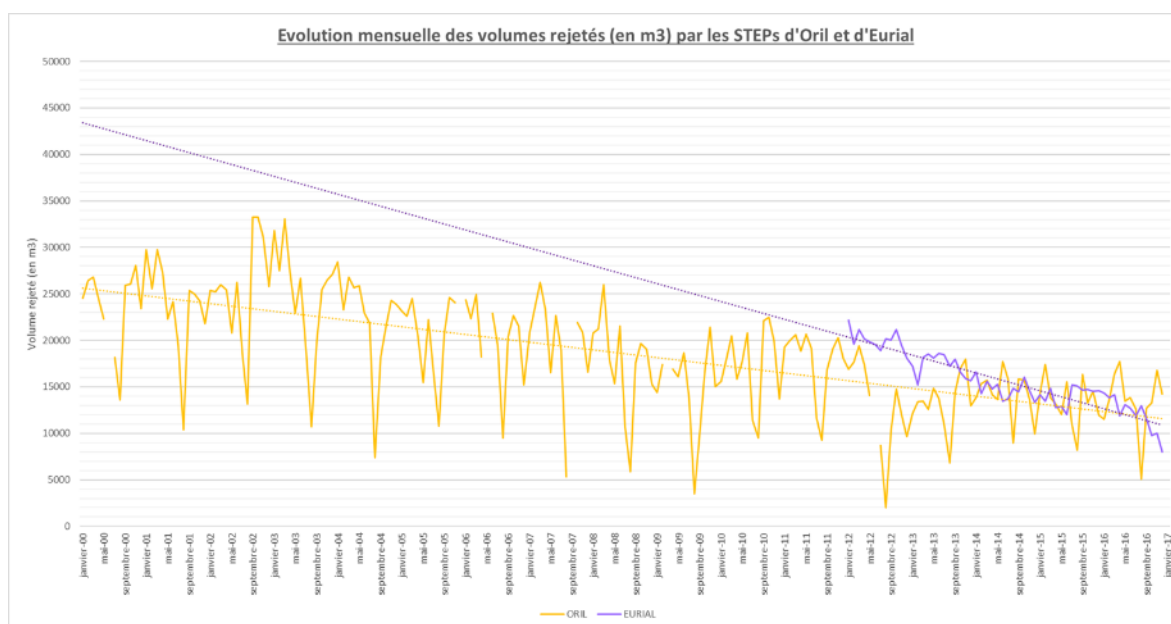


Illustration 265 : Evolution des volumes rejetés par les STEP d'ORIL et d'EURIAL entre 2000 et 2016

Contrairement aux STEP des agglomérations, les volumes rejetés par les STEP d'ORIL et d'EURIAL présentent une tendance à la baisse. Cette évolution est cependant à prendre avec précaution car seulement 2 industriels ont répondu à nos sollicitations et nous ont transféré leurs données.

6.3.3. Evolution des (autres) rejets des eaux usées urbaines

Stations d'épurations

Les volumes annuels des rejets des STEP communales sont basés par défaut sur les « Débit entrant » du fichier d'exportation de Banque Nationale des Prélèvements quantitatifs en Eau (BNPE). Ce débit correspond au débit entrant dans le système de traitement d'eaux usées, c'est-à-dire au volume journalier moyen (au cours d'une année) d'effluent provenant du réseau de collecte entrant dans le système (exprimé en m³/j). Afin d'obtenir un volume annuel, ce « volume journalier moyen » de chaque STEP et de chaque année a été multiplié par 365 (par 366 pour l'année 2016 car il s'agissait d'une année bissextile).

Les volumes rejetés par les STEP communales entre 2009 et 2016 en fonction du milieu de rejet sont présentés dans l'illustration suivante.

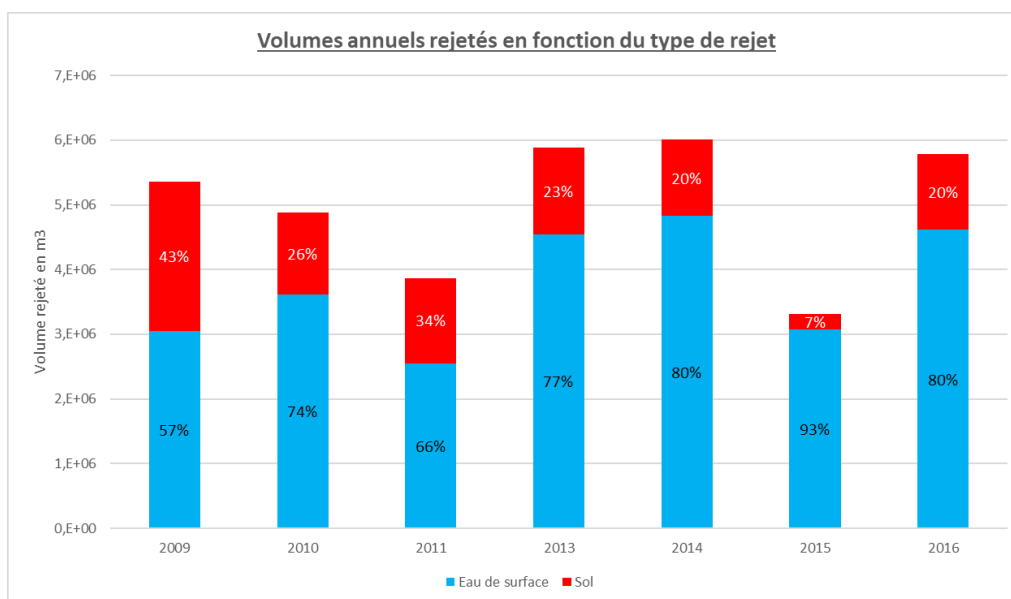


Illustration 266 : Volumes annuels rejetés par les STEP communales en fonction du milieu de rejet

Les années 2015 et 2011 correspondent aux années pour lesquelles les volumes rejetés ont été les plus faibles (respectivement de 3 316 000 et de 3 870 000 m³). A contrario, les années 2014 et 2013 correspondent aux années pour lesquelles les volumes rejetés ont été les plus importants (respectivement de 6 005 000 et de 5 884 000 m³).

Il est intéressant de constater que la répartition entre les volumes des rejets en rivière et ceux rejetés sur le sol ne sont pas égaux. En effet, un plus grand volume est rejeté en rivière, entre 93% (en 2015) et 57% (en 2009). Or la proportion de STEP communales rejetant en rivière est de seulement 23%.

Les STEP communales rejetant en rivière sont ainsi moins nombreuses sur la zone d'étude mais elles rejettent la majorité des volumes.

L'évolution des volumes rejetés entre 2009 et 2016 en fonction du milieu de rejets est présentée dans l'illustration ci-dessous.

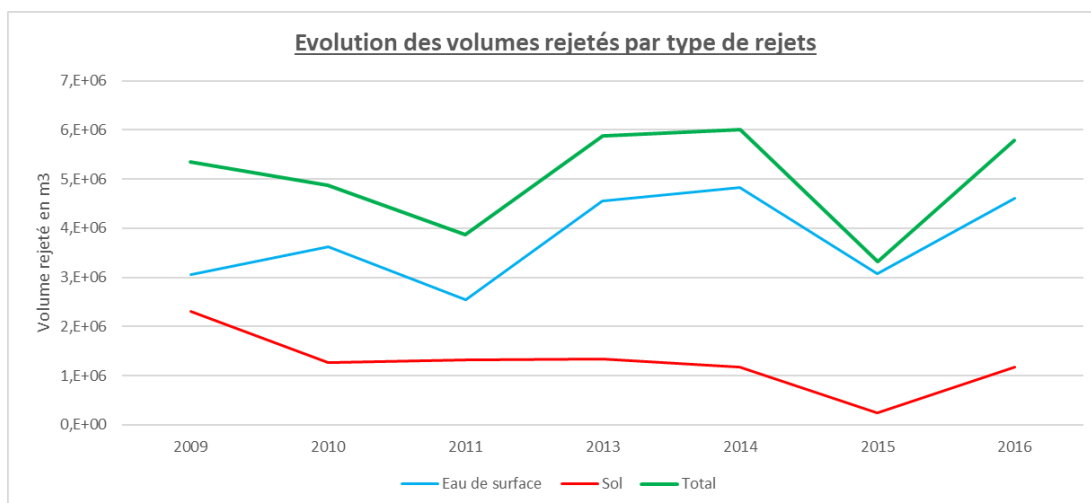


Illustration 267 : Evolution des volumes rejetés en fonction du type de rejets entre 2009 et 2016

Entre 2009 et 2016, les volumes totaux rejetés ont connu de nombreuses variations mais pas de baisse ou de hausse générale.

Cependant, les volumes rejetés en rivières sont bien corrélés au volume total rejeté. A contrario, les volumes rejetés sur les sols ne suivent pas les variations générales de volume et présentent même une baisse globale.

Ainsi, cette illustration corrobore les observations présentes qui mettent en évidence des volumes rejetés en rivière plus importants malgré un nombre de points de rejets plus faible et une tendance générale des volumes globaux rejetés corrélés surtout aux volumes rejetés en rivière au détriment de ceux rejetés au sol (Illustration 268).

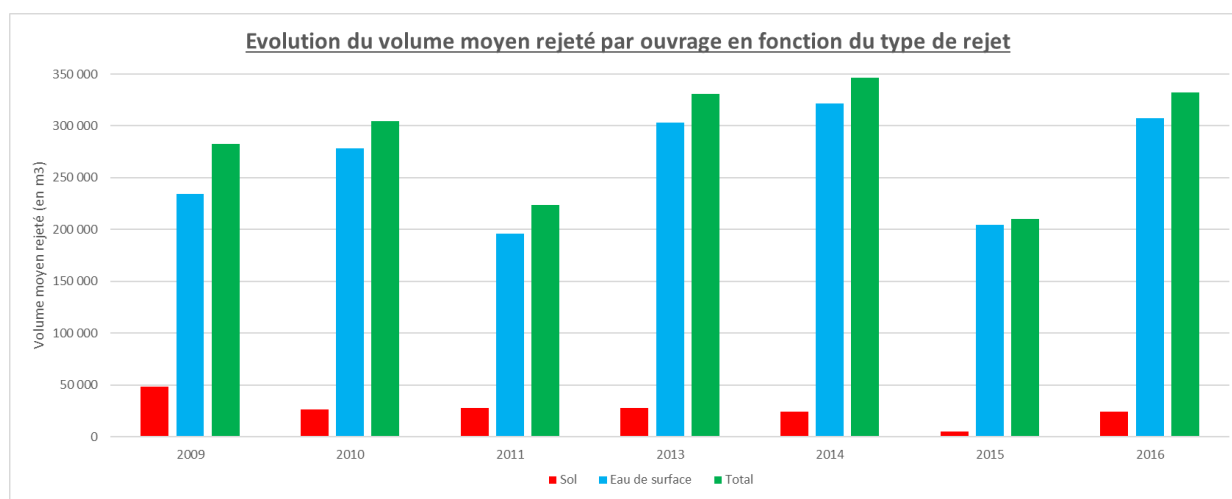


Illustration 268 : Volume moyen rejeté par ouvrage en fonction du type de rejet

Assainissement non-collectif

En plus des rejets réalisés par les STEP communales et industrielles, les assainissements non-collectifs doivent être pris en compte. Cependant, il n'existe pas de données précises des volumes rejetés par ces assainissements, ils seront donc estimés.

Cette estimation se base sur les données de 2015. Les différentes collectivités concernées par l'assainissement non-collectif sont les suivantes :

- COMMUNAUTÉ DE COMMUNES CAUX VALLÉE DE SEINE
- SIAEPA DE LA REGION DE BRETTEVILLE-SAINT-MACLOU
- SIAEPA DE LA REGION DE LA CERLANGUE
- SIAEPA DE LA REGION DE MANNEVILLE-LA-GOUPIL
- SIAEPA DE LA REGION DE SAINT-ROMAIN-NORD-OUEST
- SIAEPA DES EAUX USEES DE LA REGION DE SAINT-ROMAIN-DE-COLBOSC

Il est possible de considérer que les habitants de la communauté de communes Caux Vallée de Seine correspondent à la population habitant en vallée (vallée de Seine et vallée du Commerce et de ses affluents, proportionnellement). A contrario, les habitants adhérents des autres syndicats d'assainissement seront considérés comme étant une population habitant plutôt les plateaux.

Les données mises à disposition par l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB) concernant les assainissements non-collectifs pour l'année 2015 sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Collectivités	Population totale	Estimation de la population en assainissement non-collectif	Pourcentage de la population en assainissement non-collectif
COMMUNAUTÉ DE COMMUNES CAUX VALLÉE DE SEINE	69 679	12 000	17%
SIAEPA DE LA REGION DE BRETTEVILLE-SAINT-MACLOU	8 049	2 900	36%
SIAEPA DE LA REGION DE LA CERLANGUE	10 740	Non renseigné	/
SIAEPA DE LA REGION DE MANNEVILLE-LA-GOUPIL	2 041	513	25%
SIAEPA DE LA REGION DE SAINT-ROMAIN-NORD-OUEST	2 658	Non renseigné	/
SIAEPA DES EAUX USEES DE LA REGION DE SAINT-ROMAIN-DE-COLBOSC	8 284	804	10%
TOTAL	101 451	16 217	16%
Plateau	31 772	4 217	13%
Vallée	69 679	12 000	17%

Tableau 36 : Données de l'assainissement non-collectif pour l'année 2015 (source : Agence Française pour la Biodiversité - AFB)

Des écarts importants existent entre les différentes collectivités (de 10% à 36%). Pour les collectivités en plateau, le pourcentage de la population en assainissement non-collectif estimé à 13%, celui en vallée à 17% et le pourcentage global à 16%. Ces pourcentages seront utilisés pour estimer les volumes rejetés.

La population des différentes communes de la zone d'étude a été rattachée à leur collectivité lorsque cela était possible ou à leur emplacement (vallée ou plateau). Les années considérées sont 1990, 1991 et 2006 à 2015. Le calcul prend ensuite en compte le pourcentage de la population en assainissement non-collectif, le nombre de jours dans une année et une consommation estimée à 120 l/j/hab. Ce calcul a été réalisé en distinguant la population des plateaux et des vallées (Tableau 37) et en prenant la population totale (Tableau 38).

Année	Population totale		Population en assainissement non-collectif		Volume total rejeté	
	Plateau	Vallée	Plateau (13%)	Vallée (17%)	En litre	En m3
2015	22 209	60 007	2 887	10 201	573 270 168	573 270
2014	22 203	59 990	2 886	10 198	573 109 422	573 109
2013	22 025	59 587	2 863	10 130	569 095 152	569 095
2012	22 006	59 680	2 861	10 146	571 240 210	571 240
2011	21 952	59 275	2 854	10 077	566 356 338	566 356
2010	21 835	59 155	2 839	10 056	564 796 620	564 797
2009	21 727	58 972	2 825	10 025	562 819 050	562 819
2008	21 517	58 901	2 797	10 013	562 631 890	562 632
2007	21 244	58 859	2 762	10 006	559 227 450	559 227
2006	20 961	58 914	2 725	10 015	558 025 578	558 026
1999	19 670	58 245	2 557	9 902	545 693 250	545 693
1990	17 942	57 880	2 332	9 840	533 136 228	533 136

Tableau 37 : Estimation des volumes rejetés par l'ANC des communes en plateaux et en vallées

Année	Population totale	Population en assainissement non-collectif (16%)	Volume total rejeté	
			en l/an	en m3/an
2015	82 216	13 155	576 169 728	576 170
2014	82 193	13 151	576 008 544	576 009
2013	81 612	13 058	571 936 896	571 937
2012	81 686	13 070	574 023 859	574 024
2011	81 227	12 996	569 238 816	569 239
2010	80 990	12 958	567 577 920	567 578
2009	80 699	12 912	565 538 592	565 539
2008	80 418	12 867	565 113 370	565 113
2007	80 103	12 816	561 361 824	561 362
2006	79 875	12 780	559 764 000	559 764
1999	77 915	12 466	546 028 320	546 028
1990	75 822	12 132	531 360 576	531 361

Tableau 38 : Estimation des volumes totaux rejetés par l'ANC

Les volumes rejetés estimés sont assez similaires avec les 2 méthodes utilisées.

Pertes sur les réseaux

Le rendement moyen des réseaux de distribution de la zone d'étude était estimé à 82 % en 2015. Le chiffre serait similaire entre les différentes collectivités. Par conséquent, il est possible d'extrapoler le fait que 18 % des eaux prélevées retourneraient au milieu naturel (fuites diffuses).

Compte tenu des volumes en jeu sur le territoire du SAGE ces derniers ne peuvent pas être négligés pour établir les bilans.

Cette valeur de 82 % masque probablement de plus fortes hétérogénéités entre collectivités et entre les réseaux urbains et ruraux. Ces estimations seront à affiner avant la mise en œuvre du modèle mathématique.

6.4. SYNTHÈSE PARTIELLE

6.4.1. Bilan Global

Les tableaux ci-dessous (Tableau 39 et Tableau 40) présentent les bilans prélèvements/rejets pour les années 2015 et 2009 (absence de données de rejets avant l'année 2009) pour l'ensemble de la zone d'étude. Pour ces bilans, il a été considéré que les eaux rejetées au sol s'infiltrent et retournent donc à la nappe.

Les pertes du réseau sont estimées à 18% des volumes prélevés en eaux souterraines et en eaux de surface pour les usages AEP et industriels. Les volumes rejetés par les réseaux d'assainissement non-collectif ont été répartis équitablement entre les eaux souterraines et les eaux de surface, faute de données sur ce point.

Ces bilans restent assez approximatifs mais ils permettent d'avoir une idée de l'évolution des prélèvements et rejets en eaux souterraines et en eaux de surface à l'échelle du territoire du SAGE Commerce.

Année : 2015	SAGE Commerce			
Prélèvements (en m³/an)				
	AEP	Industriels	Agricoles	Total
Eaux souterraines	8 884 138	6 358 689	4 093 573	19 336 400
Eaux de surface	0	56 133 383	6 066	56 139 449
Rejets (en m³/an)				
	Assainissement collectif (industriel et communal)	Assainissement non-collectif	Pertes du réseau (fuites)	Total
Eaux souterraines	244 915	287 360	13 585 653	14 117 928
Eaux de surface	6 744 721	287 360	0	7 032 081
Bilan				
Eaux souterraines	- 5,2 Mm ³			
Eaux de surface	- 49 Mm ³			

Tableau 39 : Bilan des prélèvements et rejets en 2015 sur la zone d'étude

Année : 2009		SAGE Commerce		
Prélèvements (en m³/an)				
	AEP	Industriels	Agricoles	Total
Eaux souterraines	15 359 356	8 032 279	890 726	24 282 361
Eaux de surface	0	52 116 372	7 776	52 124 148
Rejets (en m³/an)				
	Assainissement collectif (industriel et communal)	Assainissement non-collectif	Pertes du réseau (fuites)	Total
Eaux souterraines	2 308 990	282 089	13 753 172	16 344 251
Eaux de surface	6 645 733	282 089	0	6 927 822
Bilan				
Eaux souterraines	- 7,9 Mm ³			
Eaux de surface	- 45 Mm ³			

Tableau 40 : Bilan des prélèvements et rejets en 2009 sur la zone d'étude

Le bilan pour ces 2 années, 2015 et 2009, est négatif. Les volumes prélevés en eaux souterraines et en eaux de surface sont supérieurs aux volumes rejetés.

Les bilans pour les eaux souterraines et pour les eaux de surface sont des pertes nettes de l'ordre de 6 à 8 Mm³ pour les eaux souterraines et de l'ordre 48 à 52 Mm³ pour les eaux de surface.

Il est cependant intéressant de constater que le bilan pour les eaux souterraines entre 2009 et 2015 est une baisse relative du déficit de l'ordre de 2 Mm³ en 2015 par rapport à 2009. Ce constat n'est en revanche pas observable avec les eaux de surface. En effet, entre 2015 et 2009, une augmentation de l'ordre 4 Mm³ est plutôt constatée.

Le bilan pour les eaux souterraines peut s'expliquer par la baisse des volumes prélevés en eaux souterraines (baisse de l'ordre de 4 946 000 m³).

Dans le cas des prélèvements, la plus forte baisse concerne les prélèvements pour les besoins en eau potable (AEP) (baisse de l'ordre de - 6 475 000 m³) puis les besoins industriels (baisse de l'ordre de - 1 674 000 m³). A contrario les prélèvements pour les besoins agricoles ont augmenté de l'ordre de + 3 203 000 m³.

Concernant les rejets, la principale baisse provient des volumes rejetés par l'assainissement collectif (baisse de l'ordre de - 2 064 000 m³).

Le bilan opposé pour les eaux de surface peut s'expliquer par la hausse des volumes prélevés en eaux de surface (hausse de l'ordre de + 4 015 000 m³). Dans ce même laps de temps, les volumes rejetés en eaux de surface ont aussi augmenté mais de façon bien moins significative que les prélèvements (hausse de l'ordre de + 827 321 m³). Dans le cas des prélèvements, la principale hausse provient des prélèvements pour les besoins industriels (hausse de l'ordre de

+ 4 017 000 m³). Les prélèvements pour les besoins agricoles ont, au contraire, diminué mais de façon bien moins importante (baisse de l'ordre de - 1 700 m³). Concernant les rejets, une baisse de l'ordre de - 99 000 m³ est observable pour l'assainissement collectif.

Ces bilans 2015 et 2009 prennent toutefois en compte la zone d'étude dans sa globalité ; or, la population, les industries et les usages agricoles ne sont pas répartis uniformément sur le territoire du SAGE Commerce.

En effet, en 2015, les principaux prélèvements pour les besoins en eau potable sont réalisés dans les vallées et en limite de la plaine alluviale. Les prélèvements agricoles sont essentiellement réalisés en plateaux tandis que les prélèvements pour les besoins industriels (en eaux souterraines et en eaux de surface) sont majoritairement réalisés dans la plaine alluviale. Concernant les rejets en eaux souterraines, ceux-ci sont majoritairement réalisés sur les plateaux, tandis que ceux en eaux de surface sont majoritairement réalisés dans la vallée de Commerce (et ses affluents) et dans la plaine alluviale.

Aussi il apparait aujourd'hui nécessaire de compléter et conforter les chiffres présentés pour :

- **Etendre la période de collecte jusqu'à 2019, date de la dernière campagne de mesures quantitatives ;**
- **Compléter les lacunes de données, conforter les hypothèses prises en particulier pour :**
 - **les rejets industriels ;**
 - **les volumes prélevés pour les besoins agricoles ;**
 - **les volumes exportés en dehors du territoire du SAGE Commerce ;**
 - **les volumes de pertes des réseaux pour lesquels les débits devront être réinjectés dans le sous-sol.**

Ces informations serviront par la suite de données d'entrées et de calage du futur modèle. Le bilan des volumes prélevés et rejetés servira ainsi de base pour établir les différents scénarii à tester pour enfin pouvoir évaluer la répartition (spatiale, temporelle et statistique) des volumes prélevables.

6.4.2. Impacts des volumes prélevés et rejetés sur les débits des cours d'eau

Les prélèvements et des rejets dans les eaux superficielles peuvent avoir des conséquences directes sur le débit des cours d'eau.

Dans le cadre de réalisation d'un bilan préliminaire quantitatif, il nous a semblé pertinent d'évaluer la part que pouvaient représenter ces prélèvements et rejets sur le débit du cours d'eau, dans le but d'identifier qualitativement les secteurs qui pourraient d'ores et déjà être en tension.

La connaissance de ces secteurs pourrait contribuer à la réflexion quant à la définition d'unités de gestion sur le territoire du SAGE.

L'illustration 269 présente le ratio (en %) que représentent les prélèvements et les rejets recensés par rapport au débit du cours d'eau. Ces pourcentages ont été déterminés à partir : des volumes de prélèvements et de rejets pour l'année 2015 (estimation à partir des volumes mensuels et annuels disponibles) et des débits des cours d'eau mesurés au cours de la campagne de mesure de jaugeage d'Avril 2017.

L'illustration 266 présente la contribution des sources ou groupement de sources aux débits des cours d'eau (en %). Ces contributions ont été déterminées à partir des volumes jaugés au niveau des sources et des débits des cours d'eau jaugés au point de jaugeage aval. Les mesures utilisées sont celles de Mars 2019, à l'exception de la source BSS002PZJP (Fourmetot) dont les mesures sont celles d'Avril 2017.

Cette approche a pour objectif de permettre l'identification des secteurs où il pourrait exister des tensions sur le territoire.

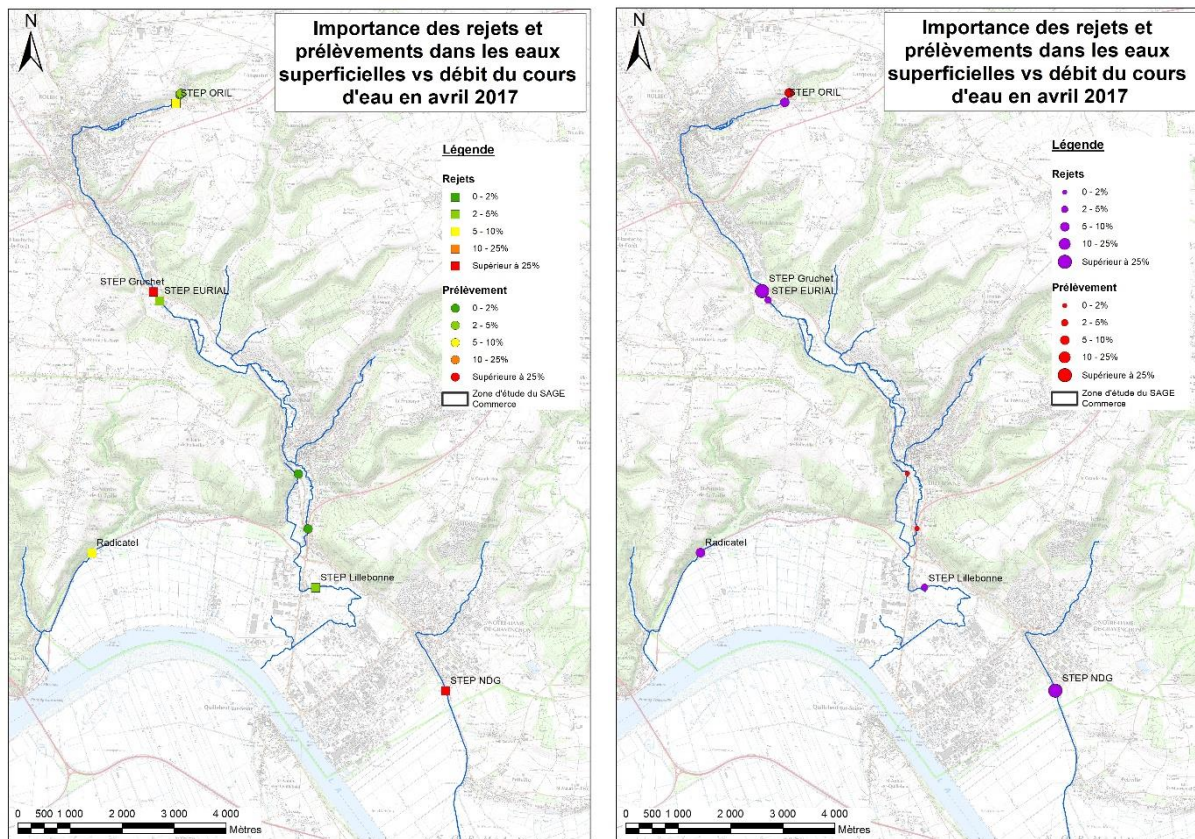


Illustration 269 : Impact des rejets et prélèvements sur le débit des cours d'eau

Le calcul montre que la rivière du Commerce, le Fourneau, la Brouisseresse, et le Théluet sont particulièrement concernées.

Les débits de rejet des STEPs ont un impact plus marqué sur les débits des cours d'eau que les débits des prélèvements. Les débits des STEPs représentent entre 3 et 10 % du débit des cours d'eau mais ils peuvent atteindre 203 % dans le cas de la STEP de Notre-Dame-de-Gravenchon (deux fois le débit du Théluet) et 31 % pour la STEP de Gruchet (cours d'eau du Commerce).

Les ouvrages de prélèvement ont un impact limité sur le débit des cours d'eau. Ils représentent moins de 5 % du débit du cours d'eau, à l'exception d'un ouvrage industriel situé sur le site d'ORIL dont le débit de prélèvement correspond à 7 % du débit du Commerce.

Le graphique ci-après présente l'évolution du pourcentage d'apport de débits des STEP de Gruchet et d'Eurial par rapport au débit du Commerce à la station de Gruchet. Ces deux STEPs se situent directement en aval de cette station.

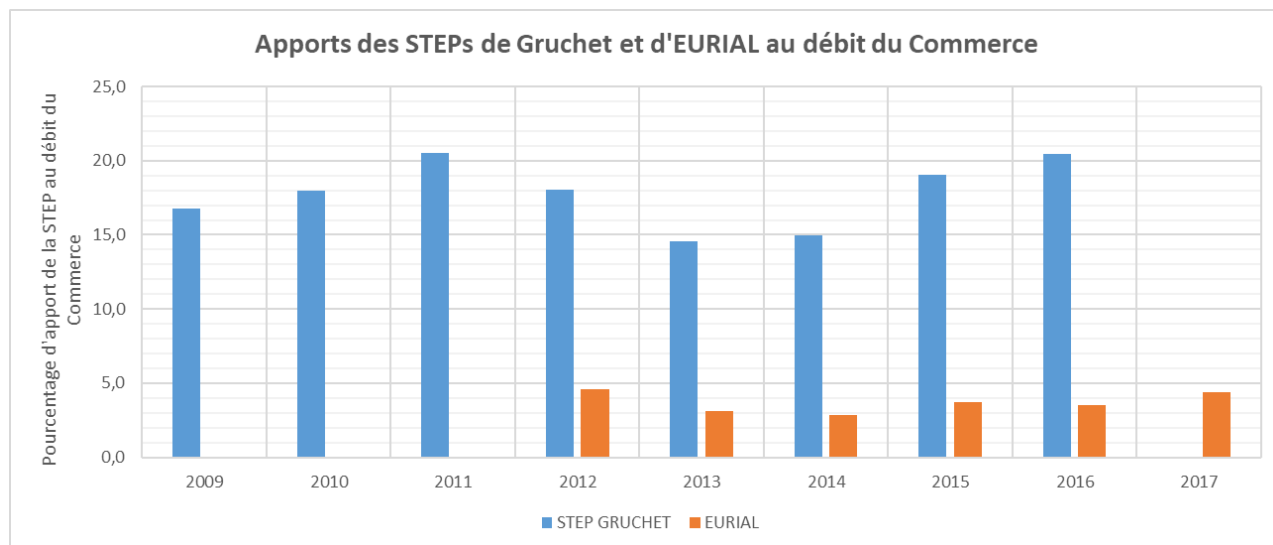


Illustration 270 : Apports des STEPs de Gruchet et d'Eurial au débit du Commerce

Les apports de ces 2 STEPs représentent entre 20 et 25 % du débit du Commerce, ce qui est assez considérable. Ces apports sont relativement constants d'une année à l'autre.

Important : Il est à noter que les rejets des stations d'épuration d'ORIL, d'EURIAL et de Gruchet-le-Valasse vont être dirigés vers la plaine alluviale de la Seine avec la mise en œuvre d'une conduite de dérivation (travaux en cours fin 2019). L'impact de cette dérivation ne pourra donc pas être intégré à l'état zéro réalisé dans le cadre de cette étude.

7. Qualité des eaux

7.1. CONTEXTE

7.1.1. Etat qualitatif des masses d'eau – au sens de la DCE.

En 2012, lors d'une campagne nationale de recherche de nouvelles substances indésirables dans les eaux destinées à la consommation humaine (captage AEP) menée par l'agence nationale de sécurité sanitaire (ANSES) une pollution a été détectée. En effet, la présence de la nitrosomorpholine (NMOR), molécule de la famille des nitro-amines, a été décelée dans la nappe souterraine qui alimente en eau potable les villes de Bolbec et de Gruchet-le-Valasse. Au vu des teneurs mesurées et de la toxicité à long terme de cette substance, plusieurs captages de la vallée du Commerce ont été abandonnés. Cette pollution a par ailleurs permis de mettre en évidence l'existence de circulations complexes autour de la faille de Fécamp-Lillebonne, en particulier dans le secteur de Bolbec puisqu'une partie des eaux superficielles vont s'infiltrer et cheminer en souterrain le long de la faille vers le nord en direction du littoral de la Manche et des résurgences karstiques d'Yport (voir paragraphe 4.5). Cet élément spécifique fait actuellement l'objet d'une autre étude par le BRGM (David et al. 2020).

Le Comité de bassin Seine-Normandie a adopté le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE) le 5 novembre 2015, fixant les objectifs d'état des eaux. Il est accompagné de son Programme de Mesures (2016-2021) qui identifie les mesures nécessaires à l'atteinte de ces missions, en application avec la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). Ces mesures répondent aux principaux enjeux de gestion de l'eau provenant de l'état des lieux révisé en 2013. Pour chaque Unité Hydrographique (UH) les masses d'eaux superficielles et souterraines sont étudiées. Concernant le SAGE de la Vallée du Commerce, l'état écologique est qualifié de mauvais (Illustration 271).

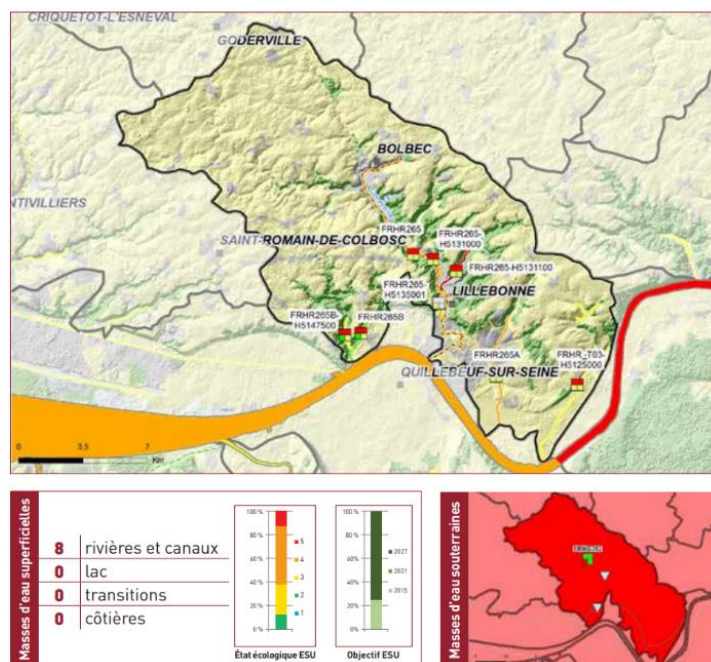


Illustration 271 : Etat des lieux des masses d'eaux superficielles et souterraines du SAGE Commerce (PDM 2016-2021, Agence de l'Eau Seine-Normandie)

Les masses d'eaux superficielles et souterraines du territoire du SAGE sont donc pour la plupart classées en mauvais état, voire médiocre, et ont bénéficié d'un report de délai pour l'atteinte du bon état écologique (2021 ou 2027 au lieu de 2015). Les causes sont multiples et diverses mais peuvent provenir, notamment, des activités agricoles et des rejets des industries présentes dans le secteur de la vallée du Commerce et en vallée de Seine sur la zone de Port Jérôme.

7.1.2. Objectifs

Aussi, dans le cadre de cette étude, un nécessaire état des lieux sur la qualité des eaux a été réalisé afin de dresser un bilan précis de l'état des masses d'eaux souterraines et superficielles et si possible d'en expliquer les mécanismes ayant conduit à leur dégradation.

Ce volet a pour objet de mettre en évidence les secteurs sensibles et si possible d'observer les évolutions depuis ces dernières années. Ce travail s'appuie sur des données disponibles et rassemblées dans les bases de données ADES et Naiades (respectivement pour la qualité des eaux souterraines et superficielles).

Dans un premier temps, une détermination des faciès hydrochimiques des eaux superficielles et souterraines a été réalisée à partir de l'analyse des ions majeurs. Les résultats seront confrontés aux principales hypothèses retenues pour expliquer l'hydrodynamique du territoire du SAGE Commerce.

Dans un second temps, une caractérisation de l'état chimique des eaux a été effectuée à l'aide de l'analyse statistique (calcul des médianes notamment) de certains paramètres physico-chimiques dont les ions majeurs et les familles des principaux polluants et micropolluants (métaux, pesticides, hydrocarbures, etc.) afin d'identifier parmi ces substances celles qui sont responsables de la dégradation de la qualité des eaux et si possible d'identifier leur origine probable. Pour ce faire les concentrations ont été comparées aux principaux seuils, limites et référence de la qualité (Directive Cadre sur l'Eau, consommation humaine, NQE, etc...).

Nous avons également cherché, lorsque cela était possible, à déterminer les tendances d'évolution de ces concentrations, pour les principales familles de micropolluants. En s'appuyant sur les chroniques de qualité des eaux souterraines et superficielles qui ont pu être compilées.

Enfin, ce travail permettra de proposer un programme de suivi de certaines substances soit pour améliorer les connaissances générales du fonctionnement des hydrosystèmes à partir de marqueurs hydrochimiques (répartition latérale et verticale, évolution dans le temps, saisonnalité, etc...) soit pour préciser les mécanismes de transfert de certaines substances indésirables ou déclassantes.

7.2. ELEMENTS MAJEURS, MINEURS ET TRACES

7.2.1. Méthodologie proposée, données et outil de traitement

Collecte des données

Dans un premier temps, les données qualité des eaux superficielles et souterraines ont été collectées à partir des plateformes de données compilant l'ensemble des informations de qualité

des eaux, mises à disposition par différents producteurs sous un même format compatible avec le référentiel du SANDRE²¹.

Pour les eaux superficielles, les données ont été extraites de la base de données Naiades (<http://www.naiades.eaufrance.fr/>) qui centralise les données de qualité des cours d'eau de la France (analyses hydrobiologiques et chimiques, informations hydromorphologiques).

Certains cours d'eau présents sur le SAGE Commerce font l'objet d'un suivi ; des stations de mesures ont été choisies parmi celles qui étaient disponibles sur le secteur d'étude, en fonction : 1) de leur emplacement en tenant compte notamment de la présence des principaux centres urbains et des confluences avec les différents petits affluents ; 2) de la disponibilité des analyses pour les différents paramètres sélectionnés.

Pour l'étude de la qualité des eaux souterraines, les données ont été extraites de la banque nationale ADES (Accès aux Données sur les Eaux Souterraines ; <http://www.ades.eaufrance.fr/>). Cette base de données compile les données qualitatives (paramètres chimiques) et quantitatives (niveau des nappes) de la France métropolitaine et des départements d'outre-mer.

Les points d'eau souterraine, bancarisés dans la BSS, situés sur la zone du SAGE Commerce ont donc été sélectionnés, puis en fonction du nombre de paramètres chimiques disponibles ainsi que du nombre d'analyses chimiques disponibles par paramètre, une deuxième sélection des points d'eau a donc été réalisée.

Période de référence

La période de référence choisie est 1990-2019. Pour les points d'eau souterraine et superficielle sélectionnés sur la zone d'étude du SAGE Commerce, les données qualité ont donc été extraites des deux bases de données (Naiades et ADES) sur la période 1990-2019, ceci afin de se procurer des chroniques de données suffisamment longues, afin de pouvoir effectuer des calculs statistiques à l'aide du logiciel Qualistat 3.

Logiciel utilisé pour le traitement des données qualité

Qualistat 3 est un outil développé par le BRGM (Vaute L., 2018). Il correspond à une commande ajoutée sur Excel permettant un traitement automatique des analyses chimiques provenant de la base de données ADES. Il permet également d'intégrer des données complémentaires, extraites par exemple de Naiades.

L'outil Qualistat permet de :

- Sélectionner des points d'eau et des paramètres chimiques qui définissent un jeu d'analyses à traiter ;
- Définir une période sur laquelle le traitement doit être réalisé ;
- Exclure des données géochimiques, comme des doublons et/ou des erreurs d'unités ; Effectuer des calculs statistiques à partir des langages de programmation Python et R : minimum, maximum, moyenne, médiane, écart type, percentile 90, fréquence de quantification, calculs de tendances linéaires par le code de calcul HYPE (Croiset et Lopez, 2013), graphique des séries avec par exemple les tendances calculées ;

²¹ SANDRE : Service d'Administration National des Données et Référentiels sur l'Eau (<http://www.sandre.eaufrance.fr/>). Il a pour objectif d'établir et de mettre à disposition des spécifications techniques et des listes de codes libres d'utilisation sur les données de l'eau.

- Exporter les résultats sous forme de fichiers Excel, shapefile, texte et images.

Pour chaque base de données créée, Qualistat se cale sur les paramètres présents dans le fichier permettant de cibler les analyses à effectuer pour ne pas surcharger les calculs. Chaque paramètre chimique (anion, cation, pesticides, etc.), microbiologiques (Salmonella, E. coli, etc.) et organoleptiques (odeur, coloration) possède un code SANDRE qui est recensé sous ADES et Naïades, permettant ainsi de retrouver des informations précises sur une molécule étudiée.

Pour les 18 paramètres étudiés (paramètres physico-chimiques *in situ* et éléments majeurs, mineurs et traces), les fréquences de quantification, les périodes de disponibilité des données, les médianes ont été déterminées pour chaque point d'eau et chaque élément. Pour chaque point d'eau, ESO ou ESU, la période de disponibilité des données d'analyses, la fréquence de quantification peut en effet varier et donc aussi influencer la représentativité des valeurs médianes calculées et donc *in fine* la qualité de l'analyse chimique reconstituée pour chaque point d'eau.

Par exemple, si le nombre d'analyses disponibles était inférieur à 10 sur les 29 années de la période de référence, la médiane calculée peut ne pas prendre en compte les différentes variations qu'a pu subir le point d'eau. Afin de s'assurer de la représentativité des valeurs médianes calculées, il a donc été décidé de conserver le nombre d'analyses disponibles et la période couverte par ces analyses. Ces résultats sont présentés en Annexe 6 pour les eaux superficielles (ESU), l'origine des données y est aussi indiquée ; les résultats pour les eaux souterraines (ESO) sont présentées en Annexe 7. Plus le nombre d'analyses est élevé pour une période de référence importante, plus la valeur calculée pour la médiane peut être considérée fiable. Par exemple, pour le cours d'eau le Bébec, les valeurs disponibles ont été extraites de la thèse de Massei (2001) ; elles sont au nombre de 3 pour certains paramètres ; leur fiabilité peut donc être limitée. Pour le cours d'eau Hannetot et la rivière du Commerce, les éléments majeurs, mineurs et traces ont été peu analysés (< 10 valeurs sur 13 ans), alors que les paramètres physico-chimiques (température, pH) ont été nettement plus fréquemment suivis.

Points d'eau superficielle et souterraine retenus

- **Points d'eau souterraine (ESO)**

Pour les points d'eau souterraine (ESO), une sélection des points d'eau a été réalisée, en fonction des paramètres et analyses chimiques disponibles.

Au total, 24 points d'eau souterraine (ESO) ont été retenus, dont 22 captent la nappe de la Craie, 1 point d'eau se situe dans les alluvions et 1 point d'eau capte a priori l'aquifère de l'Albien. Ces points d'eau sont présentés sur l'illustration 272 en fonction du contexte géologique et sur l'illustration 274 en fonction du contexte hydrogéologique.

La totalité des points ESO se situent dans la vallée du Commerce et dans la plaine alluviale de la Seine. La plaine alluviale de la Seine dispose d'un nombre réduit de points d'eau souterraine, sauf dans le secteur de Port-Jérôme. Sur le secteur correspondant aux formations des limons de plateaux, aucun point d'eau souterraine avec un suivi chimique n'est disponible.

Les éléments de contexte des points BSS (proximité des zones urbaines ou industrielles, circulation karstique) sont précisés dans le Tableau 41.

Le secteur de Port-Jérôme comprend des industries présentes dans différents domaines (pharmaceutique, chimie, hydrocarbures, etc.) et leurs rejets peuvent entraîner des contaminations dans les sols et les eaux souterraines et superficielles par exemple.

L'évaluation des circulations karstique est établie à partir des traçages répertoriés dans la base de données régionales du SIGES (<http://sigessn.brgm.fr/?page=carto>).

Le tableau ci-après reprend également des informations sur le contexte hydrologique, hydrogéologique et environnemental.

ESO/ESU	Indice BSS	Nature du point	Nom ouvrage	Commune	Cours d'eau à proximité	X (m L93)	Y (m L93)	Points proches	Circulation karstique	Couches superficielles	Géologie simple
ESO	00756X0004/F	Forage AEP	Gruchet (F1)	Gruchet-le-Valasse	Rivière de Bolbec	518458	6941029	A 30m en amont du point 00756X0005	Oui à partir de la rivière de Bolbec	Colluvions - Quaternaire	Craie
ESO	00756X0005/F	Forage AEP	Gruchet (F2)	Gruchet-le-Valasse	Rivière de Bolbec	518472	6940999	A 30m en aval du point 00756X0004	Oui à partir de la rivière de Bolbec	Colluvions - Quaternaire	Craie
ESO	00756X0139/F	Forage AEP	Gruchet (F3)	Gruchet-le-Valasse	Rivière de Bolbec	518700	6940854	A 270m en aval du point 00756X0005	Oui à partir de la rivière de Bolbec	Terre	Craie
ESO	00756X0039/F	Forage AEP	St-Antoine (Gruchet F4)	Saint-Antoine-la-Forêt	Rivière de Bolbec	518314	6941528	A 520m en amont du point 00756X0004	Oui à partir de la rivière de Bolbec	Colluvions - Quaternaire	Craie
ESO	00756X0040/F	Forage AEP	C1 - Site de Radicatel	Saint-Nicolas-de-la-Taille	La Brousseresse	517551	6936562	A 75m en amont du point 00756X0041	Oui à partir de la rivière de Bolbec	Alluvions - Quaternaire	Craie
ESO	00756X0041/F	Forage AEP	C2 - Site de Radicatel	Saint-Nicolas-de-la-Taille	La Brousseresse	517595	6936623	A 75m en aval du point 00756X0040	Oui à partir de la rivière de Bolbec	Colluvions - Quaternaire	Craie
ESO	00756X0042/F	Forage AEP	C4 - Site de Radicatel	Saint-Jean-de-Folleville	La Brousseresse	518052	6936865	A 91m en amont du point 00756X0043	Non	Colluvions - Quaternaire	Craie
ESO	00756X0043/F	Forage AEP	C5 - Site de Radicatel	Saint-Jean-de-Folleville	La Brousseresse	518142	6936849	A 91m en aval du point 00756X0041	Non	Colluvions - Quaternaire	Craie
ESO	00756X0045/F	Forage AEP	C7 - Site de Radicatel	Saint-Jean-de-Folleville	La Brousseresse	518469	6936975	A 27m en aval du point 00756X0120	Non	Colluvions - Quaternaire	Craie
ESO	00756X0070/HY	Source	Azarias Selle	Bolbec	Rivière de Bolbec	517873	6944586		Oui entre rivière de Bolbec et Raffetot	?	Craie
ESO	00756X0082/HY	Source	Fontaine du Four aux Veaux – site de Radicatel	La Cerlangue	Le Vivier	516113	6936448	A 1,3km en amont du point 00982X0083	Oui entre La Cerlangue et la Remuée	?	Craie
ESO	00756X0120/HY	Source	Captage du Moulin A Ouest – site de Radicatel	Saint-Jean-de-Folleville	La Brousseresse	518494	6936987	27m en amont du point 00756X0045	Oui entre Saint-Jean-de-Folleville et St-Gilles-de-la-Neuville	?	Craie
ESO	00756X0121/HY	Source	Captage du Moulin B Est – site de Radicatel	Saint-Jean-de-Folleville	La Brousseresse	518539	6937010		Oui entre Saint-Jean-de-Folleville et St-Gilles-de-la-Neuville	?	Craie
ESO	00756X0122/HY	Source	Captage de la Brousseresse – site de Radicatel	Saint-Nicolas-de-la-Taille	La Brousseresse	517333	6936349	A 305m en aval du point 00756X0040	Oui entre la Remuée et Mélamare	?	Craie
ESO	00756X0138/F	Forage AEP	Forage du Becquet	Lillebonne	Rivière des Aulnes	520457	6939730	A 1,3km en aval du point 00756X0151	Non	Colluvions - Quaternaire	Craie
ESO	00756X0151/F1	Forage AEP	F1	Gruchet-le-Valasse	La Fontaine Murée	519832	6940846		Non	Argiles à silex	Craie
ESO	00757X0004/F	Forage AEP	Trinité du Mont	Lillebonne	La Vallée	523251	6940365		Oui à partir du Grand-Camp	Colluvions - Quaternaire	Craie
ESO	00757X0005/F	Forage AEP	Fontaine St Denis	Notre-Dame-de-Gravenchon	Le Théluet	524969	6936183		Non	Sables verts - Cénomaniens	Craie
ESO	00982X0083/F	Forage AEP	A2 – Site de Radicatel	Tancarville	Le Vivier	516176	6935156	A 1,3km en aval du point 00982X0082	Oui à partir de La Cerlangue	Alluvions - Quaternaire	Craie
ESO	00983X0029/F	Forage AEP	Cité de la petite Campagne (F1)	Notre-Dame-de-Gravenchon	Entre le Théluet et la rivière du Commerce	523140	6935374	A 145m en aval du point 00983X0058	Non	Colluvions - Quaternaire	Craie
ESO	00983X0058/F2	Forage AEP	Cité de la petite Campagne (F2)	Notre-Dame-de-Gravenchon	Entre le Théluet et la rivière du Commerce	523001	6935418	A 145m en amont du point 00983X0029	Non	Alluvions - Quaternaire	Craie
ESO	00984X0089/FDEFIN	Forage AEP	Saint-Maurice d'Etelan	Norville	Le Hannetot	530399	6934818		Oui à partir de Triquerville	Limons - Quaternaire	Craie
ESO	00756X0046/F	Forage AEP	CH1 - Site de Radicatel	Saint-Nicolas-de-la-Taille	La Brousseresse	517378	6936376	A 50m en amont du point 00756X0122	Non	Alluvions - Quaternaire	Albien
ESO	00756X0047/S	Forage	SPIE 6 - Site de Radicatel	Saint-Jean-de-Folleville	La Brousseresse	517838	6936383	A 46m en amont du point 00756X0046	Non		Alluvions

Tableau 41 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des points d'eau souterraine (ESO) retenus sur le secteur d'étude du SAGE Commerce.

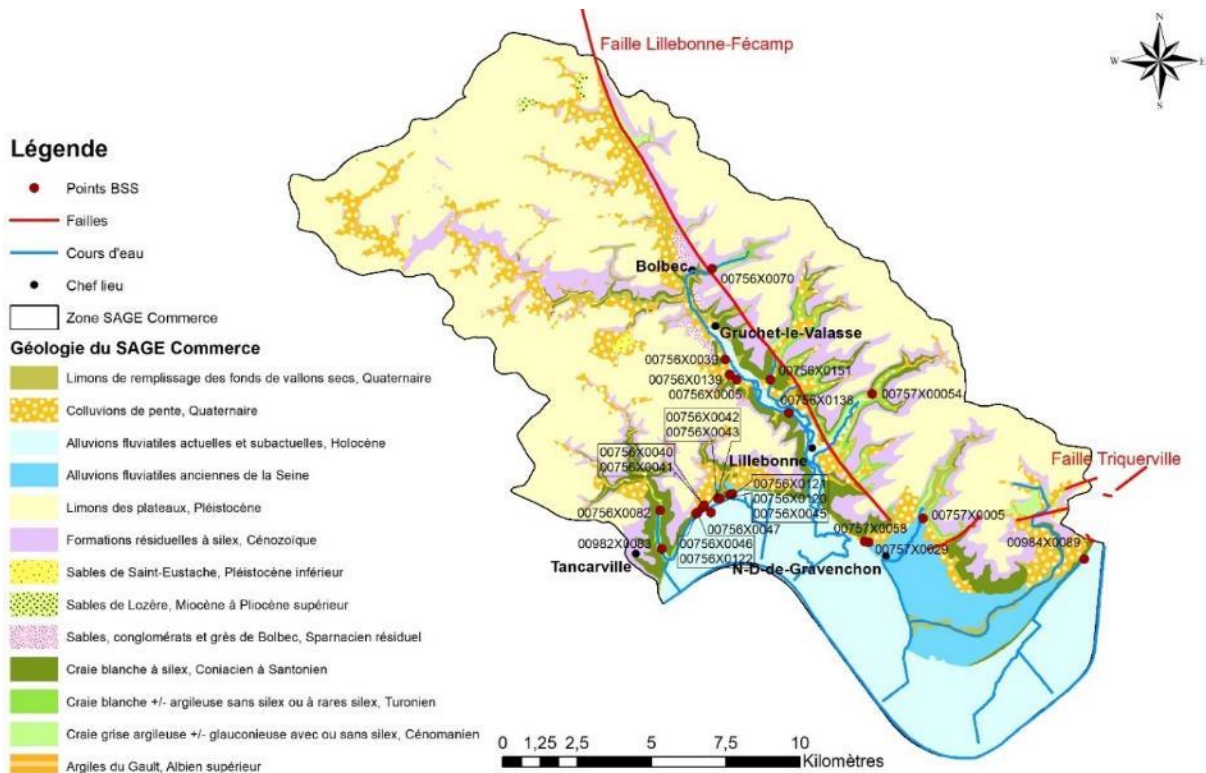


Illustration 272 : Localisation des points d'eau souterraine (ESO) retenus sur fond de carte de carte géologique (carte géologique harmonisée au 1/50 000 du BRGM)

- **Points d'eau superficielles (ESU)**

Lors de l'analyse des données des points d'eau superficielle présents sur le secteur d'étude, les stations de mesures ne disposaient pas toutes de l'ensemble des analyses sur les éléments majeurs. Les stations de mesures, dénommées le Vivier, le Fourneau et la rivière des Aulnes, n'ont donc pas pu être retenues.

Sur les 17 cours d'eau présents sur le territoire du SAGE Commerce, seuls 9 cours d'eau disposent de stations de mesures de la qualité des eaux.

Le choix des stations a été défini en fonction de leur localisation, en particulier avant les confluences entre les cours d'eau, permettant ainsi de suivre l'évolution des paramètres chimiques. De plus, afin de caractériser au mieux les relations ESO-ESU, et de prendre en compte la complexité du contexte hydrogéologique, il a été nécessaire de prendre en compte le contexte hydrologique et hydrogéologique, mais aussi l'environnement anthropique situé à l'amont de ces stations. En effet, les activités anthropiques, comme les rejets industriels, la présence d'agglomérations, les parcelles agricoles, peuvent avoir une influence sur la qualité des eaux superficielles et souterraines.

Pour la rivière de Bolbec, plusieurs stations de mesures ont été sélectionnées, en fonction de leur proximité avec la faille Lillebonne-Fécamp et de la relation nappe – rivière supposée s'effectuer près de Gruchet-le-Valasse. Dans la plaine alluviale, les stations de mesures sont proches de l'exutoire de la Seine. Deux stations de mesures sur la Seine ont été retenues, elles se situent en amont et en aval de la zone d'étude.

Sur ces 9 cours d'eau, 10 stations de mesures ont donc été retenues : 8 stations de mesures sur des cours d'eau et 2 stations de mesures situées sur la Seine. Elles sont décrites dans le Tableau

42 avec les éléments de contexte. La localisation de ces 10 stations de mesures retenues est présentée sur l'illustration 273.

ESO/ESU	Numéro Station	Nature du point	Nom ouvrage	Localisation	Réseau hydrographique	Commune	Bassin versant
ESU	3185164	Cours d'eau	Le Hannetot	A l'aval de bassins de lagunage	Avant rejet dans la Seine	Saint Maurice d'Etelan	Le Bébec
ESU	3185620	Cours d'eau	Le Theluet	A l'aval d'Exxon	Avant confluence avec le Bébec	Notre Dame de Gravenchon	Le Bébec
ESU	3206150	Cours d'eau	Rivière de Bolbec avant faille	A l'aval d'Oril	Amont de la rivière de Bolbec	Bolbec	Le Commerce
ESU	3206250	Cours d'eau	Rivière de Bolbec non connectée à la nappe	A l'amont d'une station d'épuration - St Marcel		Gruchet-le-Valasse	Le Commerce
ESU	3206350	Cours d'eau	Rivière de Bolbec connectée à la nappe	A l'aval d'une station d'épuration - St Marcel		Gruchet-le-Valasse	Le Commerce
ESU	3207030	Cours d'eau	La rivière du Commerce	A l'aval d'Arlanxeo	Avant confluence avec les Cabots	Notre Dame de Gravenchon	Le Commerce
ESU	3185950	Cours d'eau	La Brouisseresse	A l'aval de l'usine des eaux - Radicatel	Avant confluence avec le Vivier	Tancarville	La Brouisseresse
ESU	3000000	Cours d'eau	Les Cahots	A l'aval de Tereos Benp	Avant rejet dans la Seine	Notre Dame de Gravenchon	La Brouisseresse
ESU	3100000	Cours d'eau	Le Bébec		Perte du Bébec	Le Quesnay	Le Bébec
ESU	3185210	Seine	Seine Amont	La Neuville	Avant confluence avec le Hannetot	Vatteville-la-Rue	
ESU	3186000	Seine	Seine Aval	Pont Tancarville	Après confluence avec la Brouisseresse	Tancarville	

Tableau 42 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des points d'eau superficielle (ESU) retenus sur le secteur d'étude du SAGE Commerce.

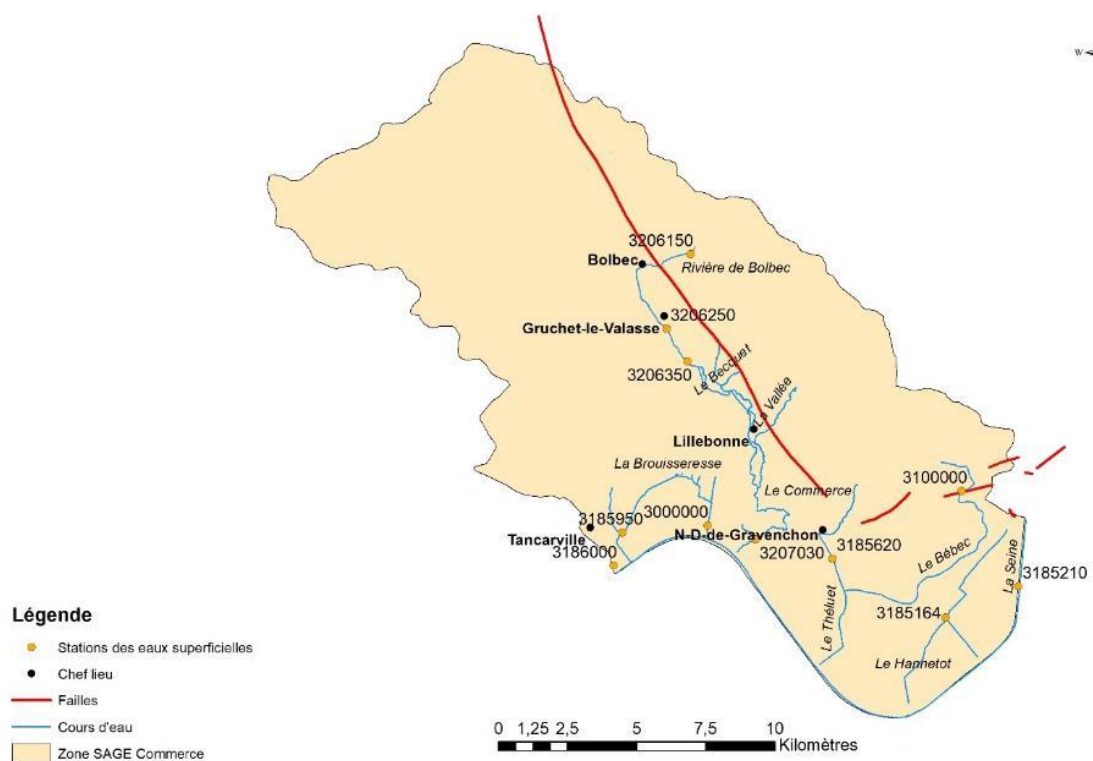


Illustration 273 : Localisation des stations de mesure de qualité des eaux superficielles (ESU) de la zone du SAGE Commerce

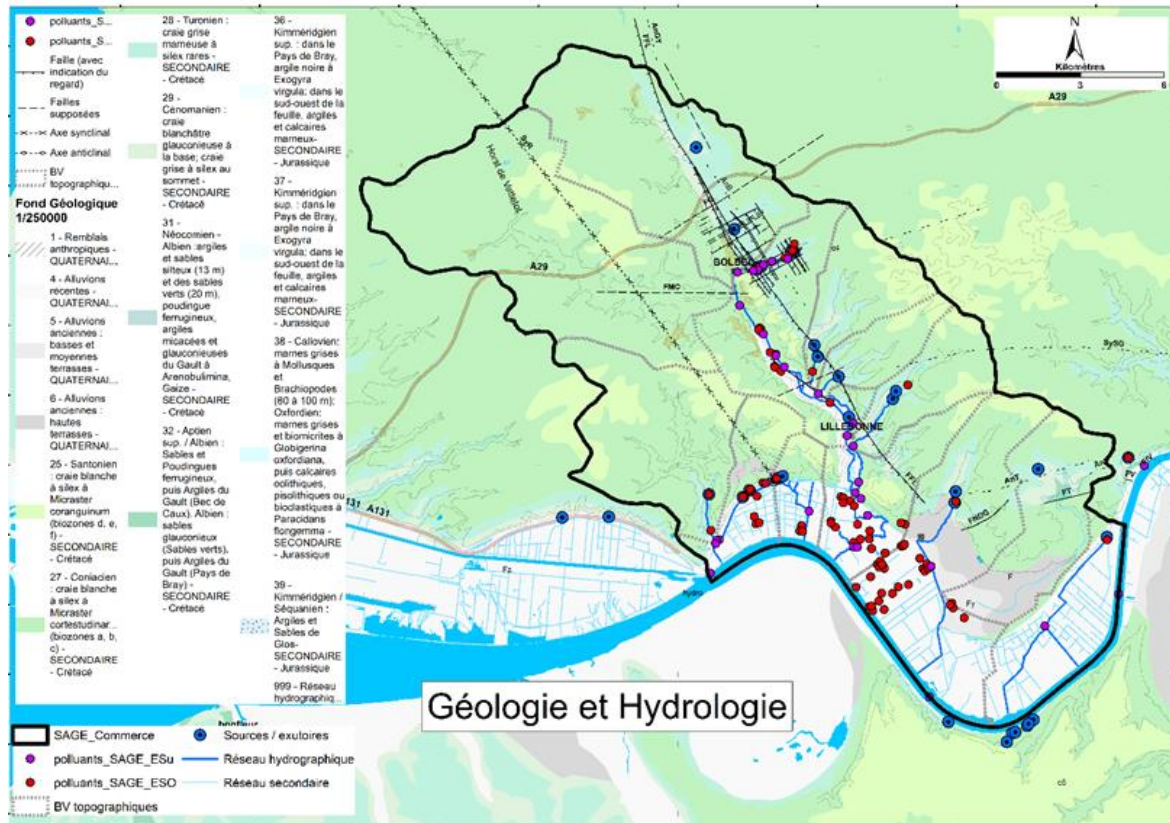


Illustration 274 : Localisation des points d'eau souterraine (ESO) et des points d'eau superficielle (ESU) retenus sur fond de carte de carte hydrogéologique simplifiée.

7.2.2. Validation des analyses

Afin de s'assurer de la représentativité des valeurs médianes pour représenter les concentrations en éléments majeurs et traces pour les points d'eau ESO et ESU retenus dans le cadre de cette étude, un premier travail de validation de la donnée a été réalisé.

Deux paramètres chimiques ont été utilisés, le calcul de la balance ionique avec les concentrations médianes en éléments majeurs par point d'eau, et le calcul du TDS (éléments dissous totaux) à partir des éléments majeurs et traces par point d'eau comparé à la valeur médiane des conductivités électriques mesurées sur site pour chaque point d'eau.

Balance ionique

Afin notamment de s'assurer de la qualité d'une analyse physico-chimique réalisée au laboratoire, il est nécessaire de calculer la balance ionique de l'analyse ; afin d'éviter toute erreur d'analyse, ou de révéler l'absence d'un ou plusieurs éléments majeurs dans la composition géochimique d'une eau.

Ici, on ne vérifie pas la qualité d'une analyse laboratoire sur un prélèvement particulier ; on valide plutôt la représentativité potentielle des valeurs médianes en éléments majeurs pour représenter la chimie d'un point d'eau.

La balance ionique a donc été calculée pour toutes les analyses reconstituées à partir des valeurs médianes des points d'eau superficielle et souterraine retenus dans le cadre de cette étude, à partir de la formule suivante :

$$\text{Balance ionique} = 100 \times \frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}}$$

Les sommes sont exprimées en meq.L⁻¹.

La fiabilité de l'analyse au regard de la balance ionique est considérée comme :

- excellente pour une balance entre - 1 et + 1 % ;
- acceptable pour une balance entre - 5 et + 5% ;
- médiocre pour une balance entre - 10 et + 10 % ;
- mauvaise pour une balance inférieure à - 10 et supérieure à + 10 %.

Pour les 24 points d'eau souterraine retenus, les résultats de la balance ionique sont compris entre -1,6 et + 1,0 %.

Pour les 11 points d'eau superficielle retenus, les résultats de la balance ionique sont compris entre -1,6 et + 4,7 %.

L'ensemble des analyses reconstituées à partir des données des valeurs médianes pour les éléments majeurs sont donc considérées comme acceptables à excellentes et représentent donc bien la chimie des eaux en éléments majeurs pour chaque point d'eau retenu.

Conductivité électrique in situ et éléments dissous totaux

La somme des éléments dissous (Total Dissolved Solid : TDS) a été calculée pour l'ensemble des analyses géochimiques retenues (médianes des concentrations en éléments majeurs et traces pour chaque point d'eau). Le TDS (g/L) a été comparé aux valeurs médianes de conductivités électriques (µS/cm) mesurées sur le terrain et bancarisées dans ADES (ESO) et Naïades (ESU).

La régression linéaire sur le graphique présenté ci-après (Illustration 275) met en avant la bonne corrélation (R² = 0,93) entre les données TDS et conductivité ; validant ainsi d'une seconde manière le jeu de données reconstituées pour les eaux souterraines et superficielles.

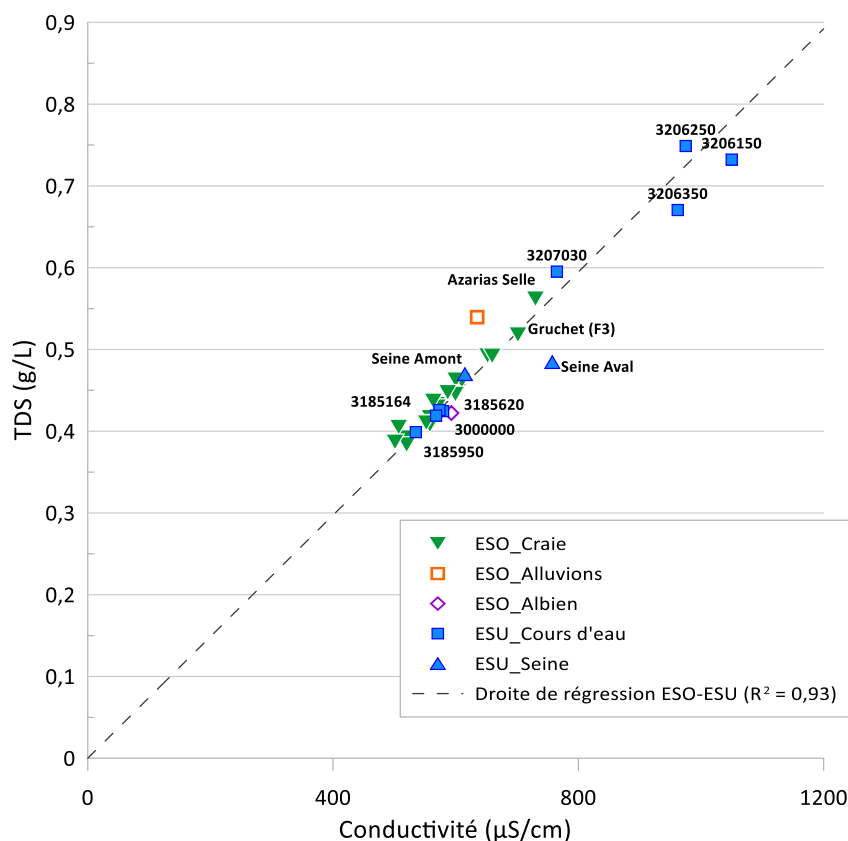


Illustration 275 : Conductivité vs TDS (g/L) pour l'ensemble des points d'eau souterraine et superficielle retenus dans le cadre de cette étude.

Cette première analyse des données met aussi en avant que :

- 3 points d'eau superficielle se distinguent des autres points ESO et ESU par leur minéralisation plus importante (3206150, 3206250, 3206350) ;
- La source d'Azarias Selle représente les eaux (souterraines) les plus minéralisées de la nappe de la Craie sur le secteur d'étude, suivie par le forage de Gruchet (F3).

7.2.3. Données eaux souterraines et superficielles

Les résultats des valeurs médianes calculées pour les 14 éléments majeurs, mineurs et traces sélectionnés et disponibles dans ADES et Naïades par point d'eau pour la période de référence sont présentés dans les tableaux ci-après. Les éléments sélectionnés sont les suivants : calcium (Ca), potassium (K), magnésium (Mg), sodium (Na), hydrogénocarbonate (HCO_3), chlorures (Cl), sulfates (SO_4), nitrate (NO_3), nitrite (NO_2), ammonium (NH_4), fer (Fe), fluorures (F), aluminium (Al) et manganèse (Mn). Ils sont les mêmes pour les ESO et les ESU.

Les valeurs de références qualité, ESO et ESU, pour chaque élément sont précisées en vert dans les tableaux récapitulatifs et d'analyses statiques descriptives présentés ci-après.

Données des éléments majeurs, mineurs et traces des ESO

Pour les eaux souterraines (ESO), les concentrations médianes des éléments 14 majeurs, mineurs et traces retenus sont présentées dans le Tableau 43.

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

ESO/ESU	Indice BSS	Nature du point	Nom ouvrage	Géologie simple	Ca	K	Mg	Na	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₄	Fe	F	Al	Mn
					(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(μg/L)	(mg/L)
					100	12	50	200	nd	250	250	50	0,5	0,5	200	1,5	200	50
ESO	00756X0004/F	Forage AEP	Gruchet (F1)	Craie	112,5	3,2	4	17,2	303	29,1	24	29,8	0,008	0,015	10	0,05	12,5	5
ESO	00756X0005/F	Forage AEP	Gruchet (F2)	Craie	107,1	2,7	3,6	14,5	291	23,7	19,3	28	0,008	0,015	7,5	0,03	5	5
ESO	00756X0139/F	Forage AEP	Gruchet (F3)	Craie	107	2,3	3,5	17	286	26,4	20,7	27,8	0,005	0,05	5	0,05	5	5
ESO	00756X0039/F	Forage AEP	St-Antoine (Gruchet F4)	Craie	92	1,6	2,9	12	255	21	7,6	30,2	0,01	0,015	40,1	0,05	33,7	5
ESO	00756X0040/F	Forage AEP	C1 - Site de Radicatel	Craie	89,3	1,8	2,9	11,6	249	20,5	7,8	27,6	0,005	0,005	26,5	0,06	45	7,5
ESO	00756X0041/F	Forage AEP	C2 - Site de Radicatel	Craie	97,3	2,1	3,9	11,2	270	21,7	10,9	27,5	0,005	0,005	10	0,05	10	5
ESO	00756X0042/F	Forage AEP	C4 - Site de Radicatel	Craie	96	2,1	4	11,3	265	21,9	10,6	27,9	0,005	0,005	10	0,05	15	5
ESO	00756X0043/F	Forage AEP	C5 - Site de Radicatel	Craie	94,3	2	3,9	11,1	265	21,9	10,2	27,4	0,005	0,005	62	0,06	90	10
ESO	00756X0045/F	Forage AEP	C7 - Site de Radicatel	Craie	135	1,4	3,7	13	347	27,7	34,2	33,4	0,005	0,005	5	0,05	12,5	5
ESO	00756X0070/HY	Source	Azarias Selle	Craie	89	1,6	2,6	12,3	249	21	7,2	28,8	0,005	0,005	12	0,05	30	10
ESO	00756X0082/HY	Source	Fontaine du Four aux Veaux – site de Radicatel	Craie	96	2	3,9	11,4	264	22,7	10,2	29,2	0,005	0,005	10	0,05	35	5
ESO	00756X0120/HY	Source	Captage du Moulin A Ouest – site de Radicatel	Craie	95	2	3,9	11,5	265	22,8	10,2	29	0,005	0,005	10	0,05	40	5
ESO	00756X0121/HY	Source	Captage du Moulin B Est – site de Radicatel	Craie	90,3	1,7	2,8	11,7	249	21	7,1	29,9	0,005	0,005	10	0,05	40	5
ESO	00756X0122/HY	Source	Captage de la Bruisseresse – site de Radicatel	Craie	110	2,7	4	21,1	299	30,2	25,1	24,7	0,005	0,005	10	0,05	20	5
ESO	00756X0138/F	Forage AEP	Forage du Becquet	Craie	92,9	1	4,8	8,9	267	18,3	12,6	17,1	0,005	0,012	3,3	0,06	10	0,5
ESO	00756X0151/F1	Forage AEP	F1	Craie	99,2	2,5	3,5	10,5	286	21,3	10,6	27,1	0,01	0,025	10	0,05	15	5
ESO	00757X0004/F	Forage AEP	Trinité du Mont	Craie	109,6	1	2,3	11,1	280	23,7	18,2	34,8	0,005	0,005	7,5	0,06	10	5
ESO	00757X0005/F	Forage AEP	Fontaine St Denis	Craie	88,6	1,6	2,5	12,5	254	21,6	6,6	26,1	0,01	0,01	36	0,05	290	10
ESO	00982X0083/F	Forage AEP	A2 – Site de Radicatel	Craie	95,2	1,6	4	11,7	284	21,7	12,2	18,4	0,005	0,005	10	0,05	10	5
ESO	00983X0029/F	Forage AEP	Cité de la petite Campagne (F1)	Craie	97	1,5	4,2	11,6	288	22,3	12,4	17,9	0,01	0,025	5	0,07	5	5
ESO	00983X0058/F2	Forage AEP	Cité de la petite Campagne (F2)	Craie	102,5	2,8	5,4	10,6	289	22,2	15,5	24,6	0,01	0,01	10	0,07	50	5
ESO	00984X0089/FDEFIN	Forage AEP	Saint-Maurice d'Etelan	Craie	32	12,5	17,8	60	203	75	21,9	0,3	0,026	0,42	199,5	0,14	5	9,5
ESO	00756X0046/F	Forage AEP	CH1 - Site de Radicatel	Albien	98,7	3,9	15,7	13,3	384	16,6	7,3	0,3	0,007	1,95	1680	0,1	10	73,5
ESO	00756X0047/S	Forage	SPIE 6 - Site de Radicatel	Alluvions	110	4,5	5,8	23,5	308	34	32,8	30	0,003	0,006	10	0,06	10	5

Tableau 43 : Tableau récapitulatif des résultats des concentrations médianes en éléments majeurs, mineurs et traces sélectionnés pour les points d'eau souterraine (ESO) retenus (valeurs en rouge > critères qualité pour les ESO).

Une analyse statistique descriptive de l'ensemble de ces points d'eau ESO permet de mettre en évidence qu'ils sont dans leur majorité conformes aux références qualité (normes de potabilité) appliquées pour l'eau souterraine. Les références qualité et les résultats statistiques effectués (min, moyenne, médiane, max, écart type) sont présentés dans le tableau ci-après (Tableau 44).

Seuls les éléments suivants indiquent des valeurs supérieures aux références qualité : Ca, K, NH₄, Fe, Al et Mn.

Pour le calcium, la valeur de référence correspond à une référence qualité et pas une norme de potabilité au sens strict, l'impact d'un dépassement est donc moins important. 8 points d'eau ESO indiquent une concentration en Ca légèrement au-dessus de 100 mg/L.

Pour les autres éléments, à savoir K, NH₄, Fe, Al et Mn, il s'agit bien par contre de normes de potabilité.

Pour le potassium (K), un seul point d'eau, le forage AEP (00984X0089/FDEFIN, Saint-Maurice d'Etelan), captant la Craie, a une concentration médiane juste au-dessus des 12 mg/L.

Pour l'ammonium (NH₄), le forage AEP (00756X0046/F, CH1 - Site de Radicatel) captant l'Albien, indique une valeur médiane élevée, de 1,95 mg/L, soit quasi 4 fois la norme de potabilité de 0,5 mg/L (si d'origine naturelle) ; de plus ce forage AEP montre également les valeurs médianes les plus élevées pour le fer (Fe) et le manganèse (Mn), avec respectivement 1 680 µg/L et 73,5 µg/L, soit plus de 8 fois la norme de potabilité du fer et 1,5 fois celle du manganèse. Des phénomènes d'oxydo-réduction ont probablement lieu dans ce forage et à proximité. Néanmoins, ces valeurs sont élevées pour un forage AEP.

Un dernier forage AEP s'illustre avec un dépassement de la norme de potabilité en aluminium (Al), il s'agit du forage AEP (00757X0005/F, Fontaine St Denis) captant la Craie. Sa valeur médiane d'aluminium, avec 290 µg/L, dépasse de 1,5 fois la norme.

Sur l'ensemble des 24 points d'eau ESO, seulement 3 forages AEP indiquent donc des dépassements des normes de potabilité, pour les éléments suivants : K, NH₄, Fe, Al et Mn. Le forage le plus problématique est *a priori* le forage 00756X0046/F, CH1 - Site de Radicatel ; néanmoins, il s'agit ici d'eau brute, et ces concentrations excessives en fer, manganèse et ammonium peuvent se traiter avant distribution.

Nous pouvons aussi noter qu'aucun point d'eau ESO du secteur d'étude a une concentration médiane en nitrate (NO₃) qui dépasse la norme de potabilité, la valeur la plus forte est de 35 mg/L. Les origines de ces concentrations en nitrate rencontrées dans les eaux souterraines peuvent être multiples ; ces concentrations peuvent être en partie d'origine naturelle (jusqu'à 6-10 mg/L) et d'origines anthropiques (intrants agricoles, rejets d'assainissements non-collectifs et/ou collectifs(STEU), rejets industriels).

Une analyse statistique descriptive a également été réalisée sur ces données en éléments majeurs, mineurs et traces retenus pour l'ensemble de ces points d'eau ESO (Tableau 44). De plus, une analyse supplémentaire a été ajoutée afin de comparer les valeurs moyennes par élément des eaux de la Craie à celles de l'Albien et des alluvions (Tableau 44).

	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	Fe (µg/L)	F (mg/L)	Al (µg/L)	Mn (µg/L)
Références qualité ESO	100	12	50	200	<i>nd</i>	250	250	50	0,5	0,5	200	1,5	200	50
Minimum	32,0	1,0	2,3	8,9	203	17	6,6	0,3	0,003	0,01	3,3	0,03	5,0	0,5
Moyenne	97,4	2,6	4,8	15,0	279	25	14,8	24,9	0,007	0,11	91,6	0,06	33,7	8,6
Médiane	96,5	2,0	3,9	11,7	275	22	11,6	27,7	0,005	0,01	10,0	0,05	13,8	5,0
Maximum	135,0	12,5	17,8	60,0	384	75	34,2	34,8	0,026	1,95	1 680	0,14	290	73,5
Ecart type	17,0	2,2	3,7	10,0	35	11	7,9	8,5	0,004	0,39	333,5	0,02	56,9	13,7

Moyenne Craie	96,7	2,4	4,3	14,7	273	25	14,3	25,8	0,007	0,03	23,2	0,06	35,9	5,8
Albien	98,7	3,9	15,7	13,3	384	17	7,3	0,3	0,007	1,95	1 680	0,10	10,0	73,5
Alluvions	110,0	4,5	5,8	23,5	308	34	32,8	30,0	0,003	0,01	10,0	0,06	10,0	5,0

Tableau 44 : Statistiques descriptives des résultats des concentrations médianes en éléments majeurs, mineurs et traces sélectionnés pour les points d'eau souterraine (ESO) retenus (valeurs en rouge > critères qualité pour les ESO).

La plus grande variabilité pour le jeu de données est constatée pour les éléments suivants, avec dans l'ordre croissant : NH₄, Fe, Al, Mn et K ; puis dans une moindre mesure pour Mg, NO₂, Na et SO₄ (cf. Ecart-types).

Les éléments Ca, HCO₃, NO₃, F et Cl indiquent une variabilité beaucoup plus faible.

Si on compare les concentrations moyennes de la Craie (moyenne des concentrations médianes des points d'eau captant la Craie) aux normes de potabilité, aucun dépassement n'est constaté ; ceci n'est pas le cas pour les 2 forages de l'Albien et des alluvions. De plus, il apparaît que les eaux de Craie dans leur ensemble sont légèrement moins minéralisées en Ca, HCO₃, K et Mg que celles de l'Albien et des alluvions.

Données des éléments majeurs, mineurs et traces des ESU

Pour les eaux superficielles (ESU), les concentrations médianes des éléments 14 majeurs, mineurs et traces retenus sont présentées dans le Tableau 45.

ESO/ESU	Numéro Station	Nature du point	Nom ouvrage	Ca	K	Mg	Na	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₄	Fe	F	Al	Mn
				(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(µg/L)	(mg/L)
				-	-	-	-	-	-	-	50	0,3	0,5	-	-	-	-
ESU	3185164	Cours d'eau	Le Hannebot	97	2,6	5,5	11,3	271	22	15,2	27,9	0,01	0,02				
ESU	3185620	Cours d'eau	Le Theluet	100	1,8	3,0	13,1	257	26,7	24,3	21,2	0,31	0,35				
ESU	3206150	Cours d'eau	Rivière de Bolbec avant faille	119	4,9	5,9	96,5	308	78,5	120,0	39,8	0,04	0,07		0,13	2,7	
ESU	3206250	Cours d'eau	Rivière de Bolbec non connectée à la nappe	117	7,3	2,7	95,0	336	97,9	92,9	32,6	0,23	0,32		0,1		
ESU	3206350	Cours d'eau	Rivière de Bolbec connectée à la nappe	116	7,0	5,3	72,8	327	76	67,0	30,7	0,15	0,23			5,0	
ESU	3207030	Cours d'eau	La rivière du Commerce	109	2,6	3,1	62,8	265	75,9	76,8	23,8	0,23	0,37	19,4	0,01		
ESU	3185950	Cours d'eau	La Brouisseresse	93	1,8	3,3	12,5	258	21,9	8,4	28,8	0,02	0,03				
ESU	3000000	Cours d'eau	Les Cahots	104	2,3	4,4	12,2	260	23,6	12,6	25,0	0,15	0,07	0,3	0,06	95,5	32,0
ESU	3100000	Cours d'eau	Le Bébec	28	5,2	2,6	7,8	55	17,5	25,9							
ESU	3185210	Seine	Seine Amont	102	4,2	7,3	20,7	258	36,2	41,5	26,5	0,12	0,04	0,0	0,22	4,3	7,5
ESU	3186000	Seine	Seine Aval	101	4,2	8,3	28,9	246	49,9	46,2	26,2	0,04	0,03	0,0	0,22	6,5	1,1

Tableau 45 : Tableau récapitulatif des résultats des concentrations médianes en éléments majeurs, mineurs et traces sélectionnés pour les points d'eau superficielle (ESU) retenus (valeurs en rouge > critères qualité pour les ESU).

Une analyse rapide de ce tableau permet de mettre en évidence que ces points d'eau ESU sont dans leur majorité conformes aux références qualité (NQE : Normes de Qualité Environnementale ; Moyenne annuelle) appliquées pour l'eau superficielle, un seul dépassement très faible est constaté pour la station n° 3185620 sur le Theluet, avec une concentration médiane de 0,31 mg/L de nitrite pour une valeur de NQE à 0,30 µg/L (bon état) ; compte tenu de l'erreur analytique, cette valeur est élevée certes, mais très proche de la NQE. De plus, pour rappel, pour les eaux souterraines, la norme de potabilité pour le nitrite est de 0,5 mg/L, ce point d'eau a donc une concentration médiane inférieure à la norme de potabilité. Cette concentration en nitrite pourrait s'expliquer par un processus potentiel de dénitrification, qui peut effectivement avoir lieu dans les zones humides ; ceci d'autant plus probable que la concentration en nitrate de ce point est plus faible et la concentration en NH₄ relativement élevée.

Les références qualité et les résultats statistiques effectués (min, moyenne, médiane, max, écart type) sur l'ensemble de ces points d'eau ESU sont présentés dans le Tableau 46.

	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	Cl (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)	Fe (µg/L)	F (mg/L)	Al (µg/L)	Mn (µg/L)
Références qualité ESU	-	-	-	-	-	-	-	50	0,3	0,5	-	-	-	-
Minimum	28	1,8	2,6	7,8	55	18	8,4	21,2	0,01	0,02	0,0	0,01	2,7	1,1
Moyenne	99	4,0	4,7	39,4	258	48	48,2	28,2	0,13	0,15	4,9	0,12	22,8	13,5
Médiane	102	4,2	4,4	20,7	260	36	41,5	27,2	0,13	0,07	0,2	0,12	5,0	7,5
Maximum	119	7,3	8,3	96,5	336	98	120,0	39,8	0,31	0,37	19,4	0,22	95,5	32,0
Ecart type	24	1,9	1,8	33,6	71	28	34,9	5,0	0,10	0,14	8,3	0,08	36,4	13,3

Tableau 46 : Statistiques descriptives des résultats des concentrations médianes en éléments majeurs, mineurs et traces sélectionnés pour les points d'eau superficielle (ESU) retenus (valeurs en rouge > critères qualité pour les ESU).

Là encore, les éléments Fe, Al, NH₄ et Mn indiquent la plus grande variabilité et les éléments comme Ca, NO₃, K sont les plus stables (cf. Ecarts-Types).

Si on compare les résultats de cette analyse statistique descriptive des concentrations médianes des points d'eau ESU aux normes de potabilité appliquées pour les eaux souterraines, il en ressort que tous ces points d'eau ont des concentrations en éléments majeurs, mineurs et traces retenus inférieurs aux normes de potabilité. Seule la concentration en calcium (Ca) est un peu élevée par rapport à la référence qualité de 100 mg/L (Arrêté du 11 janvier 2007 mis à jour le 17/08/2017, code santé publique) qui, pour rappel, ne correspond pas à une norme de potabilité.

Les origines de ces concentrations en nitrate rencontrées dans les eaux superficielles peuvent être multiples ; ces concentrations sont probablement en grande partie d'origines anthropiques (intrants agricoles, rejets d'assainissements non-collectifs et/ou collectifs(STEU), rejets industriels), mais aussi en partie d'origine naturelle (< 6-10 mg/L).

Qualité des eaux vis-à-vis des références qualité : Normes de potabilité et Normes de Qualité Environnementale

La qualité des eaux souterraines et des eaux superficielles par rapport aux 18 paramètres étudiés (paramètres physicochimiques *in situ* et éléments majeurs, mineurs et traces) est relativement bonne au regard des références qualité prises en compte, à savoir les normes de potabilité pour les ESO et les normes de qualité environnementale (NQE) pour les ESU (voir Tableau 43 et Tableau 45).

ESO : des dépassements des normes de potabilité ont été observés pour les éléments suivants : K, NH₄, Fe, Al et Mn ; seuls 3 forages sur 24 points d'eau ESO sont concernés : St Maurice d'Etelan pour K, CH1 Radicatel pour Fe mn et NH₄ et Fontaine St Denis pour Al ;

ESU : une seule valeur un peu élevée en nitrite, pour un seul point d'eau, avec une possible dénitrification sur le Theluet.

7.2.4. Diagramme de Piper et faciès hydrochimiques des eaux

Les résultats d'analyses des éléments majeurs (concentrations médianes) pour les points d'eau ESO et ESU du secteur d'étude ont permis de projeter les points d'eau dans un diagramme de Piper. La localisation des points d'eau dans le diagramme de Piper renseigne sur leur faciès hydrochimique.

Points d'eau souterraine (ESO)

Le diagramme de Piper (Illustration 276) indique que l'ensemble des points d'eau souterraine retenus dans le secteur d'étude ont un faciès bicarbonaté calcique.

Les points d'eau souterraine (ESO) sont symbolisés selon l'aquifère capté, à savoir la nappe de la Craie, les Sables de l'Aptien-Albien ou la nappe des alluvions anciennes. Bien que l'ensemble des points d'eau souterraine aient un faciès bicarbonaté-calcique, la chimie des points d'eau indique 3 groupes bien distincts. L'ensemble des points d'eau de la nappe de la Craie sont bien regroupés entre eux ; et la nappe des alluvions comme celle des sables de l'Aptien-Albien ont des signatures chimiques bien différentes.

Burgéap (2020) a procédé à une analyse chimique dans les alluvions superficielles du secteur de Radicatel confirmant le faciès chimique dans le pôle ($\text{HCO}_3\text{-Ca}$) identifié dans cette analyse.

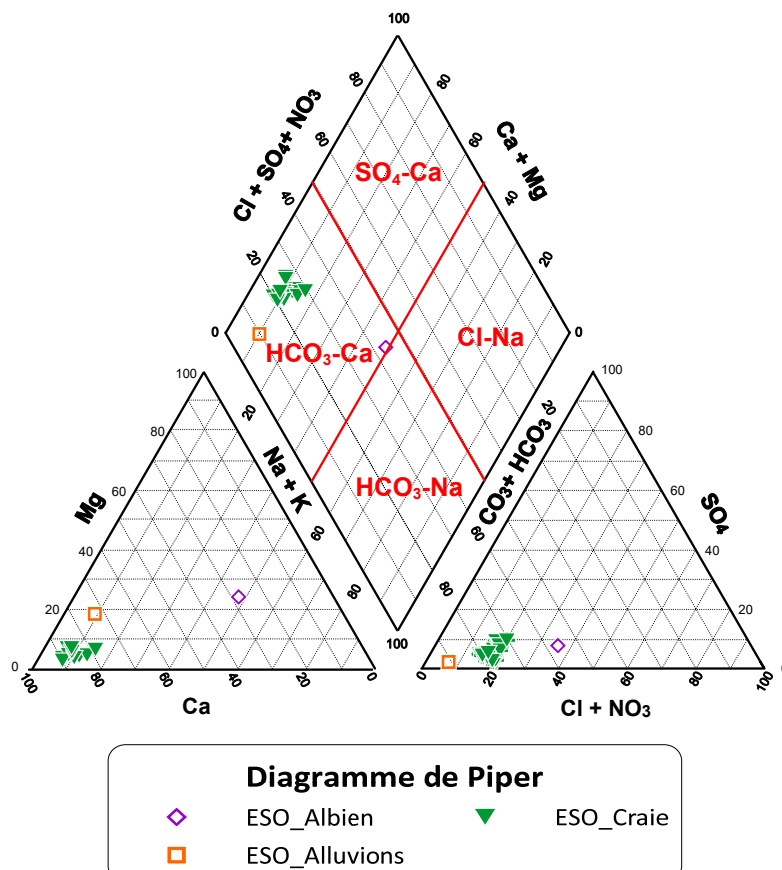


Illustration 276 : Diagramme de Piper pour les points d'eau souterraine (ESO) retenus dans le secteur du SAGE Commerce.

Points d'eau superficielle (ESU)

La projection des points d'eau ESU retenus dans le diagramme de Piper (Illustration 277) indique que les eaux superficielles du secteur du SAGE du Commerce ont un faciès soit bicarbonaté-calcique soit sulfaté-calcique.

De plus, 4 groupes de points se distinguent :

- Groupe 1 : les points d'eau de la vallée de la Seine à gauche : 3185164, 3000000, 3185950 et 3185620 (entourés d'un cercle vert), de faciès bicarbonaté calcique ;
- Groupe 2 : la Seine, amont et aval, au centre, de faciès bicarbonaté calcique ;
- Groupe 3 : les points d'eau correspondant à la rivière du Commerce et ses affluents dont le Bolbec : 3206250, 3206150, 3206350 et 3207030 (entourés d'un cercle bleu), de faciès bicarbonaté calcique à sulfaté-calcique ;
- Groupe 4 : le cours d'eau Le Bébec (3100000), de faciès sulfaté-calcique.

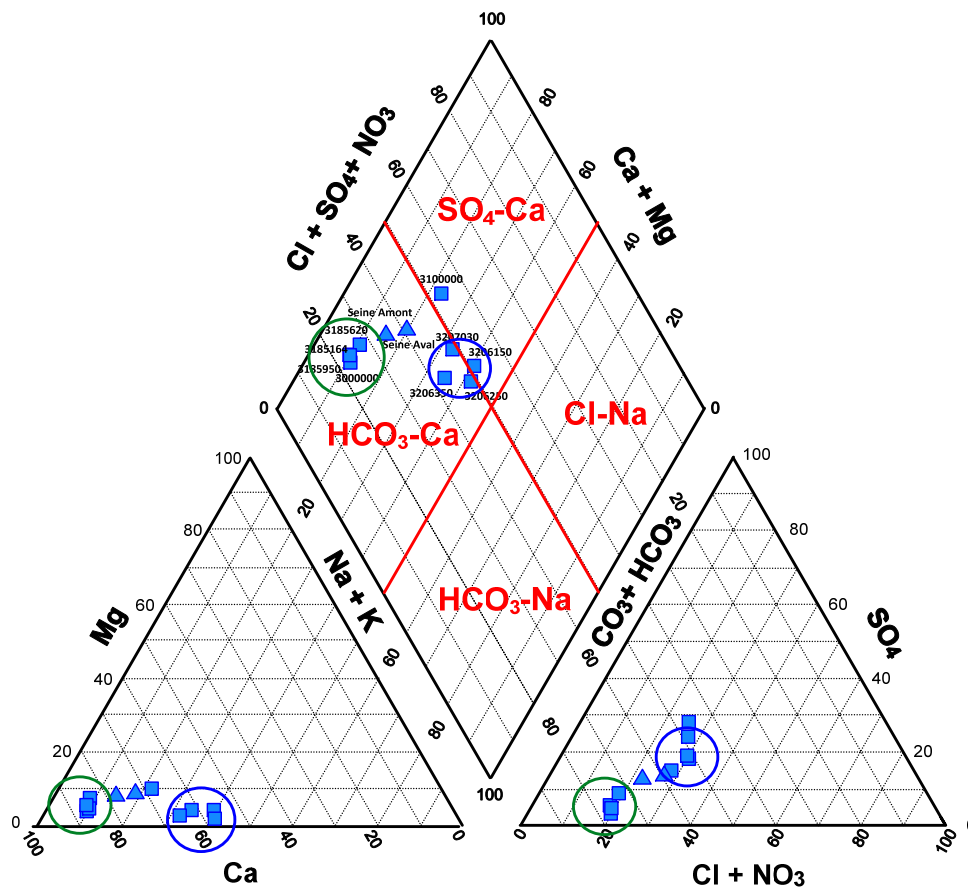


Diagramme de Piper
■ ESU_Cours d'eau ▲ ESU_Seine

Illustration 277 : Diagramme de Piper pour les points d'eau superficielle (ESU) retenus dans le secteur du SAGE Commerce.

Comparaison ESO-ESU

La comparaison de la position des points ESU et ESO dans le diagramme de Piper (Illustration 278) permet de mettre en évidence que le groupe n°1 des points d'eau ESU (entourés en vert) coïncide très bien avec les eaux souterraines de la Craie, ce qui est également confirmé sur l'illustration 279. Les autres points d'eau ESU et ESO (Albien et Alluvions) ne semblent pas liés.

L'analyse de l'illustration 279 montre que le faciès alluvial semble très hétérogène. **Pour les ESU, le faciès groupe 3, rivière du Commerce et ses affluents, semble coïncider géochimiquement avec les ressources (ESO) du Néocomien/Wealdien (Crétacé inf.) de notre groupe témoin du Pays de Bray.** Il est à noter que ce type de formation n'est pas représenté sur le secteur d'étude.

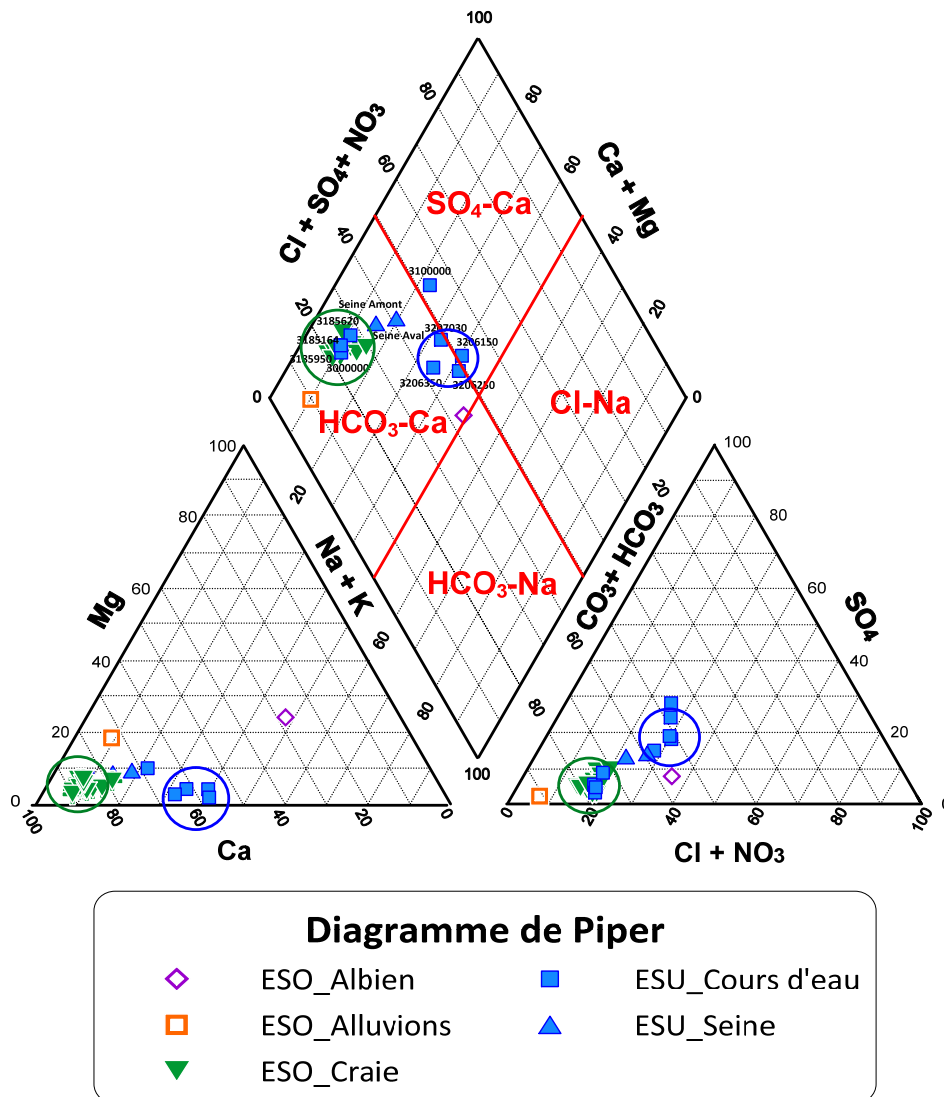
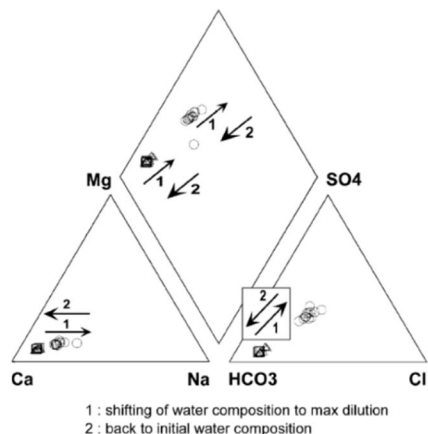


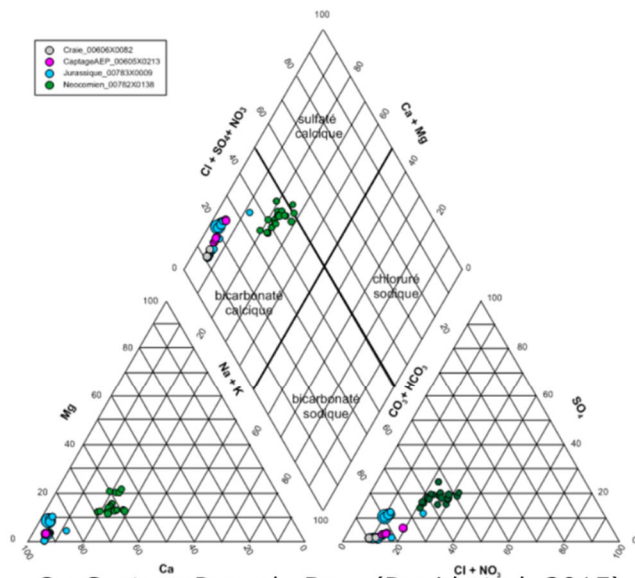
Illustration 278 : Diagramme de Piper pour les points d'eau superficielle (ESU) et les points d'eau souterraine (ESO) retenus dans le secteur du SAGE Commerce.

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce



: Diagramme de Piper illustrant la variation des faciès hydrogéochimiques des eaux à la perte (O), la source (Δ) et au forage (□) du système karstique du Hannetot (Massei *et al.*, 2002a)

A : Système karstique du Bébec (Masséi *et al.* 2002)

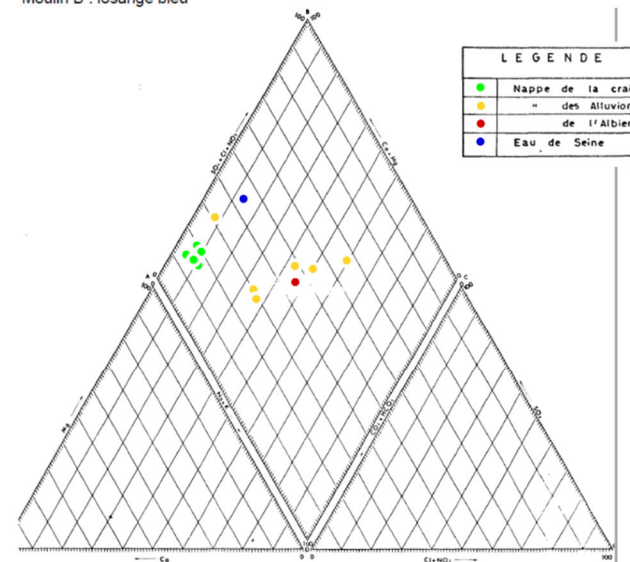


B : Système karstique de Radicatel (U.Rouen - 2011)

: Diagramme de Piper des échantillons d'eau lors des quatre crues sélectionnées, ainsi que de trois échantillons d'eau de surface (ruissellement) prélevés lors de la tempête de décembre 2007 (cercle rose). Bruisseresse : carré rouge ; Four aux Veaux : triangle vert ; Moulin B : losange bleu

C : Secteur Pays de Bray (David *et al.* 2015)

Illustration 279 : Compilation bibliographique de Diagramme de Piper sur les faciès hydrochimiques du secteur du SAGE Commerce



D : Secteur de Bolbec (Maillary *et De la Quèrièrè* -1970)

7.2.5. Diagramme de Schöeller-Berkaloff

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff est une représentation semi-logarithmique des concentrations en éléments majeurs suivants : Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, HCO₃ et NO₃ de différents échantillons d'eau. Il permet notamment de comparer entre eux les différents faciès hydrochimiques ou de mettre en évidence des phénomènes de dilution, par exemple. Il a l'avantage de présenter des concentrations en plus des milliéquivalents. L'inconvénient majeur de cette représentation est le nombre d'échantillons limité que l'on peut comparer.

Les graphiques présentés dans ce paragraphe ont été réalisés à l'aide du logiciel Diagrammes²².

Points d'eau souterraine (ESO)

Afin de mettre en évidence les différences de chimie des ions majeurs entre les points d'eau ESO du secteur d'étude, 4 points d'eau ont été retenus pour être présentés dans le diagramme de Schöeller-Berkaloff (Illustration 280) : le forage captant les Sables de l'Aptien-Albien (Albien), le forage captant les Alluvions et deux forages AEP captant la Craie : Gruchet F3 (00756X0139 /F) et Gruchet F1 (00756X0004).

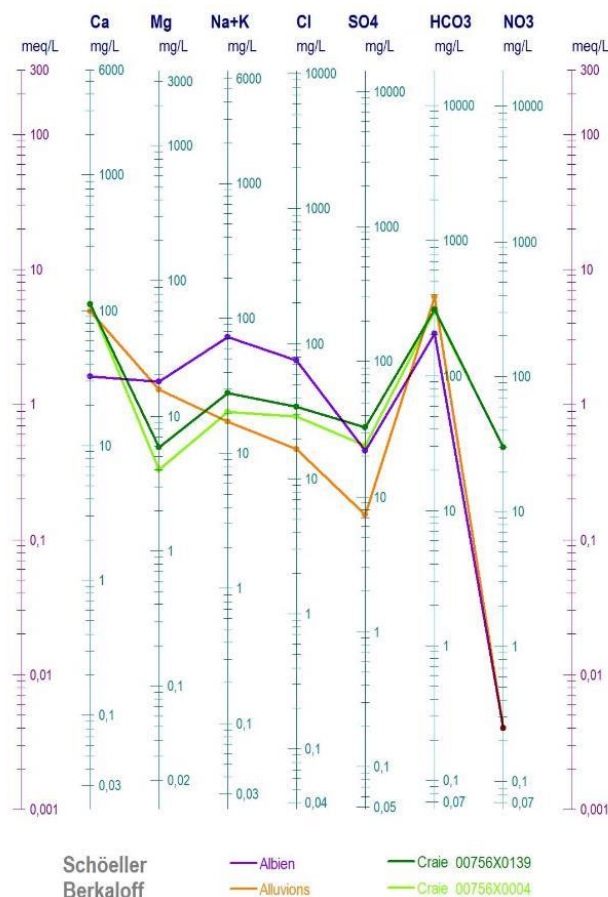


Illustration 280 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff de 4 points d'eau ESO sélectionnés.

²² Diagrammes : outil développé par Roland Simler du Laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon.

Les points d'eau captant l'Albien et les Alluvions ont une signature chimique bien différente entre eux, mais aussi par rapport aux ouvrages captant la Craie.

Maillary et De la Quèrièrè (1970) indiquent pour l'Albien (00756X0046 – CH1 Radicatel) que les eaux sont plus riches en magnésium, sodium et potassium que la craie et ont un caractère chloruré et sulfaté plus marqué.

Au sein de la Craie, on peut savoir ici avec les forages de Gruchet F3 (00756X0139 /F) et Gruchet F1 (00756X0004) que la minéralisation peut changer légèrement, même entre deux forages très proches géographiquement ; typiquement l'illustration 280 permet de mettre en évidence que le forage du Gruchet F3 (00756X0139 /F) a la même signature de base que le forage de Gruchet F1 (00756X0004), mais a des concentrations un peu plus importantes en Mg, Na +K, Cl et SO₄, qui ne sont pas liées à des apports des Alluvions, ni de l'Albien.

A noter : plus en amont dans la vallée du Commerce, Maillary et De la Quèrièrè (1970), notaient également un fort enrichissement en chlore et magnésium pour les ESO de l'ancienne laiterie Picault, rue du Moulin à Gruchet (00756X0003).

A noter enfin, un prélèvement réalisé par la CODAH en 2016 sur le piézomètre de Nointot (BSS000FHMY) dans le compartiment effondré a donné les valeurs suivantes pour l'aquifère de la craie : chlorures 13 mg/l, sulfates 13 mg/l, nitrates 0 (zéro) mg/l, Ca 80 mg/l, Na 11 mg/l, K 4 mg/l, Mg 9 mg/l, HCO₃ 272 mg/l. Ce point, dans la craie, a un profil différent de ceux présentés ci-avant (ref. non disponible sur ADES). On note l'absence de nitrates, indiquant probablement l'existence d'un processus de dénitrification.

Points d'eau superficielle (ESU)

D'après les premières constatations réalisées à partir des digrammes de Piper, 6 points d'eau ESU ont été sélectionnés pour être présentés dans le diagramme de Schöeller-Berkaloff (Illustration 281). Il s'agit des points d'eau ESU suivants :

- Groupe 1 : 3185164 - Le Hannetot ;
- Groupe 2 : 3185210- Seine Amont et 3186000 - Seine Aval
- Groupe 3 : 3206150 - Rivière de Bolbec avant faille et 3207030 - La rivière du Commerce
- Groupe 4 : 3100000 - Le Bébec

Pour plus de lisibilité sur le schéma, pour chaque groupe, le choix du point a reposé sur celui qui s'approchait le plus de la moyenne de l'ensemble du groupe, ainsi le Hannetot, la rivière du Commerce et le Bébec ont été retenus. De plus, les deux points ESU de la Seine ont été retenus, afin éventuellement d'identifier des différences entre eux, ainsi que le point d'eau de la rivière de Bolbec avant la faille dans le groupe 3, afin d'identifier d'éventuelles différences en lien peut-être avec le contexte géologique, tectonique.

D'après le diagramme de Schöeller-Berkaloff (Illustration 281), les points d'eau ESU confirment les 4 groupes déjà identifiés, les courbes des 4 groupes sont clairement différentes, indiquant une chimie des eaux distinctes entre groupes.

Puis, au sein du groupe 2, la Seine aval a une signature chimique proche de la Seine amont, mais présente un enrichissement en Mg, Na +K et Cl.

Au sein du groupe 3, on note aussi une différence entre les eaux de la rivière du Commerce et celles de la rivière de Bolbec avant la faille. Les eaux en amont du bassin versant, en particulier sur le vallon de Bolbec, sont plus minéralisées en Mg, Na+K et SO₄.

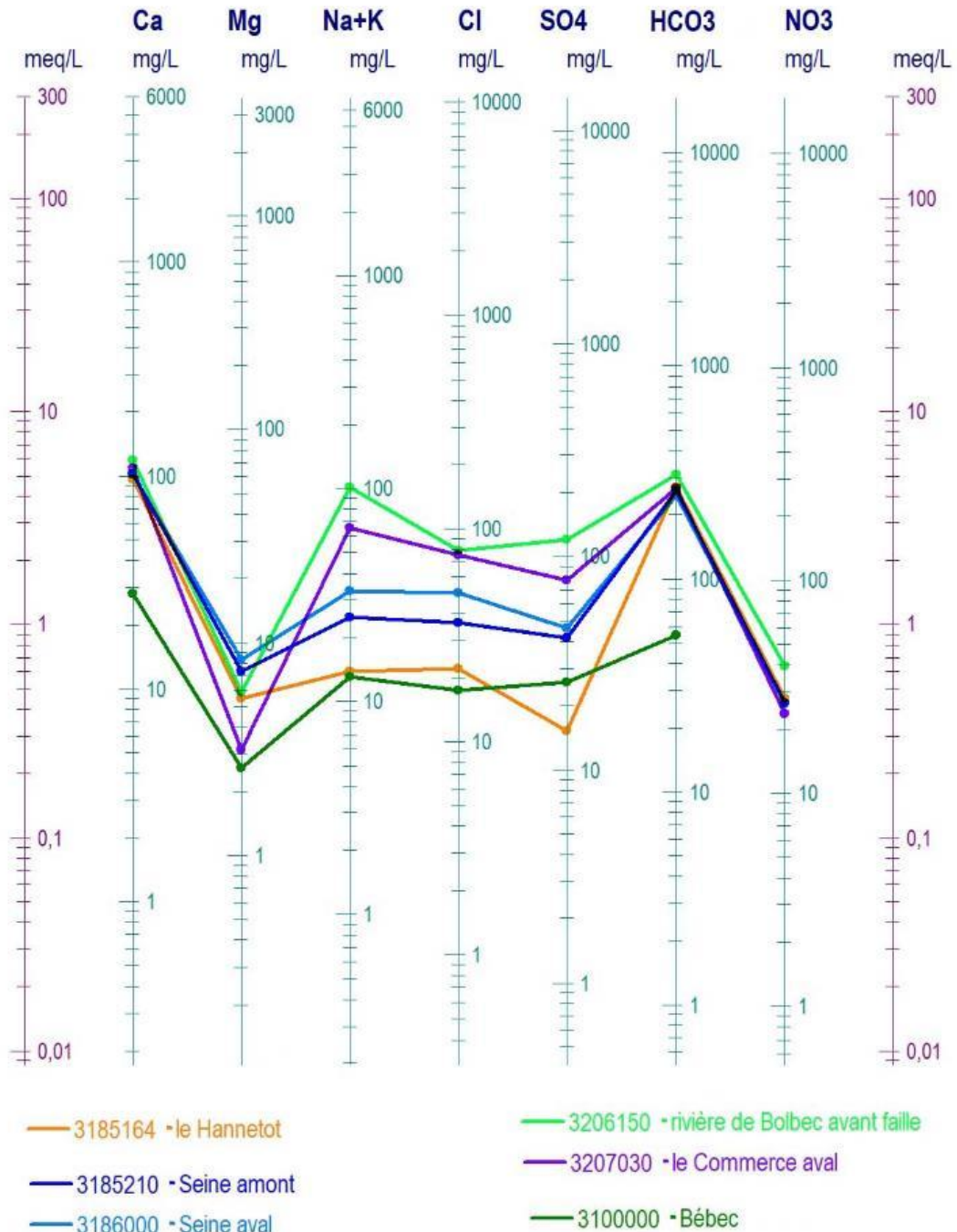


Illustration 281 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff de 6 points d'eau ESU sélectionnés.

7.2.6. Relations inter-éléments : Diagrammes binaires

Les diagrammes binaires présentés dans cette section permettent d'associer deux éléments, majeur-majeur, ou majeur-trace, ou deux ratios d'éléments. L'objectif de ces diagrammes est de mettre en évidence les relations inter-éléments au sein des eaux souterraines et superficielles du secteur du SAGE Commerce.

Ces diagrammes permettent également d'identifier des pôles, aussi appelés « end-members » qui influencent la chimie des eaux souterraines et/ou superficielles. Un point d'eau peut ainsi être influencé par exemple par deux pôles distincts.

La droite de dilution de l'eau de mer est tracée en bleu sur certains graphiques.

Na vs Cl

Le diagramme Na vs Cl permet notamment de mettre en évidence l'influence du pôle « eau de mer » dans l'acquisition de la chimie des eaux.

Dans le diagramme Na vs Cl (Illustration 282), deux groupes de points se distinguent :

- Ceux qui s'alignent plus ou moins sur la droite de dilution de l'eau de mer ;
- Ceux qui ne s'alignent pas sur la droite de dilution de l'eau de mer, qui ont des concentrations en Na et Cl plus élevées, mais surtout dont la chimie indique un net enrichissement en Na.

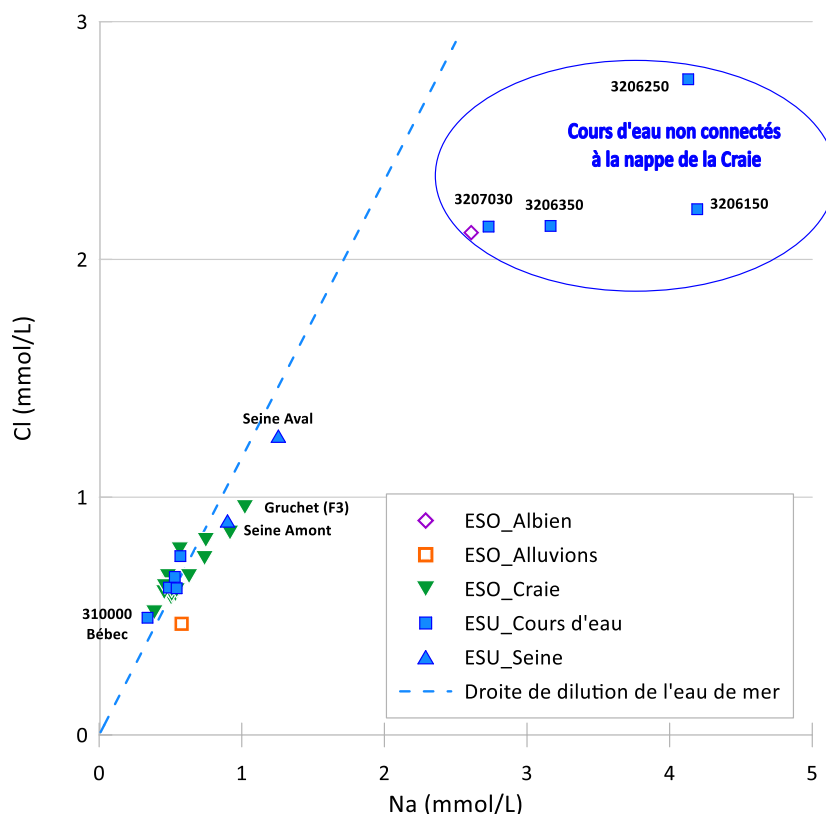


Illustration 282 : Cl vs Na (mmol/L) pour les points d'eau ESO et ESU retenus du secteur d'étude

Pour les points d'eau ESO, ils s'alignent sur la droite de dilution locale de l'eau de mer, à l'exception du point d'eau captant la nappe des Sables de l'Albien-Aptien (losange violet - Albien sur le graphique, on précise que cet aquifère est captif sur l'ensemble du territoire du SAGE).

Pour les points d'eau ESU, deux groupes se distinguent : un premier avec des concentrations proches des points d'eau ESO de la Craie, qui s'alignent également sur la droite de dilution de l'eau de mer ; et un second groupe constitué de 4 points d'eau ESU, correspondant aux stations de mesures (3206250, 3206150, 3206350 et 3207030). Une première interprétation d'après le diagramme Cl vs Na permet de d'indiquer que ces 4 points d'eau ESU (ont une chimie nettement différente des autres points d'eau ESU et de la nappe de la Craie. **Sur les illustrations ces points sont indiqués comme étant « déconnectés de la nappe de la craie ».**

K vs Cl

Le diagramme K vs Cl (Illustration 283) permet de mettre en évidence :

- 3 pôles distincts pour les points d'eau ESU retenus dans le cadre de cette étude :
 - o 1^{er} pôle, formé par les points d'eau ESU qui ont une chimie similaire à la nappe de la Craie (3185164, 3000000, 3185950 et 3185620) ;
 - o 2^{ème} pôle qui comprend les 4 points d'eau ESU situé sur la rivière de Bolbec et du Commerce (3206250, 3206150, 3206350 et 3207030) qui ont une chimie différente de la nappe de la Craie, des sables de l'Aptien-Albien et des alluvions ;
 - o Le point d'eau (3100000) situé sur le Bébec qui possède une chimie différente des 2 autres pôles ;
- 3 pôles distincts pour les eaux souterraines :
 - o 1^{er} pôle : la nappe de la Craie ;
Remarque : on ne distingue pas variabilité entre les points d'eau ESO (sources et forages) qui captent soit la nappe de la Craie du Sénonien, soit la nappe de la Craie du Turonien et /ou du Cénomaniens, soit un mélange des deux ;
 - o Les points d'eau ESO captant la nappe des alluvions anciennes (2^{ème} pôle) et celle des sables de l'Aptien-Albien (3^{ème} pôle) constituent à eux seuls deux pôles distincts.
- Le lien ESO-ESU entre la nappe de la Craie et les points d'eau ESU (3185164, 3000000, 3185950 et 3185620) est à nouveau confirmé, ouvrages globalement situés dans la moitié sud du territoire du SAGE Commerce ;
- Les points d'eau ESU sur la Seine, amont et aval, sont assez proches chimiquement l'un de l'autre, on note ici un enrichissement en Cl d'amont en aval ; ceci était également visible sur le diagramme Na vs Cl. Il est probable que l'enrichissement en Cl soit le fait de remontées d'eau saumâtre dans l'estuaire de la Seine. Toutefois, à ce stade, il est également possible d'envisager un enrichissement des eaux de la Seine par la rivière du Commerce.
- Le point d'eau ESO, Gruchet F3, se distingue des autres points d'eau ESO captant la Craie ; **il est possible de supposer une légère contribution à la chimie de ce point par des eaux provenant de l'amont, par exemple celles des ESU correspondant aux cours d'eau non connectés à la nappe de la Craie (Illustration 283).**

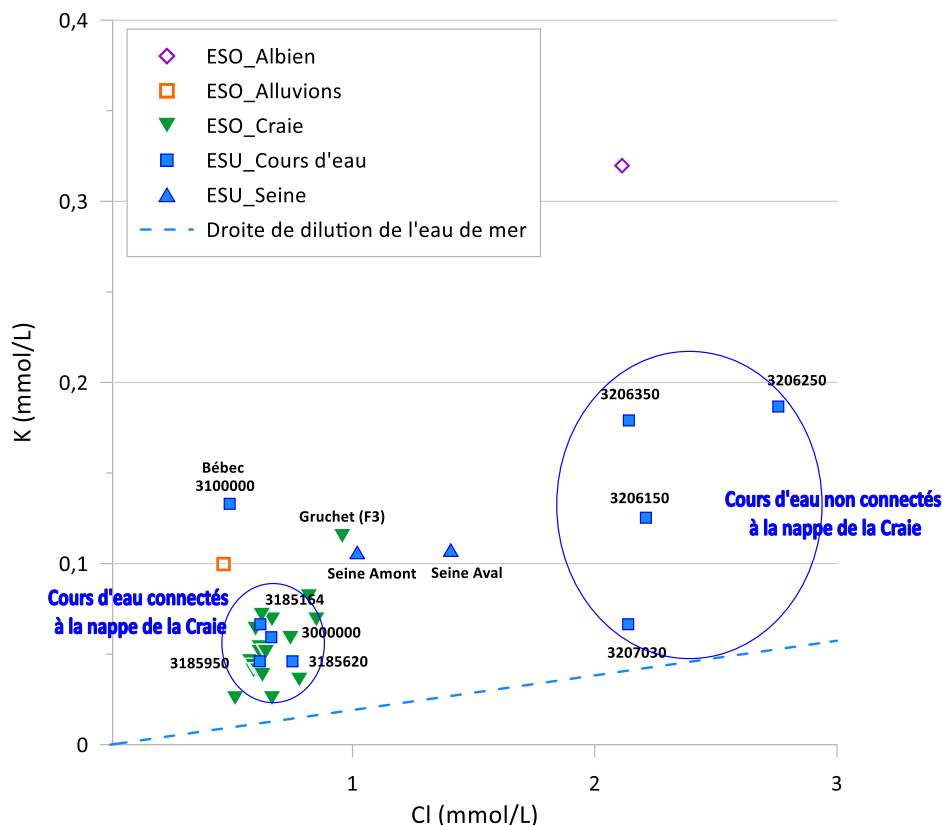


Illustration 283 : K vs Cl (mmol/L) pour les points d'eau ESO et ESU retenus du secteur d'étude

Ca vs HCO₃ et Ca + Mg vs HCO₃

Les diagrammes Ca vs HCO₃ et Ca + Mg vs HCO₃ permettent de mettre en évidence les processus d'interaction eau-roche avec les carbonates.

Le diagramme Ca vs HCO₃ (Illustration 284) permet d'indiquer effectivement l'importance des processus interaction eau-roche avec des carbonates dans l'acquisition des concentrations en Ca et HCO₃. En effet, la majorité des points d'eau ESO et ESU s'alignent légèrement au-dessus d'une droite de pente 1 : 2. **La source Azarias Selle est la plus minéralisée, alors que le point d'eau ESU sur le Bébec est le moins minéralisé.**

Les points d'eau ESU captant la nappe des sables de l'Aptien-Albien et la nappe des alluvions anciennes se distinguent nettement des autres par leur position dans le diagramme Ca vs HCO₃, situés bien en-dessous de la droite de pente 1 : 2.

Le diagramme Ca + Mg vs HCO₃ (Illustration 284) permet de compléter ces premiers constats. La droite de pente 1 : 2 permet de mettre en évidence les processus d'interaction eau-roche avec des carbonates calciques et magnésiens, comme la dolomie. Dans le graphique, l'ensemble des points d'eau ESU et les points d'ESO correspondant à la nappe de la Craie sont légèrement enrichis en alcalino-terreux (Ca + Mg) par rapport à la droite de pente 1 : 2.

Par contre, les eaux des Sables de l'Albien-Aptien et des alluvions sont globalement alignées sur la droite.

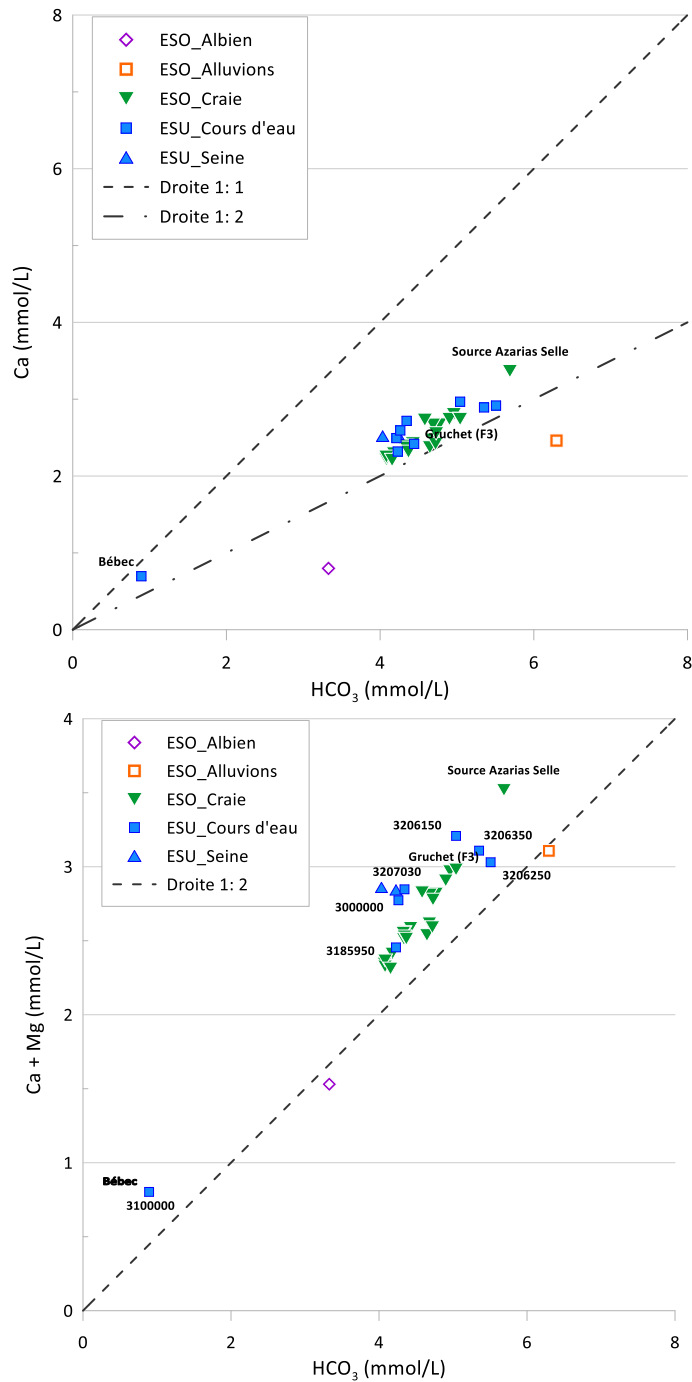


Illustration 284 : Ca vs HCO₃ et Ca + Mg vs HCO₃ (mmol/L) pour les points d'eau ESO et ESU retenus du secteur d'étude

Ca vs SO₄

Le diagramme Ca vs SO₄ (Illustration 285) confirme également les différents pôles mis en évidence précédemment, ainsi que les hypothèses proposées.

Il permet clairement de distinguer :

- les eaux souterraines de Craie, auxquelles sont reliés certains cours d'eau ;

- le point d'eau ESO de l'Albien ;
- les cours d'eau, en amont de la zone d'étude, « non connectés à la nappe de la Craie » ;
- les eaux de la Seine amont et aval situées entre le pôle de la Craie et le pôle des cours d'eau « non connectés à la nappe de la Craie » ;
- la source Azarias Selle, qui a sa chimie propre ;
- le forage de Gruchet F3, qui correspond à une chimie de base de la nappe de la Craie, influencée en partie par les cours d'eau « non connectés à la nappe de la Craie ».

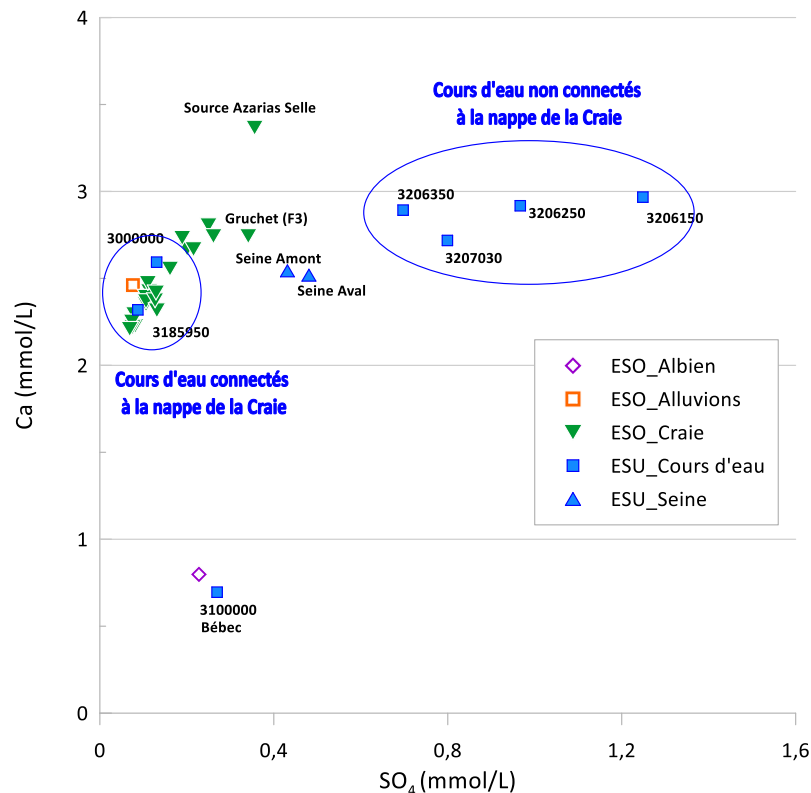


Illustration 285 : Ca vs SO₄ (mmol/L) pour les points d'eau ESO et ESU retenus du secteur d'étude

Cl vs NO₃ et SO₄ vs NO₃

Les diagrammes Cl vs NO₃ et SO₄ vs NO₃ (Illustration 286) permettent :

- de discriminer les différents pôles en fonction de la géologie des aquifères (Craie, sables de l'Aptien-Albien, alluvions anciennes) ;
- de distinguer les 2 principaux groupes pour les eaux de surface, en lien ou pas avec la chimie de la nappe de la Craie ;
- de montrer l'influence possible (mais peu probable en termes de flux) de la rivière du Commerce sur la chimie des eaux de la Seine, en effet la chimie du point d'eau ESU Seine aval est possiblement influencée par la chimie des eaux provenant de la rivière de Bolbec et du Commerce (« Cours d'eau non connectés à la nappe de la Craie ») ;
- de confirmer le lien entre la nappe de la Craie et les points d'eau ESU (3185620, 3000000, 3185164, 3185950) ;
- de mettre en évidence que les points d'eau ESO correspondant à la nappe des sables de l'Aptien-Albien et des alluvions anciennes ne sont pas contaminés par les nitrates. On peut s'interroger sur la protection de ces ressources ou les éventuels processus de dénitrification qui pourraient exister dans les aquifères captés par ces ouvrages.

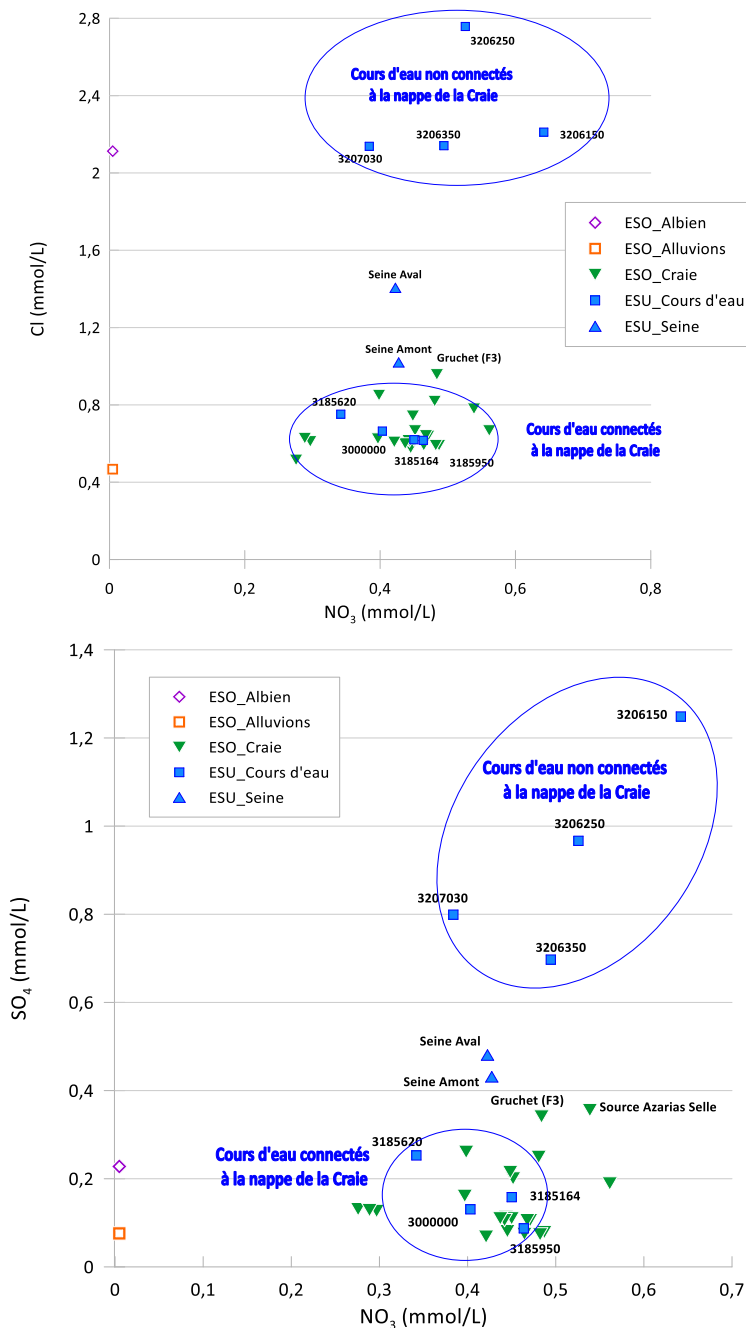


Illustration 286 : Cl vs NO₃ et SO₄ vs NO₃ (mmol/L) pour les points d'eau ESO et ESU retenus du secteur d'étude

Ca/Na vs Ca/Mg et K/Na vs Ca/Na

Les rapports molaires Ca/Na, Ca/Mg et K/Na ont été utilisés dans les diagrammes binaires ci-après (Illustration 287 et Illustration 288).

Ces diagrammes permettent de :

- valider le lien ESO-ESU des cours d'eau connectés à la nappe de la Craie ;
- distinguer nettement les cours d'eau non connectés à la nappe de la Craie ; ils ne sont pas non plus connectés au pôle Albien ou aux Alluvions ;

- distinguer les eaux de la Seine, qui se situent globalement entre le pôle de la nappe de Craie et celui des cours d'eau non connectés à la nappe de la Craie, bien que le ratio Ca/Mg soit un peu plus faible ;
- distinguer les forage ESO Gruchet F3, de nouveau situés entre le pôle de la nappe de la Craie et celui des cours d'eau non connecté à la nappe de la Craie ; la chimie de ce point d'eau indique clairement un mélange ;
- distinguer la Source Azarias Selle, dont la chimie est différente de celle des points d'eau ESO captant la Craie ;
- distinguer le point d'eau ESU Le Bébec, qui est clairement différent des autres points d'eau du secteur d'étude ;
- de valider deux pôles supplémentaires, que sont l'Albien et les alluvions.

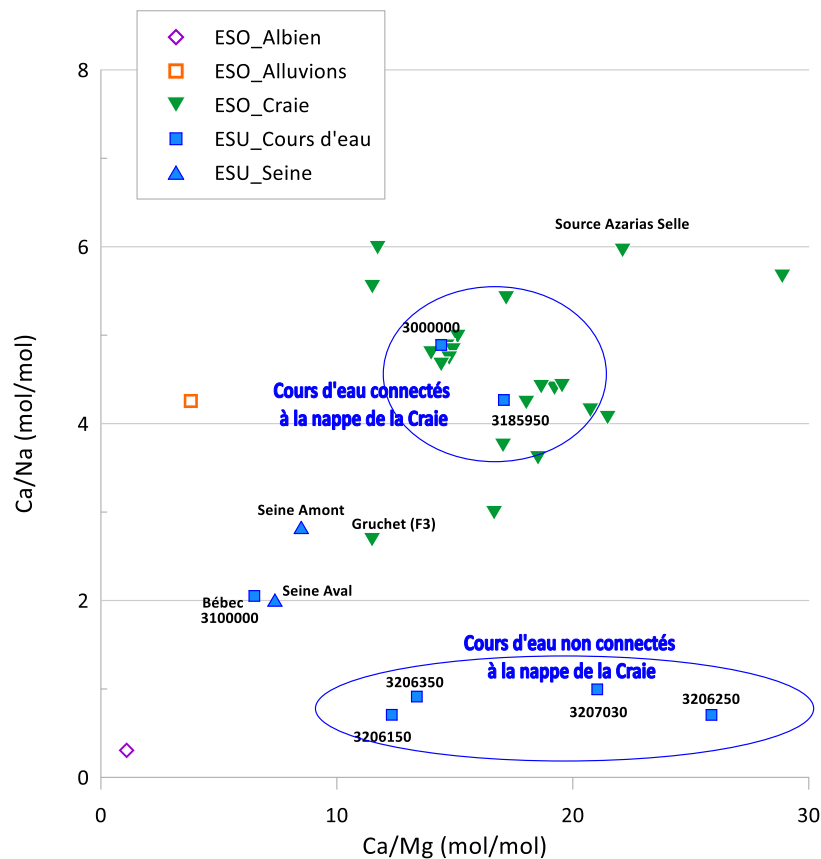


Illustration 287 : Ca/Na vs Ca/Mg (mol/mol) pour les points d'eau ESO et ESU retenus du secteur d'étude

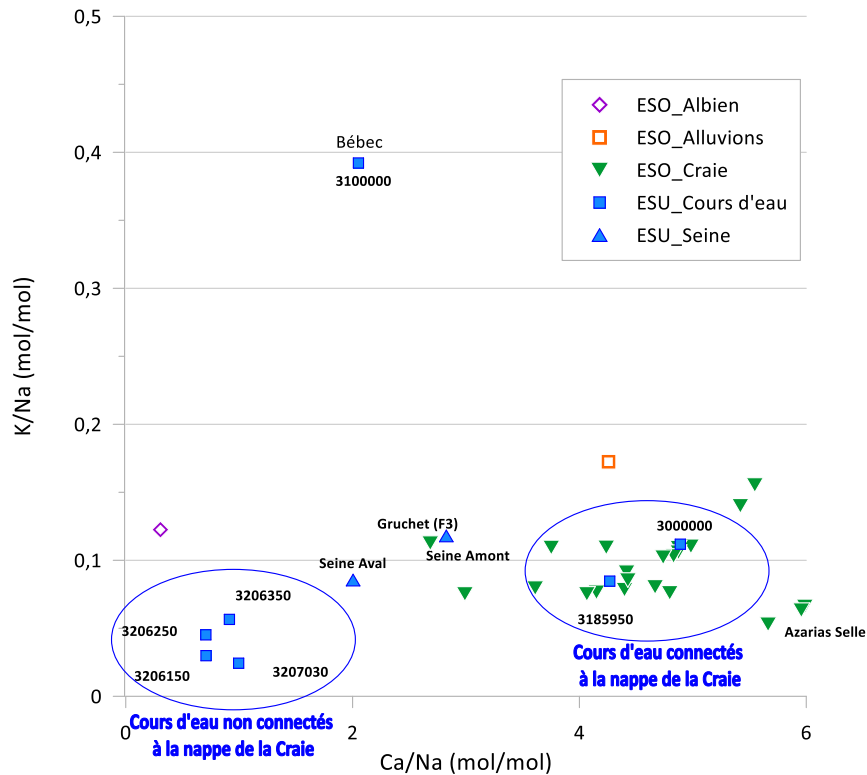


Illustration 288 : K/Na vs Ca/Na (mol/mol) pour les points d'eau ESO et ESU retenus du secteur d'étude.

7.3. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES *IN SITU*

7.3.1. Données eaux souterraines (ESO)

Les résultats des valeurs médianes calculées pour les paramètres physico-chimiques disponibles dans ADES par point d'eau pour la période de référence sont présentés dans le Tableau 47 ci-après. Il s'agit de la température de l'eau, de la conductivité électrique, du pH et du potentiel d'oxydo-réduction.

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

ESO/ESU	Indice BSS	Nature du point	Nom ouvrage	Géologie simple	Température (°C)	Conductivité électrique (µS/cm)	pH	eH (mV)
					25	180 - 1000	6,5 - 9	300
ESO	00756X0004/F	Forage AEP	Gruchet (F1)	Craie	12,6	652	7,2	
ESO	00756X0005/F	Forage AEP	Gruchet (F2)	Craie	12,3	610	7,2	
ESO	00756X0139/F	Forage AEP	Gruchet (F3)	Craie	12	600	7,2	130
ESO	00756X0039/F	Forage AEP	St-Antoine (Gruchet F4)	Craie	11,6	519	7,3	200,5
ESO	00756X0040/F	Forage AEP	C1 - Site de Radicatel	Craie	11,4	519,5	7,3	
ESO	00756X0041/F	Forage AEP	C2 - Site de Radicatel	Craie	11,3	558	7,3	
ESO	00756X0042/F	Forage AEP	C4 - Site de Radicatel	Craie	11,5	553	7,3	
ESO	00756X0043/F	Forage AEP	C5 - Site de Radicatel	Craie	11,8	558	7,3	
ESO	00756X0045/F	Forage AEP	C7 - Site de Radicatel	Craie	11,5	730	7,1	
ESO	00756X0070/HY	Source	Azarias Selle	Craie	11,3	521	7,3	
ESO	00756X0082/HY	Source	Fontaine du Four aux Veaux – site de Radicatel	Craie	11,3	550	7,2	
ESO	00756X0120/HY	Source	Captage du Moulin A Ouest – site de Radicatel	Craie	11,3	552	7,2	130
ESO	00756X0121/HY	Source	Captage du Moulin B Est – site de Radicatel	Craie	11,5	520	7,3	130
ESO	00756X0122/HY	Source	Captage de la Bruisseresse – site de Radicatel	Craie	11,6	660	7,2	
ESO	00756X0138/F	Forage AEP	Forage du Becquet	Craie	11,7	507	7,3	225
ESO	00756X0151/F1	Forage AEP	F1	Craie	12,1	569	7,4	
ESO	00757X0004/F	Forage AEP	Trinité du Mont	Craie	11,1	600	7,3	
ESO	00757X0005/F	Forage AEP	Fontaine St Denis	Craie	12,3	501	7,4	
ESO	00982X0083/F	Forage AEP	A2 – Site de Radicatel	Craie	11,8	570	7,3	
ESO	00983X0029/F	Forage AEP	Cité de la petite Campagne (F1)	Craie	11,6	563,5	7,3	
ESO	00983X0058/F2	Forage AEP	Cité de la petite Campagne (F2)	Craie	11,2	587	7,2	
ESO	00984X0089/FDEFIN	Forage AEP	Saint-Maurice d'Ételan	Craie	14	593	8,1	177
ESO	00756X0046/F	Forage AEP	CH1 - Site de Radicatel	Albien	11,6	635	7,4	
ESO	00756X0047/S	Forage	SPIE 6 - Site de Radicatel	Alluvions	12,1	702	7,2	130

Tableau 47 : Tableau récapitulatif des résultats des paramètres physico-chimiques in situ pour les points d'eau souterraine retenus.

Une analyse statistique descriptive de l'ensemble de ces points d'eau ESO permet de mettre en évidence qu'ils sont tous conformes aux références qualité appliquées pour l'eau souterraine concernant ces paramètres. Les références qualité et les résultats statistiques effectués (min, moyenne, médiane, max, écart-type) sont présentés dans le tableau ci-après (Tableau 48).

Les données de température sont conformes à celles attendues pour des eaux souterraines en Normandie, avec une valeur moyenne comprise entre 11,5 et 12°C.

Le pH des eaux est représentatif d'une eau souterraine, bien que le pH de 8,1 relevé sur le forage de St Maurice d'Ételan soit légèrement élevé pour une eau strictement souterraine (artefact dû au site ?).

Les valeurs de conductivité indiquent une plus grande variabilité, mais restent conformes aux valeurs attendues (cf. paragraphe 7.3.3).

Les valeurs du potentiel d'oxydo-réduction sont toutes positives et inférieures à 300 mV. Néanmoins, un doute raisonnable peut être émis sur la représentativité de ces valeurs bancarisées dans ADES, qui ne sont pas toujours fiables, ou du moins correspondent encore souvent à des potentiels redox mesurés sur le terrain et non à des données corrigées par rapport au potentiel de l'électrode de référence, à savoir l'électrode normale à hydrogène (ENH).

En comparant les valeurs de température, conductivité et pH pour les points d'eau de l'Albien et des alluvions, aux résultats moyens pour la Craie, plusieurs observations peuvent être faites :

- Les températures sont proches, bien que celle des alluvions soit un peu plus élevée en moyenne ;
- Les valeurs de pH sont similaires, notamment en considérant l'erreur analytique de 0,1 pour le pH ;
- Les unités géologiques (Craie, Albien, Alluvions) semblent se distinguer par la conductivité de leurs eaux souterraines ; cet élément sera discuté par la suite, notamment au regard des résultats pour les éléments majeurs.

	Température (°C)	Conductivité électrique (µS/cm)	pH	eH (mV)
Références qualité ESO	25	180 - 1000	6,5 - 9	300
Minimum	11,1	501	7,1	130
Moyenne	11,8	580	7,3	160
Médiane	11,6	566	7,3	130
Maximum	14,0	730	8,1	225
Ecart type	0,6	59	0,2	37
Moyenne Craie	11,8	572	7,3	165
Albien	11,6	635	7,4	
Alluvions	12,1	702	7,2	130

Tableau 48 : Statistiques descriptives des paramètres physico-chimiques in situ pour les points d'eau souterraine retenus.

7.3.2. Données eaux superficielles (ESU)

Les résultats des valeurs médianes calculées pour les paramètres physico-chimiques disponibles dans Naïades par point d'eau ESU pour la période de référence sont présentés dans le tableau ci-après. Il s'agit de la température de l'eau, de la conductivité électrique, du pH et du potentiel d'oxydo-réduction.

ESO/ESU	Numéro Station	Nature du point	Nom ouvrage	Température (°C)	Conductivité électrique (µS/cm)	pH	eH (mV)
				-	180 - 1000	6 - 9	-
ESU	3185164	Cours d'eau	Le Hannetot	11,1	580	7,2	
ESU	3185620	Cours d'eau	Le Theluet	11,7	574	8,0	
ESU	3206150	Cours d'eau	Rivière de Bolbec avant faille	12,0	1 050	7,6	
ESU	3206250	Cours d'eau	Rivière de Bolbec non connectée à la nappe	13,0	975	8,0	
ESU	3206350	Cours d'eau	Rivière de Bolbec connectée à la nappe	13,0	962	8,1	
ESU	3207030	Cours d'eau	La rivière du Commerce	13,1	765	7,7	
ESU	3185950	Cours d'eau	La Brouisseriesse	11,8	535	7,7	
ESU	3000000	Cours d'eau	Les Cahots		568	7,5	
ESU	3100000	Cours d'eau	Le Bébec				
ESU	3185210	Seine	Seine Amont	13,2	615	8,0	181
ESU	3186000	Seine	Seine Aval	13,4	758	8,0	159

Tableau 49 : Tableau récapitulatif des résultats des paramètres physico-chimiques in situ pour les points d'eau superficielle retenus.

Une analyse de l'ensemble de ces points d'eau ESU permet de mettre en évidence qu'ils sont dans leur majorité conformes aux références qualité appliquées pour l'eau superficielle mais aussi pour l'eau souterraine ; mis à part un point d'eau qui a une conductivité un peu trop élevée.

Une analyse statistique descriptive a été réalisée pour l'ensemble de ces points d'eau ESU. Les références qualité ESU et les résultats statistiques effectués (min, moyenne, médiane, max, écart type) sont présentés dans le Tableau 50.

	Température (°C)	Conductivité électrique (µS/cm)	pH	eH (mV)
Références qualité ESU	-	180 - 1000	6 - 9	-
Minimum	11,1	535	7,2	159
Moyenne	12,5	738	7,8	170
Médiane	13,0	686	7,8	170
Maximum	13,4	1 050	8,1	181
Ecart type	0,8	185	0,3	11

Tableau 50 : Statistiques descriptives des résultats des paramètres physico-chimiques in situ pour les points d'eau superficielle retenus.

Les données de température médiane sont conformes à celles attendues pour des eaux superficielles en Normandie, avec une valeur moyenne comprise entre 11,5 et 13°C ; elles sont légèrement plus élevées que celles des ESO.

Le pH médian des eaux est représentatif d'une eau superficielle, tous les pH sont supérieurs à 7.

Les valeurs de conductivité indiquent une plus grande variabilité, avec des valeurs comprises entre 535 et 1050 µS/Cm ; un seul point d'eau ESU a une conductivité supérieure à 1000 µS/cm (référence qualité), il s'agit de la station n° 3206150 sur le Bolbec.

Les 2 valeurs du potentiel d'oxydo-réduction sont proches, elles correspondent à des valeurs pour les stations de la Seine amont et aval. Un doute raisonnable peut être émis sur la représentativité de ces valeurs bancarisées dans NAIADES, pour les mêmes raisons que celles déjà évoquées pour les eaux souterraines.

7.3.3. Campagne 2019 de mesures de la conductivité

Approche méthodologique

Lors de la seconde campagne de mesures quantitatives, des mesures de conductivité ont été effectuées sur les cours d'eau, les sources et sur certains piézomètres ou forages du territoire du SAGE Commerce.

Ces mesures ont été mises en œuvre en particulier afin de déterminer la présence éventuelle d'anomalies qui pourraient correspondre en particulier : à des variations locales du fond hydrochimique, par exemple sous l'effet de salinisation des eaux lié à l'entraînement ou au mouvement du biseau salé dans l'estuaire, ou à des contaminations anthropiques (urbaines ou industrielles).

Les mesures ont été réalisées à l'aide d'une sonde multi-paramètres (WTW, 2011). Un étalonnage a été effectué de façon journalière afin d'éviter une dérive des mesures au cours de la campagne.

Résultats des mesures de conductivité

Au cours de la campagne, 82 points ont été mesurés, dont 17 en rivières et 65 dans des piézomètres et sources.

Les résultats ont été comparés aux données de conductivité disponibles dans la base ADES et NAIADES. Pour ces deux bases de données, les valeurs médianes de la conductivité ont été intégrées afin de comparer la situation de la campagne de 2019 à une vue d'ensemble sur les dernières années.

Les résultats sont présentés sur l'illustration 289 en page suivante.

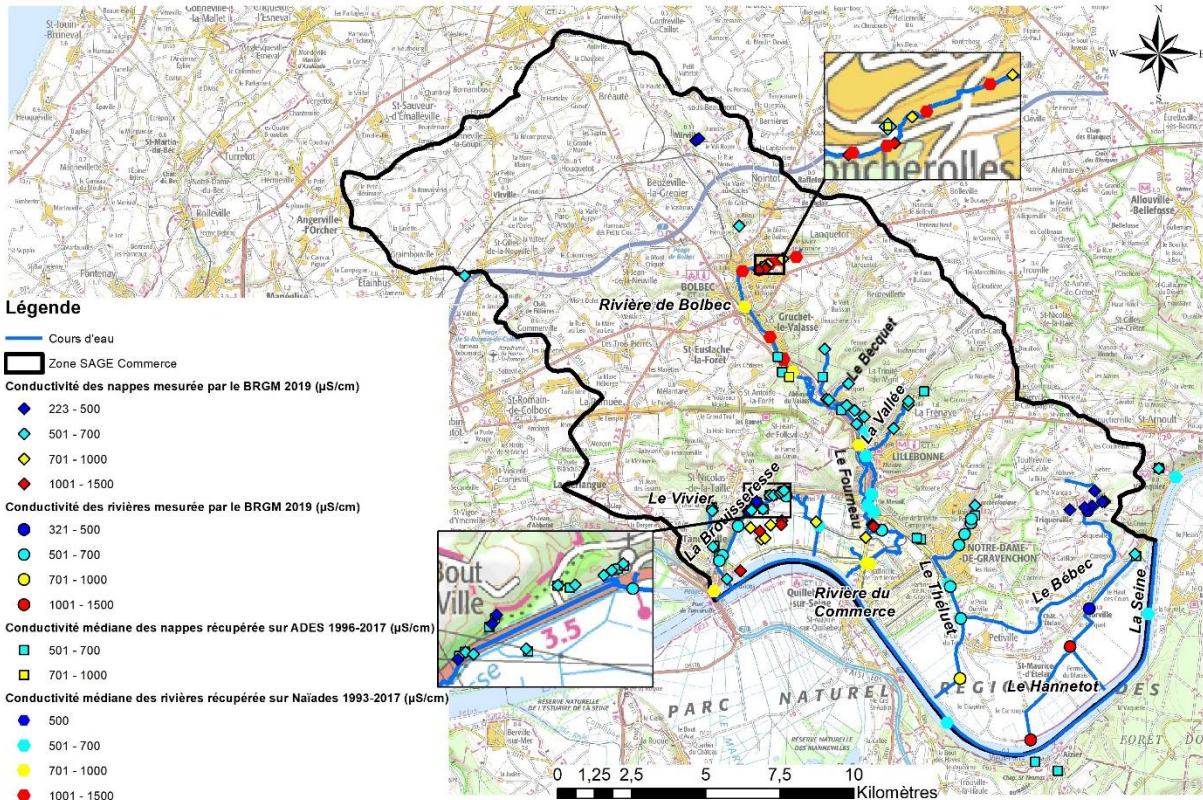


Illustration 289 : Mesures de la conductivité des eaux souterraines et superficielles, campagne BRGM 2019 et comparaison à la médiane des valeurs connues sur ADES et NAIADES.

A. Généralités

D'après Dupont (2009), la conductivité électrique de la nappe de la craie varie entre 465 et 612 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à l'échelle régionale. Chemin et al. (1992) estiment de leur côté que la conductivité de la nappe de la craie serait de 400 à 833 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dans l'Atlas hydrogéologique de Seine-Maritime.

Enfin à une échelle plus locale, Hanin (2011) a montré que la conductivité moyenne de la nappe de la craie des ressources de Radicatel variait de 400 à 550 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Pour les rivières du Pays de Caux, la conductivité moyenne est également évaluée entre 200 et 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans l'Atlas hydrogéologique de Seine-Maritime (Chemin et al., 1992).

Les valeurs mesurées pendant la campagne du BRGM et celles des bases de données (cf. Illustration 289) sont en adéquation avec les ordres de grandeur fournis par la bibliographie sur l'ensemble du secteur d'étude que ce soit pour les eaux superficielles ou souterraines.

Pour la suite de l'étude, nous avons déterminé une gamme de valeurs pour suivre l'évolution de la conductivité dans l'aquifère crayeux : entre 500 et 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cette gamme représentant 67 % des valeurs disponibles (mesurées par le BRGM et pour la médiane ADES). De plus, un contrôle de cohérence a été effectué avec les valeurs mesurées par les capteurs du réseau quantitatif disposant de sondes de mesures en continu de la conductivité (cf. paragraphe 4.3.3).

B. Les eaux superficielles

Au niveau de la rivière du Commerce, en particulier en amont du centre urbain de Bolbec, on observe une forte conductivité : 701 à 1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Celle-ci est également observée le long du cours d'eau jusqu'à l'aval de Gruchet-le-Valasse. A l'aval, jusqu'à son débouché dans la vallée de la Seine, les valeurs de la rivière sont dans la même gamme de mesure moyenne que la nappe de la craie, c'est-à-dire entre 500 et 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Plus ponctuellement des valeurs importantes peuvent être relevées comme on peut le voir avant la confluence avec la rivière de la Vallée.

Dans l'ensemble, les autres rivières du territoire du SAGE : Vivier, Brouisseresse, Vallée, Théluet, possèdent cette même gamme de mesure comprise entre 500 et 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La source du Hannetot a une valeur de conductivité $<500 \mu\text{S}/\text{cm}$, donc plus faible que les autres rivières, que l'on peut relier aux valeurs des sources du Bébec.

Dans la plaine alluviale de la Seine, la conductivité du Commerce, du Théluet et du Hannetot ont des valeurs plus fortes : 701 à 1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

C. Les eaux souterraines

Dans l'ensemble, il a été observé exactement les mêmes tendances pour les eaux souterraines que pour les eaux superficielles : une conductivité « moyenne » pour les points d'eau souterraine (Fontaine Murée, Val Horrible, la Vallée, le Théluet, le fourneau, le four à chaux, les sources de Radicatel). Une conductivité forte est également soulignée à l'amont de la rivière de Bobec, pour les ouvrages de St Marcel et dans une large portion du territoire dans la plaine alluviale de la Seine.

A ce sujet, Maillary et De la Quèrièrè relevaient déjà, dans les années 1970, une forte minéralisation : 10 à 20 fois supérieure à la normale, dans les eaux souterraines de la vallée de la Seine. Cette minéralisation pourrait expliquer les fortes conductivités observées dans les eaux souterraines de la vallée de la Seine.

A l'inverse, deux secteurs présentent des ressources avec une faible conductivité électrique $<500 \mu\text{S}/\text{cm}$: il s'agit des sources de Mirville et du Bébec. Il est à noter que les valeurs de conductivité relevées pour la nappe des sables aptien-albiens sont également plus faibles que celles relevées dans la nappe de la craie : de 200 à 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

7.4. ETAT DES LIEUX GLOBAL DE LA QUALITE DES EAUX SUPERFICIELLES ET SOUTERRAINES DU TERRITOIRE DU SAGE COMMERCE

7.4.1. Méthodologie

Objectifs

L'approche décrite ici est différente de l'approche hydrogéochimique développée précédemment. Elle a pour but notamment de :

- Dresser un état des lieux de la qualité des eaux superficielles et souterraines du territoire du SAGE ;
- Mettre en évidence les éventuelles dégradations de la qualité des eaux ;
- Proposer un suivi adapté aux problèmes identifiés et cohérent avec les enjeux du territoire.

Démarche

Les étapes de la méthode appliquée sont récapitulées ci-après :

- 1) Utiliser les données des bases Naiades et ADES pour les ESU et ESO :
 - 93 points ESO et 31 points ESU
 - Etude de l'ensemble des molécules analysées en laboratoire (+1500) ;
 - Période de référence de 1993 à 2017, les données de 2018 et 2019 n'étant pas encore disponibles dans les BD au moment de l'étude.
- 2) Calcul des :
 - P90 (90^e percentile) pour chaque molécule ;
 - Etude de la médiane et de la valeur maximum ;
 - Calculs statistiques ensuite réalisés afin de déterminer les tendances et d'essayer d'estimer les concentrations en 2027 ;
- 3) Calcul du pourcentage de dépassement des seuils pour chaque point afin de voir si des contaminations sont récurrentes ou pas.
- 4) Assembler les résultats par groupes de molécules (18 familles parmi lesquelles : paramètres physico-chimiques, éléments majeurs, mineurs et traces, pesticides, hydrocarbures, par exemple) afin de proposer des indicateurs de la qualité des eaux plus intégrateurs et explicites ;
- 5) Constituer une base de données pour chaque point, par groupe ou famille de molécules, et réaliser les cartographies associées.

Traitement des données à l'aide de Qualistat 3

Le logiciel permet de faire une analyse statistique sommaire mais qui s'avère suffisante pour répondre au besoin d'état des lieux directement à partir des données brutes²³.

Ainsi pour chaque qualitomètre et chaque molécule les informations suivantes ont été extraites :

- Percentile 90 = fond hydrochimique
- Valeur maximum = recherche pollution ponctuelle
- Médiane des valeurs = recherche pollution chronique / diffuse

²³ Qualistat utilise le code HYPE, permettant l'analyse statistique et tendancielle des séries temporelles (chroniques)

Etant donné le nombre important de molécules étudiées : plus de 1 500 au total, celles-ci ont dû être regroupées par « familles » de paramètres afin de disposer d'une meilleure lisibilité.

Les résultats ont été comparés ensuite aux références de qualité pour les eaux superficielles et souterraines fixée par la Directive Cadre sur l'Eau. En l'absence de limites ou seuils fixés pour ces paramètres, on a recherché l'existence de telles valeurs dans d'autres référentiels comme la norme pour l'alimentation en eau potable (eaux de consommation humaine), les limites sanitaires fixées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) mais également les normes de qualité environnementales (NQE – pour les eaux superficielles).

En l'absence de valeur de référence, les résultats ont été comparés à la moyenne des percentiles 90 du paramètre pour l'ensemble des points de la zone d'étude. Cette moyenne des percentiles 90 constituant une approche du « fond hydrochimique » local.

Localisation des points de suivi de la qualité des ESU et ESO

Les points de suivi de la qualité des eaux souterraines et superficielles sont représentés sur l'illustration 290 suivante. On dénombre **93 points de suivi de la qualité des ESO** et **31 points pour les ESU** pour lesquels on dispose d'au moins une valeur pour l'un des paramètres étudiés.

Certains de ces ouvrages appartiennent à des réseaux de suivi : ouvrages d'alimentation en eau potable, qualitomètres de sites industriels ou sites et sols pollués, suivi DCE agence de l'eau, etc.

Nous attirons l'attention sur le réseau de suivi des sites et sols pollués qui pourra présenter un effet pépète dans cette analyse (cf. paragraphe 7.6.5). Ces informations toutefois sont rarement bancarisées dans ADES.

Enfin, il n'est pas possible de représenter de façon synthétique l'ensemble des résultats des 1 500 molécules pour les 93 points d'eaux souterraines ou 31 d'eaux superficielles. Dans le cadre de cette étude, il a été nécessaire de regrouper les résultats par grandes familles de composés. Les cartes ainsi réalisées ont été regroupées en annexe 8.

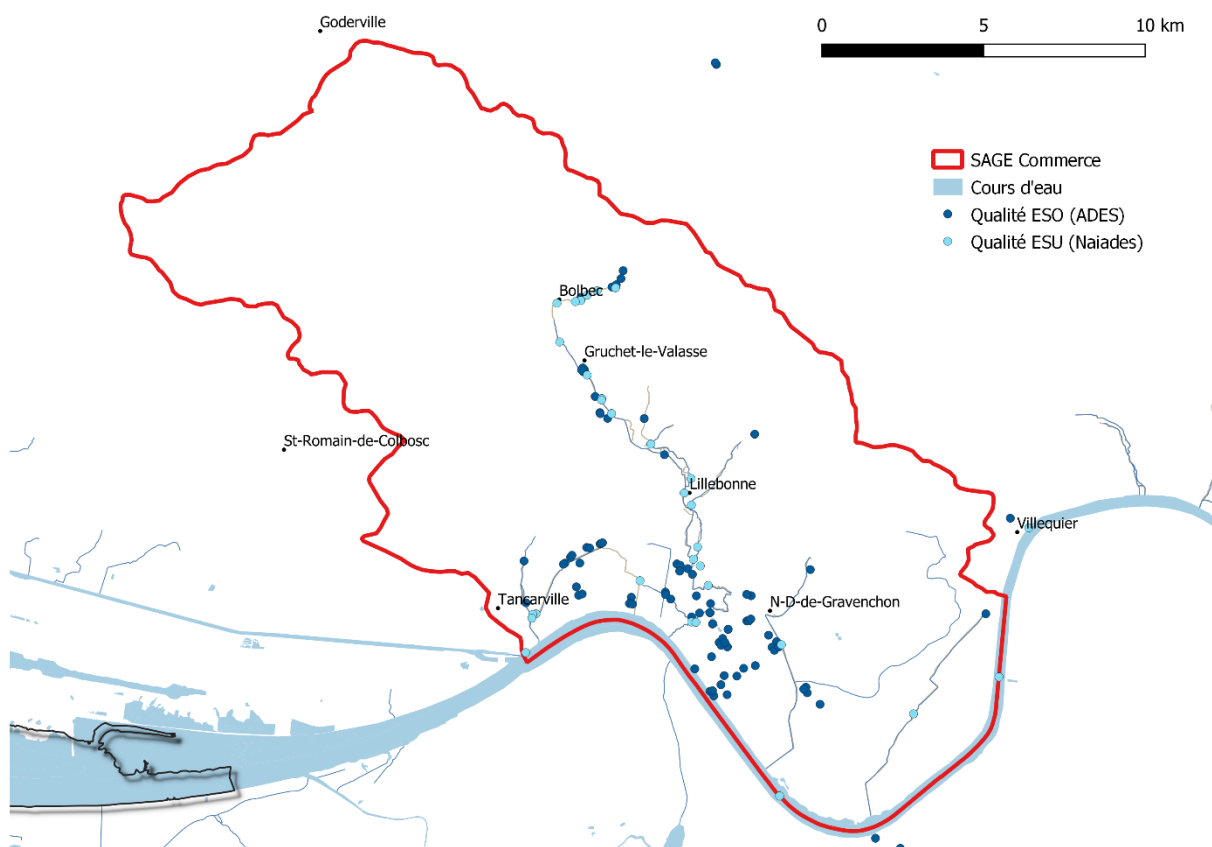


Illustration 290 : carte de localisation des points de suivi qualitatifs des ESU et ESO dont certaines données sont bancarisées respectivement sur la BD Naiades et Ades.

- Pour les eaux superficielles, on constate une absence de suivi sur :
 - le Bébec et l'amont du Théluet
 - la Fontaine Murée, le Val Horrible, l'amont de la Vallée et le ruisseau de Mirville
- Pour les eaux souterraines, on constate l'absence de point de mesure sur :
 - le quart nord-ouest du territoire du SAGE,
 - dans la plaine alluviale (secteur de Petiville),
 - sur le secteur de Triquerville.

D'une manière générale les points de suivi sont concentrés dans les vallées : Seine et Commerce.

7.4.2. Difficulté de représentation de l'évolution des concentrations dans le temps

L'hétérogénéité des données disponibles et bancarisées dans les bases de données (paramètres et fréquences de suivis) ne permet pas de présenter une analyse chronologique globale des concentrations des paramètres chimiques.

Il aurait été intéressant par exemple de proposer une illustration présentant sous forme de cartes les concentrations dans les eaux souterraines et superficielles pour plusieurs paramètres prédéfinis : comme les nitrates, les triazines, les HAP, etc... à des périodes différentes : toujours à titre d'exemple, 1995, 2005, 2015.

Il s'avère que cette analyse globale, à l'échelle du territoire du SAGE, n'est pas possible en l'état avec les éléments disponibles dans les bases de données : profondeur de chroniques et d'une répartition spatiale des points de suivi actuellement insuffisante.

Il s'agit bien entendu d'un facteur limitant pour évaluer les tendances ou l'évolution dans le temps de ces paramètres. A ce stade il n'est possible que de faire une analyse limitée point par point et paramètre par paramètre.

Faute de suivi (et de bancarisation des données collectées), il est également difficile d'évaluer les effets des politiques ou actions mises en œuvre visant à la reconquête de la qualité des masses d'eau superficielles et souterraines.

A titre d'exemple nous fournissons, en page suivante, les éléments de synthèse qu'il est possible d'établir à partir de la base de donnée constituée (données ADES et NAIADES sur la période 1993-2017) : il s'agit ici d'une évaluation du percentile 90 pour les paramètres chlorures et nitrates (Illustration 291).

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

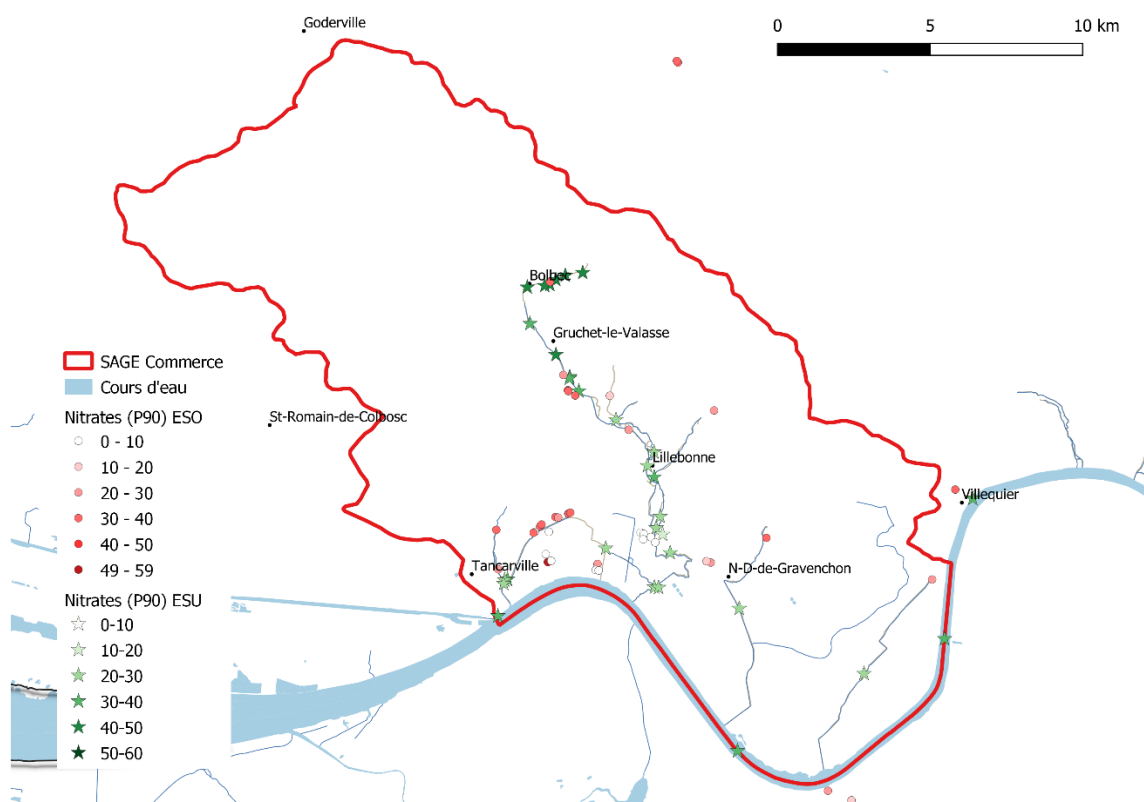
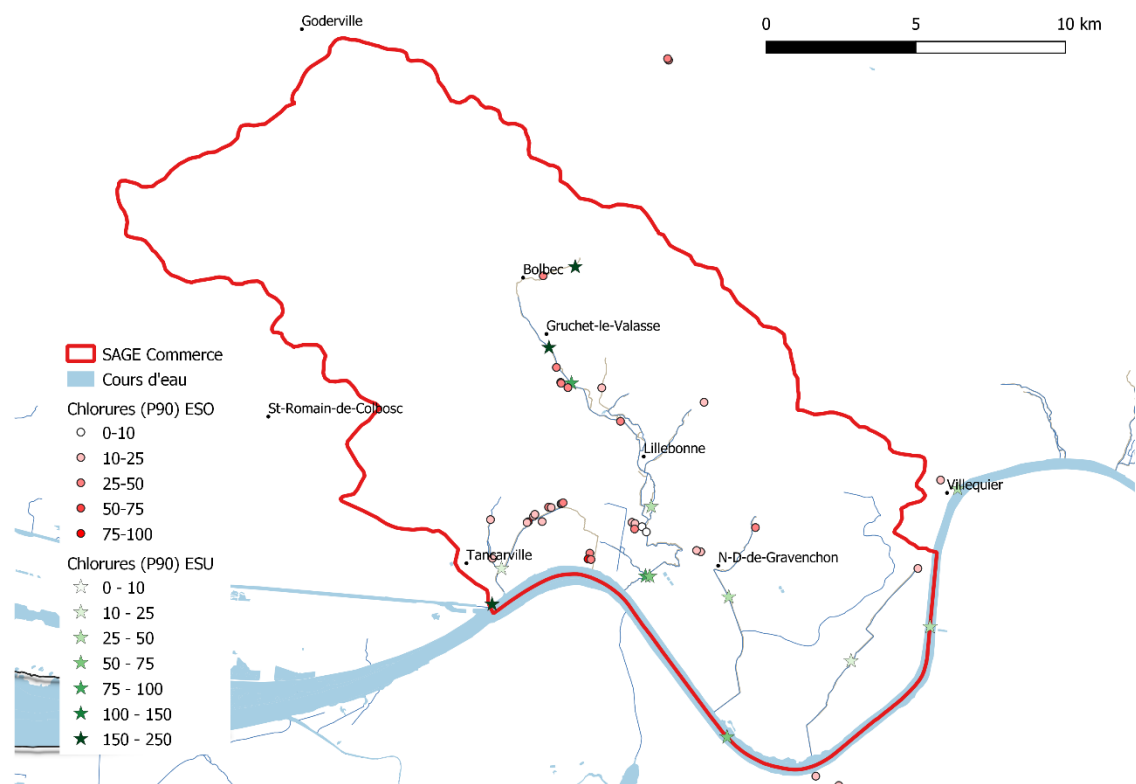


Illustration 291 : Percentile 90 des teneurs en nitrates (bas) et chlorures (haut) des points d'eau superficielles et souterraines sur la période 1993-2017

7.4.3. Analyse des dépassements des limites de référence

Eaux souterraines (ESO)

- Synthèse par groupe de paramètres

Plus de 20 600 analyses sur 93 points ESO ont été traités (moyenne de 220 analyses par point), elles s'étendent sur la période 1993-2017.

ESO		P90		DCE		Nombre total de mesure	Fréquence dépassement
Famille	Sous-Groupe paramètres	Nb médiane	Nb max	Nb médiane	Nb max		
Pesticides	Acétamides et métabolites	0	0	0	0	303	0,0%
	Divers (autres organiques)	0	0	0	6	4476	0,1%
	Organophosphorés	86	113	0	0	2264	0,0%
	Organochlorés	0	0	0	3	1295	0,2%
	Triazines et métabolites	0	0	3	11	1543	0,7%
	Triazoles et imidazoles	0	0	0	0	294	0,0%
	Urées Sulfonylurées et métabolites	0	0	0	7	1813	0,4%
Phénols	Carbamates et thiocarbamates	40	55	0	1	1421	0,1%
	Alkylphénols, nonylphénols et bisphénols A	4	41	0	0	97	0,0%
	Autres phénols	17	22	5	7	346	2,0%
Hydrocarbures	Chlorophénols	1	2	0	0	6	0,0%
	HAP	57	80	15	29	690	4,2%
	Benzène et dérivés	31	46	11	18	379	4,7%
	Chlorobenzène et mono-aromatiques halogénés	39	46	0	0	324	0,0%
	Hydrocarbures et indices liés	27	43	0	0	149	0,0%
Métaux	Chloroalcane SCCP - Parafine	0	0	0	0	10	0,0%
	Métaux et métalloïdes	37	63	9	21	392	5,4%
Physico-chimie et ions majeurs	Métaux lourds	3	4	8	38	460	8,3%
	Indices globaux (AOX, DCO, ...)	22	58	0	1	201	0,5%
	Physico-Chimie	33	82	10	37	501	7,4%
Elements nutritifs	Minéraux	90	211	1	3	546	0,5%
	Paramètres azotés	16	16	8	12	165	7,3%
Poly-Halogénés	Paramètres phosphorés	2	12	0	4	71	5,6%
	PBDE et PBB	0	7	0	0	75	0,0%
Solvants	PCB (arochlors), PCT, Dioxines, Furanes (PCDD, PCDF)	193	281	0	0	614	0,0%
	Alcools et polyols	2	2	0	0	10	0,0%
	Aldéhydes et cétones	0	0	0	1	53	1,9%
	COHV, solvants chlorés, fréons	40	172	16	25	978	2,6%
Autres éléments organiques	Organométalliques	0	1	0	0	70	0,0%
	Phtalates	5	11	0	0	70	0,0%
	Amides (hors acétamides)	0	0	0	0	707	0,0%
	Anilines et dérivés	0	0	0	0	298	0,0%
	Acides carboxyliques - tensioactif	0	0	1	1	46	2,2%

Tableau 51 : Synthèse des dépassements du seuil DCE ou du fond géochimique représenté par la moyenne des percentiles 90 de l'ensemble des points d'ESO du territoire du SAGE Commerce (Seine y compris).

Pour les eaux souterraines, les sous-groupes de paramètres dont le rapport entre le maximum mesuré, supérieur aux normes DCE, et le nombre total de mesures était supérieur à 5 % ont été colorés en jaune dans le Tableau 51. Il s'agit donc des sous-groupes de paramètres dont la fréquence de détection est a priori la plus grande.

On constate qu'il s'agit :

- Pour les métaux et métalloïdes : principalement le fer, le manganèse, l'aluminium mais également dans une moindre mesure le plomb, le cuivre, le nickel, le mercure et l'arsenic.
- Pour les paramètres physico-chimiques il s'agit de la turbidité et de la conductivité principalement.
- Enfin pour les paramètres azotés ou phosphorés, les molécules décelées le plus souvent sont l'ammonium et les orthophosphates.

Les mesures réalisées dans les eaux souterraines montrent également la présence de phtalates, de COHV, de HAP et benzène de phénols et de pesticides et probablement de traces de PCB.

Il est à noter que le groupe des pesticides est le plus recherché dans les analyses (plus de 50 % des analyses bancarisées).

La comparaison entre les dépassements des valeurs maximum et de la médiane permet d'estimer s'il s'agit de contaminations/pollutions ponctuelles ou chroniques : plus le nombre de dépassements entre les valeurs maximum et les médianes est proche et plus il peut s'agir d'une contamination chronique ou récurrente ; à l'inverse, si le nombre de dépassements avec les valeurs maximum et médianes est différent, plus il est probable que l'on se trouve dans le cas de contaminations ponctuelles.

A partir de cette hypothèse, on estime que les éléments suivants relèveraient d'une contamination chronique :

- Pesticides organophosphorés et carbamates,
- Benzène et ses dérivés,
- Ammonium,
- Présence de traces de PCB.

A l'inverse les paramètres suivants relèveraient de contaminations ponctuelles :

- Pesticides Triazines et ses métabolites,
- Métaux,
- Turbidité et conductivité,
- Orthophosphates.

Sur la base de ces hypothèses, il n'est pas possible d'indiquer s'il s'agit d'une contamination chronique ou diffuse pour les paramètres suivants : HAP et COHV.

- **Localisation des secteurs où des dépassements sont constatés**

L'analyse des cartes placées en annexe 8 permettent d'identifier plusieurs secteurs où les eaux souterraines présentent un dépassement des valeurs de référence :

- Physico-Chimie : Zone de Port-Jerome 1 et 2, St Marcel, Vivier, Radicatel, Zone Port Jerome 1 et 2 ;
- Indices globaux : St Marcel, Fontaine Murée et Becquet, Radicatel, Vivier, Norville et Zone de Port Jérôme ;
- Minéraux : Becquet + Max sur Radicatel ;
- Acide Carboxylique : Zone de Port Jerome ;
- COHV : Amont de la rivière de Bolbec, Aval de Gruchet-le-Valasse, Zone de Port Jerome et Petiville (+ Radicatel, Norville et Fontaine Murée pour le Max) ; Il est même détecté une tendance à l'augmentation des valeurs sur certaines sources de St Nicolas de la Taille et St Jean de Folleville sur la période considérée.
- Hydrocarbures (HAP principalement) : Zone de Port Jerome ++ et sources de Radicatel ;
- Métaux : Amont de la rivière de Bolbec, Radicatel, Zone de Port Jerome 1 et 2, aval du vallon du Vivier et Petiville.
- Pesticides : Villequiers, Radicatel, Vivier, St Marcel, Fontaine Murée et le Becquet ;
- Phénols : Fontaine Murée et Zone de Port Jérôme.

- **Sites et sols pollués ou potentiellement pollués**

Pour expliquer la présence de ces composés dans les eaux souterraines du territoire, nous nous proposons de vérifier leur éventuelle corrélation avec la présence éventuelle de sites et sols pollués. Ainsi, en première approche, on a pu dénombrer :

- 28 BASOL²⁴, dont 7 dans la vallée de Seine, 2 sur le bassin versant du Théluet, 19 sur le bassin versant du Commerce.
- 146 établissements BASIAS²⁵, dont 30 dans la vallée de la Seine, 25 sur le BV du Théluet, 3 sources de Radicatel, 1 pour le Hannetot et donc 87 sur le BV du Commerce.

Ces sites pollués ou potentiellement pollués sont localisés sur l'illustration 292 suivante. La plupart de ces sites sont situés dans la vallée du Commerce, autour des centres urbains et dans la vallée de la Seine et ses abords (le Théluet).

Certains de ces sites sont à l'origine de pollutions des sols et des eaux liées aux activités implantées depuis plusieurs décennies voire plus (pollutions historiques).

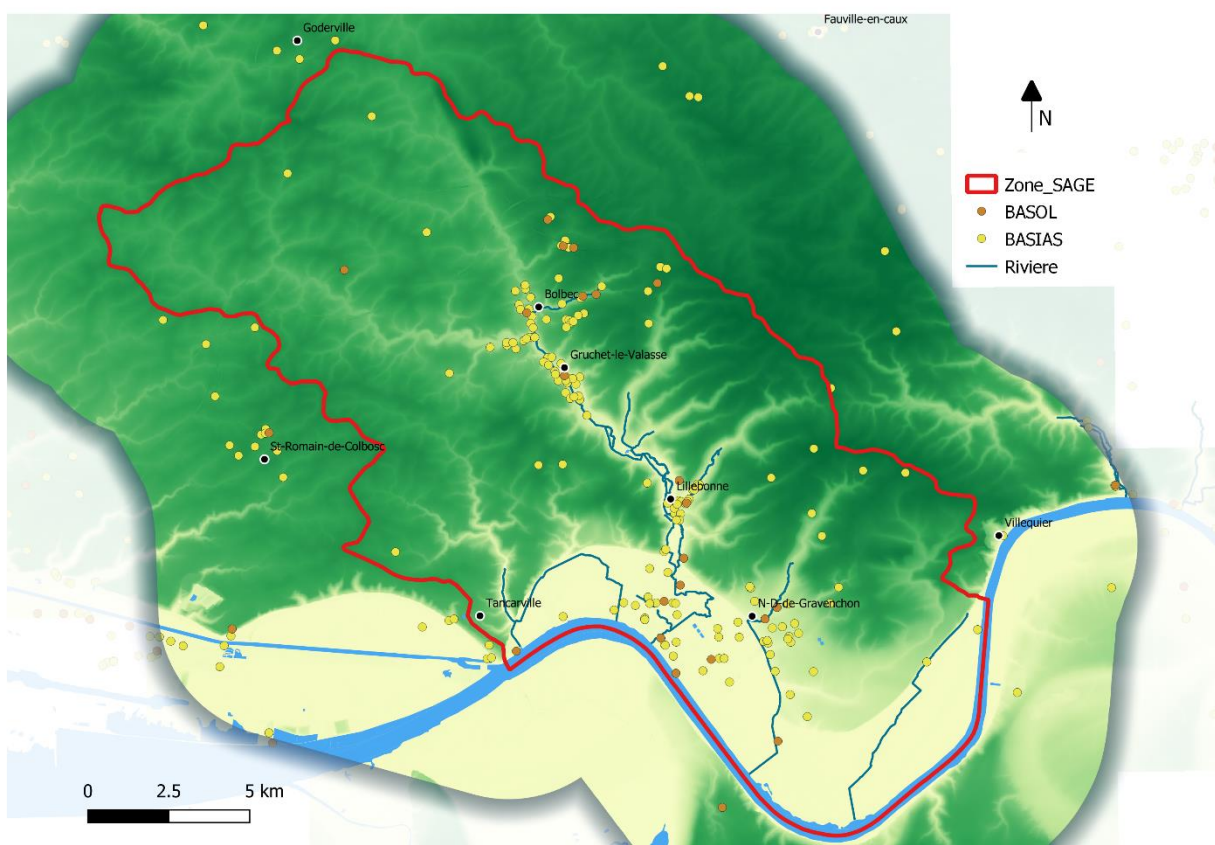


Illustration 292 : Localisation des sites pollués ou potentiellement pollués, source : BD BASIAS et BASOL (2018)

²⁴ BASOL : base de données nationale recensant, à l'échelle nationale, les sites et sols pollués (SSP) ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif

²⁵ BASIAS : acronyme de Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Services, Elle rassemble les données issues des Inventaires Historiques Régionaux (IHR) qui recensaient des sites ayant pu mettre en œuvre des substances polluantes pour les sols et les nappes en France

Les fiches BASOL consultées font apparaître des pollutions de sols et parfois de la nappe pour les familles de polluants suivants : hydrocarbures, BTEX et HAP, COV, métaux, solvants, Ammonium et Phosphates, Cyanures notamment.

Par exemple, l'Apave (2017) a pu mettre en évidence, pour les eaux souterraines des alluvions récentes des environs du site Ecostuaire, des anomalies de concentrations en métaux (Arsenic, Titane, Plomb,...), hydrocarbures (HCT notamment), AOX, Ammonium et Phosphore notamment.

Important : **Les données des suivis ne sont que très partiellement disponibles, en particulier sous ADES.** Aussi pour évaluer l'état global des contamination (dans l'espace) et valider cette approche corrélatoire, il nous semble nécessaire de pouvoir disposer des suivis réalisés : déclaration des ouvrages/piézomètres/qualitomètres et renseignement de la base de données GIDAF²⁶. La collecte de ces informations permettra, à l'avenir, d'améliorer les connaissances sur la qualité des milieux et d'estimer des tendances si les données sont collectées et renseignées dans le temps dans les bases de données (au gré des chantiers de dépollution notamment).

En l'absence de ces informations et de ce suivi, il est difficile de faire un rapprochement fin de la situation de la qualité des eaux souterraines avec la présence de ces sites. Nous conseillons à ce titre de procéder par exemple à une analyse globale de l'état des milieux pour les principaux foyers de pollutions suspectés.

²⁶ Gestion Informatisée des Données d'Autosurveillance Fréquente

Eaux superficielles (ESU)

• Synthèse par groupe de paramètres

Plus de 9 400 analyses sur 31 points ESU ont été traités (moyenne d'environ 300 analyses par point, ce qui est mieux que les ESO) et concernent la période 1993-2017.

ESU	Sous-Groupes paramètres	P90		DCE		Nombre total de mesure	Fréquence dépassement
		Nb médiane	Nb max	Nb médiane	Nb max		
Pesticides	Acétamides et métabolites	0	0	1	11	126	8,7%
	Divers (autres organiques)	26	26	12	79	1780	4,4%
	Organophosphorés	0	0	0	17	720	2,4%
	Organochlorés	4	4	0	77	531	14,5%
	Triazines et métabolites	0	0	0	33	508	6,5%
	Triazoles et imidazoles	0	0	1	8	106	7,5%
	Urées Sulfonylurées et métabolites	0	0	1	23	564	4,1%
	Carbamates et thiocarbamates	1	1	0	5	440	1,1%
	Alkylphénols, nonylphénols et bisphénols A	12	12	0	2	170	1,2%
	Autres phénols	9	9	1	21	400	5,3%
Phénols	Chlorophénols	2	2	0	0	7	0,0%
	HAP	19	19	7	21	259	8,1%
	Benzène et dérivés	16	16	1	20	205	9,8%
	Chlorobenzène et mono-aromatiques halogénés	20	20	0	0	372	0,0%
	Hydrocarbures et indices liés	7	7	0	0	36	0,0%
Hydrocarbures	Chloroalcane SSCP - Parafine	0	0	0	0	11	0,0%
	Métaux et métalloïdes	9	9	23	39	169	23,1%
	Métaux lourds	7	7	13	60	168	35,7%
	Indices globaux (AOX, DCO, ...)	12	12	2	4	127	3,1%
Physico-chimie et ions majeurs	Physico-Chimie	6	6	24	50	162	30,9%
	Minéraux	18	18	0	12	198	6,1%
	Paramètres azotés	1	1	3	50	114	43,9%
Elements nutritifs	Paramètres phosphorés	0	0	5	12	40	30,0%
	PBDE et PBB	19	19	0	0	258	0,0%
Poly-Halogénés	PFC (PFOA, PFOS)	5	5	1	1	51	2,0%
	PCB (arochlors), PCT, Dioxines, Furanes (PCDD, PCDF)	40	40	0	0	395	0,0%
	Alcools et polyols	4	4	0	0	27	0,0%
Solvants	Aldéhydes et cétones	0	0	0	7	24	29,2%
	COHV, solvants chlorés, fréons	11	11	10	24	387	6,2%
	Organométalliques	1	1	0	14	181	7,7%
Autres éléments organiques	Phtalates	7	7	0	0	171	0,0%
	Amides (hors acétamides)	1	1	1	15	299	5,0%
	Anilines et dérivés	14	14	0	4	361	1,1%
	Acides carboxyliques - tensioactif	0	0	2	2	28	7,1%
	Hormones	10	10	0	0	35	0,0%
	Stéroïdes et stéroïdes (oestrogènes, progestogènes)						

Tableau 52 : Synthèse des dépassements du seuil DCE ou du fond géochimique représenté par la moyenne des percentiles 90 de l'ensemble des points d'ESU du territoire du SAGE Commerce (Seine y compris).

Pour les eaux superficielles, les sous-groupes de paramètres dont le rapport entre le maximum mesuré supérieur aux normes DCE et nombre total de mesures était supérieur à 10 % ont été colorés en jaune dans le Tableau 52.

On remarque tout de suite que cette fréquence de dépassement est supérieure à celles des eaux souterraines quand on la ramène au nombre de points mesurés et du nombre total d'analyses (proportionnellement donc). On peut donc en conclure que, d'une manière générale, les eaux superficielles semblent plus affectées par les pollutions que les eaux souterraines.

On constate qu'il s'agit :

- Pour les métaux et métalloïdes : principalement l'aluminium, le plomb, le chrome, le nickel, le fer et le manganèse et dans une moindre mesure arsenic et uranium.
- Pour les paramètres physico-chimiques il s'agit de la turbidité, de la conductivité et les matières en suspension principalement. Les éléments minéraux concernent les chlorures, perchlorates et sulfures.
- Enfin pour les paramètres azotés ou phosphorés, les éléments décelés le plus souvent sont l'ammonium et les nitrites et les orthophosphates.
- Pour les solvants, phénols et autres éléments organiques, on retrouve principalement des COHV, des composants phénolés.
- Pour les hydrocarbures on retrouve principalement les HAP et les dérivés de benzène
- Enfin pour les pesticides on trouve principalement les Organochlorés, Acétamides et enfin la famille des triazines et triazoles.

Dans l'ensemble les mesures réalisées dans les eaux souterraines sur la période 1993-2017 montrent également la présence de phtalates, de COHV, de HAP et benzène de phénols et de pesticides. Ce dernier groupe est par ailleurs le plus recherché dans les analyses.

De la même manière, la comparaison entre les dépassements des valeurs maximum et de la médiane permet d'estimer s'il peut s'agir de contaminations/pollutions ponctuelles ou chroniques : plus le nombre de dépassements entre les valeurs maximum et les médianes est proche et plus il peut s'agir d'une contamination chronique ou récurrente ; à l'inverse, si le nombre de dépassements avec les valeurs maximum et médiane est différent, plus il est probable que l'on se trouve dans le cas de contaminations ponctuelles.

A partir de cette hypothèse, on estime que les éléments suivants relèveraient de contaminations ponctuelles :

- Pesticides dans leur ensemble ;
- Paramètres azotés et phosphorés ;
- HAP et Benzène ;
- Autres solvants et éléments organiques.

Sur la base de ces hypothèses, il n'est pas possible d'indiquer s'il s'agit d'une contamination chronique ou diffuse pour les paramètres suivants :

- Métaux et métalloïdes ;
- Paramètres physico-chimiques et minéraux ;
- COHV.

- **Localisation des secteurs où des dépassements sont constatés**

L'analyse des cartes placées en annexe 8 permettent d'identifier plusieurs secteurs où les eaux superficielles présentent un dépassement des valeurs de référence :

- A Caroxylique : Amont de la rivière de Bolbec et Théluet en aval de ND de Gravenchon ;
- COHV : Amont de la rivière de Bolbec, aval de Gruchet-le-Valasse, Le Commerce en aval de Lillebonne et dans la ZI de Port-Jerôme, La Seine ;
A noter : Sur la période considérée, il est détecté une tendance à l'augmentation des valeurs de COHV sur certaines sources de St Nicolas de la Taille et St Jean de Folleville.
- Hydrocarbures : le Commerce en aval de Lillebonne et dans la ZI de Port-Jerome et la Seine ;
- Indices Globaux : Amont de la rivière de Bolbec et aval de Gruchet-le-Valasse, rivière des Aulnes, le Commerce en aval de Lillebonne et dans la ZI de Port-Jérôme, le Théluet en aval de Gruchet-le-Valasse et le Hannetot, le Vivier et la Brouisseresse et enfin la Seine.
- Paramètres Physico-Chimiques : La rivière de Bolbec en aval de Gruchet-le-Valasse, la rivière du Commerce dans la ZI de Port Jérôme et le Théluet en aval de ND-de-Gravenchon.
- Métaux : Amont de la rivière de Bolbec et aval de Gruchet-le-Valasse, le Commerce en aval de Lillebonne et dans la ZI de Port-Jérôme, le Théluet en aval de Gruchet-le-Valasse et enfin la Seine.
- Pesticides : amont de la rivière de Bolbec, aval de Gruchet le Valasse, aval de Lillebonne et la Seine.
- Phénols et poly-halogénés : rivière de Bolbec en aval de Gruchet-le-Valasse.

Dans l'ensemble les éléments présentés confirment l'état médiocre à mauvais de la qualité des eaux superficielles, constat mis en avant par SAFEGE (2015) dans le PAGD du SAGE du Commerce (Tableau 53).

Masses d'eau	État écologique global	État biologique	État physico-chimique	Paramètres déclassants
Le Commerce	Mauvais	Mauvais	Mauvais	IBGN, IBD, nitrites, nitrates, matières organiques oxydables, phosphore total, phosphates, ammonium
Les Aulnes	Moyen	Non suivi	Moyen	Nitrites
La Vallée	Moyen	Non suivi	Moyen	Nitrates, phosphore total
Le Fourneau	Médiocre	Non suivi	Médiocre	Nitrites, phosphore total, phosphates
Le Théluet	Médiocre	Médiocre	Médiocre	IBGN, IBD, nitrates, nitrites, phosphore total, phosphates
La Ravine	Mauvais	Non suivi	Non suivi	Expertise : pollutions diffuses, habitats altérés
Le Hannebot	Moyen	Non suivi	Moyen	Nitrates
Le Vivier	Mauvais	Non suivi	Non suivi	Expertise : rejets
La Brouisseresse	Moyen	Bon	Moyen	Nitrates
Le Radicatel	Moyen	Non suivi	Moyen	Nitrates, nitrites

Qualité physico-chimique

Le bon état physico-chimique n'a pas été atteint entre 2004 et 2010, essentiellement en raison des concentrations trop élevées en **nitrates**, en **phosphates**, et en **ammonium** pour le Commerce. Ces polluants d'origines industrielle et domestique constituent des points noirs pour la qualité physico-chimique des eaux à l'échelle du bassin versant.

Tableau 53 : Synthèse de l'état des masses d'eau superficielles du territoire du SAGE de la vallée du Commerce, constat établi d'après les données compilées entre 2004 et 2010 par l'AESN, DREAL Normandie et Onema, source : SAFEGE, (2015)

- **Principaux rejets (ESU)**

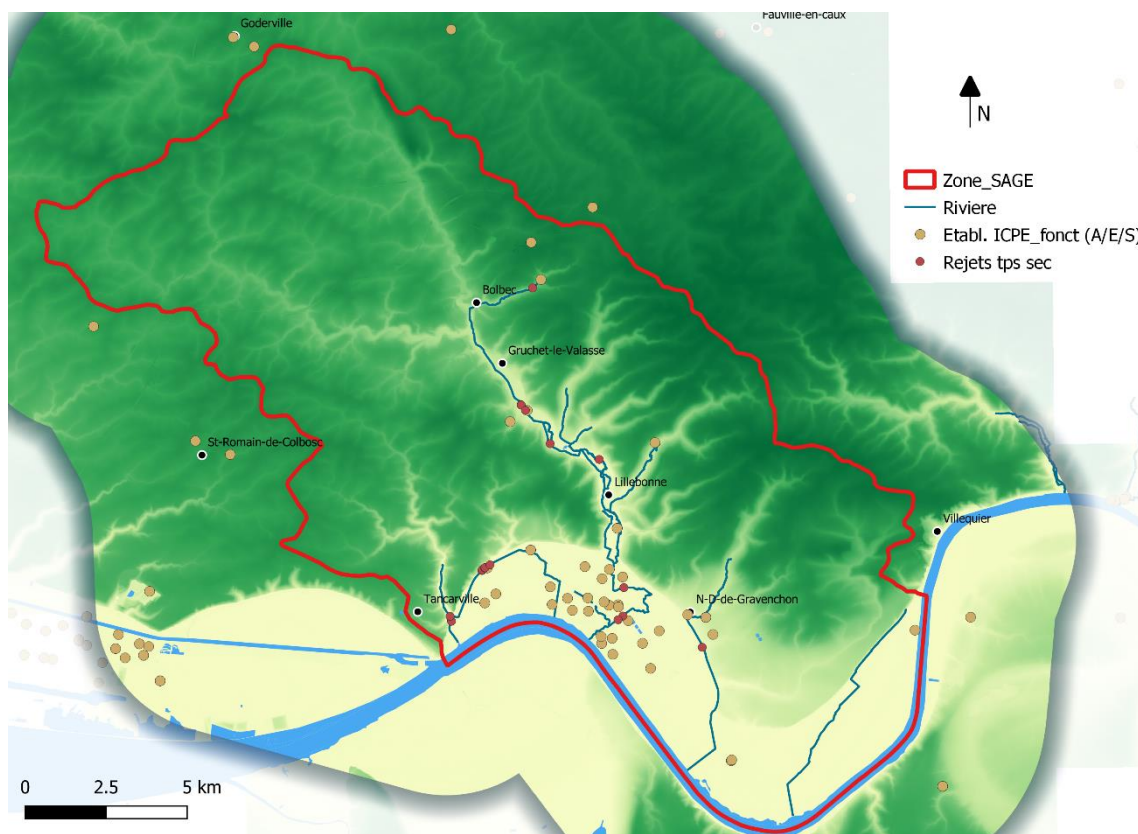


Illustration 293 : Localisation des établissements ICPE (Aut./Enr./Sev. – source : DREAL) et des principaux points de rejets identifiés (SAGE Commerce)

Dans le cadre de cette étude nous avons également consulté le Registre des émissions polluantes IREP. Celui-ci recense les principaux flux de substances polluantes émis vers le milieu naturel. La localisation des principaux rejets est représentée sur l'illustration 293 ci-dessus.

A l'échelle de la zone d'étude, il a pu être mis en évidence que les principaux éléments rejetés dans le milieu naturel concernaient : les paramètres physico-chimiques comme la DBO5 et DCO mais également les métaux, les paramètres azotés et phosphorés, les HAP, BTEX, Hydrocarbures, Phénols, COV (Tableau 54).

Ces rejets sont effectués principalement dans la Seine, mais également dans la rivière de Bolbec et du Commerce. Le registre précise que les émissions concernent principalement les métaux et phénols dans son cours amont et métaux et HAP dans son cours aval.

A noter : La présence de Phénols dans la rivière de Bolbec et dans l'un des forages du champ captant de St Marcel a déjà été mis en évidence par CPGF (1981), confirmant le lien étroit qu'il peut y avoir entre les eaux superficielles et souterraines de la vallée du Commerce (l'origine de phénols n'étant pas mentionnée). Cet élément complète les connaissances déjà mises en évidence dans le chapitre hydrogéologie et dans ce chapitre qualité, sur le schéma d'écoulement supposé dans l'amont de la vallée du Commerce, notamment au niveau du verrou du vallon de Bolbec.

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

Nom	Commune	Adresse	XL2	YL2	Code activité (APE)	Nom Activité	Rejet EAU	direct/indirect	Milieu recepteur	Elements rejetés	Rejet SOL	Elements rejetés
Tereos Starch & Sweeteners LBN	Lillebonne	Les Herbages - BP 80059 76170 Lillebonne	469215	2503556	20.14Z	Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base	OUI	direct	Estuaire de Seine aval	108 - Phosphore total 56 - Demande chimique en oxygène (DCO) 55 - Demande biologique en oxygène (DBO5)	OUI	128 - Zinc et composés (exprimés en tant que Zn) 94 - Nickel et composés (exprimés en tant que Ni)
Ecologic Petroleum Recovery	Lillebonne	Avenue de Port-Jérôme 76170 Lillebonne	469215	2503556	38.22Z	Traitement et élimination des déchets dangereux	OUI	direct	Estuaire de Seine aval	84 - Nickel et composés (exprimés en tant que Ni) 73 - Fluor et ses composés (F)	NON	
Raffinerie de Port-Jérôme / Gravenchon	Notre-Dame-de-Gravenchon	B.P. 1 76330 Notre-Dame-de-Gravenchon	471467	2500445	19.20Z	Raffinage du pétrole	OUI	direct	Estuaire de Seine aval	18 - Aluminium et composés (exprimés en tant que Al) 21 - Anthracène 23 - Arsenic et composés (exprimés en tant que As) 28 - Acide total 29 - Benzène 34 - Cadmium et composés (exprimés en tant que Cd) 35 - Carbone organique total (en tant que C total ou DCO/3) 46 - Chrome et composés (exprimés en tant que Cr) 47 - Chrome hexavalent et composés (exprimés en tant que Cr VI) 48 - Cobalt et composés (exprimés en tant que Co) 50 - Composés organohalogénés (exprimés en tant que AOX) 53 - Cuivre et composés (exprimés en tant que Cu) 54 - Cyanures (sous forme de CN total) 55 - Demande biologique en oxygène (DBO5) 56 - Demande chimique en oxygène (DCO) 57 - Di(2-éthylhexyl)phthalate (DEHP) 58 - Dichlorométhane (DCM, chlorure de méthylène) 71 - Fer et composés (exprimés en tant que Fe) 73 - Fluor et ses composés (F) 74 - Fluoranthène 75 - Fluorures (en tant que F total) 81 - Hydrocarbures 82 - Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) 88 - Mercure et composés (exprimés en tant que Hg) 93 - Naphthalène 94 - Nickel et composés (exprimés en tant que Ni) 95 - Nonylphénols et éthoxylates de nonylphénol (NP/NPE) 108 - Phosphore total 109 - Phénols (en tant que C total) 110 - Plomb et composés (exprimés en tant que Pb) 117 - Sulfates 128 - Zinc et composés (exprimés en tant que Zn) 145 - Ethylbenzène 146 - Benzène (g, h, i) pérylène 150 - Toluène 152 - Xylènes (somme ortho-xylène, méta-xylène, para-xylène)	NON	
ExxonMobil Chemical France	Notre-Dame-de-Gravenchon	Avenue Kennedy BP 52 76330 Notre-Dame-de-Gravenchon	471467	2500445	20.14Z	Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base	OUI	direct	Inconnu	128 - Zinc et composés (exprimés en tant que Zn) 18 - Aluminium et composés (exprimés en tant que Al)	NON	
S.A. COMPAGNIE FRANCAISE ECO HUILE	Lillebonne	Zone Industrielle Avenue de Port-Jérôme 76170 Lillebonne	469215	2503556	38.22Z	Traitement et élimination des déchets dangereux	OUI	direct	Le ruisseau du Commerce	149 - Benzène (b) Fluoranthène	NON	
ORIL Industrie - Usine de Bolbec	Bolbec	13, rue Auguste Desgenétais 76210 Bolbec	465000	2509800	20.14Z	Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base	OUI	direct	Le ruisseau du Commerce	94 - Nickel et composés (exprimés en tant que Ni) 109 - Phénols (en tant que C total)	NON	
Exxonmobil Chemical France - Usine de Lillebonne	Lillebonne	Chemin départemental 173 - BP 53 76170 Lillebonne	469215	2503556	20.16Z	Fabrication de matières plastiques de base	OUI	direct	Le ruisseau du Commerce	128 - Zinc et composés (exprimés en tant que Zn) 120 - Titane et composés (exprimés en tant que Ti)	NON	

Tableau 54 : Principaux paramètres faisant l'objet d'une déclaration au titre des Emissions polluantes dans les milieux aquatiques. (Base IREP – MTES 2020)

Servy (2001) a réalisé des mesures de la qualité des eaux des principaux rejets des stations d'épuration (STEP) urbaines et industrielles de la vallée du Commerce. Il a pu être mis en évidence les éléments suivants :

- **STEP de la société ORIL : 1225 mg/l de chlorures, 1860 mg/l de sulfates, 41,8 mg/l de NO₃, 40,3 mg/l de NTK et 33,7 mg/l de NH₄ ;**
- STEP urbaine de Bolbec-Gruchet le Valasse : 187 mg/l de chlorures, 20 mg/l de sulfates et 26,6 mg/l de NO₃ ;
- STEP de la société SENOBLE : 269 mg/l de chlorures, moins de 25 mg/l de sulfates, 12,8 mg/l de NO₃ ;
- STEP urbaine de Lillebonne : 76 mg/l de chlorures, moins de 25 mg/l de sulfates, 26,4 mg/l de NO₃.

En termes de charge polluante dans le cours d'eau, ce sont bien les rejets des STEP d'ORIL puis de Gruchet-le-Valasse qui étaient les plus contributrices, confirmant les éléments mis en évidence au paragraphe 6.4.2.

Dans cette étude il est à noter que d'autres mesures réalisées sur les mauvais raccordements (rejets directs) et à l'aval de la pisciculture de Lillebonne (rivière de la Vallée) se sont montrées insignifiantes, à titre de comparaison.

Aussi, au regard des éléments présentés, il semble certain que les flux industriels ou urbains émis dans le milieu naturel (et les cours d'eau en particulier) sont supérieurs à la capacité de dilution permettant de garantir le bon état des milieux. Cette problématique est certainement la résultante des difficultés à déterminer le mode de fonctionnement des cours d'eau du territoire et à en assurer un suivi hydrologique permettant de définir les justes niveaux ou débits de référence.

Important : une canalisation de dérivation des rejets des stations d'épurations d'Oril, Eurial et Gruchet-le-Valasse était en cours de réalisation au moment de l'étude (2020). Les effets de cette dérivation n'ont donc pas été pris en compte pour le moment. Le rejet final de cette canalisation de dérivation se fera dans le fossé des Sureselles avant de rejoindre la Seine. Il est donc plus que probable que la qualité du milieu récepteur (le Commerce), privé d'une partie de ces rejets, s'améliore à l'avenir pour un certain nombre de paramètres.

7.5. APPROCHE DE LA DYNAMIQUE DES AQUIFERES PAR LES POLLUTIONS ANTHROPIQUES IDENTIFIEES DANS LES ESO ET ESU

7.5.1. Salinisation de l'aquifère alluvial

Problématique sur le territoire du SAGE

Le site de Port Jérôme est un exemple, à l'échelle nationale, d'un déséquilibre qualitatif ayant pour origine un déséquilibre quantitatif, conséquence de prélèvements importants en contexte estuarien.

Sur la période 1945-1975, le suivi de la qualité des eaux souterraines dans la plaine alluviale, sur les différents sites industriels de la zone de Port Jérôme, a montré en particulier une augmentation des concentrations en Na-Cl, **jusqu'à 1,5 g/l** sur les ouvrages de la zone industrielle de Port Jérôme.

L'augmentation des prélèvements et des concentrations en sel (Na-Cl) dans l'aquifère est particulièrement corrélée, comme le montre l'illustration 294 suivante.

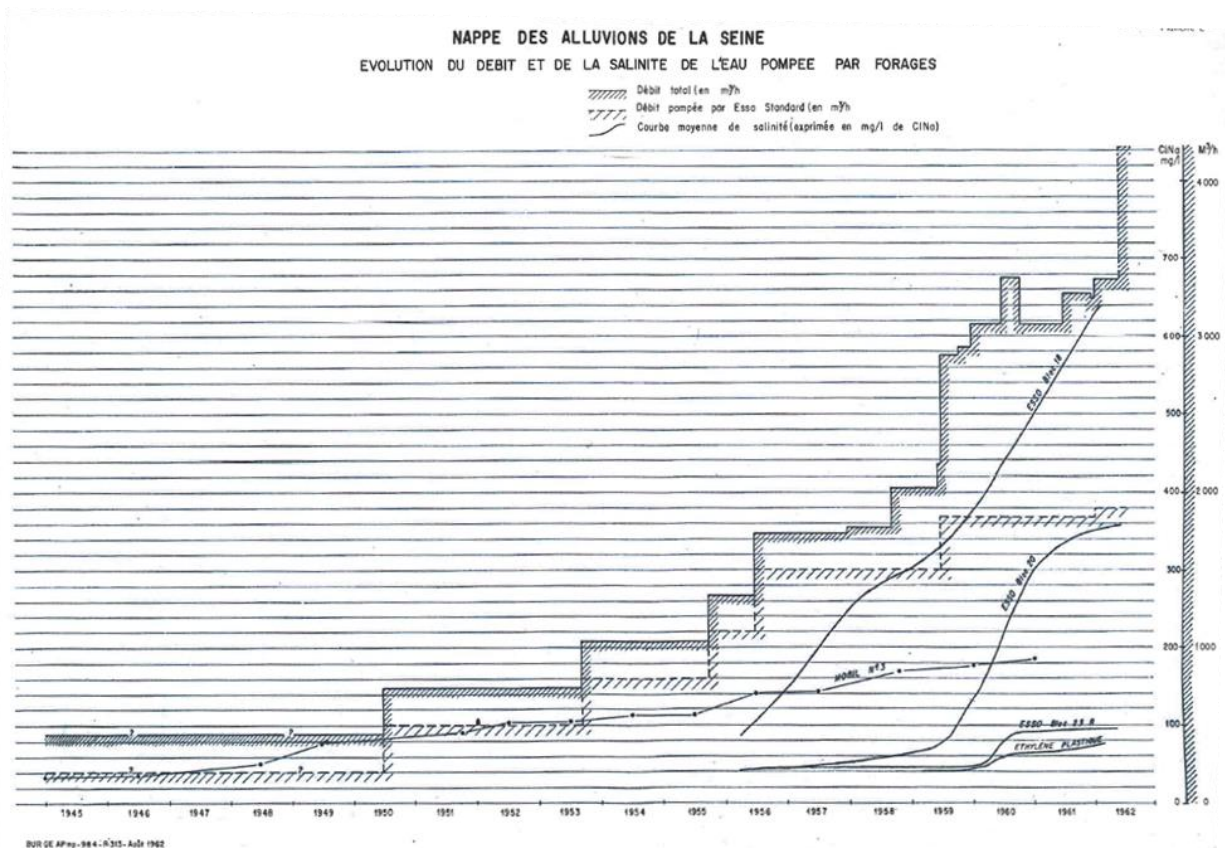


Illustration 294 : Comparaison des concentrations en sels (Na-Cl) dans les eaux souterraines prélevées et débits globaux d'exploitation, site de Port Jérôme, Burgéap (1962).

L'augmentation des prélèvements dans la plaine alluviale et les rabattements induits ont engendré une plus forte sollicitation de la Seine dans la part de l'alimentation de la ressource en eau souterraine. Ce qui a eu pour conséquence d'engendrer la pénétration d'un biseau salé, provenant du fleuve et de son estuaire (cf. Illustration 6 page 33 et Illustration 295 ci-dessous page 426).

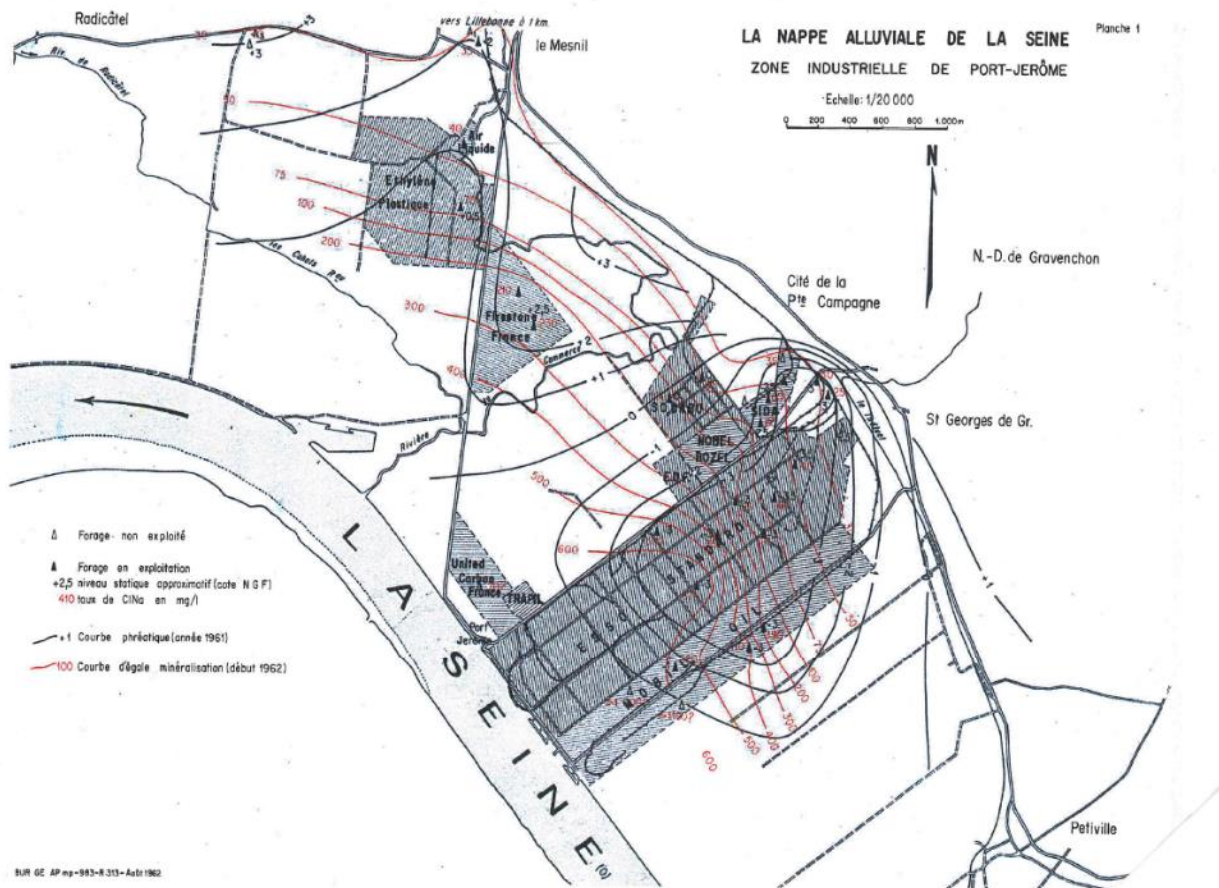


Illustration 295 : Concentration en Na-Cl dans les eaux de la nappe alluviale du site de Port Jérôme, Burgéap 1962

Les effets sur la qualité et les concentrations les plus importants sont relevés sur les ouvrages du site Exxon-Mobil (anciennement Esso-Mobil) situés au plus proche de la Seine comme le montre l'illustration 295 : plus de 1100 mg/l de Na-Cl en bord de Seine contre 30 à 40 mg/l au débouché de la vallée du Commerce sur le secteur du Mesnil.

Sur la période 1962-1975, la baisse des prélèvements dans la vallée de la Seine et le déplacement des ouvrages de prélèvement vers l'extrémité nord de la plaine alluviale a permis d'observer une baisse des concentrations sur les ouvrages suivis dans la zone de Port-Jérôme. Il est à noter que la baisse de concentration n'était pas proportionnelle à la baisse des prélèvements : baisse de 50 % du volume prélevé dans les eaux souterraines, passant de 4 120 m³/h à 2 050 m³/h, tandis que baisse des concentrations en chlorure dans la nappe non linéaire mais pouvant être estimée entre 20 à 40 % sur cette même période (Burgéap, 1975).

Dans cette étude, les auteurs signalent une baisse du gradient piézométrique entre les berges de la Seine et la dépression piézométrique causée par les pompages. Les gradients passent de 6.10⁻³ à 0,8.10⁻³ toujours sur cette même période de 1962 à 1975. Avec ce gradient en baisse, les auteurs ont estimé le débit provenant de la Seine à partir de la loi de Darcy en prenant une transmissivité moyenne de l'aquifère de 9.10⁻³ m²/s : d'après cette méthode les apports du fleuve varieraient ainsi de 700 à 80 m³/h, représentant 17 à 4 % des volumes prélevés entre 1962 et 1975.

Quantification et territorialisation du phénomène

Sur le secteur de Radicâtel, Archambault (1955) indique qu'au voisinage de la Seine, la nappe est influencée par les variations du fleuve (cf. paragraphe 4.3.3). Ces variations pourraient ainsi conduire à l'injection d'une certaine quantité d'eau du fleuve dans l'aquifère et dans les eaux superficielles, principalement lors des hautes eaux, marées hautes ou crues, tant à partir des berges qu'au droit des rivières et fossés connectés à la Seine.

L'auteur indique qu'en conséquence, il est normal que la nappe alluviale contienne une proportion notable de sel compte tenu des concentrations relevées dans le fleuve, estimées alors à 5 à 10 g/l. Ainsi, il y aurait une faible probabilité de rencontrer une eau douce (c.-à-d. exempte de chlorures) en deçà d'une distance de 400 à 500 m de la Seine.

De fait les essais de pompages réalisés lors de la création du forage SPIE 3 (BSS000GJWK), situé à 40 m environ des berges du fleuve, ont donné de 50 à 800 mg/l de NaCl (environ 1500 mg/l de chlorures), 1700 mg/l de chlorures sur le SPIE 4 (BSS000GJWL) situé à 400 m environ du fleuve, 28 à 160 mg/l de chlorures sur le SPIE 5 (BSS000GJWM) situé à 1300 m du fleuve.

Néanmoins, sur les ouvrages SPIE 1 (BSS000GJWH) et SPIE 2 (BSS000GJWJ), distants de moins de 300 m des berges, les concentrations en chlorures n'étaient que de 50 à 590 mg/l dans les formations des graves de fond et de 27 mg/l sur l'ouvrage SPIE 6 (BSS000FHGM) situé à 1,6 km des berges du fleuve.

À l'apparente homogénéité du processus dans les secteurs soumis à de forts prélèvements, comme la zone de Port Jérôme, l'auteur oppose la complexité du même processus en conditions seminaturelles. Il a ainsi été démontré, sur le secteur de Radicatel/Tancarville, une hétérogénéité des concentrations dans la répartition spatiale de ces teneurs, que l'auteur attribue au caractère plus ou moins argileux ou perméable des formations alluviales et aux apports du débit des nappes, sources et des rivières d'eau douce pour limiter la pénétration du biseau salé (comme par exemple pour les ouvrages SPIE 1 et 2 situés au débouché du Vallon du Vivier et de la rivière Brouisseresse).

Les concentrations relevées apparaissent aujourd'hui élevées au regard des valeurs calculées sur les différentes stations de mesure des eaux superficielles et souterraines du territoire du SAGE Commerce (Tableau 45 page 387). Toutefois, des piézomètres d'HAROPA (dont la localisation n'a pas pu être précisée) ont relevé en 2016 des concentrations en chlorures de l'ordre de 500 mg/l.

Aussi il apparaît primordial d'assurer à nouveau aujourd'hui un suivi régulier de ce phénomène à l'échelle du territoire du SAGE et plus largement à l'échelle de l'estuaire de la Seine.

Le biseau salé dans l'estuaire de la Seine

Dans l'estuaire de la Seine, le front salé remonte à plus de 20 km en amont de l'embouchure du fleuve comme le montre l'illustration 296 suivante.

La pénétration du front de salinité et l'expulsion des eaux douces ou faiblement salées vers l'estuaire sont guidées par la combinaison de les alternances flot/jusant des marées et crue/étiage du fleuve.

En période de crue, des eaux douces peuvent s'écouler jusqu'à la limite du chenal de navigation (au niveau de l'embouchure) et des eaux de faible salinité être expulsées en baie de Seine. A l'inverse, en période d'étiage, la salinité remonte plus en amont dans l'estuaire. En période de

vive-eau, la remontée du front de salinité est plus importante et les eaux douces sont expulsées plus en amont. L'inverse est observé en morte-eau, avec un gradient plus restreint (GIP Seine-Aval, 2013).

Le phénomène d'intrusion saline dans un aquifère côtier ou estuarien devient actif lorsque l'équilibre hydrodynamique entre l'eau de mer ou saumâtre et l'eau douce est rompu, soit par une baisse importante de la charge hydraulique souterraine, soit par une diminution des flux d'eau douce, soit à l'inverse par une augmentation de la charge d'eau de mer (De Montety, 2008).

Ce déséquilibre peut être engendré par :

- Une surexploitation de l'aquifère côtier/estuarien ;
- Une diminution des flux des cours d'eau et de leurs nappes d'accompagnement ;
- Une baisse de la recharge de l'aquifère ;
- Une montée du niveau marin.

Compte tenu des éléments présentés ci-avant, de la pression quantitative qui perdure toujours dans la plaine alluviale, du changement climatique en cours (hausse du niveau marin et probablement baisse de la recharge) **la salinisation de l'aquifère alluvial reste donc un enjeu majeur pour le territoire du SAGE.**

En conséquence, dans un cadre de surveillance et de gestion, il convient d'assurer un suivi régulier du phénomène pour : vérifier l'effet de sa spatialisation/territorialisation et/ou de compartimentation dans les aquifères et identifier des tendances ou évolutions des teneurs relevées au sein de la plaine alluviale (eaux superficielles et différents compartiments souterrains).

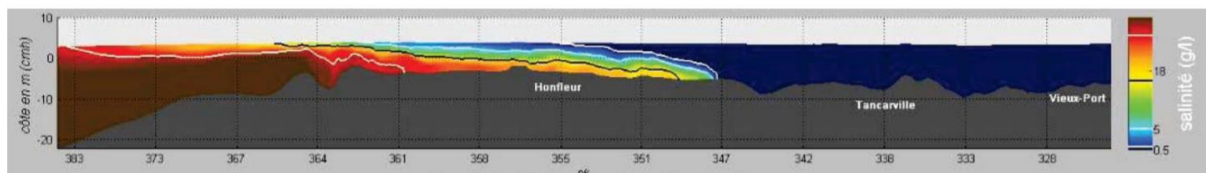
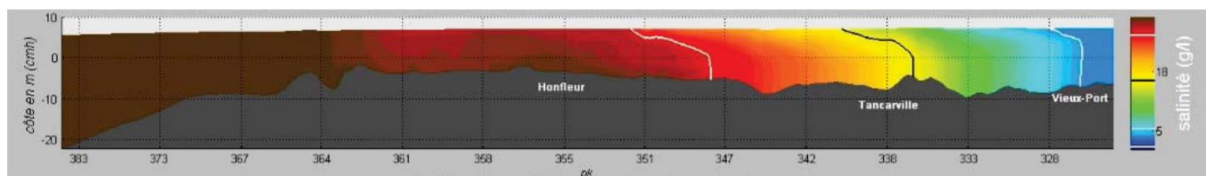
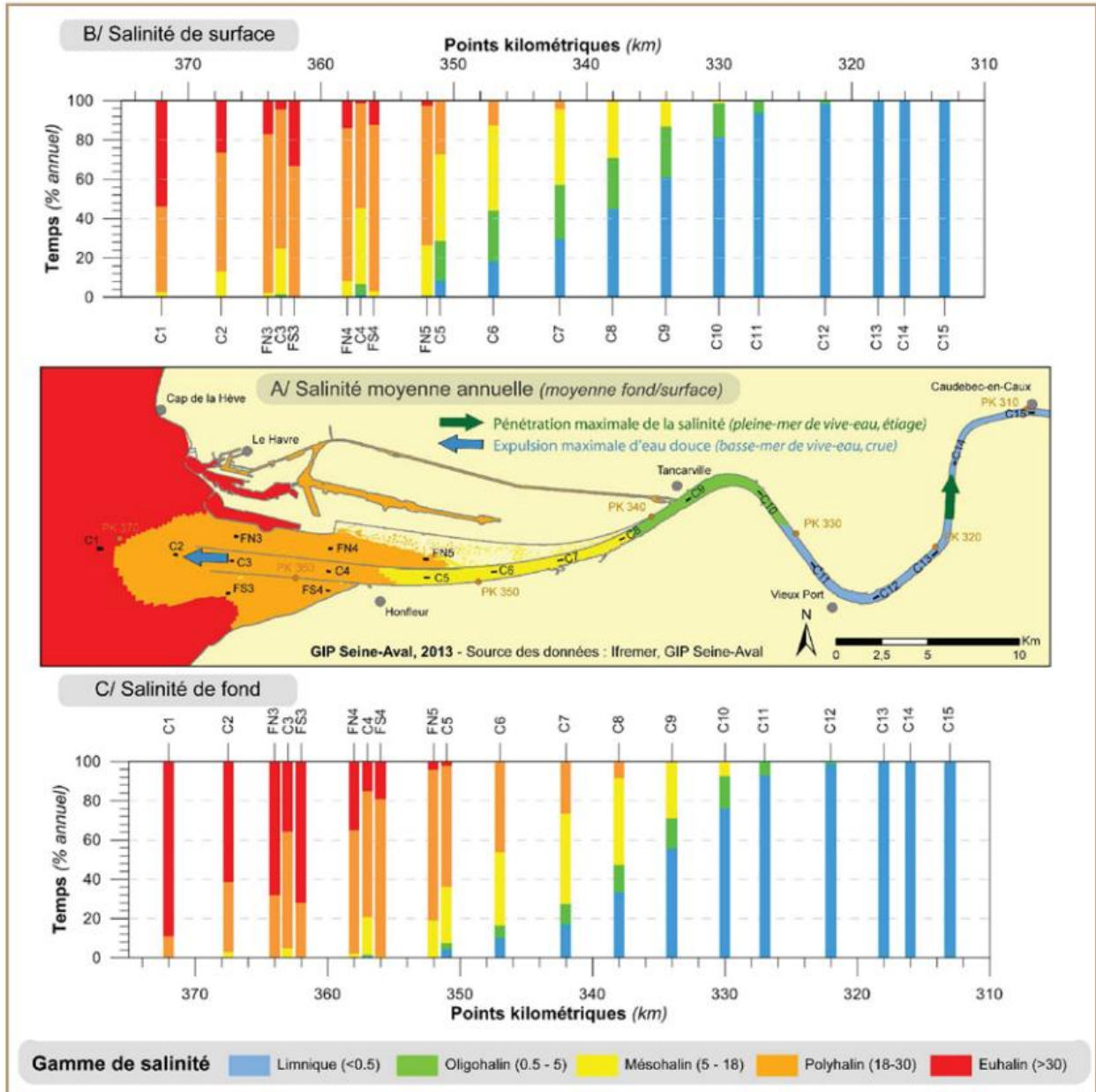


Illustration 296 : Salinité moyenne dans l'estuaire de la Seine – variation temporelle des classes de salinité en différents points (GIP Seine-Aval, 2013).

7.5.2. Contamination à la MOR/N-MOR le long de la structure faillée Fécamp-Lillebonne

Lors d'études récentes (David et Pennequin, 2012 et David et al., 2020) il a pu être mis en évidence que les activités de l'entreprise Oril étaient à l'origine d'une contamination des eaux souterraines de la vallée du Commerce et du bassin d'alimentation des sources d'Yport à la Morpholine (MOR) et la N-nitrosomorpholine (N-MOR) – (cf. Illustration 297).

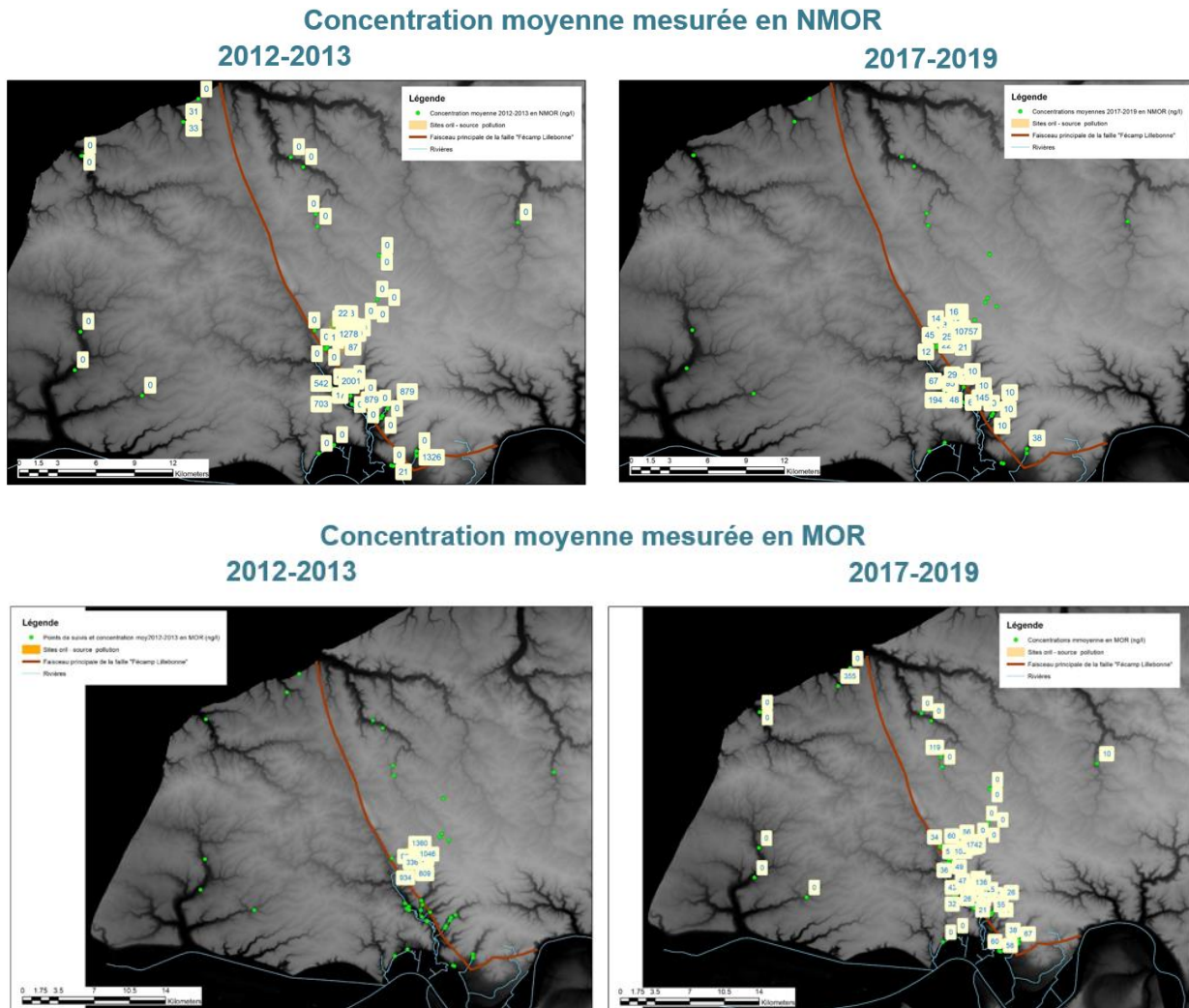


Illustration 297 : Comparaison des concentrations moyennes en MOR et NMOR mesurées en 2012-2013 à celles mesurées 2017-2019 au niveau de l'ensemble de la zone d'étude NB : les points de suivi pour lesquels la NMOR est restée en dessous des seuils de détection sont indiqués avec une étiquette « 0 » sur la carte de droite (2017-2019) et sans étiquette sur la carte de gauche (2012-2013), source : David et al., 2020

La présence de ces deux composés dans les eaux prélevées par les captages d'eau potable exploitant ces ressources a été mise en évidence lors d'une campagne nationale de recherche de polluants émergents réalisée par Direction Générale de la Santé en 2012 et confirmée par l'ANSES.

Un plan de suivi de ces molécules a depuis été mis en œuvre : dans l'environnement du site, les eaux superficielles et les eaux souterraines ; confirmant la présence de ces composés sur une large portion du territoire de la pointe de Caux située autour de l'axe faillé de Fécamp-Lillebonne.

Il est à préciser que la MOR et la N-MOR sont toutes deux très mobiles dans le sol même en présence d'importants taux de matière organique et que ces deux composés sont également très solubles dans l'eau et hydrophiles.

Cette contamination doit pour partie son origine aux rejets de la station d'épuration de l'entreprise, effectués à l'amont immédiat de la vallée de Bolbec et pour autre partie à la migration d'une pollution des sols vers le proche sous-sol et la nappe.

La rivière de Bolbec, traversant les zones faillées et rencontrant des pertes, permettrait aux composés de cheminer, vers le sud, dans la vallée du Commerce en direction de Notre-Dame-de-Gravenchon mais également en direction d'Yport, vers le nord.

Des réseaux karstiques, développés autour du système faillé, draineraient à la fois les écoulements matriciels du graben de Bolbec et les pertes en rivière. Cette voie de transfert serait facilitée par certains faisceaux de failles (principalement F0a et F0b) mais également par les karsts développés sur des plans horizontaux sur des bancs indurés.

Ces hypothèses, formulées suite aux investigations réalisées entre 2017 et 2020 (observations de terrain, géophysique, sondages, jaugeages, piézométrie fine, en particulier) ont permis à David et al. (2020) de préciser les mécanismes de ce cheminement complexe autour du système faillé de Fécamp-Lillebonne et du « verrou hydrogéologique » que constitue la zone de Bolbec.

Cette étude a été le point de départ des nombreuses investigations synthétisées dans ce rapport : investigations géologiques, géophysiques, campagnes de mesures quantitatives.

7.5.3. Nitrates et pesticides

Dans son examen du projet de SAGE Commerce, Equibey (2002) soulignait le caractère pathologique de la turbidité enregistré sur une large majorité d'ouvrages d'alimentation en eau potable. La dynamique de ces événements a notamment été étudiée par Masséi (2001) et Fournier (2006) sur le captage de Norville et la source du Hannetot. Sur le secteur de Radicatel, ce sont Hanin (2010) et SAFEGE (2012) qui ont souligné l'impact du fonctionnement karstique sur la qualité des eaux du champ captant (cf. paragraphe 4.5.2). Dans l'ensemble les études ont pu souligner l'importance du fonctionnement du réseau d'introduction dans la restitution du signal turbide (sans qu'une relation linéaire pluie turbidité ait pu être mise en évidence, rôle de filtrage) mais également montrer une relation avec les niveaux de l'aquifère régional et avec le niveau de base donné par la Seine.

Ces études soulignent donc l'importance de ce mode de transfert des eaux souterraines dans l'environnement hydrogéologique du territoire du SAGE Commerce, en particulier pour les ressources dont l'exutoire donne sur la vallée de la Seine. Il en va certainement de même pour les autres ressources de la vallée du Commerce.

Des détections de pesticides ont été relevées sur les captages : Azaria, Radicatel, F3 et F2 St Marcel. Les occurrences de détections sont peu fréquentes avec de rares dépassements. Mais la fréquence d'analyse n'apparaît pas suffisante sur un certain nombre de ces ressources pour analyser leur dynamique (SAFEGE, 2015 et 2012). Il semble qu'une large gamme de molécules aient déjà été détectées parmi lesquelles : Glyphosate, Atrazine et ses dérivés, Diuron, et Isoproturon. La détection de ces paramètres est le plus souvent associée aux circulations rapides avec l'introduction d'eau de surface (ruissellements ou rivières) directement dans la nappe.

Aucun des captages d'alimentation en eau potable ne connaît de dépassement de la norme de 50 mg/l pour les nitrates : ils avoisinent plutôt les 30 mg/l. Bien qu'inférieure au seuil réglementaire, cette valeur est supérieure au seuil de vigilance (25 mg/l) – (SAFEGE, 2015). Le plus souvent, la dynamique des nitrates est rapprochée à la composante darcyenne des écoulements. Ainsi les concentrations relevées sur les captages résulteraient de l'infiltration des nitrates dans la zone non saturée puis de son transfert horizontal (via la matrice et le karst).

Sur le nord-ouest de la zone du SAGE Commerce, une étude a été réalisée par Arnaud et al. (2009) sur la détermination des vitesses de transfert de l'eau et des nitrates **dans la zone non saturée** de l'aquifère crayeux. Cette analyse s'appuie sur la réalisation d'un profil des nitrates et du tritium sur un sondage réalisé à Goderville.

Il a ainsi pu être mis en évidence que les vitesses de transfert dans la zone non saturée étaient plus importantes dans les formations superficielles, de l'ordre de 1 m/an, alors que dans la craie les vitesses semblent chuter vers des valeurs inférieures de 0,6 m/an.

Il a pu être précisé que le mode de transfert dominant de l'eau dans ces formations était de type piston (convectif). Toutefois certaines hypothèses ont pu être émises au regard des concentrations en nitrates relevées dans certains horizons du profil (Illustration 298) :

- La mise en évidence de flux préférentiels au niveau des racines d'altération de la craie. Celles-ci draineraient avec une plus grande facilité les formations superficielles et d'altération au travers le manteau crayeux ;
- L'éventuel stockage des nitrates dans la craie indurée avec des concentrations plus importantes, notamment au dessus de bancs de silex ou *hard-grounds* supposés.
- L'existence d'un flux darcyien dans la craie, au vu des concentrations relativement homogènes retrouvées à la base du profil.

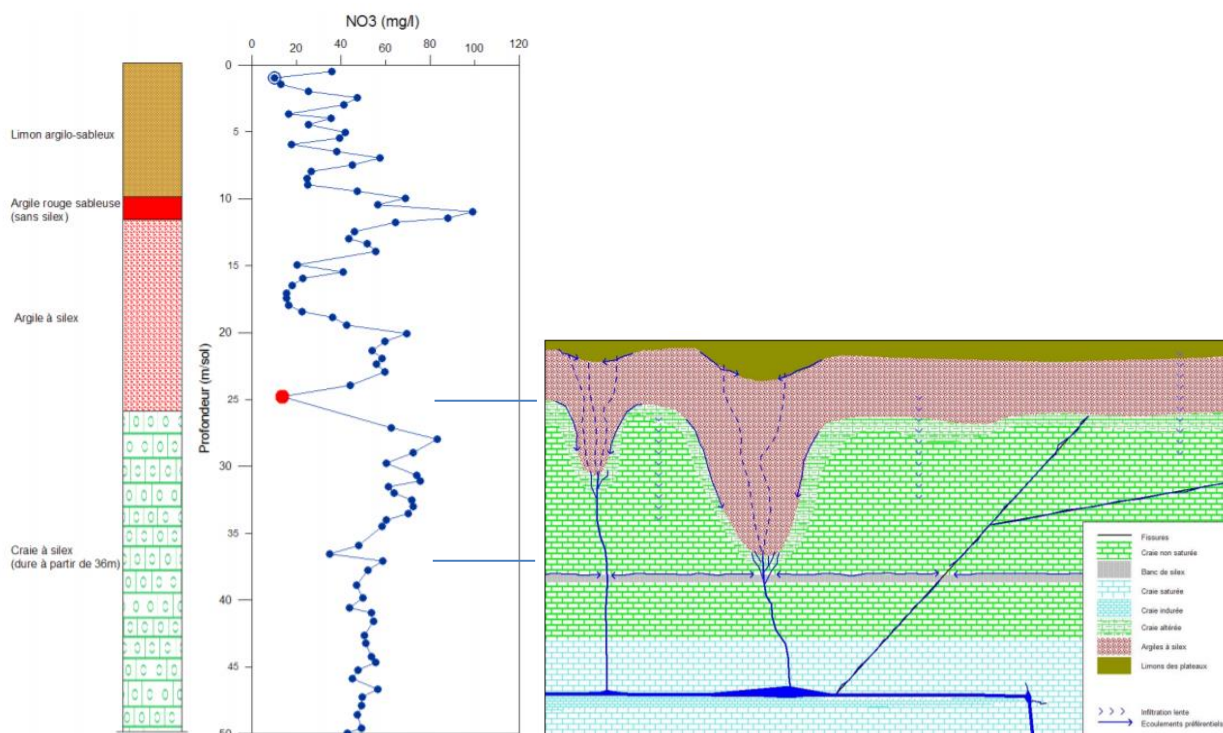


Illustration 298 : Schéma de principe de la répartition des concentrations en nitrates dans le profil de Goderville (Arnaud et al., 2009) modifié.

7.6. SYNTHÈSE PARTIELLE SUR LA QUALITÉ ET PRÉCONISATIONS

7.6.1. Apports de l'analyse des éléments majeurs, mineurs et traces

Pour les eaux souterraines, l'ensemble des points d'eau souterraine (ESO) du secteur d'étude ont un faciès bicarbonaté-calcique, aussi bien les points d'eau souterraine captant la Craie que les Alluvions et l'Albien.

Pour les eaux superficielles, deux faciès distincts se distinguent :

- Le faciès bicarbonaté-calcique, notamment pour les points d'eau superficielle situés dans un contexte où la nappe de la Craie alimente les cours d'eau ;
- Le faciès sulfaté-calcique pour certains points d'eau ESU situés en amont du bassin versant du Commerce, en amont de la faille de Fécamp-Lillebonne et le cours d'eau Bébec qui est à part.

Identification de pôles spécifiques et mise en évidence de relations ESO-ESU

Les éléments majeurs, mineurs et traces, ainsi que le travail de caractérisation à l'aide des diagrammes de Piper, de Schöeller-Berkaloff et les digrammes binaires inter-éléments utilisés ont permis de mettre en évidence des pôles spécifiques en fonction des caractéristiques hydrogéologiques et géographiques, mais aussi d'identifier le lien ESO-ESU pour certains cours d'eau alimentés par les eaux souterraines de la nappe de la Craie.

La chimie des eaux de surface (ESU), en amont du bassin versant de la rivière du Commerce, sur le compartiment nord-est de la faille de Fécamp-Lillebonne et pour le cours d'eau le Bolbec, est nettement différente : les eaux sont clairement différentes du faciès caractéristique de la nappe de la Craie. On peut faire l'hypothèse d'eaux issues d'un mélange de plusieurs aquifères, compte tenu du contexte géologique local. Mais plus vraisemblablement, ce faciès hydrochimique singulier pourrait avoir comme origine une pollution industrielle : présence de sites et sols pollués et de rejets industriels.

Pour le forage Gruchet F3 (00756X0139/F), la chimie des éléments majeurs, mineurs et traces est représentative d'un mélange entre des eaux de la nappe de la Craie et une proportion d'eau qui a une chimie correspondant aux cours d'eau amont, non représentatif de la nappe de la Craie. La source Azaria Selle a également, pour un certain nombre d'éléments chimiques, sa propre signature qui la distingue des autres ouvrages captant la nappe de la craie.

Notons que des analyses isotopiques réalisées sur le Tritium par la CPGF (1978) sur l'amont de la vallée du Commerce, ont permis de démontrer que l'eau des précipitations était (en 1974-1978) à 70 UT alors que la moyenne des eaux souterraines était de 15 UT ; les eaux de surface (rivière de Bolbec en particulier) étaient de 30 UT.

En considérant une lame d'eau infiltrée annuelle de 248 mm, une porosité efficace de la craie de 5% et une puissance de l'aquifère de 50 m au droit des captages, la valeur des eaux de la rivière de Bolbec implique une dilution des eaux de précipitation par les eaux de nappe. Deux scénarios sont envisagés :

- 40 % d'eau profonde de nappe à 5 UT dans 60 % d'eau de précipitation
- 70 % d'eau de nappe à 15 UT dans 30 % d'eau de précipitation

Cette estimation, bien que très approximative, montre que la rivière de Bolbec est fortement dépendante des eaux souterraines, confirmant les résultats des observations hydrologiques et hydrogéologiques.

Le cours d'eau le Bébec, le forage captant l'Albien et le forage captant les Alluvions sont atypiques ; ils représentent une chimie distincte à eux seuls dans ce secteur d'étude. On ne dispose toutefois que de très peu de points pour valider la représentativité de ces faciès hydrochimiques. L'analyse bibliographique indique notamment qu'il peut exister une grande variabilité de faciès hydrochimiques dans la formation des alluvions, ce qui n'a pas pu être confirmé dans le cas présent.

Dans la vallée de Seine, Maillary et De la Quèrière (1970) ont mis en évidence un enrichissement des eaux de la nappe alluviale en éléments chlorures, sulfates, nitrates, sodium et potassium. La présence d'ammoniac a été signalée par ces auteurs sur le secteur de Tancarville et plus à l'est au droit de Firestone (aujourd'hui Arlanxeo) laissant présager des processus de contamination ou à l'inverse de dénitrification naturelle. Les auteurs ont également souligné la grande disparité des faciès hydrochimiques des ouvrages implantés dans les alluvions (cf. Illustration 279 page 392). A l'inverse, Burgéap (2020) indique que les eaux souterraines prélevées dans les ouvrages du secteur de Radicatel présentent un profil géochimique similaire sur tous les points de mesures témoignant de l'homogénéité de la masse d'eau alluvionnaire sur cette zone.

On rappelle que l'analyse des faciès hydrochimique de l'étude n'a concerné qu'un nombre limité de points qu'il conviendrait d'accroître à l'avenir pour préciser les mécanismes supposés et proposés ci-avant.

Recherche de corrélation avec les différents horizons / compartiments hydrogéologiques

- **La nappe de la Craie : Sénonien, Turonien, Cénomanién**

Pour les 22 points d'eau souterraine captant la Craie, une recherche plus approfondie a été réalisée afin de tenter d'identifier précisément d'où provenait l'eau souterraine en fonction des différentes unités lithologiques de la Craie : Sénonien, Turonien, Cénomanién.

Un travail d'identification pour chaque point d'eau ESO de la Craie a donc été réalisé à partir des données techniques disponibles dans la BSS, à savoir les coupes techniques et géologiques des ouvrages, les récapitulatifs disponibles des ouvrages, les données techniques disponibles concernant l'aménagement des sources captées (identifiées dans notre étude sous le terme forage), etc. De plus, pour chacun de ces points d'eau, les masses d'eau souterraine et les entités hydrogéologiques de la BDLISA ont également été prises en considération. Une classe de craie a donc été affectée à chaque point d'eau ESO captant la Craie (Craie n°1, Craie n°2, mélange de Craie n°1 et n°2).

Puis, ces informations ont été projetées sur l'ensemble des diagrammes binaires inter-éléments présentés précédemment. **Il en résulte que le classement réalisé ne laisse pas apparaître de tendance significative** ; autrement dit la chimie des éléments majeurs, mineurs, traces ne peut pas être expliquée pour les points concernés du secteur d'étude par un découpage simple en plusieurs horizons hydrogéologiques de la Craie.

- **Pôle Albien dans notre étude**

Le pôle Albien, plus précisément des Sables de l'Aptien-Albien, qui a servi de référence dans notre étude est constitué par un seul point d'eau ESO, le forage (00756X0046/F ; CH1 - Site de Radicatel). Ce forage est le seul forage captant l'Albien sur le secteur et disposant d'analyses.

Afin de conforter l'identification de ce pôle « Albien » notamment dans les diagrammes binaires, la chimie de ce point d'eau a été comparée à deux autres forages AEP captant également l'Albien, mais au sud-est de Rouen, il s'agit des forages suivants :

- 01007X0115/F, forage dédiée à l'eau minérale (Usine PIERVAL), captant l'Albien sur la commune de Pont-Saint-Pierre
- 01007X0124/F7BIS, forage captant l'Albien également sur la commune de Pont-Saint-Pierre.

La comparaison des concentrations en éléments majeurs, mineurs et traces de ces deux forages à celles du forage 00756X0046/F (CH1 - Site de Radicatel) a permis de valider le pôle Albien dans cette étude.

7.6.2. Apport de l'analyse de la conductivité

Identification de pôles spécifiques et mise en évidence de relations ESO-ESU

Dans l'ensemble, les rivières du territoire du SAGE montrent une même gamme de valeurs de conductivité électrique comprise entre 500 et 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$: Vivier, Brouisseresse, Vallée, Théluet et l'aval de la vallée du Commerce jusqu'à sa confluence avec la Seine. Ces valeurs sont également caractéristiques de la nappe de la craie.

L'amont de la vallée du Commerce présente une forte conductivité : 701 à 1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ jusqu'en aval de Gruchet-le-Valasse.

La source du Hannebot a une valeur de conductivité beaucoup plus faible, <500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, plus faible donc que les autres rivières, que l'on peut relier aux valeurs des sources du Bébec. Tout comme les valeurs relevées au niveau des sources de Mirville.

Il est à noter que les valeurs de conductivité relevées pour la nappe des sables aptien-albiens sont plus faibles que celles relevées dans la nappe de la craie : de 200 à 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Dans la plaine alluviale de la Seine et les rivières du Commerce, du Théluet et du Hannebot, les eaux ont une conductivité également plus forte : 701 à 1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Il est à noter que la conductivité des eaux du fleuve est également comprise entre 500 et 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Discussions

Les valeurs de conductivité relevées sont cohérentes avec les éléments relevés pour les ions majeurs. Nous rappelons que l'amont de la rivière de Bolbec possède une chimie particulière qui a été mise en évidence au paragraphe 7.6.1.

L'ensemble des mesures effectuées à l'amont de la rivière de Bolbec (eaux souterraines et superficielles) montre une conductivité assez élevée : de l'ordre de 700 à 1 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

L'émergence de la source de la rivière de Bolbec se situe au droit du site industriel Oril, aucune mesure en amont de ce site n'a pu être réalisée ou n'était disponible sous ADES. Cette

information aurait néanmoins permis de savoir si la conductivité de la nappe, à l'amont du site industriel, présentait également ou non de fortes valeurs de conductivité ; et dans le cas contraire, si celles-ci présentaient des valeurs communes à celles relevées pour la nappe de la craie ou en deçà comme sur le secteur de Mirville ou du Bébec/Triquerville.

En l'absence de cette information, il n'est pas possible d'indiquer si ces valeurs élevées correspondent à des valeurs naturelles ou relèvent de contaminations anthropiques.

Entre Bolbec et l'abbaye de Gruchet-le-Valasse, la conductivité dans la rivière et la nappe est encore élevée mais celle-ci diminue après la confluence avec le Becquet. On rappelle qu'en amont de ce point, la rivière est perchée. Sur ce secteur, la qualité de la rivière témoigne donc de celle des sources situées en amont. En aval, la reconnexion avec la nappe de la craie permet une dilution des valeurs observées dans le cours d'eau (on rappelle qu'il existe peu d'apports latéraux d'eaux de surface entre Bolbec et la zone de Gruchet).

Au niveau des eaux souterraines, on dispose d'assez peu d'informations qualitatives dans la vallée du Commerce en aval de Bolbec jusqu'à Gruchet-le-Valasse. Les informations disponibles concernent principalement le champ captant de St Marcel et le forage d'Eurial : sur ce secteur, il a pu être mis en évidence l'existence de circulations karstiques (endokarst et traçages, cf. paragraphe 4.5) soulignant l'existence de connexions préférentielles avec l'amont du bassin-versant souterrain. Les données de conductivité sont donc également cohérentes avec ce qui a été mis en évidence dans le volet hydro-géochimique. La conductivité des ouvrages de ce secteur est bien supérieure aux valeurs « normales » de la nappe de la craie.

Dans la vallée de la Seine, les ouvrages montrent une grande hétérogénéité dans les valeurs de conductivité mesurées, quel que soit le compartiment géologique : craie, graves de fond et alluvions fines. Ces résultats peuvent s'expliquer de différentes manières : (1) par la grande hétérogénéité des formations géologiques représentées, (2) par la diversité des conditions hydrogéologiques et hydrogéochimiques et notamment des conditions d'oxydo-réduction, (3) par la salinisation des eaux superficielles et souterraines, ou (4) par des contaminations anthropiques provenant de rejets urbains, agricoles ou industriels ou de pollutions des sols ou des eaux (sites et sols pollués). Cette liste d'hypothèses n'est pas exhaustive et il est probable que plusieurs des phénomènes exposés ci-avant cohabitent. Il faut de plus considérer que ces paramètres peuvent varier dans l'espace et dans le temps.

En observant les valeurs de conductivité sur les cours d'eau, l'hypothèse de la salinisation pourrait être plus vraisemblable dans la mesure où ces derniers sont connectés directement à la Seine : absence de clapets anti-retour. Ce cas ayant notamment été mis en évidence par Hydratec (1998) – (cf. paragraphe 3.5.3). Néanmoins l'hypothèse d'un impact de contaminations anthropiques provenant de l'amont ne peut pas être écartée à ce stade, au regard des données disponibles sur les concentrations de certains rejets (cf. paragraphe 7.4.2).

A l'inverse, sur le secteur de Mirville, les conductivités relevées en aval des sources sont faibles (200 à 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Les valeurs devraient correspondre à celles de la nappe de la craie, comme c'est le cas par exemple sur le secteur de la Fontaine Murée, le Val Horrible et la Vallée, c'est-à-dire entre 500 et 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en moyenne.

Cette faible conductivité pourrait s'expliquer par une plus faible interaction eau-roche ou par un temps de résidence plus court des eaux au sein de l'aquifère : on peut faire l'hypothèse de circulations rapides dans un milieu fissuré ou karstique, dans un aquifère aux faibles dimensions, alimenté par les eaux superficielles.

On observe des valeurs de conductivité similaires pour les sources du Bébec au Sud-Est de la zone d'étude (<500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). On rappelle que sur ce secteur les formations du crétacé inférieur sont sub-affleurantes. La gamme de conductivité relevée correspond également à celle connue en bibliographie pour l'aquifère albien. On peut faire l'hypothèse également d'échanges avec l'aquifère « profond » des sables apto-albiens. On rappelle que la chimie particulière du cours d'eau du Bébec avait été soulignée dans le paragraphe 7.5. Par analogie, on rappelle que le secteur de Mirville-Nointot est celui où le rejet de la faille de Fécamp-Lillebonne est le plus fort.

Pour conclure, la mesure de la conductivité n'est pas suffisante à elle seule pour caractériser si les teneurs et la variabilité mesurées relèvent de facteurs naturels ou anthropiques comme les interactions eau-roche, les pollutions ou les intrusions salines par exemple.

Il s'agit d'un outil permettant d'identifier une problématique qu'il convient ensuite de confirmer à l'aide d'analyse ou investigations complémentaires. C'est le cas par exemple pour une pollution, dont il conviendra ensuite de cerner les contaminants et leurs concentrations.

7.6.3. Apport de l'analyse de la qualité des eaux souterraine et superficielles

Le travail mené à l'aide du logiciel Qualistat 3 a permis de constituer une véritable base de données sur la qualité des eaux superficielles et souterraines à partir des données disponibles respectivement sous NAIADES et ADES.

Le travail d'analyse réalisé a permis de mettre en évidence sur la période 1993-2017 :

- D'une manière générale, la qualité des eaux superficielles et souterraines apparaît comme dégradée : de nombreux paramètres connaissent des dépassements des limites ou normes de référence dont celles fixées par la Directive Cadre sur l'Eau. La qualité des eaux superficielles apparaît à ce titre comme plus dégradée que celles des eaux souterraines.
- On remarque que l'on dispose d'assez peu de données en dehors des zones de vallées. La majorité des points de suivi sont situés au niveau de la vallée du Commerce et de ses affluents et de la vallée de la Seine.
- On remarque que l'on va retrouver les mêmes composés dans les eaux superficielles et souterraines (paramètres pour lesquels la fréquence de dépassement des normes de référence est la plus importante), mais ils sont moins « diversifiés » dans les eaux souterraines :

En éléments communs pour les eaux souterraines et superficielles, on retrouve principalement :

- Pour les métaux et métalloïdes : le fer, le manganèse, l'aluminium mais également le plomb, le cuivre, le nickel, le mercure et l'arsenic.
- Pour les paramètres physico-chimiques il s'agit de la turbidité et de la conductivité principalement.
- Enfin pour les paramètres azotés ou phosphorés, les éléments décelés le plus souvent sont l'ammonium et les orthophosphates.

Dans les eaux superficielles, on retrouve également :

- Pour les métaux et métalloïdes : uranium.
- Pour les paramètres physico-chimiques, des matières en suspension.

- Pour les éléments minéraux, les chlorures, perchlorates et sulfures.
- Pour les paramètres azotés ou phosphorés, les nitrites ;
- Pour les solvants, phénols et autres éléments organiques, des COHV et des composants phénolés.
- Des HAP et les dérivés de benzène,
- Enfin des pesticides organochlorés, acétamides et de la famille des triazines et triazoles.

En termes de localisation, il a pu être mis en évidence l'existence de deux foyers principaux concentrant à eux deux la majorité des points de dépassement des normes de référence : l'amont de la vallée de Bolbec, jusqu'à l'aval de Gruchet-le-Valasse, et le voisinage des zones industrielles en aval de Lillebonne et de Port Jérôme, à proximité de ND-de-Gravenchon.

D'autres secteurs apparaissent également sensibles : la vallée du Commerce et ses affluents entre Gruchet-le-Valasse et Lillebonne (secteur de St Marcel/Becquet/Fontaine Murée/Aulnes), le secteur de Radicatel et Port Jérôme 2 et, dans une moindre mesure, le secteur de Norville.

Le travail d'analyse bibliographique sur les pollutions anthropiques a pu mettre en évidence l'existence de rejets importants dans les cours d'eau et l'existence de sites et sols pollués autour des principaux centres urbains et dans la vallée de la Seine. L'existence de ces sources confirmées ou probables contribue vraisemblablement à la dégradation de la qualité des milieux aquatiques (eaux superficielles et souterraines). L'exemple de la pollution à la N-MOR en est malheureusement un exemple notoire (cf. David *et al.*, 2020).

Pour la plupart, ces composés ne sont pas normalement présents dans la nature, ou tout du moins pas à de telles concentrations. Leur présence dans les milieux aquatiques est très certainement imputable à des contaminations industrielles, urbaines ou agricoles, comme évoqué ci-avant. Toutefois, l'identification du ou des sources de polluants relève d'un travail spécifique hors cadre de cette étude.

Indépendamment du fait que ces molécules soient présentes naturellement ou rejetées directement ou indirectement dans les milieux aquatiques, **les mécanismes qui conduisent à leur mobilisation et leur migration** vont dépendre notamment des spécificités des molécules (solubilisation, capacité d'adsorption, comportement de phase, densité, etc...), du type(s) d'aquifère(s) ou cours d'eau et leur configuration spatiale, et enfin des voies de transferts : les fissures, la matrice, le karst, ou plusieurs voies à la fois et enfin de la possibilité d'échange entre les eaux superficielles et souterraines et de piégeage/dégradation dans le milieu naturel.

Cette complexité dans les mécanismes de transfert a notamment pu être mise en évidence avec la salinisation de l'aquifère alluvial (voir paragraphe 7.5.1). Cette étude a pu mettre en évidence l'existence de minéralisations anormales dans la vallée de la Seine. Toutefois, il est difficile, à ce stade, d'indiquer si celles-ci relèvent d'une salinisation en cours du système aquifère ou si elles relèvent de pollutions, vraisemblablement même des deux mécanismes à la fois.

Une hypothèse élaborée à partir de la fréquence de dépassement a permis d'estimer si les contaminations observées pouvaient être de type ponctuelles ou chroniques. A partir de cette hypothèse, on estime que les paramètres suivants relèveraient d'une contamination chronique :

- Pesticides organophosphorés et carbamates,
- Ammonium,
- Phénols,
- Traces de poly-halogénés type PCB.

A l'inverse les paramètres suivants relèveraient de contaminations ponctuelles :

- Orthophosphates ;
- HAP ;
- Autres solvants et éléments organiques.

Et enfin d'autres molécules pour lesquelles il n'est pas possible d'indiquer s'il s'agit d'une contamination chronique ou ponctuelle :

- Pesticides Triazines et ses métabolites et autres pesticides,
- Métaux et métalloïdes ;
- Paramètres physico-chimiques (comme la turbidité et conductivité) et minéraux ;
- Benzène et ses dérivés,
- COHV.

Une étude hydrochimique plus approfondie permettra probablement d'identifier l'origine de ces contaminations et d'en préciser les mécanismes. On rappelle le fonctionnement hydrologique complexe (donc non-homogène) des ressources en eau à l'échelle du territoire du SAGE. Fort de ce constat, on précise qu'il n'est pas possible dans le cas présent de mettre en évidence avec certitude les mécanismes de transferts, sans réaliser des études de détail (statistiques ACP, fréquentielles ou ondelettes). Par exemple pour mettre en avant une forme de sensibilité des ressources en eau souterraines pour les paramètres de turbidité, conductivité, métaux et ammonium notamment dont l'origine est très probablement naturelle en lien avec les eaux de surface (drainage karstique) et pour mettre en évidence également des phénomènes de dénitrification ou de changement des conditions d'oxydo-reduction (cas des aquifères captifs par exemple).

A ce titre on peut mettre en avant les travaux en cours de réalisation par le BRGM et la faculté de Rouen sur le site de Radicatel (modélisation du signal pluie/turbidité et ruissellement/drainage karstique), ou les travaux de Masséi (2001) et Fournier (2005) sur le captage de Norville : analyse des conditions d'apparition de la turbidité au captage de Norville.

Aussi, il nous semble nécessaire d'améliorer les connaissances sur l'origine et les mécanismes de transfert de certaines de ces substances : recherche latérale et verticale, suivi dans le temps (recherche de tendances, de saisonnalité, corrélation géo-statistique avec l'hydrologie ou des phénomènes physiques externes, etc...).

7.6.4. Préconisations pour le volet qualitatif

Constat

Des insuffisances ont pu être mises en avant dans le cadre de cette étude :

- Le manque d'analyses complètes, c'est-à-dire possédant l'ensemble des paramètres chimiques nécessaires à la réalisation d'une analyse géochimique (éléments majeurs mineurs et traces) ou plus spécifique pour recherche de pollution, d'isotopes permettant par exemple de préciser les circulations et échanges entre masses d'eau, recharge, âge des eaux, etc... ;
- L'absence de suivi de ces paramètres dans le temps, permettant par la suite une analyse robuste de ces données : analyses statistiques (dont recherche de tendances), variabilité climatique et saisonnière, en hautes eaux et en basses eaux, incidences des activités anthropiques (rejets notamment) ;

- L'insuffisance de données dans l'espace, rattachées à des points d'eau répartis à l'échelle de l'ensemble du territoire. Par exemple à l'amont/aval de sources, de rejets (centres urbains ou zones d'activité, de zones de confluence pour les cours d'eau., etc...

On pourrait ajouter, en plus des 3 points mis en avant, que ces analyses devraient être réalisées sur les différents compartiments de l'hydrosystème : c'est-à-dire sur les eaux superficielles, et idéalement représenter les différents compartiments aquifères pour les eaux souterraines (Alluvions fines, graves de fond, sables de Lillebonne, gaize, craie cénomaniennes, craie turonienne, etc...).

Propositions

Pour améliorer les connaissances sur les origines des eaux et les circulations souterraines, d'une part, et pour mieux cerner les secteurs impactés par des pollutions d'autre part, il nous semblerait pertinent de conduire une campagne d'analyse pluriannuelle (à minima en hautes et basses eaux) sur une période de 3 à 5 ans :

- Sur les eaux superficielles (y compris la Seine) et petits cours d'eau se jetant dans des pertes : au niveau des principales sources, à l'aval des confluences, à l'amont et l'aval des principales zones de rejets (urbains ou domestiques et industrielles) ;
- Sur les eaux souterraines :
 - a. En particulier sur quelques forages agricoles implantés sur les plateaux (de part et d'autre du système faillé de Fécamp-Lillebonne) ;
 - b. A l'amont et l'aval de zones à enjeux : comme le vallon de Bolbec, le champ captant de St Marcel-Becquet, les zones humides prioritaires et la plaine alluviale de la Seine (de Tancarville à Norville), au droit et à l'aval des zones polluées (BASOL en particulier).
 - c. De bancariser les informations relevées sur les captages AEP ; outre la qualité, les suivis de nitrates, conductivité, température et turbidité, les suivis de niveau d'eau pourraient utilement être analysés.

Ce qui représenterait environ une quinzaine de stations de suivi de la qualité sur les eaux superficielles et souterraines (hors AEP). Soit un réseau « qualité » constitué d'environ 30 points. Cette proposition doit notamment venir compléter utilement les efforts entrepris pour la surveillance de la qualité des eaux liée au suivi de la contamination à la MOR/NMOR (cf. David et al., 2020) ainsi que d'autres suivis environnementaux des milieux en cours également sur le territoire.

Paramètres à suivre

Il nous semble indispensable aujourd'hui de disposer, à l'échelle de l'ensemble du territoire du SAGE Commerce et pour les eaux souterraines et superficielles, d'un suivi sur les paramètres suivants, à minima :

- Analyse des éléments majeurs, mineurs et balance ionique ;
- Recherche des groupes de paramètres suivants : métaux et métalloïdes (dont uranium), de la turbidité et de la conductivité, des matières en suspension, Eh et Oxygène dissous, des paramètres azotés ou phosphorés dont nitrites, ammonium et les orthophosphates, perchlorates, des COHV et phénols, des HAP et les dérivés de benzène, des pesticides organochlorés, acétamides et carbamates enfin la famille des triazines et triazoles en particulier.
- Dans une moindre mesure la recherche de PCB.

Bien entendu il apparaît ici indispensable que ces futures analyses soient bancarisées sous ADES pour les eaux souterraines et NAIADES pour les eaux superficielles. Il appartiendra ensuite de réévaluer les résultats au regard des avancées des connaissances sur l'hydrosystème (avec la mise en œuvre du modèle hydrodynamique notamment) et en fonction de l'évolution des facteurs anthropiques (urbanisation, rejets, implantation de nouvelles activités) etc...

On rappelle que faute de suivi suffisant, il sera difficile d'évaluer les effets des politiques ou actions mises en œuvre visant à la reconquête de la qualité des masses d'eau superficielles et souterraines.

Etudes complémentaires (hors campagne)

Eu égard des contaminations identifiées dans les eaux souterraines ou superficielles ou suspectées dans la vallée de la Seine et dans le haut Commerce, il nous semblerait utile de conduire une étude spécifique pour la recherche préalable des éventuels foyers de pollution.

8. Modèles Conceptuels

Les modèles conceptuels de fonctionnement des hydrosystèmes de la vallée du Commerce et de la Seine, faisant apparaître le bilan quantitatif (provisoire) sont présentés pages suivantes (Illustration 299 et Illustration 300).

Schéma conceptuel du fonctionnement de la plaine alluviale de la Seine - contexte estuarien

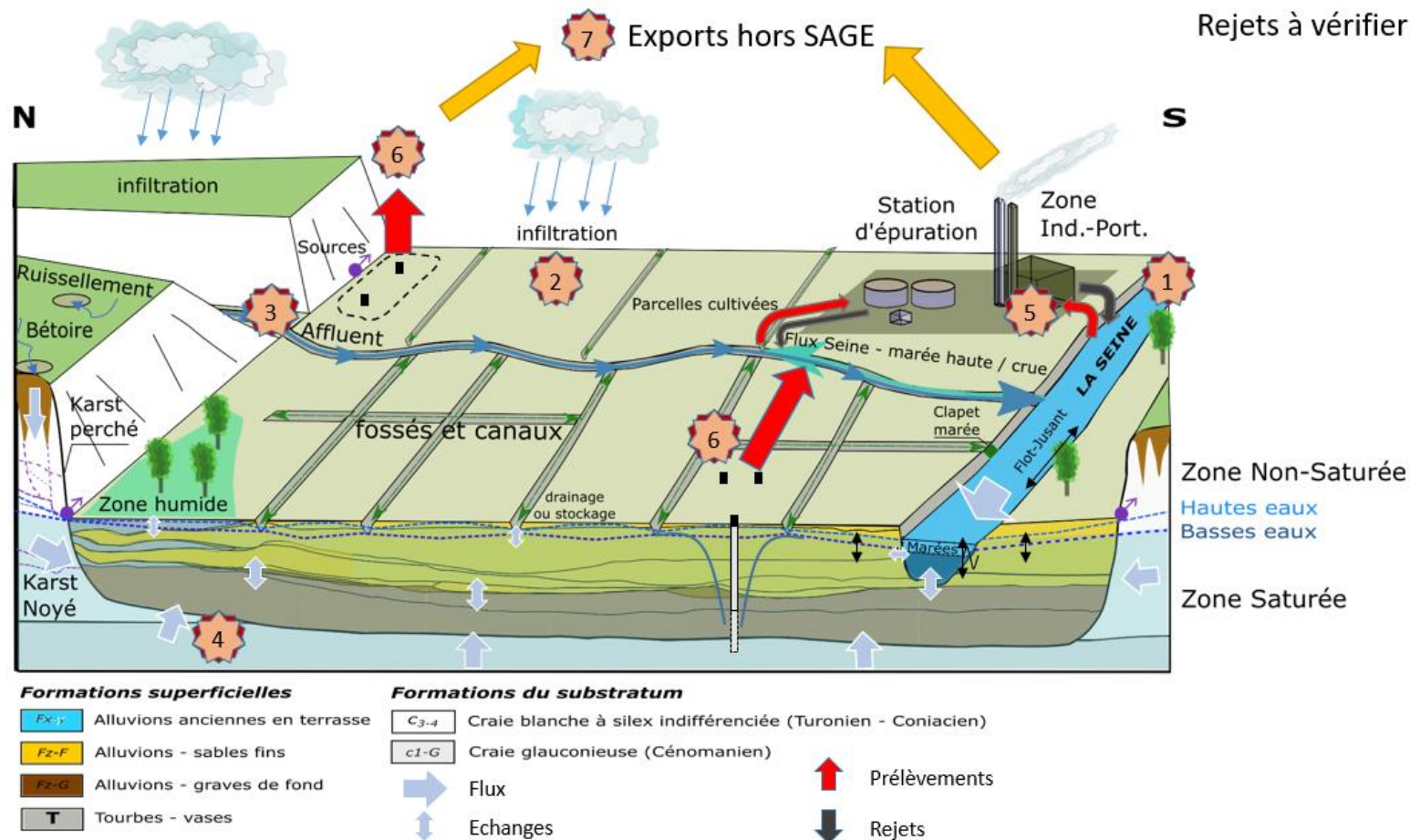


Illustration 299 : Modèle Conceptuel du fonctionnement de la plaine alluviale de la Seine

BILAN SAGE

1 – Débit Seine

Débit au barrage de Pose (113 km en amont) : 16,9 Gm³/an

Zone étude SAGE ?

2 – Pluie efficace/infiltration

Pe = 42 km² SAGE x 0,3 m/an = 12,6 Mm³/an

Inf = 42 km² SAGE x 0,1 m/an = 4,2 Mm³/an

3 – Débit des cours d'eau

Théluel, Commerce, Radicatel, Brousseresse+Vivier ne sont pas suivis ?

Mesure annuelle sur le Hannetot (Univ –Rouen)

4- Apports latéraux de la nappe de la craie

Flux Matriciel et Karstique (piezo) ?

5 – Prélèvements/Rejets Eau de Surface

- Prélèvements env.56 Mm³/an
Dont 30 Mm³/an (Seine)
- Rejets env. 4,1 Mm³/an

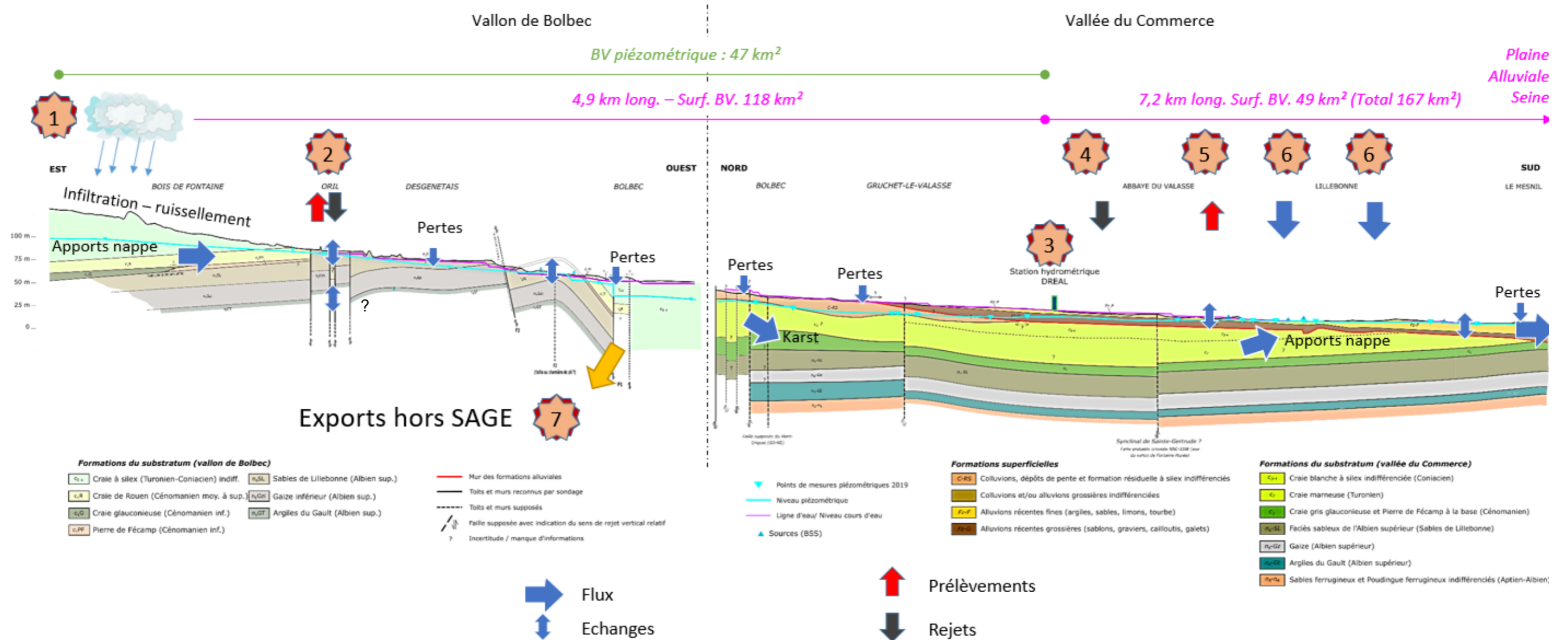
6 – Prélèvements eau souterraines

Env. 10 Mm³/an dont :
- 3,5 Mm³/an pour l'AEP
- 6 Mm³/an pour l'industrie
- 0,5 Mm³/an pour l'Agriculture

7 – Export Hors SAGE

- env. 3Mm³/an pour l'ESO
- env. 14 Mm³/an pour l'ESU (Seine)

Rejets à vérifier



BILAN Commerce

1 – Pluie efficace – infiltration - Ruissellement

$P_{e.} = 47 \text{ km}^2 \text{ SAGE} \times 0,45 \text{ m/an} = 21,6 \text{ Mm}^3/\text{an}$

$\text{Inf.} = 47 \text{ km}^2 \text{ SAGE} \times 0,35 \text{ m/an} = 16,8 \text{ Mm}^3/\text{an}$

$\text{Ruis.} = 118 \text{ km}^2 \times 0,08/\text{an} = 9,44 \text{ Mm}^3/\text{an}$

2 – Prélèvement et Rejet amont ESU / ESO

Rejet ESU : +3,6 Mm³/an, Prélèvement ESU : -0,3 Mm³/an ; ESO : -0,6 Mm³/an

3- Débit du Commerce à la Station de Gruchet le Valasse

6,6 Mm³/an, moyenne interannuelle. Flux estimés

ESO 68 % et ESU 30%

4- Rejets STEP Gruchet et EURIAL (ESU) Commerce Aval

+ 1,1 Mm³/an

5- Prélèvements ESO / ESU Commerce Aval.

ESO : -1,2 Mm³/an, ESU : négligeable

6- Apports débit Aulne et Vallée (ESU) + Apports nappe (ESO)

Débit interannuels ? Apport nappe/karst ?

7 – Export (ESU/ESO) vers Yport et Radicatel

On estime à 60 % le débit souterrain appartenant au bassin versant

superficiel de 118 km² de la station hydrologique exporté

Volume exporté par le karst ?

Illustration 300 : Modèle conceptuel du fonctionnement de l'hydrosystème de la vallée du Commerce

9. Conclusions et Perspectives

9.1. SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RESULTATS

9.1.1. Volet hydrogéologique

Sur le territoire du SAGE on distingue trois principales unités aquifères, de par leur épaisseur et leur extension géographique : Les alluvions, les formations crayeuses et les formations sableuses albo-aptiennes.

Les deux premières unités (alluvions et craie) sont en continuité hydraulique alors que l'aquifère crayeux est séparé de celui des sables de l'Aptien-Albien par la formation imperméable des argiles du Gault, cette dernière unité constitue donc le mur de l'aquifère crayeux. L'aquifère des sables apto-albien est donc considéré comme captif alors que l'aquifère crayeux et alluvial est considéré comme libre, à semi-captif (sous les formations superficielles ou d'altération).

Dans le volet géologique de cette étude, il a pu être mis en évidence que les unités stratigraphiques, pouvaient montrer des variations de faciès significatives : passage de craies dolomitisées ou indurées à des craies sablo-gréseuses ou argilo-sableuses pour le Cénomaniens par exemple. Ces différences dans la lithologie s'expriment également au niveau des propriétés hydrogéologiques des unités rencontrées (porosité et conductivité hydraulique notamment) : c'est le cas par exemple de la craie glauconieuse, des gaizes et les sables de Lillebonne de la base du Cénomaniens où la conductivité hydraulique varie de 10^{-5} à 10^{-8} m/s pour une porosité maximale de l'ordre de 15 à 50% ; c'est également le cas des alluvions avec des unités sablo-graveleuses à la base et des formations argilo-silteuses en surface ; la conductivité hydraulique varie de 10^{-3} à 10^{-7} m/s pour une porosité totale de l'ordre de 10 à 30 %. Ces chiffres montrent donc que l'apparente homogénéité de ces unités hydrogéologiques marque au contraire une grande hétérogénéité de leurs capacités intrinsèques.

Le territoire du SAGE Commerce est traversé par les systèmes faillés de Fécamp-Lillebonne (N150) et la faille Triquerville (N60-80). Les investigations géophysiques et les sondages réalisés autour de la structure de Fécamp-Lillebonne (Meire et al., 2019 et David et al., 2020) ainsi que les relevés terrain menés de manière parallèle par Ragot (Ragot 2020 inédit) ont permis de mettre en évidence un système faillé complexe, en tresses de failles, dont la géométrie et les jeux tectoniques évoluent dans l'espace ; scindant le territoire en compartiments litho-structuraux distincts : horst, grabens, blocs basculés, pincement, etc... Le long de la structure de Fécamp-Lillebonne, trois principaux faisceaux de failles ont pu notamment être identifiés et nommés : F0 à F2, présentant des jeux pluridécimétriques.

Ces structures affectent, décalent et mettent en contact des formations géologiques aux propriétés hydrodynamiques très différentes : comme les craies, les gaizes, sables de Lillebonne et argiles du gault par exemple. Ainsi dans le compartiment surélevé, le mur de l'aquifère constitué par les argiles noires du Gault se trouve proche de la surface. Dans le compartiment surbaissé, on retrouve l'épaisse série crayeuse s'étendant du Sénonien au Cénomaniens, le mur correspond également aux argiles du Gault se trouvent alors en profondeur.

Outre l'aspect mécanique que la structuration tectonique va avoir sur les différentes unités géologiques, celle-ci a également favorisé le développement d'une intense karstification, permettant le développement de réseaux karstiques d'une ampleur remarquable à l'échelle régionale. La fissuration et la karstification des unités lithostratigraphiques va modifier leurs

propriétés hydrodynamiques intrinsèques (en particulier l'emmagasinement et la transmissivité des unités aquifères) et donc impacter les écoulements.

Dans le cadre de cette étude le BRGM a pu mettre en place un réseau de suivi des variations du niveau des eaux souterraines, constitué d'une quinzaine de points d'observations répartis entre les plateaux et vallées (dont plaine alluviale de la Seine) dans les différents compartiments hydrogéologiques.

Les observations réalisées sur les ouvrages situés en plateau ont pu mettre en évidence 3 grands types de comportement : certains ouvrages semblent sous influence de circulations karstiques et présentent des mises en charges rapides lors des précipitations, à l'inverse un second groupe montre un effet plus inertiel avec des variations beaucoup plus lissées et retardées dans le temps par rapport aux périodes pluvieuses. Ce comportement est vraisemblablement le marqueur des transferts dans la zone non saturée de l'aquifère et caractérise davantage le fonctionnement « matriciel » de l'aquifère. Ces deux grands types de variations traduisent le caractère libre de la nappe. Un dernier groupe montre une courbe de recharge/vidange avec de faibles amplitudes, à grande longueur d'onde, marquant probablement des cycles pluri-annuels. Ce dernier comportement est caractéristique de milieux plus confinés et peu perméables.

Le signal piézométrique dans la vallée du Commerce et de la Seine est influencé par un multitude de facteurs dont le principal semble être la pluviométrie. Burgéap (2020) estime que les précipitations représenteraient 80 à 90 % du signal. Les 10% restant correspondraient à des variations liées à la marée (dont les effets s'atténuent rapidement avec la distance au fleuve), aux variations régionales de l'aquifère ou à des facteurs externes comme les pompages.

Les calculs réalisés sur la diffusivité des ondes de marée dans la vallée de la Seine on permis de montrer que la valeur de ce paramètre était plus importante dans les graves de fond (env. $2 \cdot 10^5 \text{ m}^2/\text{h}$) que dans la craie (env. $2 \cdot 10^4 \text{ m}^2/\text{h}$) et les alluvions récentes (env. $1 \cdot 10^4 \text{ m}^2/\text{h}$ avec une plus grande variabilité des mesures).

Le suivi mis en œuvre a permis de mettre en évidence que certaines secteurs où la cote au sol est particulièrement basse, sont susceptible de connaître des phénomènes de remontée de nappe, occasionnant des débordements ou inondations localisées.

Ces phénomènes sont toutefois limités par le rôle joué par le réseau de drainage et fossés qui jouent un rôle de filtre/tampon servant à la fois de drain et de stockage. Le fonctionnement de ce réseau limiterait la hausse du niveau piézométrique dans la frange superficielle des terrains. Cet effet serait notamment influencé/accentué par les fossés connectés au fleuve par des clapets.

Deux grandes campagnes de mesure des niveaux de nappe, des lignes d'eau et débit des cours d'eau ont été mis en œuvre dans le cadre de l'étude en avril 2017 et mars 2019. Le traitement des données a permis notamment et de proposer des cartes d'interpolation de la surface piézométriques, obtenues par traitement géo-statistique.

Les directions d'écoulements matriciels ont été interprétées d'après les cartes piézométriques de 2017 et 2019. Elles tiennent compte de l'effet du drainage karstique sur l'écoulement matriciel.

Le positionnement des lignes d'écoulement et de partage des eaux a permis notamment de délimiter les principaux bassins versants souterrains. Pour les principaux on distingue :

- le bassin piézométrique d'Yport dont les écoulements se font vers la Manche dans le prolongement de l'axe Fécamp-Lillebonne, venant amputer le bassin versant topographique du Commerce ;

- le bassin piézométrique des sources de Radicatel et du Vivier, capturant le bassin topographique du Val d'Arques/Mont Criquet.
- le bassin piézométrique du Commerce, amputé des deux précédents, se trouve beaucoup plus réduit que sont bassin topographique, son écoulement se fait vers le sud et la Seine.

Deux hypothèses principales sont confrontées, sur la position d'une des lignes de partage des eaux souterraines entre le bassin versant Manche et le bassin versant Seine dans le compartiment effondré. En fonction des hypothèses, celle-ci serait située au niveau du centre-ville de Bolbec ou plus au nord, au niveau de Nointot.

La lecture des documents a permis également de soulever une autre hypothèse : celle du rôle non drainant de certains faisceaux de faille guidant les écoulements matriciels dans le compartiment surélevé.

Ces axes fracturés supposés peuvent représenter, en complément des failles observées ou déduites des investigations géophysiques et de l'analyse des sondages, des axes de circulations préférentielles des eaux souterraines, tant verticales qu'horizontales. En effet, certaines particularités géologiques peuvent conditionner le développement de karst comme cela a été souligné et donc par conséquent favoriser ces voies de transferts rapides au sein de l'ensemble de l'hydrosystème.

Certaines de ces voies de transfert sont par ailleurs mises en évidence par :

- des observations géologiques et hydrogéologiques : effondrements, endokarst, fracturation, pertes, gradients piézométriques et zones de déconnexion nappe-rivière ;
- des résultats de traçages, dont une synthèse a été proposée au paragraphe 4.5.2 ;
- des observations sur la qualité des eaux : teneurs en MOR et NMOR notamment, interprétés en tant que traceurs, mais également d'autres mécanismes hydrochimiques.

Pour le système lié à la faille de Fécamp-Lillebonne, les réseaux karstiques au niveau du verrou de Bolbec, liés aux pertes de la rivière du Commerce situées dans le compartiment géologique affaissé au niveau du faisceau de faille F0, se dirigeraient vers le sud-ouest dans la vallée du Commerce en direction de Notre-Dame-de Gravenchon. Ces réseaux karstiques draineraient à la fois les écoulements matriciels du graben de Bolbec et les pertes en rivière. Cet écoulement est facilité par les failles F0a et F0b ainsi que par les karsts développés sur des plans horizontaux et sur des bancs indurés (David et al., 2020).

Sur le compartiment surélevé, le fait que les pertes de la rivière se dirigent vers le nord à Yport pourrait s'expliquer par une infiltration dans un karst présent au niveau du secteur faillé F1-F2 et dont les eaux migreraient sur 2 à 3 kilomètres vers le Nord au-delà la limite de la crête piézométrique délimitant les écoulements matriciels (David et al., 2020). Au sud de cette limite de partage des eaux matricielle, David et al. (2020) fait l'hypothèse que les écoulements karstiques du système faillé F1-F2 serait dirigé vers le sud-est et les sources de Fontaine Murée et du Val Horrible, parallèlement à la vallée du Commerce.

Il est à noter que les investigations menées sur le secteur sud de la vallée du Commerce, autour de la rivière de la Vallée et du Théluet, ne permettent pas encore aujourd'hui d'avoir le même niveau de détail obtenu sur le vallon de Bolbec. Par analogie, on peut suspecter un fonctionnement similaire des écoulements matriciels et karstiques : c'est à dire entre ces vallées perpendiculaires (grabens) et les principaux systèmes de failles décrits ci-dessus (F0, F1 et F2 notamment), avec des zones de pertes ou d'emergences localisée le long ou à l'intersection de ces structures.

Pour le système karstique du Bébec-Hannetot, les investigations réalisées par l'Université de Rouen nous renseignent sur le fonctionnement du système entre la perte principale, implantée le long du système faillé de Triqueville, et la source du Hannetot située dans la vallée de la Seine dans le compartiment effondré. Les études ont pu mettre en évidence un fonctionnement plus complexe du système karstique lié vraisemblablement à sa morphologie étagée : avec la présence d'émergences secondaires perchées et d'autres occultes, sous les alluvions de la vallée de Seine. A noter : il n'existe pas d'opérations de coloration avec les pertes de la Ravine au niveau du hameau du Noyer ou de Cantepie qui permettraient de préciser encore le fonctionnement de ce système karstique.

Pour le système karstique de Radicatel-Vivier, un schéma d'écoulement souterrain a pu être proposé à partir de l'analyse des traçages recensés sur le territoire. Il est supposé ici que les écoulements cheminent dans les mêmes directions que les accidents supposés (soulignés par des linéaments et chapelets de bétoires). Ce qui a permis au BRGM de proposer une hypothèse de découpage en différents compartiments ou sous-systèmes karstiques associés aux principales émergences : du Moulin, de la Brouisseresse et du Vivier-Tancarville.

9.1.2. Volet hydrologique

Les mesures de niveau et débit des cours d'eau réalisés en 2017, 2018 et 2019 par le BRGM et la DREAL Normandie sur les rivières du territoire ont permis d'identifier des secteurs où les rivières étaient en pertes et d'autres où elle était en gains. De même il a pu être identifiés des secteurs où les niveau de nappe et le niveau des cours d'eau était globalement à l'équilibre et d'autres où ces derniers étaient déconnectés.

Ces observations ont corrélés avec le niveau des nappes et la position des principaux accidents identifiés. Une bonne corrélation a pu être trouvée pour la rivière du Commerce et certains de ses affluents comme la rivière des Aulnes, le fontaine murée. D'autres cours d'eau comme le Bébec présentaient également un schéma de fonctionnement bien identifié, décrit notamment par les travaux de l'Université de Rouen.

Les zones de pertes et gains potentiels n'ont pas pu être mis en évidence de manière aussi certaine pour les autres cours d'eau du territoire : Vivier, Brouisseresse, Théluet et l'affluent du Commerce la rivière de la Vallée. Leur fonctionnement apparait plus hétérogène, probablement faute de mesures suffisantes.

Il est à noter qu'il existe une seule station de mesure en continu du débit des cours d'eau, en dehors de l'observatoire existant sur la source du Bébec et la source du Hannetot suivi par le laboratoire de la faculté de Rouen.

Il a pu être mis en évidence que cette unique station hydrométrique de mesure en continu du débit de la rivière du Commerce est située sur un tronçon déficitaire, qui ne reçoit pas de débit supplémentaire par des sources ou, de manière diffuse, par la nappe. Par ailleurs, ce tronçon de la rivière se trouve déconnecté de la nappe et serait donc alimentée exclusivement par les ruissellements.

Le bassin d'alimentation souterrain de la station a pu être localisé en amont : au niveau de la traversée du faisceau de faille. Il représenterait une surface de 10 km² environ, contre 118 km² pour son bassin topographique.

La vallée de la Seine et sa plaine alluviale ont fait l'objet de modifications profondes, visant à maintenir le fleuve dans son lit pour garantir le trafic fluvial et maritime commercial. La chenalisation du fleuve (et dans une moindre mesure son endiguement) et le drainage de la plaine

alluviale ont permis une appropriation par l'homme des zones humides et terrains situés dans la plaine alluviale, transformant l'occupation des sols : passage de marais alluviaux à des plaines agricole, puis industrielles et portuaires.

L'amplitude des marées du fleuve est en moyenne de 5 m et peut même dépasser les 6,8 m lors des marées d'équinoxes. **Il est à noter que le débit de la Seine n'est connu que très en amont du territoire du SAGE Commerce** : au niveau du barrage de Poses ou même de Vernon, dans le département de l'Eure. Cette difficulté est liée au fait que la marée, lorsqu'elle rentre dans l'estuaire, va inverser les flux. Si bien que les écoulements vont s'inverser : de l'amont vers l'aval au jusant et inversement au moment du flot.

En conséquence, l'écoulement des rivières directement connectées à la Seine s'effectue par cycles, en fonction de l'amplitude des marées. Les flux s'inversent alors également dans la partie aval des affluents, le fleuve remontant à l'intérieur de leur cours inférieur. Ce phénomène est particulièrement accentué lors des périodes de forts coefficients de marées ou lors des crues du fleuve.

Tous les points de mesures sur les fossés et canaux présentent une dynamique saisonnière de hautes eaux / basses eaux (la période d'étiage semble coïncider avec la période estivale). Ce réseau hydrographique annexe est marqué par un signal important des précipitations, qui semblent plus importantes sur la période automne-hiver. Il est à noter que ce fonctionnement est analogue à celui observé sur les piézomètres de la nappe alluviale.

Le BRGM a pu mettre en évidence que le débit des cours d'eau pouvait diminuer de façon conséquente en arrivant dans la plaine alluviale (Théluet et Hannetot notamment). L'effet suspecté est une dilution de celui-ci dans la nappe d'accompagnement des cours d'eau et une diffusion des volumes y transitant dans l'ensemble des réseaux de petits canaux et fossés qui maillent le territoire. Ainsi le rôle hydraulique de ce réseau secondaire est tantôt drainant pour la nappe et les cours d'eau, tantôt capacitif pour recueillir les excédents et les canaliser vers les exutoires.

9.1.3. Volet qualitatif

Dans le cadre de cette étude, un travail d'analyse de la variabilité de la qualité des eaux souterraines (ESO) et superficielles (ESU) a été réalisé à partir des informations disponibles dans les bases de données NAIADES et ADES. Cette analyse a été complétée par la mesure de la conductivité in-situ lors de la campagne de mesures quantitative de 2019.

L'analyse des éléments majeurs, mineurs et traces, ainsi que le travail de caractérisation à l'aide des diagrammes de Piper, de Schöeller-Berkaloff et les digrammes binaires inter-éléments utilisés ont permis de mettre en évidence des pôles spécifiques en fonction des caractéristiques hydrogéologiques et géographiques, mais aussi d'identifier le lien ESO-ESU pour certains cours d'eau alimentés par les eaux souterraines de la nappe de la craie.

Il a notamment pu être démontré que le cours d'eau le Bolbec, sur le compartiment nord-est de la faille de Fécamp-Lillebonne, possède une chimie des eaux des ESU et une conductivité forte ($> 1000 \mu\text{S/cm}$) nettement différente du pôle « eau de la nappe de la craie ». Ce faciès hydrogéochimique peut s'expliquer, compte tenu du contexte géologique local, par l'existence d'eaux issues d'un mélange de plusieurs unités lithologiques différentes : craie, sables de lillebonne, gaize, albien (peu probable, conductivité faible $< 600 \mu\text{S/cm}$). Plus vraisemblablement, ce faciès hydrochimique singulier pourrait avoir comme origine une pollution industrielle : présence de sites et sols pollués et de rejets industriels modifiant la chimie des eaux souterraines et superficielles. Ou encore l'existence simultanée de ces deux hypothèses.

La chimie des éléments majeurs, mineurs et traces des eaux du forage F3 de Gruchet le Valasse (00756X0139/F), est représentative d'un mélange entre des eaux de la nappe de la Craie (conductivité moyenne comprise entre 500 et 700 μ S/cm) et une proportion d'eau qui a une chimie correspondant aux cours d'eau amont, « non représentatif de la nappe de la Craie ». L'hypothèse proposée est une drainance du cours d'eau ou une relation avec le karst drainant des eaux venant de l'amont du bassin du Commerce. Hypothèses cohérentes avec les observations hydrologiques et hydrogéologiques exposées dans cette étude.

Dans la vallée de la Seine, l'analyse réalisée a montrée une hétérogénéité des faciès chimiques rencontrés marquant également une grande complexité des processus hydrochimiques, notamment d'oxydo-reduction : effets de pollutions/rejets, échanges eaux-roches dans des unités lithologiques très hétérogènes, échanges eaux de surface et le fleuve estuarien (salinisation), etc... Cette liste d'hypothèses n'est pas exhaustive et il est probable que plusieurs des phénomènes exposés ci-avant cohabitent. Il faut de plus considérer que ces paramètres peuvent varier dans l'espace et dans le temps.

Le travail d'analyse réalisé sur les paramètres indésirables a permis de mettre en évidence, sur la période 1993-2017 :

- D'une manière générale, la qualité des eaux superficielles et souterraines apparait comme dégradée : de nombreux paramètres connaissent des dépassements des limites ou normes de référence dont celles fixées par la Directive Cadre sur l'Eau. La qualité des eaux superficielles apparait à ce titre comme plus dégradée que celles des eaux souterraines.
- On remarque que l'on dispose d'assez peu de données en dehors des zones de vallées. La majorité des points de suivi sont situés au niveau de la vallée du Commerce et de ses affluents et de la vallée de la Seine.
- On remarque que l'on va retrouver les mêmes composés dans les eaux superficielles et souterraines (paramètres pour lesquels la fréquence de dépassement des normes de référence est la plus importante), mais ils sont moins « diversifiés » dans les eaux souterraines.

En termes de localisation, il a pu être mis en évidence l'existence de deux foyers principaux concentrant à eux deux la majorité des points de dépassement des normes de référence : l'amont de la vallée de Bolbec, jusqu'à l'aval de Gruchet-le-Valasse, et le voisinage des zones industrielles en aval de Lillebonne et de Port Jérôme, à proximité de ND-de-Gravenchon.

D'autres secteurs apparaissent également sensibles : la vallée du Commerce et ses affluents entre Gruchet-le-Valasse et Lillebonne (secteur de St Marcel/Becquet/Fontaine Murée/Aulnes), le secteur de Radicatel et Port Jérôme 2 et, dans une moindre mesure, le secteur de Norville.

9.1.4. Volumes prélevés/rejetés

Dans le cadre de cette étude, il a pu être organisé une collecte des volumes prélevés/rejetés dans les eaux souterraines et superficielles (période 1994-2015).

Deux bilans, réalisés pour les années 2015 et 2009, est négatif. Les volumes prélevés en eaux souterraines et en eaux de surface sont supérieurs aux volumes rejetés.

Les bilans pour les eaux souterraines et pour les eaux de surface sont des pertes nettes de l'ordre de 6 à 8 Mm³ pour les eaux souterraines et de l'ordre 48 à 52 Mm³ pour les eaux de surface.

Il est cependant intéressant de constater que le bilan pour les eaux souterraines entre 2009 et 2015 est une baisse relative du déficit de l'ordre de 2 Mm³ en 2015 par rapport à 2009. Ce constat n'est en revanche pas observable avec les eaux de surface. En effet, entre 2015 et 2009, une augmentation de l'ordre 4 Mm³ est plutôt constatée.

Le bilan pour les eaux souterraines peut s'expliquer par la baisse des volumes prélevés en eaux souterraines (baisse de l'ordre de 4,9 Mm³).

Dans le cas des prélèvements, la plus forte baisse concerne les prélèvements pour les besoins en eau potable (AEP) (baisse de l'ordre de - 6,5 Mm³) puis les besoins industriels (baisse de l'ordre de - 1,6 Mm³). A contrario les prélèvements pour les besoins agricoles ont augmenté de l'ordre de + 3,2 Mm³.

Concernant les rejets, la principale baisse provient des volumes rejetés par l'assainissement collectif (baisse de l'ordre de - 2 Mm³).

Le bilan opposé pour les eaux de surface peut s'expliquer par la hausse des volumes prélevés en eaux de surface (hausse de l'ordre de + 4 Mm³). Dans ce même laps de temps, les volumes rejetés en eaux de surface ont aussi augmenté mais de façon bien moins significative que les prélèvements (hausse de l'ordre de + 0,8 Mm³). Dans le cas des prélèvements, la principale hausse provient des prélèvements pour les besoins industriels (hausse de l'ordre de + 4 Mm³). Les prélèvements pour les besoins agricoles ont, au contraire, diminué mais de façon bien moins importante (presque négligeable). Concernant les rejets, une baisse de l'ordre de - 0,09 Mm³ est observable pour l'assainissement collectif.

En termes de répartition territoriale : les principaux prélèvements pour les besoins en eau potable sont réalisés dans les vallées et en limite de la plaine alluviale. Les prélèvements agricoles sont essentiellement réalisés sur les plateaux tandis que les prélèvements pour les besoins industriels (en eaux souterraines et en eaux de surface) sont majoritairement réalisés dans la plaine alluviale. Concernant les rejets en eaux souterraines, ceux-ci sont majoritairement réalisés sur les plateaux, tandis que ceux en eaux de surface sont majoritairement réalisés dans la vallée de Commerce (et ses affluents) et dans la plaine alluviale.

Il est de plus à noter qu'une part significative (env. 40%) des prélèvements destinés à l'alimentation en eau potable et industrielle, effectués tant dans les eaux souterraines que superficielles, est exportée en dehors du territoire du SAGE Commerce : principalement vers le territoire de l'agglomération du Havre.

9.1.5. Bilan Hydro-Climatique

Il a pu être mis en évidence, dans le cadre de cette étude, une grande variabilité spatiale des paramètres hydro-climatiques : les précipitations et l'évapo-transpiration entre les plateaux au nord et la vallée de Seine au sud où des écarts annuels de plus de 30 % ont été constatés. On a pu également constater des écarts sensibles entre l'ouest et l'est du territoire pour ces mêmes paramètres.

L'étude de la spatialisation des paramètres comme : la capacité des sols à infiltrer ou ruisseler a permis de montrer que les valeurs présentaient également une grande variabilité à l'échelle du territoire du SAGE Commerce. Notamment entre les plateaux au nord du territoire et la vallée de la Seine au sud.

La spatialisation a permis de démontrer l'importance des plateaux comme zone de recharge sur le territoire.

Une estimation des valeurs de la lame d'eau infiltrée a été réalisée à l'aide de l'outil ESPERE, permettant de comparer les valeurs de recharge obtenues par différentes formules analytiques. Les valeurs moyennes estimées pour la station de Gruchet-le-Valasse sont de l'ordre de 350 mm/an. La même évaluation réalisée à l'aide de l'outil de modélisation GARDENIA, nous renvoie une valeur proche, de 368 mm/an.

Il est probable que ces méthodes, trop simplificatrices, conduisent à minimiser les termes favorisant la recharge.

Dans la suite du programme d'étude, l'outil de modélisation des hydrosystème permettra en particulier l'intégration d'information climatologiques spatialisées comme la base de donnée SAFRAN de Météo France.

Dans le cadre de cette étude, il a notamment pu être démontré, en utilisant ces méthodes et outils, que la station hydrométrique de Gruchet le Valasse était alimentée à 70 % environ par les eaux souterraines et 30 % environ seulement par les eaux superficielles. D'après les résultats mis en avant dans cette étude, les eaux souterraines proviendraient d'un bassin piézométrique de 10 km² environ situé en amont du faisceau de faille principal, à l'est de la ville de Bolbec (les eaux souterraines et les eaux superficielles étant déconnectées au droit de la station).

Par le calcul, on a pu également estimer que 60 % des eaux souterraines qui s'infiltraient sur le bassin versant topographique de la station (118km²) étaient exportées vers les bassins piézométriques (souterrains) de Radicatel et Yport.

Ces éléments permettent légitimement d'indiquer que la station de mesure hydrologique n'est pas représentative de son milieu.

Les éclairages nouveaux, géologiques et hydrogéologiques, nous permettent désormais de mieux comprendre pourquoi : le rôle de la géologie structurale et du karst permettent une différenciation entre les bassins topographiques et souterrains comme cela a pu être souligné dans cette étude.

9.2. PROPOSITIONS D'AMELIORATIONS ET COMPLEMENTS

Le BRGM propose comme voies d'amélioration possibles ou nécessaire, avant la mise en œuvre du modèle :

- **Volet Géologique,**
 - Investigations à mener entre Lillebonne/ND de Gravenchon/Triquerville pour identifier la prolongation de la structure faillée de Fécamp-Lillebonne au sud du territoire et son lien/raccordement avec la faille de Triquerville-Villequier.
 - Elboration d'un guide/doctrine forage local pour prendre en compte les spécificité locales, en particulier pour signaler la présence du karst et des risques qui peuvent y être associés, en particulier vis-à-vis de la vulnérabilité des eaux souterraines.
- **Volet Hydrologique,**
 - Pour une question de représentativité des mesures, il est nécessaire aujourd'hui de déplacer la station hydrométrique existante (à Gruchet le Valasse) ou implanter une seconde station dans la partie aval du Commerce. Ceci afin de pouvoir prendre compte l'ensemble de son fonctionnement (gains et pertes, apports de la nappe et des principaux affluents). On rappelle en effet, que celle-ci est située sur un tronçon où le cours d'eau est déconnecté de la nappe, dont le débit est en perte sur la portion mesurée.
 - Poursuivre les mesures ponctuelles de débit autour des cours d'eau de la Vallée et du Théluet pour mieux cerner leur fonctionnement au passage de la zone faillée, dans le but de pouvoir identifier les zones d'éventuelles zones de pertes, comme cela a pu être observé plus en amont dans la vallée du Commerce.
 - Pour l'ensemble des cours d'eau, de pouvoir disposer de données suffisantes permettant de caractériser leurs variations quantitatives (débits/niveau) permettant notamment de définir des débits ou niveaux statistiques de référence : Médiane/module/QMNA5/Décennal sec, etc... de manière à pouvoir fixer des débits/niveaux d'objectifs pertinents en fonction des objectifs retenus. De manière à garantir, par exemple, le maintien des habitats et le bon développement des espèces aquatiques, ou encore un effet de dilution suffisant pour les principaux rejets. Ces données peuvent s'appuyer sur des suivis ponctuels, périodiques ou continus. On pourra par exemple rechercher une corrélation hauteur/débit sur les points de mesure existants.
- **Volet Hydrogéologique,**
 - Mettre en œuvre des opérations de traçages pour mieux identifier les limites latérales des différentes unités hydrogéologiques, en particulier celle de l'amont du Commerce.
 - Afin de faciliter l'actualisation future du modèle de l'hydrosystème et l'adaptation des mesures de gestion, il apparaît aujourd'hui nécessaire de :
 - poursuivre le travail de collecte des données rejet/prélèvement de façon annuelle, à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude ;
 - poursuivre les mesures sur le réseau quantitatif des eaux souterraines ;
 - Compléter les mesures de niveau des eaux souterraines sous les plateaux, sur les zones de faible densité, en recherchant notamment à équiper les forages de faible diamètre de tubes guides-sondes ;
- **Volet Qualité**
 - Prévoir d'analyser les éléments majeurs/mineurs, et une campagne de recherche de polluants dans les eaux superficielles et souterraines 1-pour mieux évaluer les stocks 2- pour cerner la répartition des composés dans l'espace et dans le temps.
 - Il sera pour cela nécessaire de s'appuyer sur un réseau de qualitomètres : à répartir sur l'ensemble de la plaine alluviale, en s'appuyant notamment sur les

réseaux industriels de surveillance de la qualité des eaux souterraines et superficielles déjà existants. Cela permettra de préciser les dynamiques de transfert des polluants ou paramètres indésirables (salinisation) et prévoir leur évolution dans le temps et dans l'espace.

9.3. PROPOSITION D'UNITES HYDROLOGIQUES DE GESTION

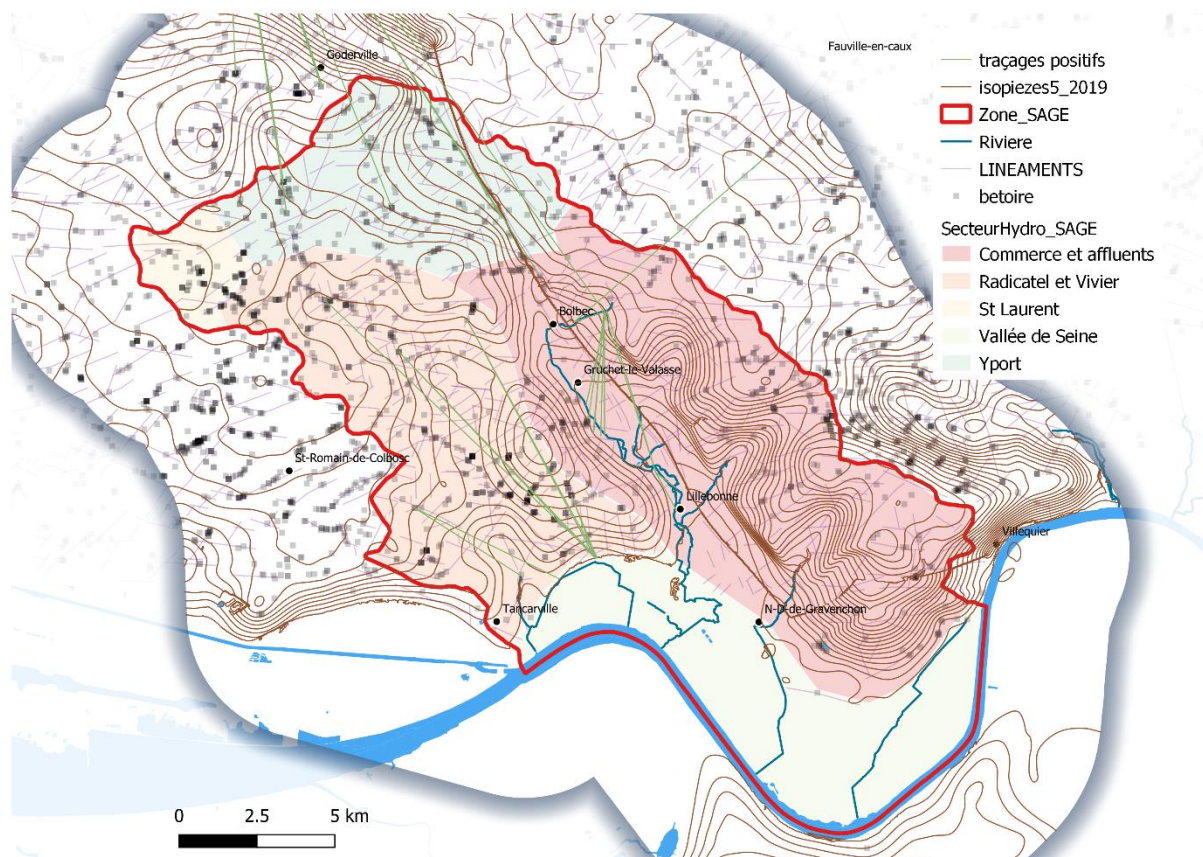


Illustration 301 : Proposition d'unité de gestion des ressources en eau du territoire du SAGE Commerce

Au regard de l'ensemble des informations recueillies dans cette étude sur le fonctionnement des hydrosystèmes, il a semblé pertinent au BRGM de proposer la prise en compte de 4 principales unités de gestion (Illustration 301) :

- La vallée de Seine, couvrant l'intégralité de la plaine alluviale ;
- La zone du Commerce et ses affluents, dont le bassin du Théluet et du Bébec dont les sources se situent sur le compartiment surélevé du système faillé ;
- La zone du Vivier et de Radicatel, représentant la partie intégrée au territoire du SAGE de l'Aire d'Alimentation de ces ressources ;
- La zone d'Yport, représentant la partie intégrée au territoire du SAGE de l'Aire d'Alimentation de ces ressources ;

A ces deux dernières zones on peut ajouter une toute petite portion du territoire appartenant vraisemblablement à l'Aire d'Alimentation des Captages (AAC) de la vallée du St Laurent.

10. Bibliographie

Général

AESN (2015) Le Schéma D'Aménagement et des Gestion des Eaux (SDAGE) 2016-2021 du bassin Seine et des cours d'eau côtiers normands. 458 p. 7 Annexes.

David P.-Y., Pennequin D. (2013) Pollution par la Morpholine et la N-nitrosomorpholine dans le secteur de Bolbec et au-delà. Rapport final d'expertise, Avis du BRGM, Rapport BRGM/RP-62004-FR, 95 p., 39 ill., 7 annexes

Hydratec (2000) – Etude diagnostic du lit et berges des cours d'eau de la vallée du Commerce - Cahier 1 d'ouvrages et de tronçons souterrains. SAGE de la Vallée du Commerce, SMI Port Jérôme, 92 p.

Jaouen F. (2019) ouvrir les paysages de la vallée du Commerce et de ses rivières, Archéologie et prospective entre plateau de Caux et estuaire fossile, Ateliers pédagogiques 2018-2019, ENSP/AURH : Connaissance des Paysages et leur évolution, 43 p.

Le Maho J. (2004) - Lillebonne / Juliobona (Seine-Maritime) - Supplément à la Revue archéologique du centre de la France Année 2004., pp. 441-445 in Capitales éphémères. Des Capitales de cités perdent leur statut dans l'Antiquité tardive, Actes du colloque Tours 6-8 mars 2003

Mouchard J. (2008) De la voie navigable aux sites portuaires en basse vallée de Seine : maîtrise et gestion des accès (Antiquité - époque moderne) p103-127 in DES CHÂTEAUX ET DES SOURCES - Archéologie et histoire dans la Normandie médiévale, Presses universitaires de Rouen et du Havre, 624p.

MOUGIN B., BRANELLEC M., DAVID P.-Y., ZAMMIT C., BOURGINE B. (2011) - Atlas hydrogéologique régional de Haute-Normandie - Cartes piézométriques de l'aquifère crayeux - BRGM/RP-59301-FR, 102 p., 51 ill., 2 ann., 1 CD

Roux J.-C., De la Quèrière P. (2005) in Aquifères & eaux souterraines en France, Académie des sciences (France), ISBN. 2 7159 0980 2, 2 vol., 944 p., Vol.1- Chap.13- p.261.

SAFEGE (2015), Plan d'Aménagement et de Gestion Durable –PAGD- SAGE de la Vallée du Commerce –approuvé par l'arrêté préfectoral du 14 octobre 2015. Communauté Caux Vallée de Seine, Rapport final, 208 p.

SMI Port Jérôme (2004), Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux, arrêté préfectoral, 194 p.

Volet Géologique

AGBP (2014) – Coupe géologique du Bassin Parisien et du Fossé Rhénan.

Pour le livre : Gély Jean-Pierre et Hanot Franck (dir.), Amédéo Francis, Bergerat Françoise, Debeglia Nicole, Delmas Jocelyne, Deroin Jean-Paul, Doligez Brigitte, Dugué

Olivier, Durand Marc, Edel Jean-Bernard, Gaudant Jean, Hanzo Micheline, Houel Pascal, Lorentz Jacqueline, Robaszynski Francis, Robelin Christian, Thierry Jacques, Vicelli Joséphine, Violette Sophie, Vrielynck Bruno, Wyns Robert et coll. (2014) – Le Bassin parisien, un nouveau regard sur la géologie. Bull. Inf. Géol. Bass. Paris, Mémoire hors-série n°9, 228 p., 1 pl.

Pour la planche : Gély Jean-Pierre et Hanot Franck (coord.), Bergerat Françoise, Debeglia Nicole, Durand Marc, Houel Pascal, Le Roux Jacques, Robelin Christian, Thierry Jacques, Vicelli Joséphine et Wyns Robert (2014) – Coupe géologique du Bassin parisien et du Fossé rhénan. Bull. Inf. Géol. Bass. Paris, Mémoire hors-série n°9, 1 pl.

BENABDELLOUAHED M., DUGUE O., TESSIER B., THINON I., GUENNOC P., BOURDILLON C. (2014) – Nouvelle cartographie du substratum de la baie de Seine et synthèse géologique terre-mer : apports de nouvelles données sismiques et biostratigraphiques. Géologie de la France, n°1, 2014, p. 21-45, 8 fig.

BROQUET P. (1980) – Les fractures du Bas Pays Picard. Mouvements anciens et récents, liaison avec une tectonique profonde. Bull. Inf. Géol. Bass. Paris. Vol. 17, N°4, p 5-10

CALBA F., CHARRIERE G., CONRAD G., LEFEBVRE D., RODET J. (1979) – Relations entre le développement du karst de la craie, la dynamique et la qualité des eaux souterraines du Pays de Caux. Bull. trim. Soc. Géol. Normandie et Amis Muséum Havre, t. LXVI, fasc 4, 1979, 4^e trim

CALBA F. (1980) – Hydrogéologie du karst crayeux du Pays de Caux (France). Etude de deux bassins. Thèse de doctorat, université Pierre et Marie Curie – Paris VI, Paris, 189 p

CGG (1998) – Géologie et géométrie de l'aquifère de la craie – Département de la Seine-Maritime

CHOLLEY A., FIRMIN H. (1945) – La vallée et les méandres de la Basse-Seine

CHEDEVILLE S. (2015) - Etude de la variabilité du fonctionnement hydro-sédimentaire des karsts de l'Ouest du Bassin de Paris à partir de la comparaison des remplissages sédimentaires karstiques anciens, actuels et du signal turbide des eaux souterraines. Thèse, Université de Rouen, 450 p.

Coueffé R. et Arnaud L. (2007) - Pour une identification de l'aquifère albo-aptien en forages dans le cadre de recherche d'eau en Haute-Normandie. Propositions du Brgm.. BRGM/RP-55338-FR, 54 p. 10 fig.

CPGF (1978) – Etude des ressources en eau du bassin de la rivière du Commerce. Rapport préliminaire 1ere phase – syndicat mixte d'études de la vallée du Commerce. Rapport d'étude 1803 – phase 1. 1978, 32 p

DURAN (2015) Approches physique, conceptuelle et statistique du fonctionnement hydrologique d'un karst sous couverture. Thèse Université de Rouen. 315 p., 6 Annexes. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02174004>

David P.-Y., Meire B., Jallais N., Pennequin D., Idee E., Bault V., Albinet R., Belbeze S., Ragot J. (2020) – Fonctionnement de l'hydro-système, interactions et cheminements des eaux naturelles et de la n-nitrosomorpholine dans le secteur de la Faille de Lillebonne – Fécamp (76) – Volet hydrogéologique. Rapport final. BRGM/RP-69139-FR, 443 p., 249 ill., 20 tabl., 14 ann.

DAVID P.Y., PENNEQUIN D. (2013) – Pollution par la morpholine et la N-nitrosomorpholine dans le secteur de Bolbec et au-delà – Avis du BRGM, rapport final BRGM/RP-62004-FR., 95 p., 39 ill., 7 annexes.

DE LA QUERIERE P., MARTIN P. (1970) – Données géologiques et hydrogéologiques acquises à la date du 31 décembre 1969 sur le territoire de la feuille topographique au 1/50.000 Fécamp

DUPERRET A., VANDYCKE S., MORTIMORE R.N., GENTER A. (2012) – How plate tectonics is recorded in chalk deposits along the eastern English Channel in Normandy (France) and Sussex (UK). *Tectonophysics*, Elsevier, 2012, 581, pp. 163-181

EQUILBEY E., SCHOMBURGK S. (2003) – Etude diagnostic de faisabilité d'un réseau piézométrique de connaissance de la nappe d'accompagnement de la Seine et des zones humides associées – Rapport final. Rapport BRGM/RP-52473-FR, 115 p., 20 fig., 9 tabl., 2 ann.

EXPLORE (2016)- Diagnostic des forages de Montmeiller (indices BSS 0075-8X-0061, 0075-8X-0062, 0075-8X-0063), Inspection vidéo, diagraphies différées et pompage d'essai sur le forage avec suivi piézométrique, Rapport 76557-05, Communauté d'Agglomération Caux Vallée de Seine, 168 p., 4 annexes

FAY DE LESTRAC H. (1991) – Ville de Lillebonne (76). Reconnaissance géophysique dans la vallée de la Fontaine Murée. Note BRGM 91-HNO-123 de décembre 1991. 16 p., 2 fig. 3 ann.

Fournier M. (2006) Identification des modalités de transport et de la vulnérabilité du karst de la craie : application de nouveaux outils statistiques d'analyse des données au système du Hannetot (Seine-Maritime, France). Thèse de l'Université de Rouen, 228 p.

Geyer T. (2008) , Process based characterization of flow and transportation in karst aquifers at catchment scale. Ph D Thesis, Gottingen Univ., Germany, 101p.

GINGER (2005) – SIDEDA de Bolbec-Gruchet le Valasse. Rapport de fin de phase 1, synthèse des données générales. Réalisation d'une étude de protection des captages de Saint-Marcel et Saint-Antoine-la-Forêt.

GOUNON A. (1969) – Glissement de terrain à Villequier (Seine-Maritime). Recherche des causes. Rapport BRGM/69-SGL-220-BGA.

Gunn, J. (1986): Modelling of conduit flow dominated karst aquifers. In Günay, G. & Johnson, A.I. (eds), *Karst water resources*. IAHS, Publication 161: 587-596. Wallington, UK.

HANIN G. (2010) – Contrôles structural et hydrogéologique sur la dynamique d'un champ captant en contexte crayeux karstique et sa sensibilité aux variations du signal climatique : implications en matière de vulnérabilité de la ressource. Thèse de l'université de Rouen.

HAUCHARD E., LAIGNEL B., DELAHAYE D. (2002) – Proposition d'un nouveau schéma structural du Nord-Ouest du bassin de Paris reposant sur l'analyse fractale des réseaux de thalwegs et les données récentes de la géologie régionale. *C.R. Geoscience* 334 (2002) p. 295-302

HAUCHARD E., LAIGNEL B. (2008) – Evolution morphotectonique de la marge nord-occidentale du Bassin de Paris. *Z. Geomorph. N. F.* p 463-488. Décembre 2008.

Hauchard E., Turban L., Sabatier S. et Jozja N. (2018), Influence de la structure géologique sur le fonctionnement du karst de la Craie. Exemple des bassins de la Rançon et de la Sainte Gertrude, affluents de la Seine Normande, *Revue Géologues* N°199, pp 11-19

JAUGEY P. (1971) – Etude de la stabilité des versants. Commune de Villequier (Seine-Maritime). Rapport BRGM/71-SGN-083-GTC

Jouves, J., Viseur, S., Arfib, B., Baudement, C., Camus, H., Collon, P., Guglielmi, Y., (2017) -Speleogenesis, geometry, and topology of caves: A quantitative study of 3D karst conduits. *Geomorphology*, 298, 86-106, doi:10.1016/j.geomorph.2017.09.019.

JUIGNET P. (1970) – Précisions stratigraphiques et sédimentologiques sur le Cénomaniens du Pays de Caux entre Saint-Jouin-Bruneval et le cap d'Antifer (Seine-Maritime). *Bulletin du BRGM* (deuxième série) Section I, n°1 – 1970, p. 11-15, 2 fig.

JUIGNET P. (1974) – La transgression crétacée sur la bordure orientale du Massif Armoricaïn. Thèse d'état. Université de Caen. 786 p.

JUIGNET P. (1991) – Les craies du littoral du Pays de Caux. Structures sédimentaires et tectoniques. *Bull. inf. géologiques bassin de Paris*. Vol. 28, n°1 p. 46-58.

JUIGNET P. (1988) – La craie de Normandie – prédisposition au karst. Actes du Museum de Rouen - Colloque sur le karst et le Quaternaire de la Basse-Seine. p 39-52.

LAINEL B. (1997) – Les altérites à silex de l'Ouest du Bassin de Paris. Caractérisation lithologique, genèse et utilisation potentielle comme granulats. Thèse. 219 p.

LANGVIN C. (1998) – Vallée du Commerce (Seine-Maritime, France) relations nappe / rivière. Rapport BRGM/RP-40488-FR. 73 p.

LASSEUR E. (2008) – La Craie du Bassin de Paris (Cénomaniens-Campanien, Crétacé supérieur). Sédimentologie de faciès, stratigraphie séquentielle et géométrie 3D. Thèse de l'université de Rennes 1. 410 p.

LECHEVALIER C. (1993) – Formes et formations quaternaires de la région de Lillebonne. *Bull. trim. Soc. Géol. Normandie et Amis Muséum du Havre*, t. 80, fasc. 1 & 2, année 1993, 1 & 2 trim.

LEFEBVRE D. (1988) – Les aspects majeurs de l'histoire géologique de la Basse vallée de la Seine dans ses rapports avec le karst. Actes du Museum de Rouen - Colloque sur le karst et le Quaternaire de la Basse-Seine. p 135-145

LEFEBVRE D., HUAULT M. F, GUYADER J. GIRESSSE P., HOMMERIL P. et LARSONNEUR C. (1974) – Le prisme alluvial de la Seine : synthèse sédimentologique, stratigraphique et paléogéographique. *Bull. Inf. Géol. Bass. Paris*, (39), p. 27-36.

LEFEBVRE D., LA QUERIERE P., LEBOULANGER T. (1993) – Nappe captive et sous-écoulements : le rôle des alluvions en Basse-Seine. In : *Quaternaire*, vol. 4, n°2-3, 1993. pp. 103-110

Lepiller M. (1975) Le système karstique de Villequier (Seine-Maritime). *Bulletin de la Société Géologique de Normandie et des Amis du Muséum du Havre*, 62 (2) : pp. 51-85.

MAILLARY. J.C., DE LA QUERIERE P. (1970) – Données géologiques et hydrogéologiques acquises à la date du 15/03/1970 sur le territoire des feuilles topographique au 1/50.000 BOLBEC (n°75) et PONT-AUDEMER (n°98) (Seine-Maritime et Eure) - 70-SGN-242-PNO

MASSEI N. (2001) Transport de particules en suspension dans l'aquifère crayeux karstique et à l'interface craie/alluvions. Interfaces continentales, environnement. Thèse de l'Université de Rouen, 211 p. Français. tel-00734643

Mathon C. (1987) - SYNDICAT MIXTE POUR LE DEVELOPPEMENT DE PORT-JEROME, RESERVOIR N°2 DE NORVILLE, SEINE-MARITIME, RECONNAISSANCE DES ANOMALIES GRAVIMETRIQUES PAR FORAGES DESTRUCTIFS. NOTE/87-HNO-017, 11 p.

MATHON C. ; DE LA QUERIERE P. (1981) - Effondrement du bassin n°1 de stockage d'eau industrielle à Norville. Compte-rendu de visite, septembre/1981. NOTE/81-HNO-045, 5 p.

MEIRE B., DAVID P.Y (2017) – Observatoire de la Risle moyenne – volet 1 : synthèse géologique et structurale Rapport final. BRGM/RP-66861-FR, 81 p., 27 ill., 1 tabl., 2 ann.

MEIRE B., PORTAL A., JACOB T., PAQUET F., BITRI A., MATHIEU F., DAVID P. Y. (2019) – Fonctionnement de l'hydro-système, interactions et cheminements des eaux naturelles et de la n-nitrosomorpholine dans le secteur de la Faille de Fécamp-Lillebonne – volet géologique et géophysique. Rapport final. BRGM/RP-67087-FR, 173 p., 66 ill., 2 tabl..

MENILLET F. (1969) – Carte géologique de la France au 1/50.000, feuille de Bolbec (n°75) et notice explicative. Ed. BRGM

MORTIMORE R.N., DUPERRET A. (2004) – Coastal Chalk Cliff Instability. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications

NICOLESCO C.-P., (1931) – Contribution à l'étude de la faille de Lillebonne à Bolbec (Seine-Inférieure). CR sommaire Soc. Géol. France., p. 39-41

NICOLESCO C. -P., (1934) – Sur quelques faits nouveaux dans la région du Havre et d'Yvetot (Seine-Inférieure). Extrait du C.R.S de la Société Géologique de France. N°15, p. 221 à 223.

NICOLESCO C.-P (1931) – Révision de la feuille d'Yvetot au 80.000^{ème} – nouvelles observations à l'étude de la géologie normande. Extrait du bulletin de la carte géologique de France. n°179. Tome XXXIV

PAQUET F., ALLANIC C., LASSEUR E., CALINE B., THINON I. (2017) - Reactivation and interactions of cadomian and variscan inherited structures within the intracratonic Anglo-Parisian Basin revealed by offshore studies: The Fécamp-Lillebonne and Nord-Baie-de-Seine faults. International Meeting of Sedimentology, Toulouse.

POMEROL C., JUIGNET P., LORENZ J., POMEROL B., PURSER B., RENARD M. (1980) – Les formations sédimentaires du bassin de Paris, reflet des principales étapes de son évolution. 26^{ème} congrès géologique international, p. 266-275. Ed. BRGM

QUESNEL F. (1996) – Cartographie numérique en géologie de surface. Application aux altérites à silex de l'ouest du Bassin de Paris. Thèse. 430 p.

QUESNEL F., COUEFFE R., DURIEZ M., LASSEUR E. (2007) – Carte géologique harmonisée du département de la Seine-Maritime. Rapport BRGM/RP-56185-FR, 118 p., 17 fig., 4 pl. hors-texte.

RAGOT J. (1988) – La sédimentation crétacée aux abords de l'accident Fécamp-Lillebonne-Villequier (Seine-Maritime, France). Biostratigraphie et contrôle structural. Mémoire de Diplôme d'Etudes Doctorales, université de Rouen. 141 p., 69 fig.

RODET J. (1975) – Le karst de la craie en Haute-Normandie. Mémoire de maîtrise, géographie physique, Rouen, 216 p. in Spéléodrack

RODET J. (1981) – Contribution à l'étude du karst de la craie : l'exemple normand et quelques comparaisons. Thèse de 3^{ème} cycle, Institut géographie, 427 p

RODET J. (1988) – L'évolution karstique en Basse-Seine. Actes du Museum de Rouen - Colloque sur le karst et le Quaternaire de la Basse-Seine. p 91-99

RODET J. (1991) – Les karsts de la craie, étude comparative. Thèse d'Etat ès-Lettres et Sciences Humaines. 562 p., 342 fig., 225 ph., 57 tabl. Institut de Géographie de Paris, Université de Paris – Sorbonne (Paris IV), Paris.

SAFEGE (2012) – Etude du bassin d'alimentation du captage de Radicatel. Délimitation du bassin d'alimentation et analyse de la vulnérabilité intrinsèque du bassin. Rapport 09NRE023

SAFEGE (2013) – Etude du bassin d'alimentation du forage d'Yport. Phase 1 : délimitation du bassin d'alimentation et analyse de la vulnérabilité intrinsèque du bassin. Rapport 11NRH006 version 5

SCANVIC J-Y., WEECKSTEEN G. (1978) – Application de la télédétection à la recherche d'eau en milieu crayeux. Note BRGM 78-SGN-209 GEO

SCANVIC J-Y. et al., (1977) – Tectonique du Nord-Ouest de la France d'après les photographies de satellites. Carte à 1/500.000. Document. BRGM Orléans

SCANVIC J-Y. (1977) – Commentaires sur l'étude des photographies aériennes de la région de Bolbec (Seine-Maritime). Note BRGM SGN/GEO JYS/NC/675 de décembre 1977

SCANVIC J-Y. (1977) – Etude photogéologique du bassin d'Yport. Note BRGM SGN/GEO JYS/NC/554 d'octobre 1977

TERNET Y. (1968) – Carte géologique de la France au 1/50.000, feuille de Fécamp (n°57) et notice explicative. Ed. BRGM

VERNHET Y., DORE F., LAUTRIDOU J.P., TALBO H., VERRON G., DHELLEMES R., ENOUF C. (1995) – Carte géologique de la France à 1/50.000, feuille de Domfront (n°249) et notice explicative. Ed. BRGM

WAZI N. (1988) – Le Crétacé du Roumois (vallée de l'Oison) et le Tertiaire-Quaternaire des régions voisines de la basse vallée de la Seine (Haute-Normandie). Stratigraphie et tectonique. Thèse de l'université de Rouen.

WYNS R. (1977) – Tectonique récente dans l'Ouest du bassin de Paris : méthodes d'étude et bilan des déformations plio-quaternaires. Bull. Soc. Géol. Fr., 1977, n°5

Volet Hydrologique

ARTELIA & GIP Seine-Aval, (2013a). Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine – Rapport de l'objectif A : Définition des périodes de retour des événements jouant un rôle dans les inondations. 131p. et annexes.

ARTELIA & GIP Seine-Aval, (2013b). Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine – Rapport de l'objectif B : Elaboration des scénarios pouvant déclencher les inondations, en combinant différents événements selon leur occurrence. 22p. et annexes.

ARTELIA & GIP Seine-Aval, (2013c). Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine – Rapport de l'objectif C : Développement et transfert d'un modèle hydraulique à l'échelle de l'estuaire de la Seine. 30p. et annexes.

ARTELIA & GIP Seine-Aval, (2014). Définition de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation dans l'estuaire de la Seine – Rapport de l'objectif D : Modélisation de la ligne d'eau pour différents scénarios. 35p. et annexes.

Bessière H. et David P.-Y. (2017) – ECHANGES Estimation des interactions entre l'aquifère régional de la Craie et l'Estuaire de la Seine à l'échelle saisonnière – Modélisation GARDENIA de 5 bassins versants de l'estuaire de la Seine, Rapport Final, BRGM/RP-67022-FR, 126 p.

Camenen B., Dramais G., Le Coz J., Duc Ho T., Gratiot N. (2017) Estimation d'une courbe de tarage hauteur-dénivelée-débit pour une rivière influencée par la marée. La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau, EDP Sciences, 2017, 5, pp.16-21. ff10.1051/lhb/2017039ff. fhal-01745487f

CPGF (1978) Etude des ressources en eau du bassin de la rivière du Commerce. Rapport Préliminaire de 1ère Phase, Syndicat Mixte d'Etudes de la Vallée du Commerce. Rapport d'étude 1803, 32p.

Agence Financière de Bassin Seine Normandie et Université de Haute-Normandie (1982) – Propositions d'objectifs de qualité pour la rivière du Commerce, DDE76 et Département76, 54 p.

DDE76 (1998) - Etude d'opportunité, SAGE de la vallée du Commerce. 44p.

Fisson C., Lemoine J.-P., Gandihlon P. (2014) de scénarios et modélisation des niveaux d'eau pour la gestion du risque inondation en estuaire de Seine - Rapport de Synthèse – GIP-SA et Artelia, 32 p.

GIP-SA (2008) Compilation des profils bathymétriques de la Seine (transversaux et longitudinaux), de 1824 à 2005 - Système d'observation, fascicule, 29 p.

GIP-SA (2011) Cartographie des zones riveraines de la Seine – Rapport d'étude – Rives, CS Communication Système, 118 p.

Hydratec (1998) – Etude de la qualité de l'eau de la rivière du Commerce aval, Association des entreprises de la zone industrielle de Lillebonne – Notre Dame de Gravenchon, Agence de l'Eau Seine Normandie, Rapport 13536-FG/lg, 138 p.

Hydratec (2000) – Etude diagnostic du lit et berges des cours d'eau de la vallée du Commerce, Cahier 1 d'ouvrages et de tronçons, SMI Port Jerome, SAGE Vallée du Commerce, Agence de l'Eau Seine Normandie, Rapport 14862 CN/VH, 92p.

Hydratec (2007) – Etude Hydraulique de la rivière la Vallée, rivière de la Vallée à Lillebonne, SYRIVAL, Rapport Op 4955/1 Version A, 36 p.

Idée E., Jallais N., Boisson A., Neveux A. avec la collaboration de Gresselin F., Dugué O. (2019) – Synthèse des connaissances géologiques et hydrogéologiques du département de l'Orne, Volet hydrogéologique. Rapport final. BRGM/RP-69331-FR, 258p., 122 ill., 20 tabl., 3 ann.

Ingetec (2001) Canalisation d'évitement du tronçon amont de la rivière du Commerce, Phase 1 Eude d'opportunité, SMI Port Jerome, SAGE de la Vallée du Commerce, Rapport Op1158, 50 p., 2 Annexes

Langevin, C. (1998) - Vallée du Commerce (Seine-Maritime). Relations nappe/rievière. Etude bibliographique et synthèse.. BRGM/RR-40488-FR, 73 p.

Laval D. (1955) – Mesures de débit faites en Seine-Maritime au cours de la crue de janvier 1955. Combinaison de la crue et de la marée. La Houille Blanche, A, 307-313.

Masséi N. et Fritier N. (2010) Quantification de l'évolution spatio-temporelle de la contribution de la nappe de la Craie au débit de la Seine Aval. Rapport d'étude pour le GIP Seine-Aval, 61p.

Piney S., Helouin S., Morel G., Hebrard A., Glaziou G., Diribarne J. & Kopp S. (2017) – Mesures de débits en estuaire : l'exemple de la Seine. Congrès SHF : « Hydrométrie 2017, Lyon 14-15 mars 2017 ».

Roux J.-C. (1972) Révision des périmètres de protection du captage d'AEP de la Fontaine Bruyère (00757X0029) à Lillebonne, Rapport 75PNO145 (Note)

Roux J.-C. et Trémembert J. (1978) Evolution de la piézométrie de la nappe de la craie et des alluvions sous les zones industrielles de l'agglomération Rouennaise de 1966 à 1977 in Colloque Hydrogéologie de la Craie du Bassin de Paris, Rouen, 25-26 mai 1978, BRGM, pp. 575-591.

SCHAPI (2017) - Charte qualité de l'hydrométrie, guide des bonnes pratiques, Groupe Doppler Hydrométrie, Ministère de l'Environnement, Service des Risques Naturels, 83 p.

Servy J.-C. (2001) – Canalisation d'évitement du tronçon amont de la rivière du Commerce, Phase 1 : étude d'opportunité, Rapport INGETEC Op. 1158, SMI Port Jérôme – SAGE Vallée du Commerce, 48 p., 2 Annexes

SOM (2020), Mise à jour du Plan Pluriannuel de Restauration et d'Entretien des cours d'eau de la vallée du Commerce, Réf 9B2649-N-19-0005 Indice B, 120 p.

Volet Hydrogéologique

Archambault J. (1955) – Etude des ressources en eau de la Région de Radicatel (Seine-Maritime), Ministère de la reconstruction et du Logement, Alimentation en eau du Havre, Burgéap, 19p.

Bessière H. ; David P.-Y. (2017) – ECHANGES : Estimation des interactions entre l'aquifère régional de la Craie et l'estuaire de Seine à l'échelle saisonnière – Modélisation Gardenia de 5 bassins versants de l'estuaire de Seine. Rapport final. BRGM/RP-67022-FR, 126 p., 78 fig., 26 tabl., 1 ann.

Bourgine B., Pédron N. (2011) Piézométrie des systèmes aquifères : outils de cartographie et optimisation de réseaux de surveillance – Année 2. BRGM/RP-60153-FR, 85 p., 39 fig., 6 tab., 1 ann.

BURGEAP (1975) Perspectives d'exploitation de la nappe de Lillebonne – Port Jérôme à la suite de la réduction des pompages industriels, Agence financière de bassin, 15p., 1 Annexe, 9 Planches.

BURGEAP & Sol Paysage (2019) Etude de caractérisation des milieux naturels sur la zone de Port Jérôme 2 (Lillebonne -76), critères pédologiques et hydrologiques, Caux Seine Agglomération, Rapport d'études zones humides v5.1, 56 p.

BURGEAP (2020) - Etude du contexte hydrogéologique et hydraulique de la ZAC de Port-Jérôme 2 à Saint-Jean-de-Folleville, Rapport final REAUNO04483-01, Caux Seine Agglomération, 110 p.

Bussard T. (2005) - MÉTHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT DES ZONES DE PROTECTION DES CAPTAGES D'EAUX SOUTERRAINES CONTRE LES POLLUANTS CHIMIQUES PERSISTANTS, THÈSE NO 3277, ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE, 162 p.

CGG (1998) – Géologie et Géométrie de l'Aquifère de la Craie – Département de la Seine-Maritime

Chemin J., Hole J.-P., Peckre M., Vidard I. (1992) –BRGM - Notice de l'atlas hydrogéologique de la Seine-Mairtime, 66 p., 19 fig., 9 tab.

Couëffé R. et Arnaud L. (2007) – Pour une identification de l'aquifère albo-aptien en forages dans le cadre de recherche d'eau en Haute-Normandie – Propositions du BRGM. Rapport BRGM/RP-55338-FR, 55p.

CPGF (1982) Etude sur la vulnérabilité de la nappe de la craie dans la vallée du Commerce, Syndicat Mixte de la Vallée du Commerce, 34 p.

David P.-Y., Meire B., Jallais N., Pennequin D., Idee E., Bault V., Albinet R., Belbeze S., Ragot J. (2020) – Fonctionnement de l'hydro-système, interactions et cheminements des eaux naturelles et de la n-nitrosomorpholine dans le secteur de la Faille de Lillebonne – Fécamp (76) – Volet hydrogéologique. Rapport final. BRGM/RP-69139-FR,

DAVID P.-Y., PENNEQUIN D. (2013) – Pollution par la morpholine et la N-nitrosomorpholine dans le secteur de Bolbec et au-delà – Avis du BRGM, rapport final BRGM/RP-62004-FR., 95 p., 39 ill., 7 annexes.

David P-Y. (2012) – Inventaire régional Haute-Normandie des bétoires, trajets souterrains des eaux (traçages) et des exutoires - Guide utilisateur de la base « Bétoire-Traçage-Exutoire ». Rap. BRGM/RP-61726-FR, 108 p., 41 ill., 4 ann.

De la Vaissière R. (2002), la génèse des crues dans le karst, rapport de stage de DEA des sciences de l'Eau et de l'Environnement continental, Montpellier, 103 p.

Dörfli N. ; Crochet P. ; Guérin R. ; Jozja N. ; Marsaud.B ; Mondain P.-H. ; Muet P. ; Plagnes V. (2010) - Guide méthodologique. Les outils de l'hydrogéologie karstique pour la caractérisation de la structure et du fonctionnement des systèmes karstiques et l'évaluation de leur ressource.. BRGM/RP-58237-FR, 246 p., 5 ann.

Dubreuil N., King C., Lecomte V., Souchère V., Le Bissonnais Y., (2002) Régionalisation d'un modèle de ruissellement en zone agricole (STREAM). BRGM/RP-51115-FR, 150p.

Dupaigne T., Bault V. et Meire B. (2019) – Réalisation d'une carte piézométrique synchrone de la nappe de l'Albien et nouvelles thermométries du Bassin parisien. Rapport BRGM/RP-68536-FR, 85 p., 52 ill., 5 ann.

DUPONT.J.P. ; FOURNIER.M. ; MASSEI N. ; VALDES D. ; DUPUIS E ; SLIMANI S. ; LAIGNEL.B. ; GROUPEMENT D'INTERET PUBLIC SEINE AVAL (2006) - Contribution de l'aquifère de la craie au débit de la Seine Aval : suivi et interprétation des données hydrologiques acquises sur le site témoin de Norville Rapport scientifique Seine Aval 3, Thème 3 : tableau de bord et indicateurs opérationnels. 23 p.

Explor-e (2013) – Etude du Bassin d'Alimentation du forage de Fontaine-Murée 0075-6X-0151 à Gruchet le Valasse, Phase 1A Présentation de l'ouvrage, caractérisation de la ressource et délimitation du bassin d'alimentation, Communauté de Communes Caux Vallée de Seine, Rapport 76329-02, 90 p. 1Annexe.

Explor-e et CPGF-Horizons (2009) – Etude du Bassin d'Alimentation du captage du Becquet, Phase 1 b Définition d'un programme de traçage, Communauté Caux Vallée de Seine, 27 p.

Explor-e et Dir-eau (2017) – Diagnostic du forage du Becquet, pompage d'essai sur le forage avec suivi piézométrique, prélèvements et analyses, Communauté de Communes Caux Vallée de Seine, Rapport 76384-06, 69 p. 1 Annexe

Explor-e et Dir-eau (2018) – Diagnostic des captages AEP de Gruchet le Valasse, pompage d'essai et protocole spécifique de prélèvements et analyses, Communauté de Communes Caux Vallée de Seine, Rapport 76384-05, 100 p. 1 Annexe

Fournier M. (2006) Identification des modalités de transport et de la vulnérabilité du karst de la craie : application de nouveaux outils statistiques d'analyse des données au système du Hannebot (Seine-Maritime, France). Thèse de l'Université de Rouen, 228 p.

Ginger Environnement (2005) Etude de protection des captages de St Marcel et St Antoine la Foret, Rapport de fin de phase 1 : synthèse des données générales, SIDEDA de Bolbec Gruchet le Valasse, Etude V00826RN/CH, 70 p.

Horizons (1998) Etude environnementale préalable à la définition des périmètres de protection du captage du puits Maillé, MISE de Seine-Maritime, Syndicat Intercommunal d'Alimentation en eau potable de la région de Bolbec, Rapport d'études GD13, 52p., 9 Planches, 8 Annexes

Ingetec (2006) – Mise en œuvre d'une pompe à chaleur à la Cité des Matières– complément à la notice d'incidence au titre du code de l'environnement, Syndicat Mixte du Valasse, Rapport 3608/2 Version A, 81 p.

Jardani A. (2007) Nouvelles approches géophysiques pour l'identification des dolines et des cavités souterraines dans un contexte karstique, Thèse de l'Université de Rouen,

LANGEVIN.C. (1998) - Vallée du Commerce (Seine-Maritime). Relations nappe/rivière. Etude bibliographique et synthèse. BRGM/RR-40488-FR, 73 p.

Lanini S. et Caballero Y. (2015) Manuel Utilisateur ESPERE, Version 1.5, Rapport final, BRGM/RP 65164-FR, Novembre 2015, 32 p.

LEBLANC.M. (1998) - Le système karstique de l'Orbiquet.. 98 p.

Lefebvre, D., de La Quèrièrè, P. et Leboulanger, T., (1993). Nappes captives et sous-écoulements: le rôle des alluvions en Basse Seine. Quaternaire, 4(2-3): 103-110.

MAILLARY.J.C. et DE.LA.QUERIERE.P. (1970) - DONNEES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES ACQUISES A LA DATE DU 15/MARS/1970 SUR LE TERRITOIRE DES FEUILLES TOPOGRAPHIQUES AU 1/50000 BOLBEC -75 PONT-AUDEMER (NORD DE LA SEINE) -98- (SEINE-MARITIME ET EURE). BRGM/70-SGN-242-PNO, 72 p. 1 carte

Mangin, A. (1975) Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques, Thèse de Docteur ès Sciences, Université de Dijon, France (Ann. Spéléol. 1974, 29(3), 283-332 ; 29(4), 495-601 ; 1975, 30(1), 21-124).

Martin P. (1997) - Pratiques culturelles, ruissellement et érosion diffuse sur les plateaux limoneux du Nord-Ouest de l'Europe. Application aux intercultures du Pays de Caux. Thèse de Docteur de l'INA-PG, 1 84 p + annexes.

MASSEI N. (2001) Transport de particules en suspension dans l'aquifère crayeux karstique et à l'interface craie/alluvions. Interfaces continentales, environnement. Thèse de l'Université de Rouen, 211 p. Français. tel-00734643

Mougin B., Branellec M., David P-Y., Zammit C., Bourguine B. (2011) - Atlas hydrogéologique régional de Haute-Normandie - Cartes piézométriques de l'aquifère crayeux - Rapport final - BRGM/RP-59301-FR - 102 p., 51 ill., 2 ann.

PASCAUD.P. ; TIRAT.M. (1973) - Résultats des pompages d'essai sur le nouveau forage de Lillebonne (Seine-Maritime). BRGM/73-SGN-230-PNO, 14 p. 7 pht.

RAOULT Y. (1999) - La nappe de l'Albien dans le bassin de Paris, de nouvelles idées pour de vieilles eaux – Thèse de doctorat de l'université Paris VI

Rico, G., Juignet, P. et Meyer, R., (1993). La turbidité des eaux souterraines en Normandie crayeuse: un traceur naturel. C.R. Acad. Sciences, Paris, Série IIA, 316: 225-230.

RICO.G. & FAY.DE.LESTRAC.H. (1990) - ETUDE HYDROGEOLOGIQUE PRELIMINAIRE.RECHERCHE DE SITES FAVORABLES POUR L'ADDUCTION EN EAU POTABLE DE LA VILLE DE LILLEBONNE. NOTE/90-HNO-030, 23 p.

Roux J.-C., Artis H., Tremembert J. (1990) - Carte hydrogéologique du département de Seine-Maritime – BRGM. La carte piézométrique a certainement été réalisées à partir de données présentes en BSS, non synchrones.

SAFEGE (2012), Etude du Bassin d’Alimentation des sources de Radicatel, Phase 1 Délimitation du BAC et définition de la vulnérabilité, Rapport final septembre 2012 09NRE023, CODAH, 172 p.

Servy J-C., Formal J., 2018. Diagnostic des captages AEP de Gruchet-le-Valasse F1, F2, F3 (indices BSS 0075-6X-0004, 0075-6X-0005, 0075-6X-0139). Pompages d’essais et protocole spécifique de prélèvements pour analyses. Rapport 76384-05 – Version provisoire du 19 juillet 2018, Explor-e, 100 p.

Thiéry D. (1988) – Forecast of changes in piezometric levels by a lumped hydrological model. Journal of Hydrology 97 (1988), pp. 129-148.

Thiéry D. (2012) – Code de calcul CATHERINE - Principe et mode d’emploi. BRGM/RP-61430-FR, 60 p., 33 fig. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61430-FR.pdf> . (Accès Septembre 2020).

Thiéry D., (1993) - Modélisation des aquifères complexes - Prise en compte de la zone non saturée et de la salinité. Calcul des intervalles de confiance. Revue Hydrogéologie, 1993, n° 4 pp. 325-336. <https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-01062466> (Accès Octobre 2018).

Volet Qualité

Apave (2017) Diagnostic de l’Etat des milieux - Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les eaux souterraines – Opération de suivi de la qualité des eaux souterraines – Campagnes de mai et décembre 2016, SITA Grand-Ouest, Site Oreade St Jean de Folleville (76), Rapport 16230882, 46 p., 2 Annexes

Arnaud L. et Baran N. (2009) - Détermination des vitesses de transfert de l’eau et des nitrates dans la zone non saturée de l’aquifère crayeux en Haute-Normandie.. BRGM/RP-57828-FR, 136 p., 3 ann.

Auteur Inconnu (2011) - Etude de la variabilité géochimique du champ captant de Radicatel, Rapport complémentaire à la thèse de Guillaume Hanin, Lab. M2C/IRESE, Univ. Rouen. 30p.

Croiset N., Lopez B., (2013). HYPE, outil d’analyse statistique des séries temporelles d’évolution de la qualité des eaux souterraines, manuel d’utilisation. Rapport BRGM/RP-63066-FR, 64 p.

David P.-Y. ; Meire B. ; Cary L. (2015) – Délimitation du bassin d’alimentation du captage de Nesle-Hodeng (00605X0213) – Avis du BRGM. Rapport d’expertise. Rapport BRGM/RP-65208-FR. 43 p., 18 ill., 3 ann.

David P.-Y., Meire B., Jallais N., Pennequin D., Idee E., Bault V., Albinet R., Belbeze S., Ragot J. (2020) – Fonctionnement de l’hydro-système, interactions et cheminements des eaux naturelles et de la n-nitrosomorpholine dans le secteur de la Faille de Lillebonne – Fécamp (76) – Volet hydrogéologique. Rapport final. BRGM/RP-69139-FR,

DAVID P.Y., PENNEQUIN D. (2013) – Pollution par la morpholine et la N-nitrosomorpholine dans le secteur de Bolbec et au-delà – Avis du BRGM, rapport final BRGM/RP-62004-FR., 95 p., 39 ill., 7 annexes.

DE MONTETY V. (2008). Salinisation d'un aquifère captif côtier en contexte deltaïque – cas de la camargue (Delta du Rhône, France), Thèse de doctorat en hydrogéologie, Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, 281 p.

Equilbey E. (2002) – Examen du document du projet de SAGE de la Vallée du Commerce (Seine-Maritime), Commentaires hydrogéologiques du BRGM, Rap. BRGM RP-51682-FR, 24 p.

Gillon N., Garnier C., (2007). Fiches sur le fond géochimique naturel des masses d'eau souterraines. 50 fiches.

Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval/GIP-SA. (2013). Contexte climatique et hydro-sédimentaire, la salinité dans l'estuaire de la Seine. Fiche de synthèse, 6p.

Hydratec (1998) – Etude de la qualité de l'eau de la rivière du Commerce aval, Association des entreprises de la zone industrielle de Lillebonne – Notre Dame de Gravenchon, Agence de l'Eau Seine Normandie, Rapport 13536-FG/lg, 138 p.

Lions J., Pinson.S, Pettenati M., (2013). Etude préliminaire sur l'origine des éléments en fortes concentrations et définition de valeurs seuils provisoires dans le bassin Seine-Normandie. Rapport BRGM/RP-62472-FR,

MAILLARY.J.C. ; DE.LA.QUERIERE.P. (1970) - DONNEES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES ACQUISES A LA DATE DU 15/MARS/1970 SUR LE TERRITOIRE DES FEUILLES TOPOGRAPHIQUES AU 1/50000 BOLBEC -75 PONT-AUDEMER (NORD DE LA SEINE) -98- (SEINE-MARITIME ET EURE). BRGM/70-SGN-242-PNO, 72 p. 1 carte

Massei, N., Lacroix, M., Wang, H.Q. and Dupont, J.-P., (2002). Transport of particulate material and dissolved tracer in a highly permeable porous medium: comparison of the transfer parameters. Journal of Contaminant Hydrology, 57(1-2): 21-39.

Servy J.-C. (2001) – Canalisation d'évitement du tronçon amont de la rivière du Commerce, Phase 1 : étude d'opportunité, Rapport INGETEC Op. 1158, SMI Port Jérôme – SAGE Vallée du Commerce, 48 p., 2 Annexes

Vaute L., (2018). Qualistat 3 : un outil de valorisation des données de qualité des eaux souterraines du bassin Rhin-Meuse. Rapport BRGM/RP-68386-FR, 37 p.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Normandie

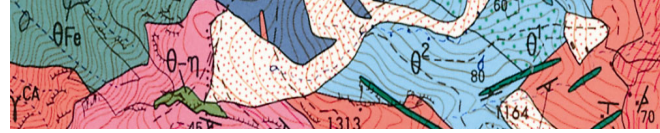
Parc de la Vatine

14 Route de Houpeville

76140 – Mont-Saint-Aignan – France

Tél. : 02.35.60.12.00

Document public

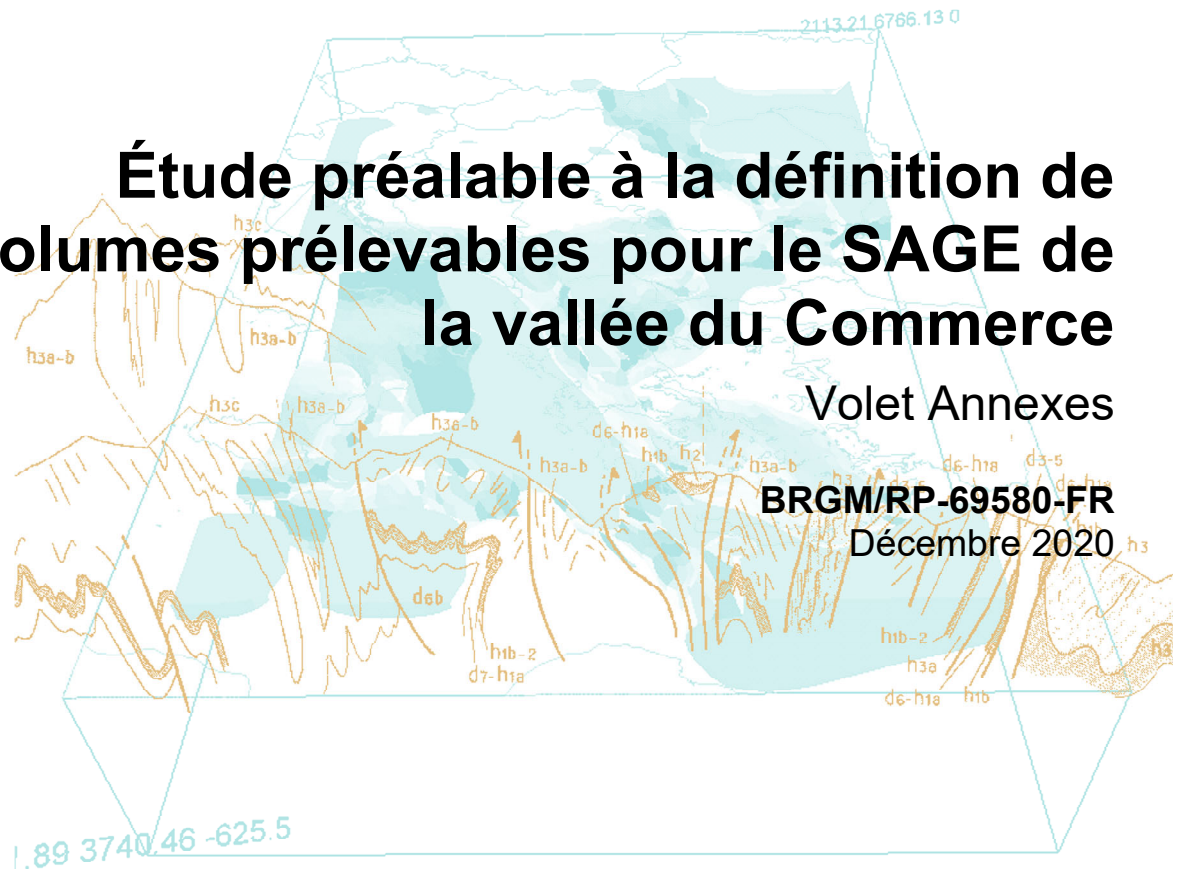


Étude préalable à la définition de volumes prélevables pour le SAGE de la vallée du Commerce

Volet Annexes

BRGM/RP-69580-FR

Décembre 2020



Étude préalable à la définition de volumes prélevables pour le SAGE de la vallée du Commerce

Volet Annexes

BRGM/RP-69580-FR

Décembre 2020

Étude réalisée dans le cadre des missions d'Appuis aux Politiques Publiques (APP) dans le cadre d'un projet de recherche et développement partagés (projet AP17HNO008)

Idée E., Jallais N., Meire B., David P.-Y., Bault V., Malcuit E., Paquet F.
Avec la collaboration de
Clermont G., Bellanger F., Thietry C.



Vérificateur :

Nom : Marc Laurencelle

Fonction : Chercheur en hydrogéologie

Date : 10/12/2020

Signature :

Handwritten signature of Marc Laurencelle in black ink.

Approbateur :

Nom : Didier Pennequin

Fonction : Directeur Régional

Date : 17/12/2020

Signature :

Handwritten signature of Didier Pennequin in purple ink.



Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.
Contact : qualite@brgm.fr



Avertissement

Cette étude est constituée de deux rapports formant un tout indissociable :

- Le volet études : Rapport Final
- Le volet d'annexes

Mots-clés : SAGE, Rivières, Commerce, Seine, Géologie, Faille, Craie, Alluvions, Nappe, Piézométrie, Jaugeage, Seine-Maritime, France

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Idée E., Jallais N., Meire B., David P.-Y., Bault V., Malcuit E., Paquet F. avec la collaboration de **Clermont G., Bellanger F., Thiery C.** (2020) - Étude préalable à la définition de volumes prélevables pour le SAGE de la vallée du Commerce. Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires. Rapport Annexes. BRGM/RP-69580-FR, 9 ann., 160 p.

© BRGM, 2020, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

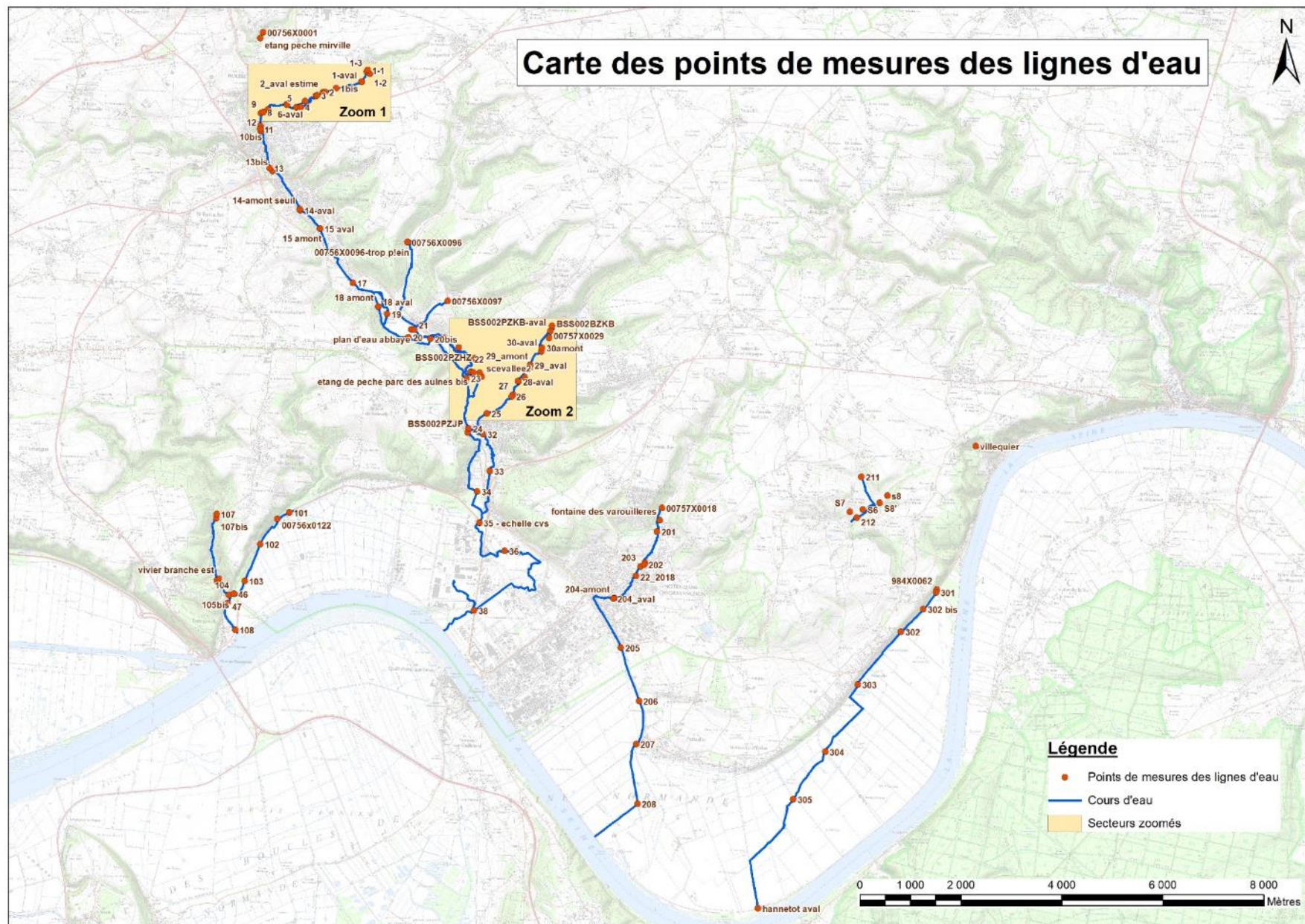
Sommaire

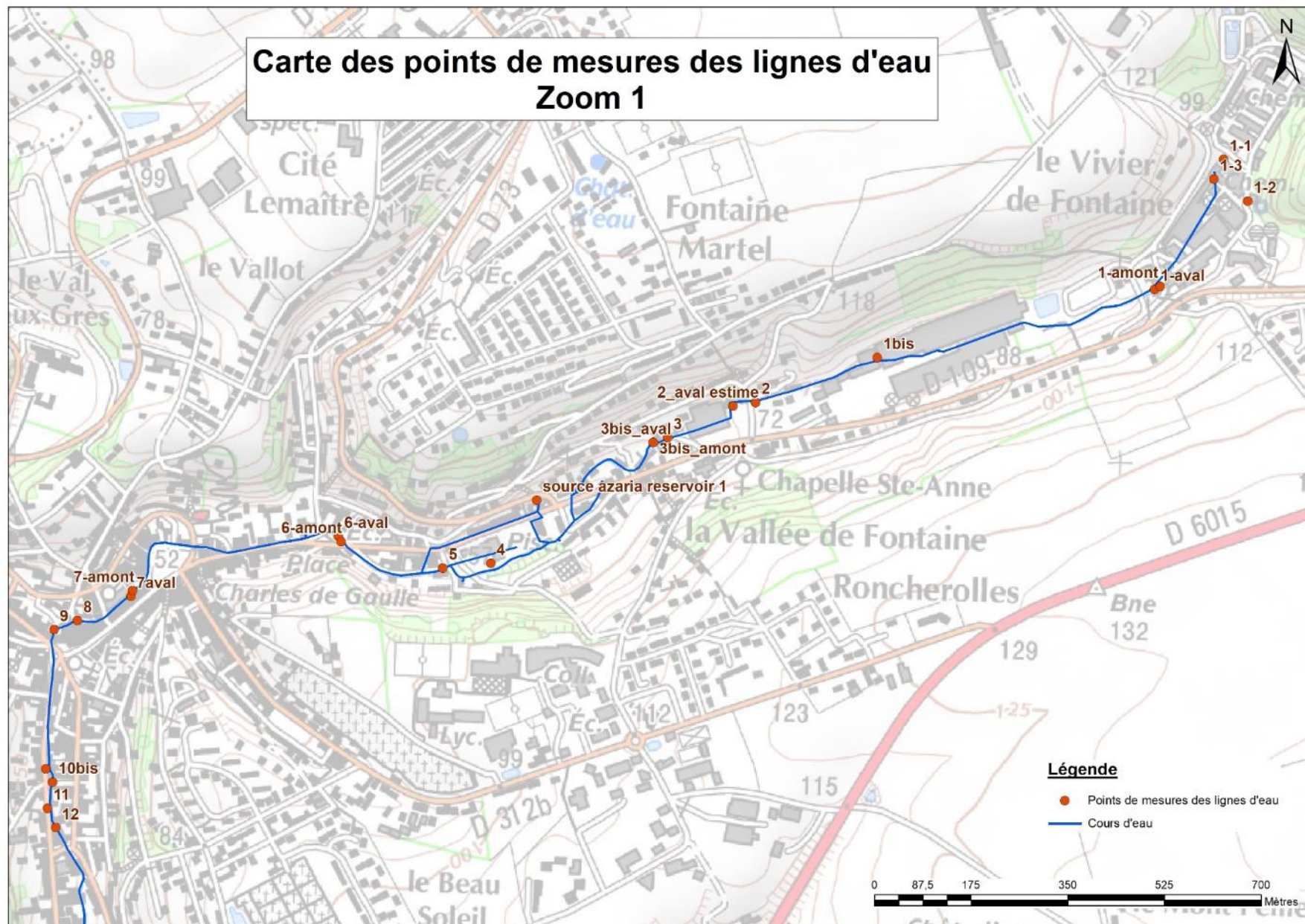
Liste des annexes

Annexe 1 Mesure des lignes d'eau	7
Annexe 2 Résultats des campagnes de jaugeages (2017-2018-2019).....	17
Annexe 3 Création d'un piézomètre à St Antoine la Foret.....	69
Annexe 4 Piézométrie 2017 et 2019	79
Annexe 5 Données utilisées pour évaluer les prélèvements agricoles.....	133
Annexe 6 Eléments utilisés pour l'analyse de la qualité des eaux souterraines et superficielles.....	139
Annexe 7 Données ESU : nombre de données disponibles, période de référence par point d'eau, par paramètre	145
Annexe 8 Données ESO : nombre de données disponibles, période de référence par point d'eau, par paramètre	149
Annexe 9 Cartes de synthèse sur la qualité des eaux	153

Annexe 1

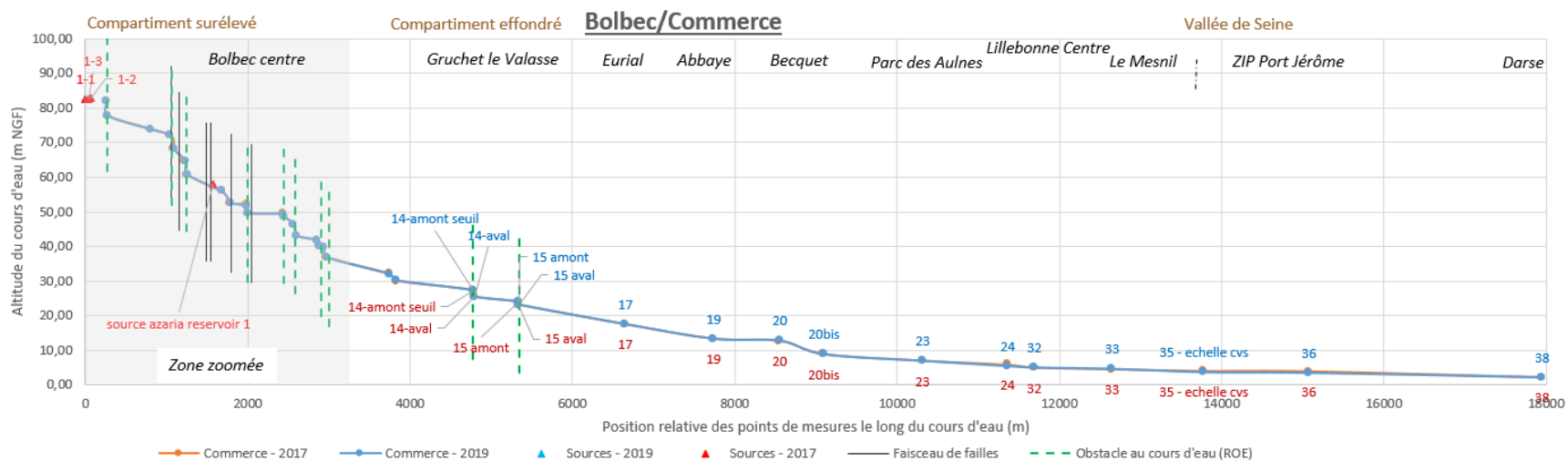
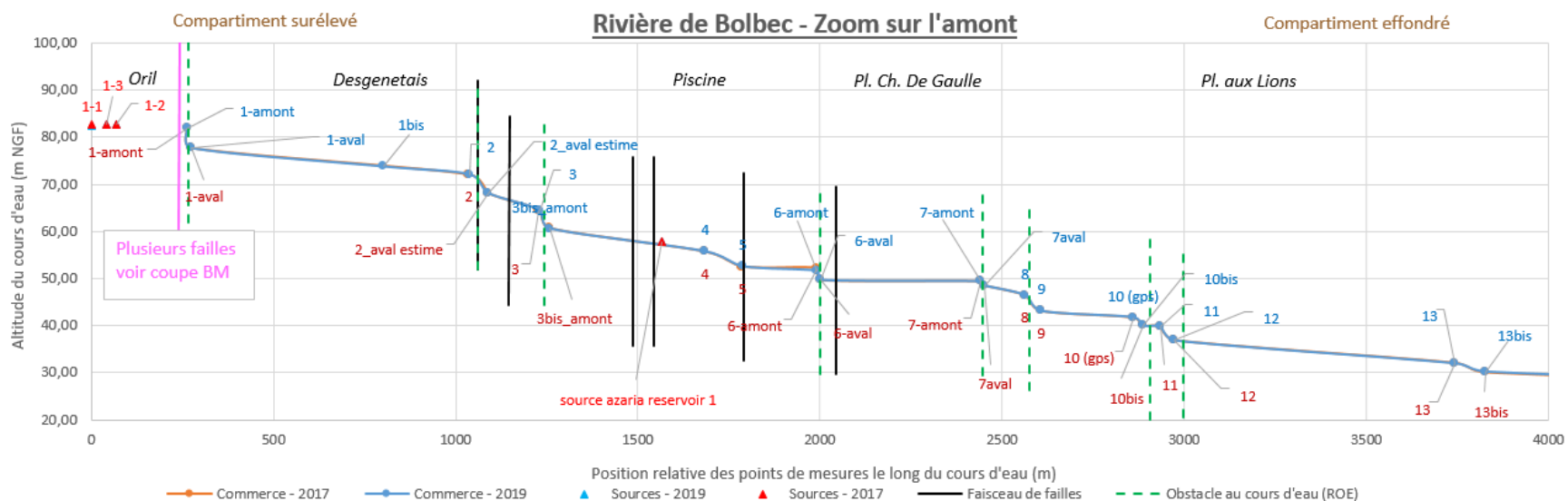
Mesure des lignes d'eau

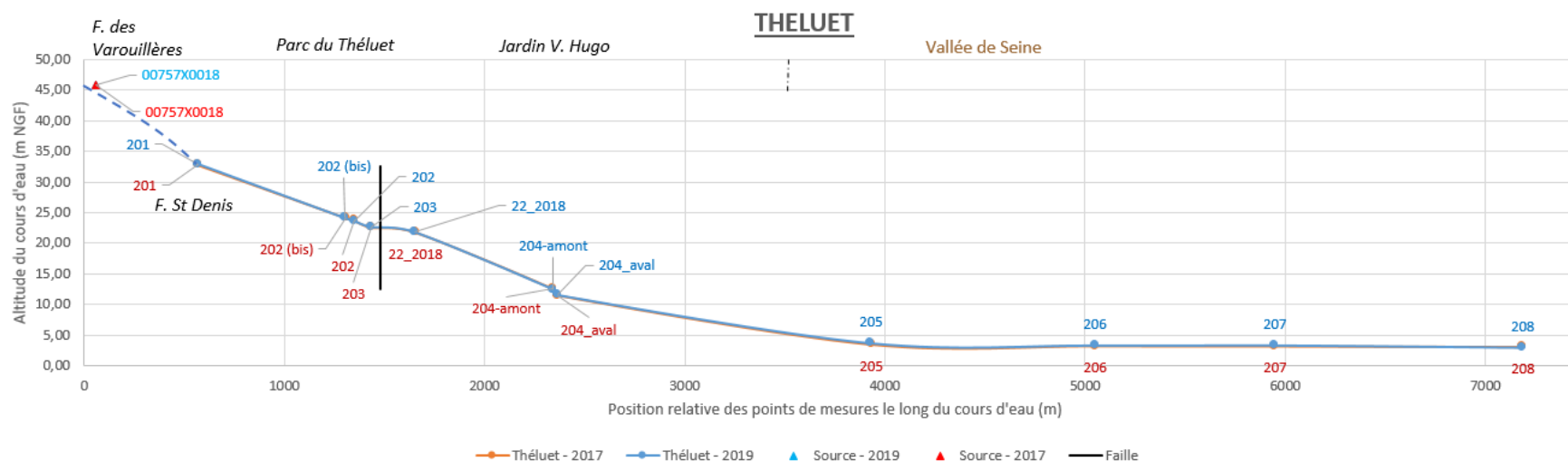
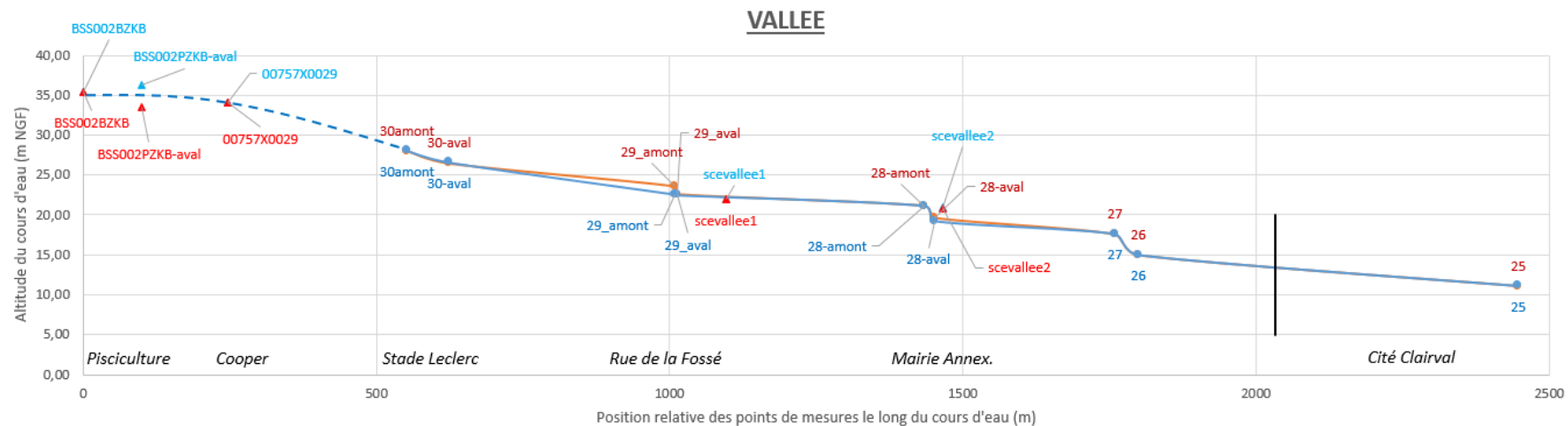




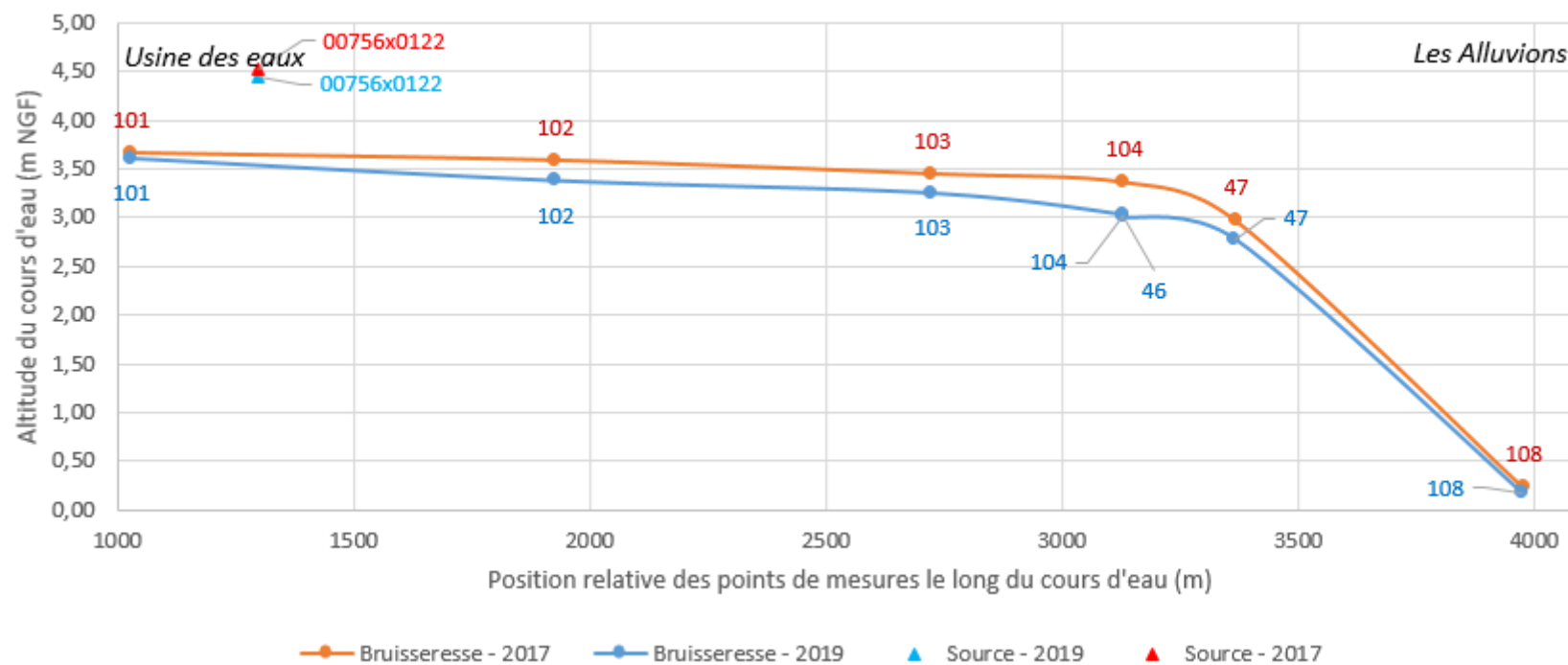


Les profils suivants ont été réalisés à partir des mesures des campagnes de lignes d'eau réalisées en 2017 et en 2019 sur l'ensemble des cours d'eau de la zone d'étude

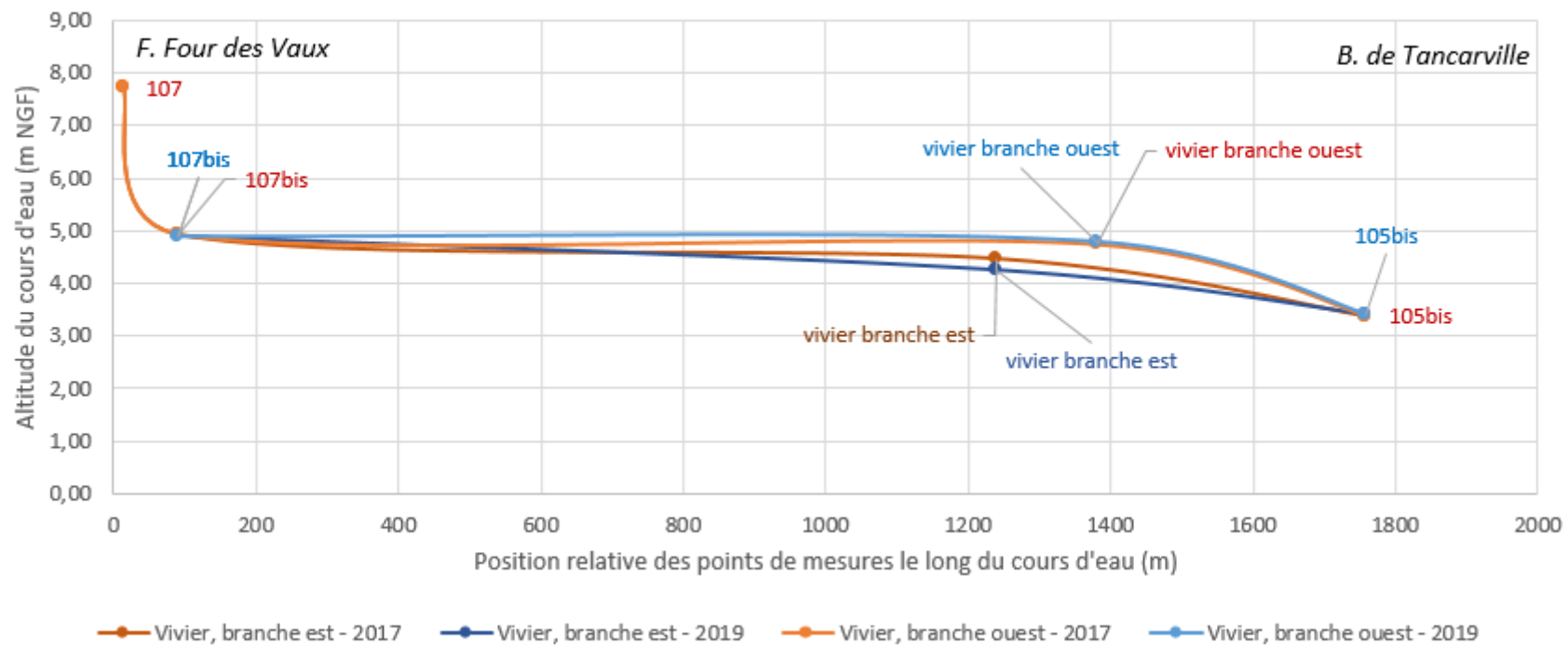


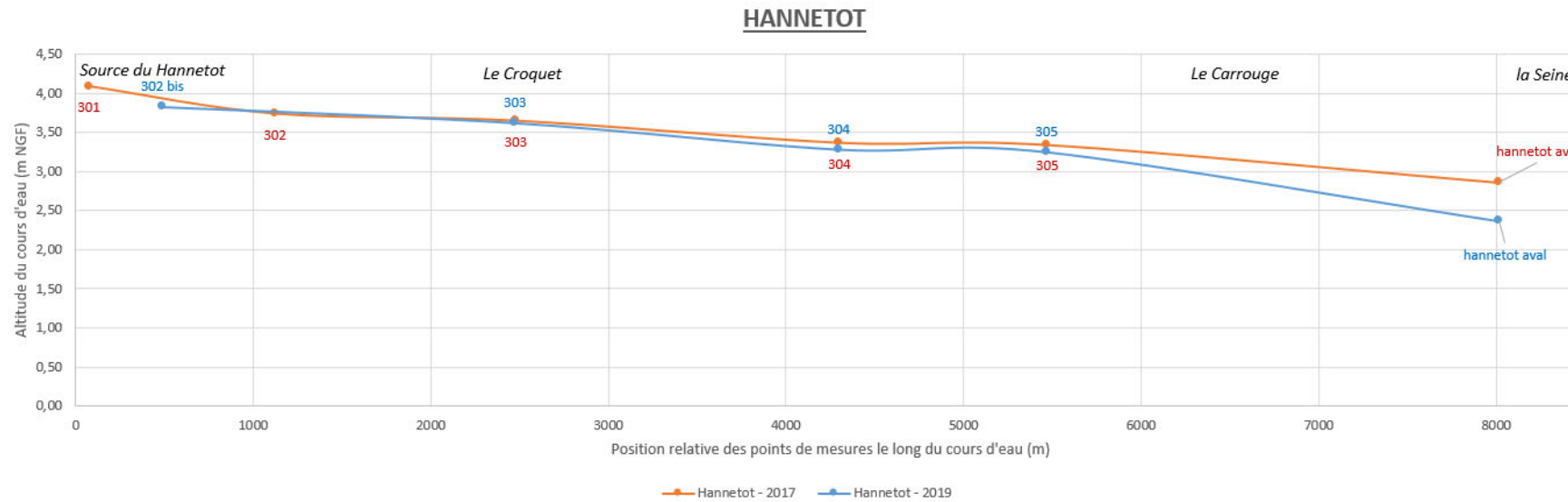


BROUISSERESSE



VIVIER



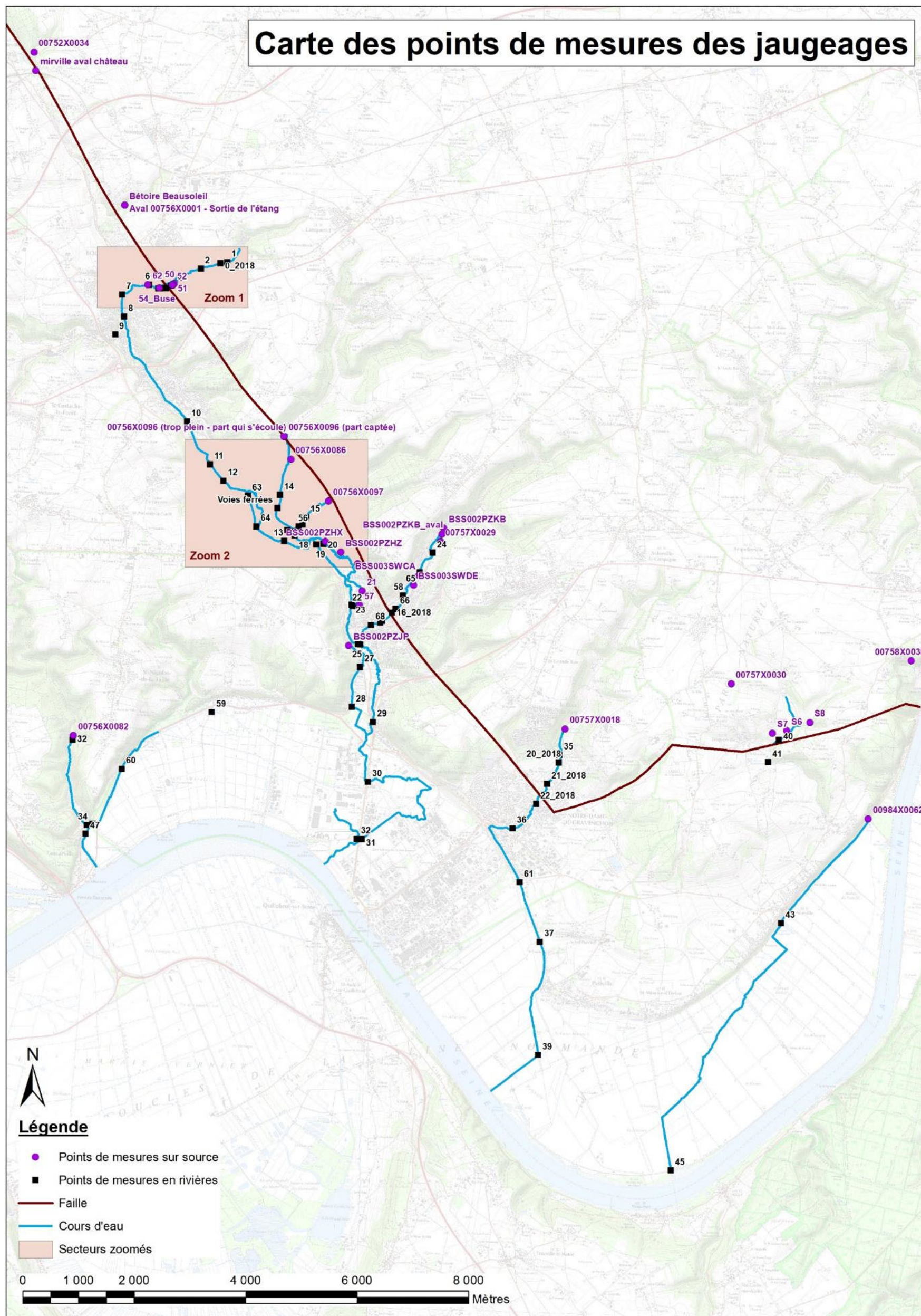


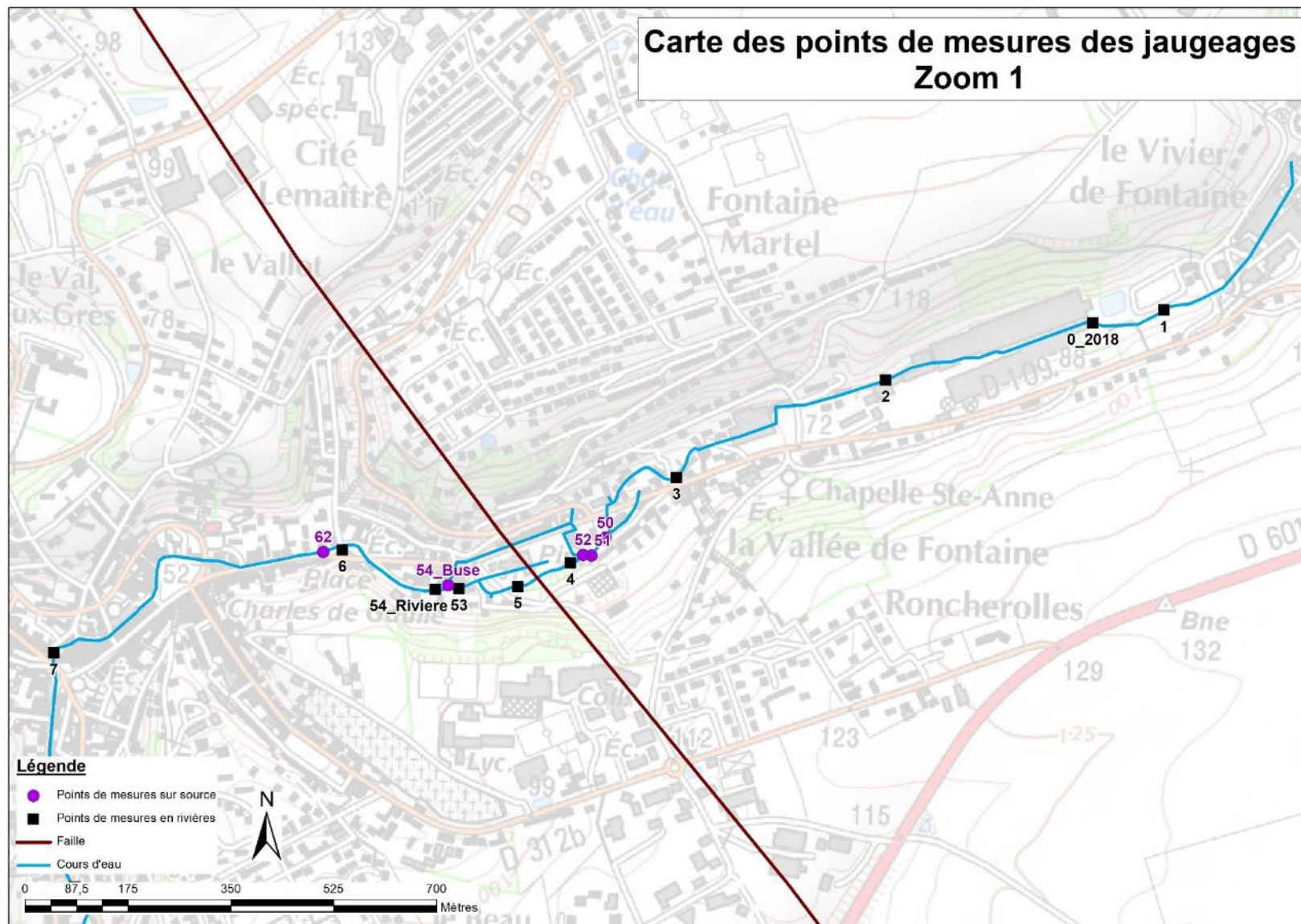
Annexe 2

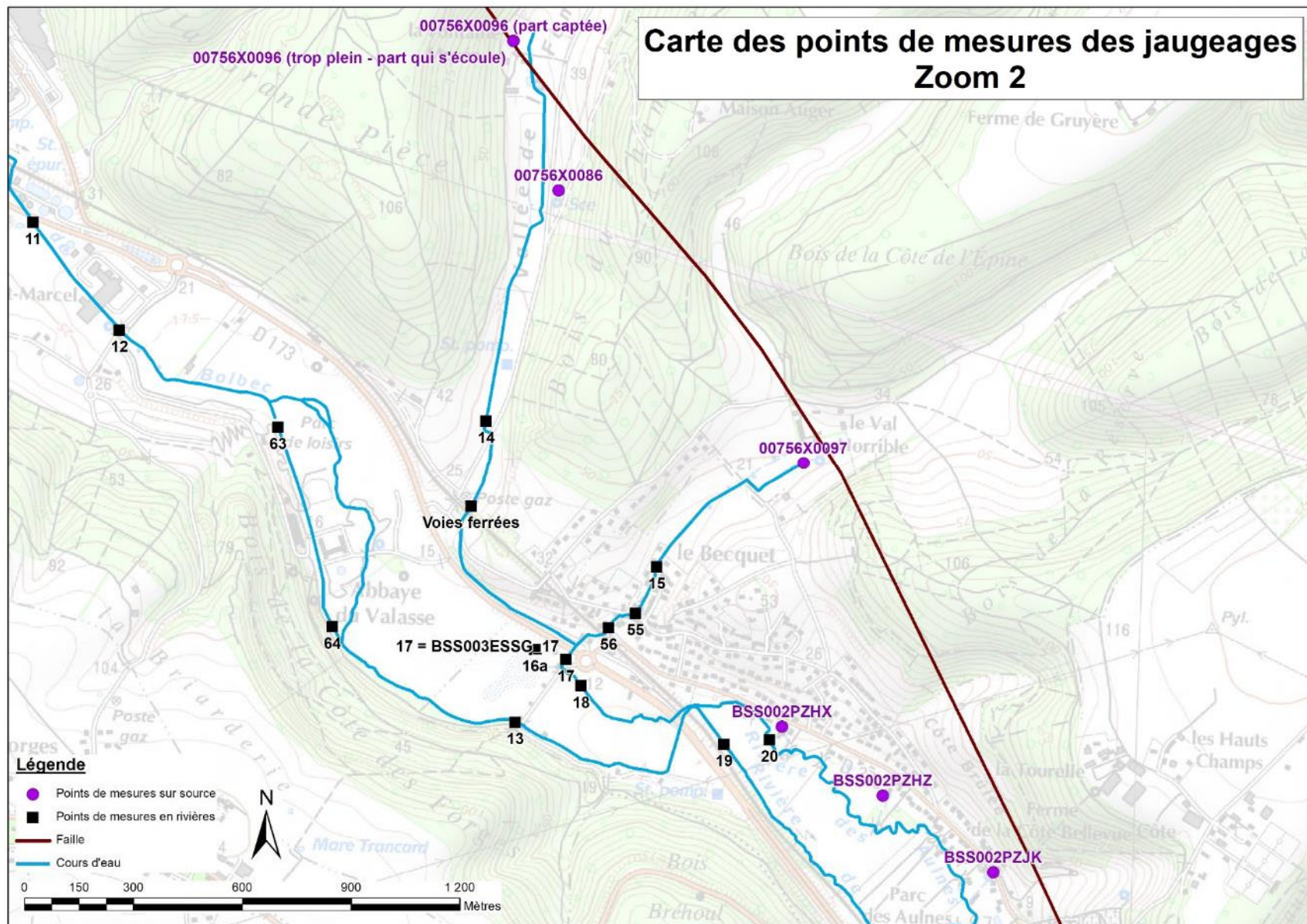
Résultats des campagnes de jaugeages (2017-2018-2019)

1. Localisation des points jaugés
2. Bilan des prélèvements/rejets à proximité des points de jaugeages
3. Cartes et tableau de résultats

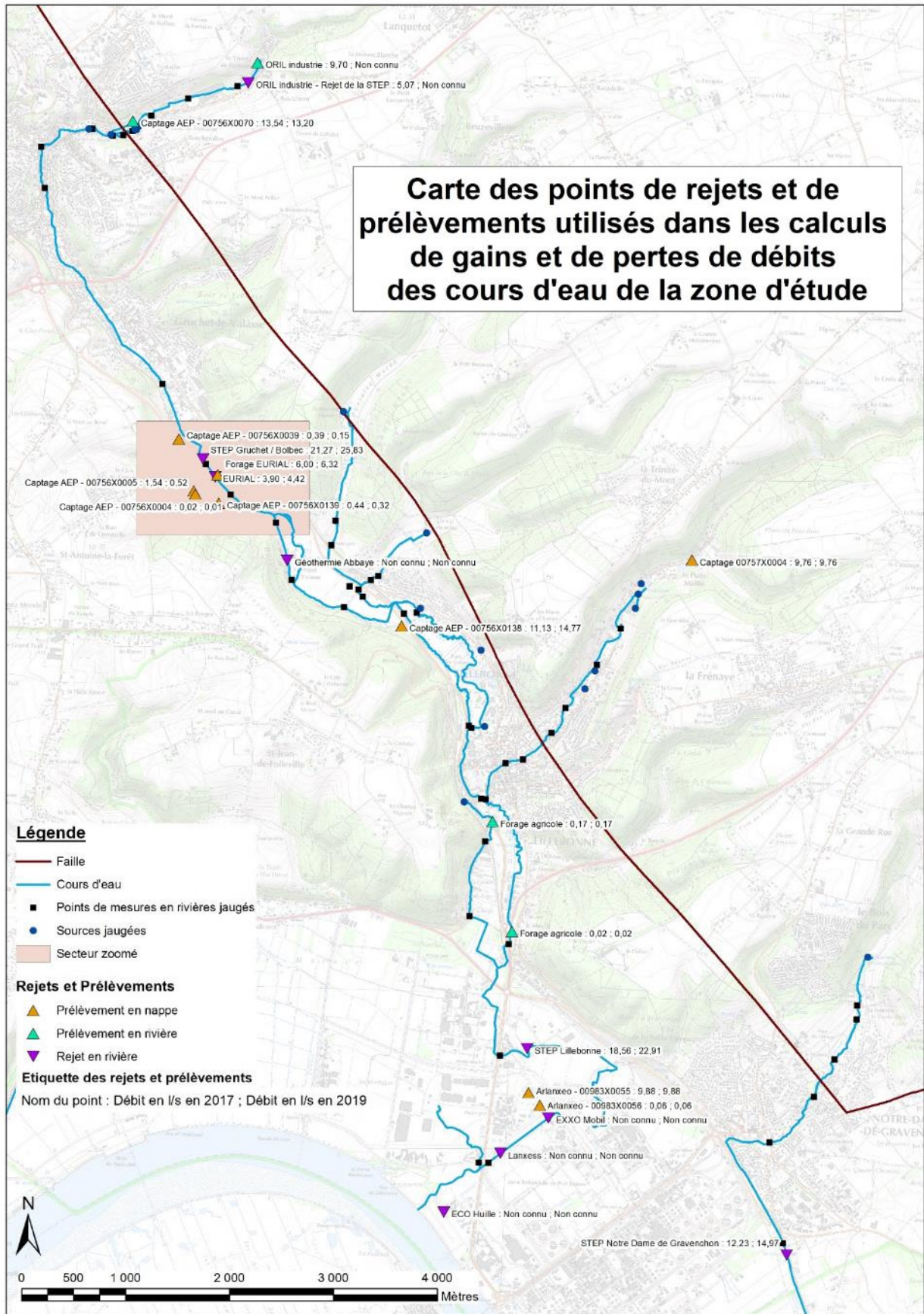
1 -Localisation des points jaugés

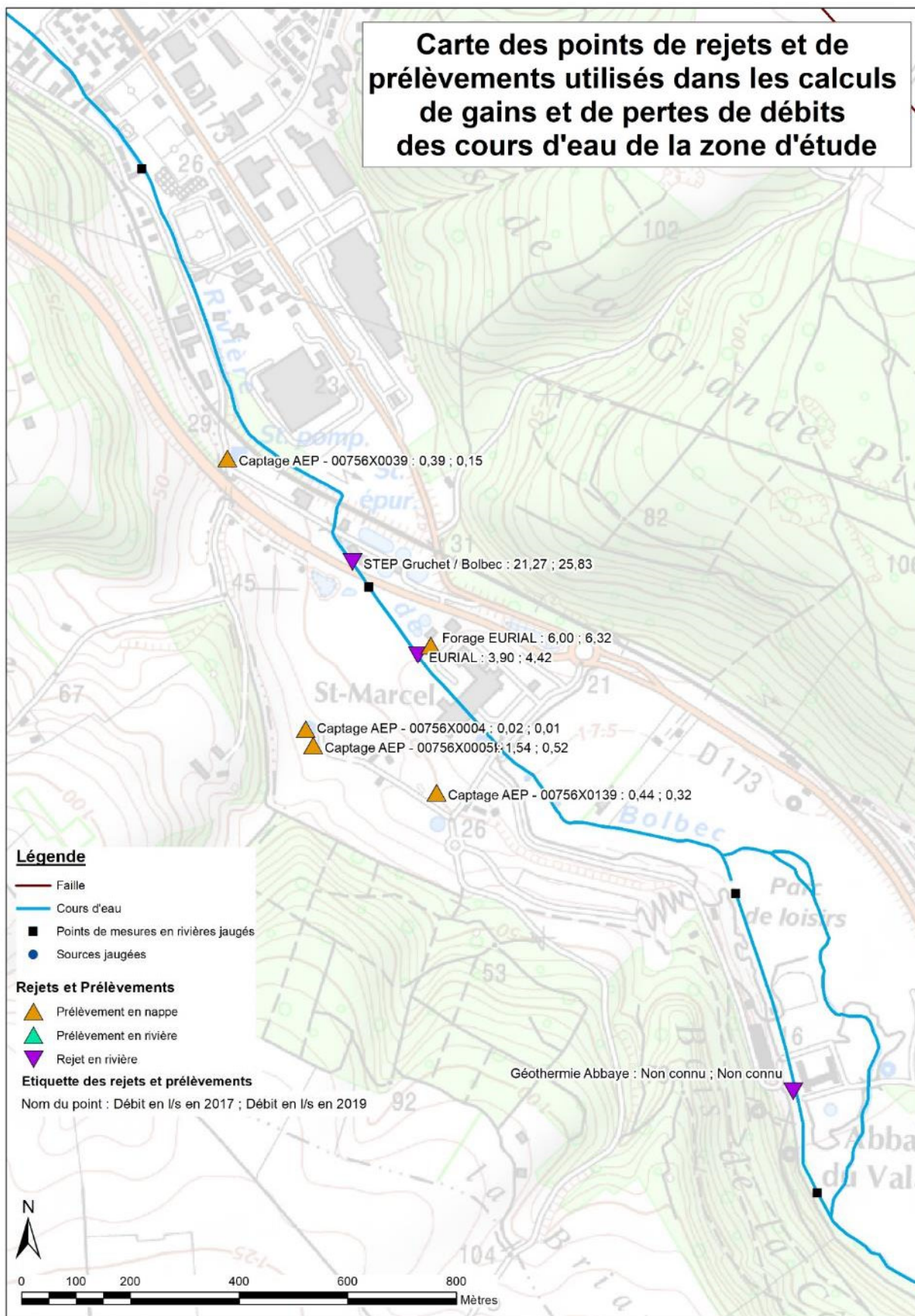






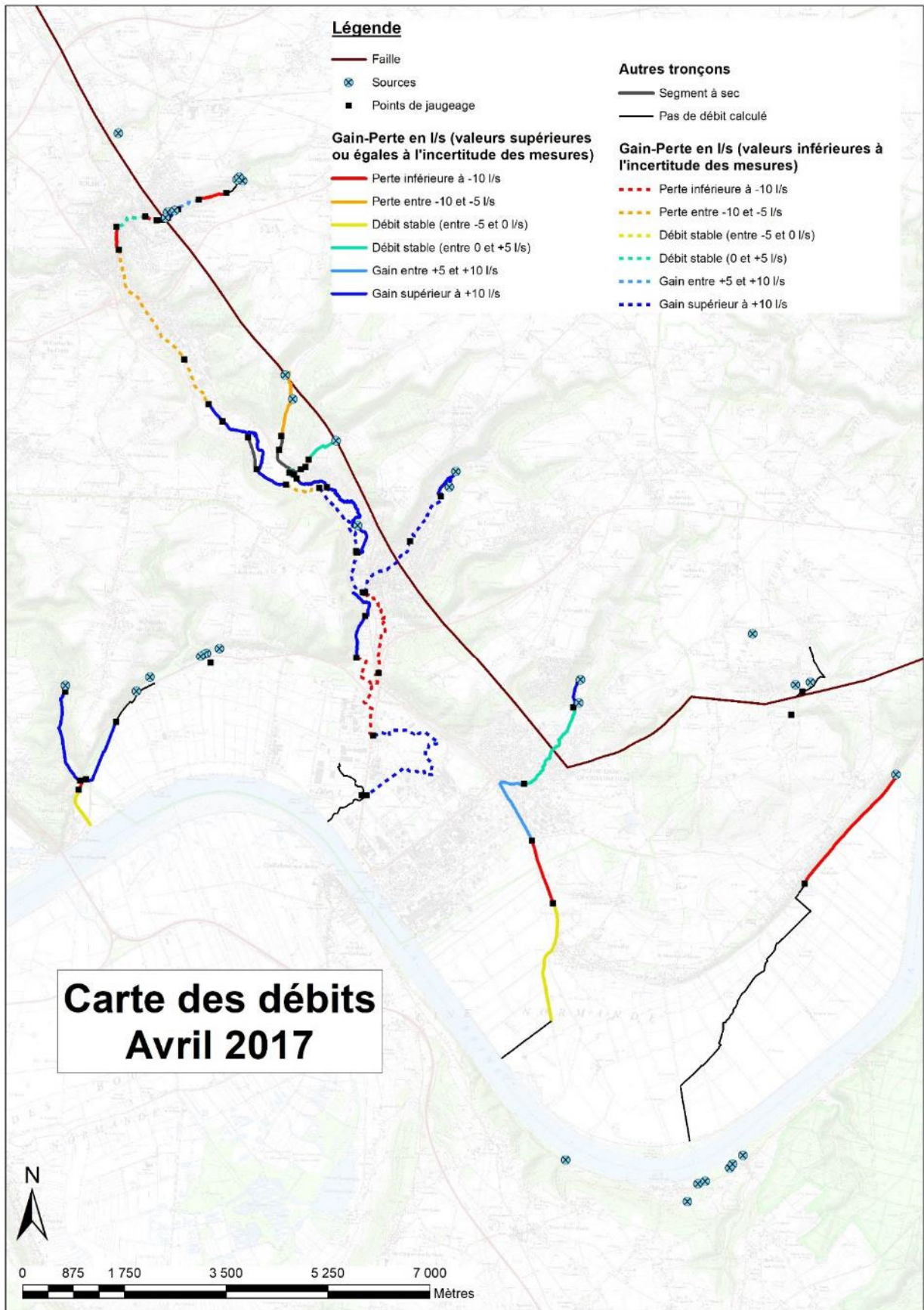
2 – Bilan des prélèvements rejets à proximité des points de jaugeages

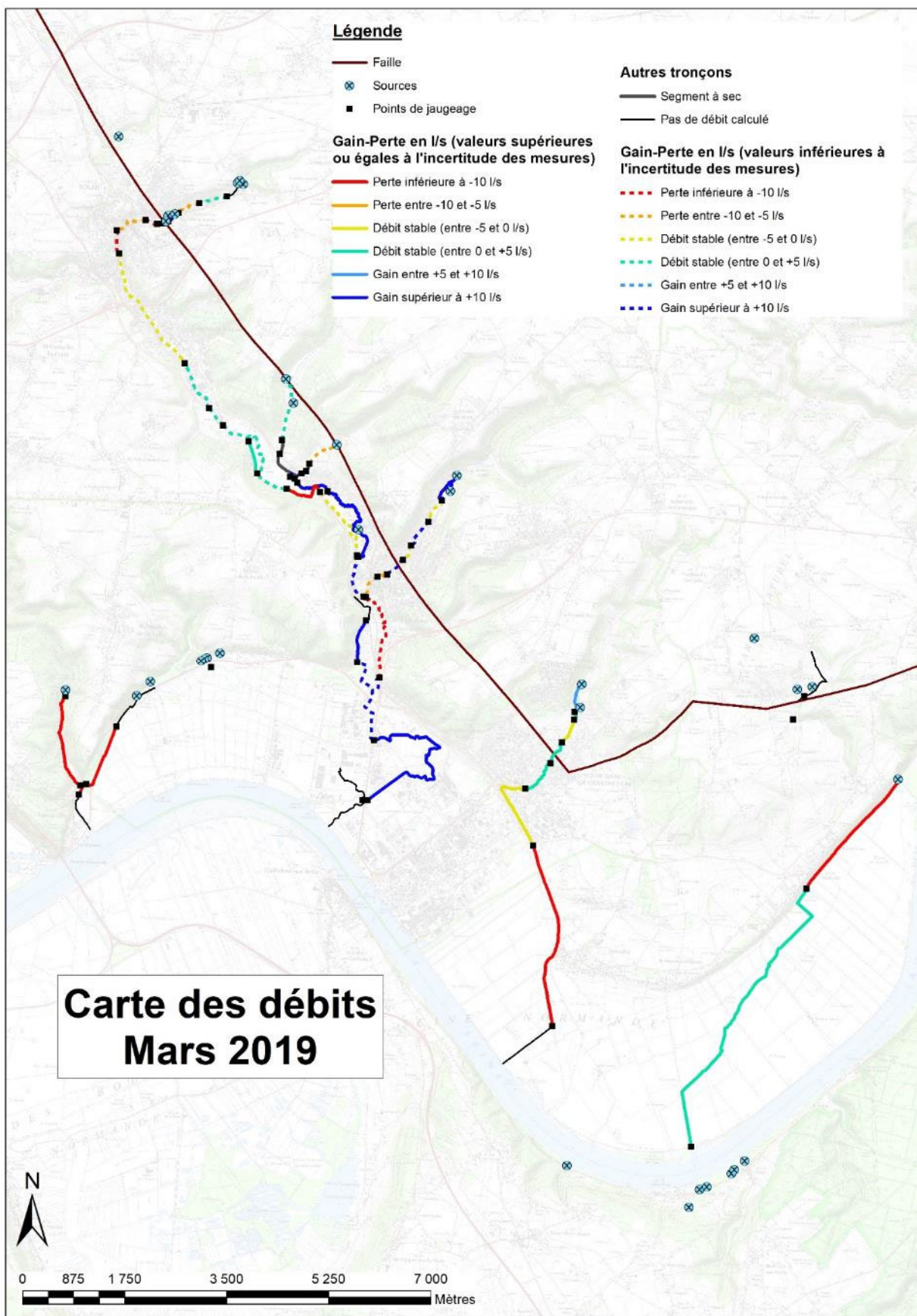




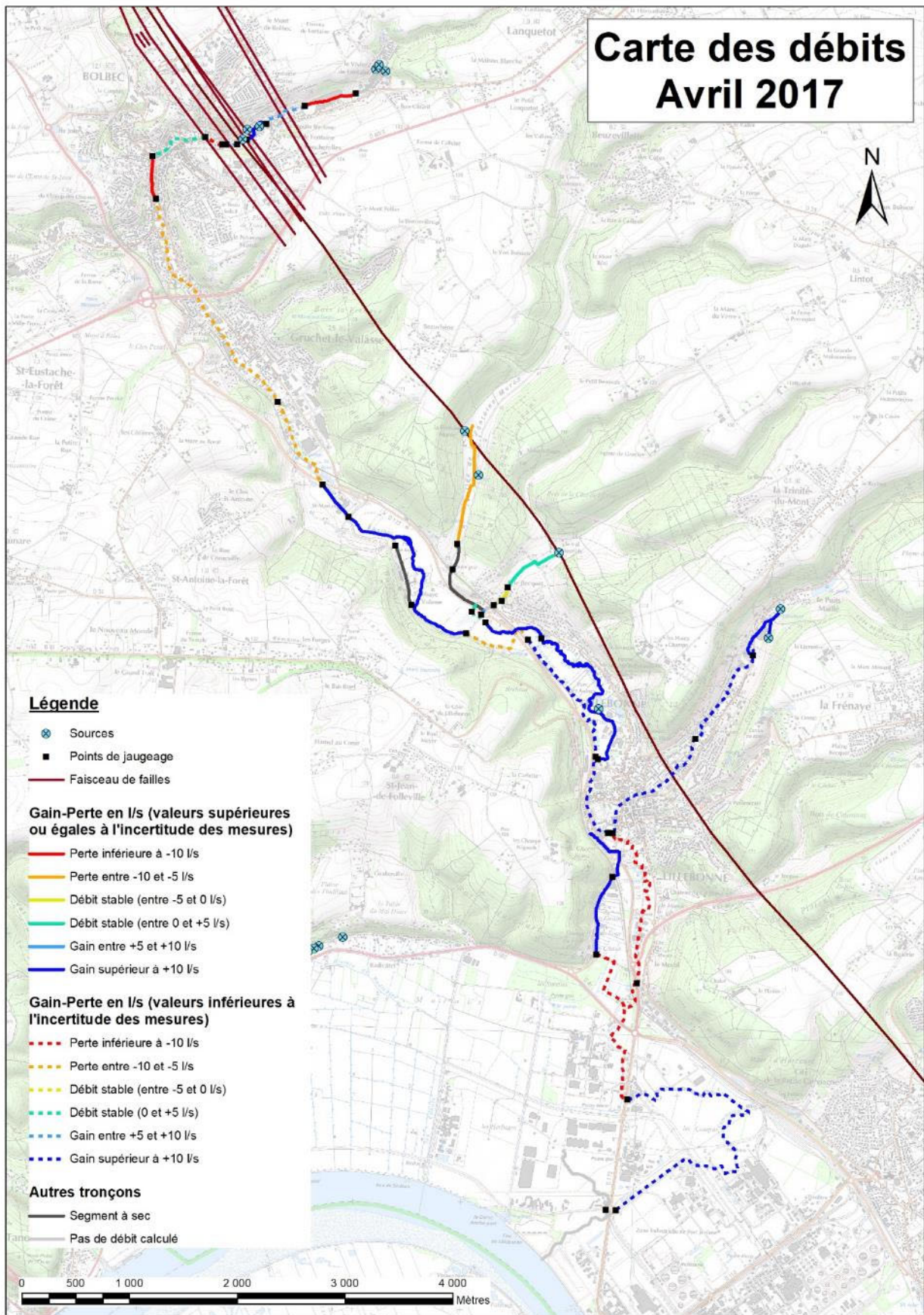
3 –Cartes et tableau de résultats

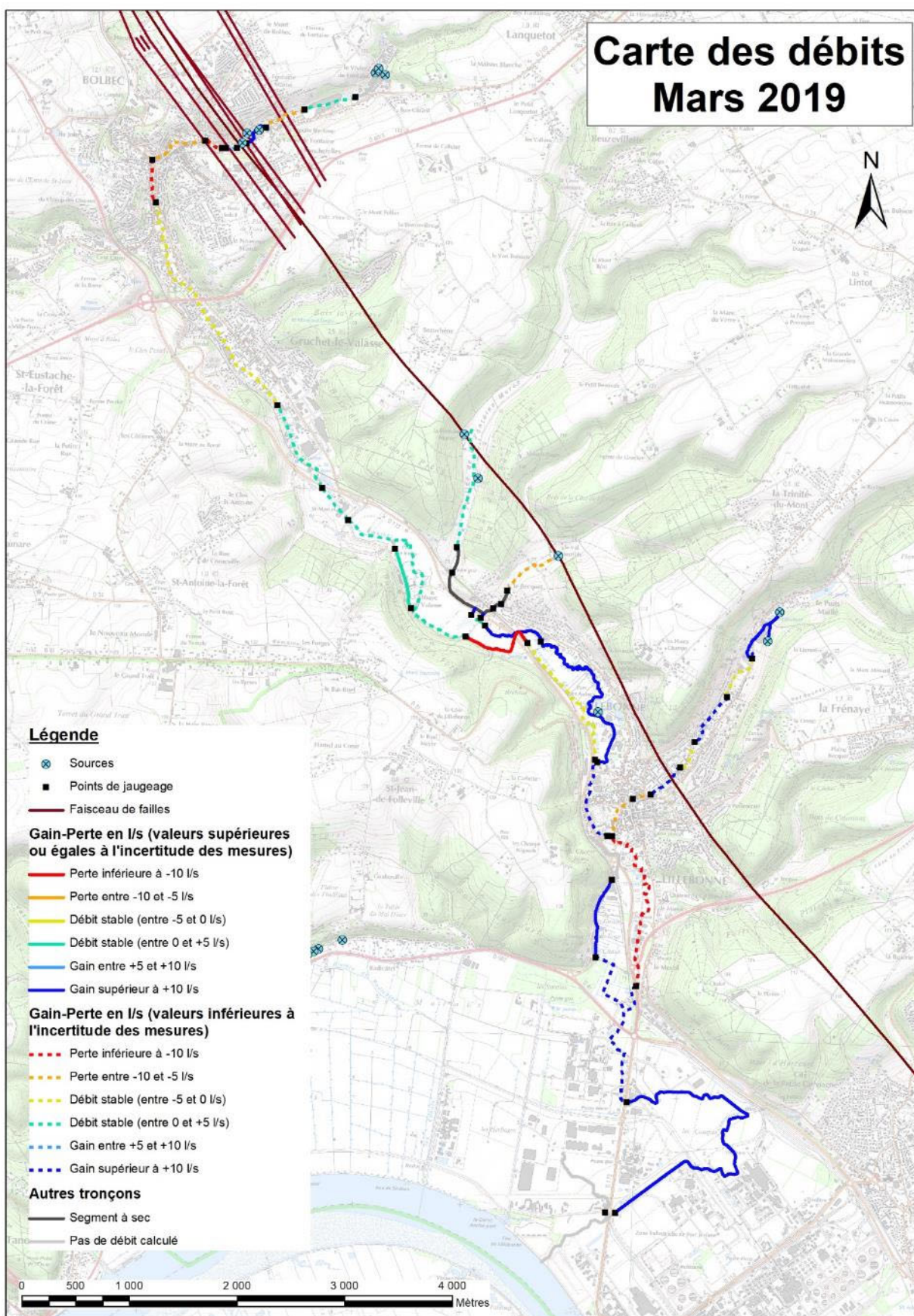
Territoire du SAGE Commerce



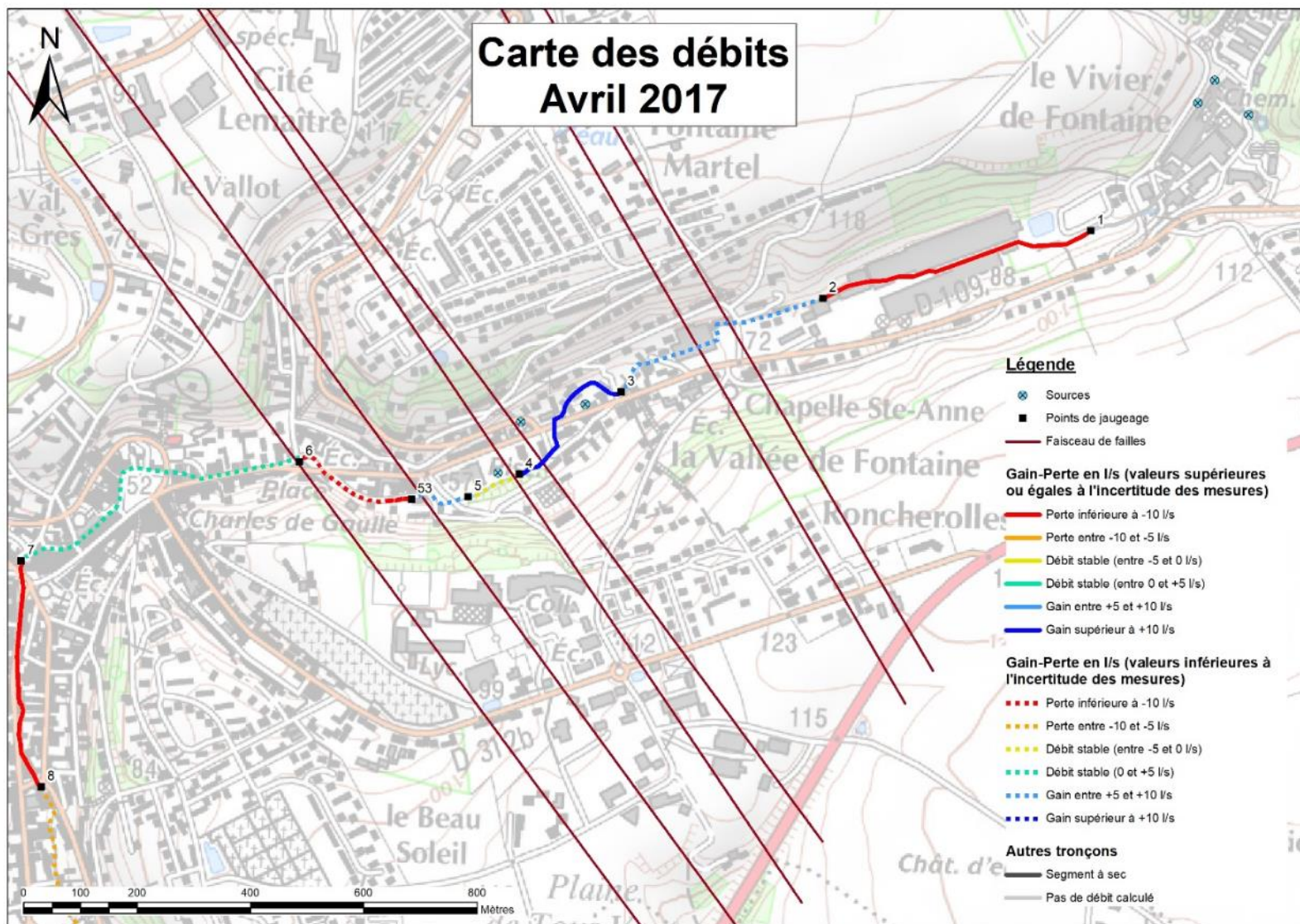


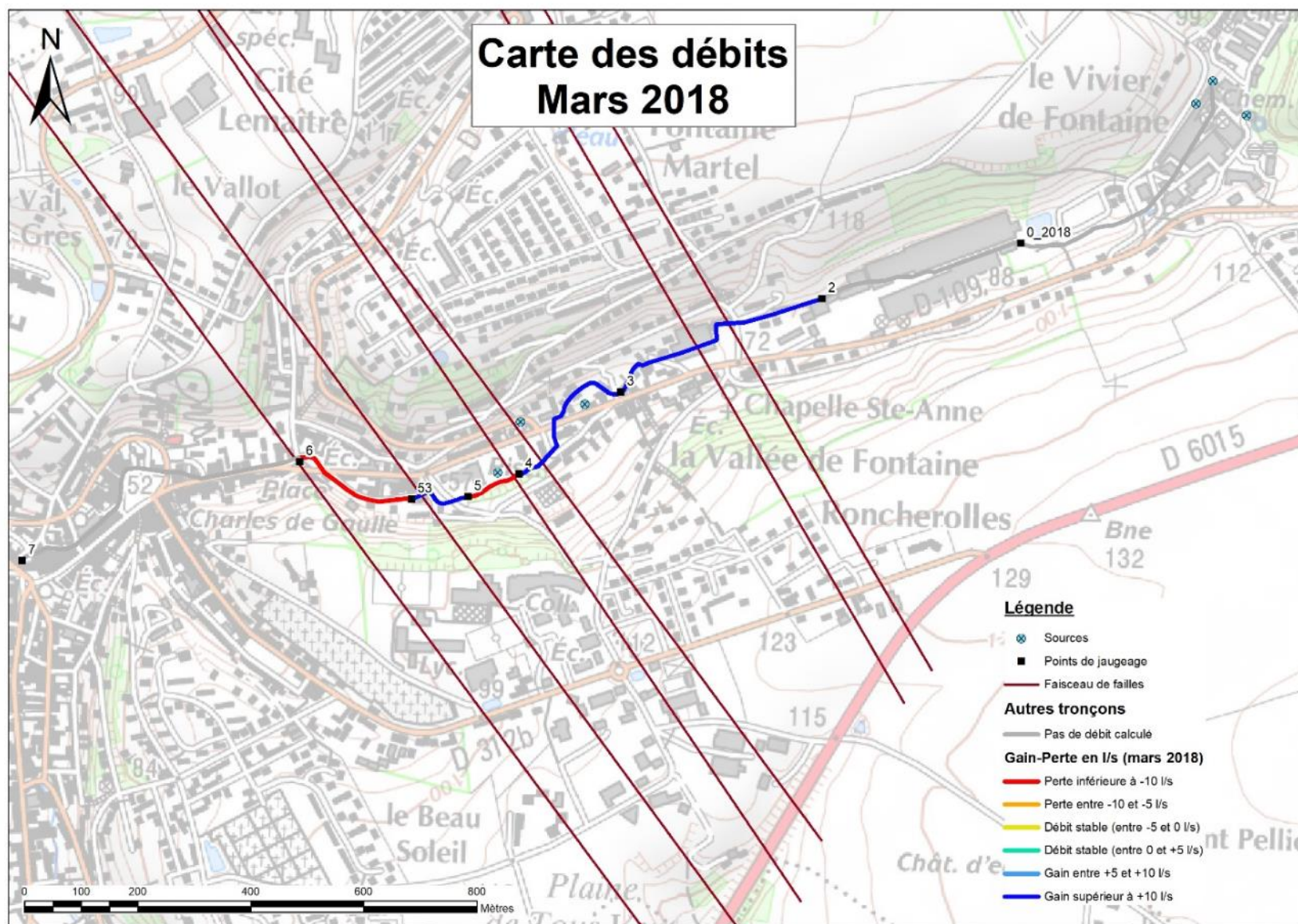
Rivière du Commerce

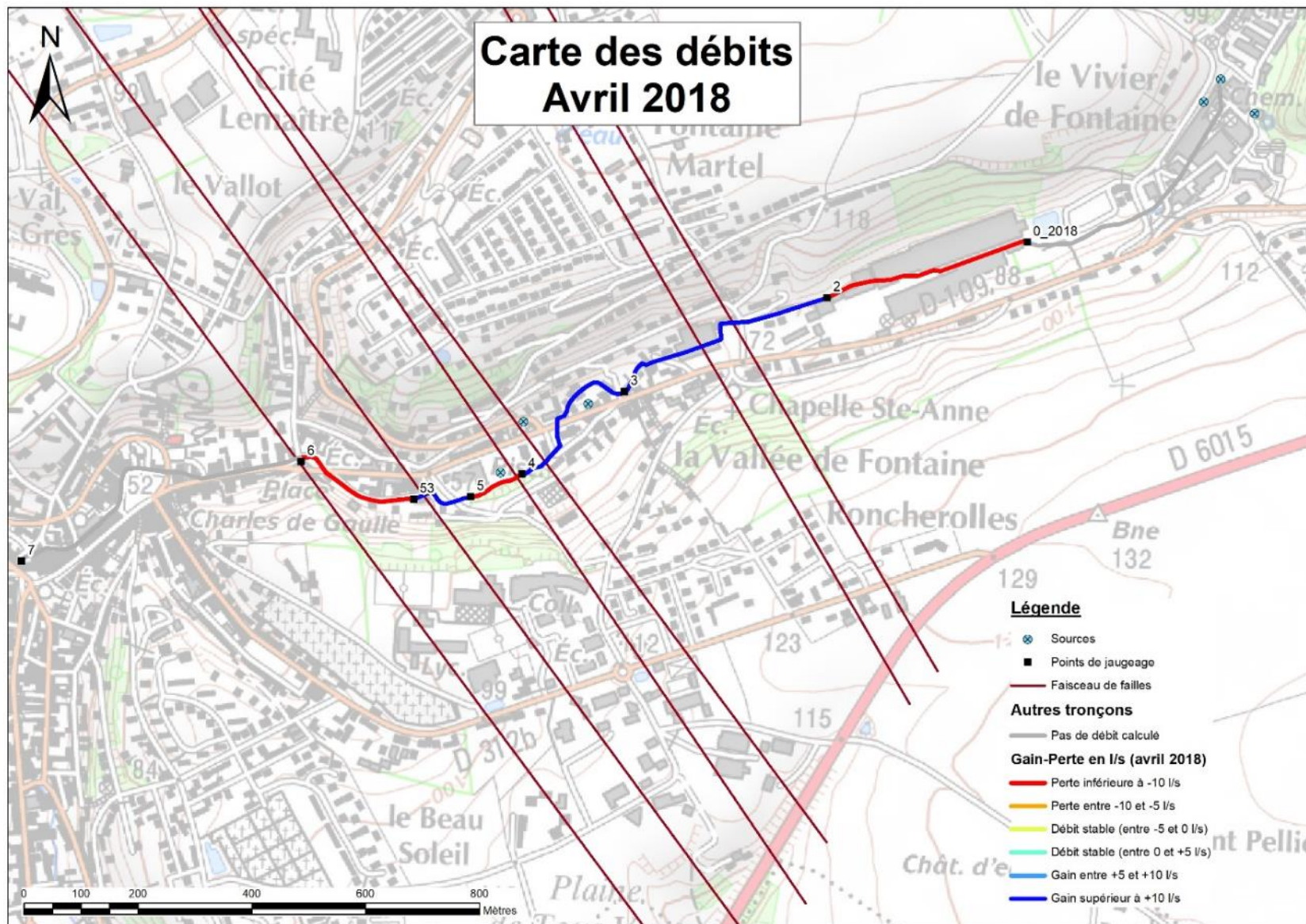


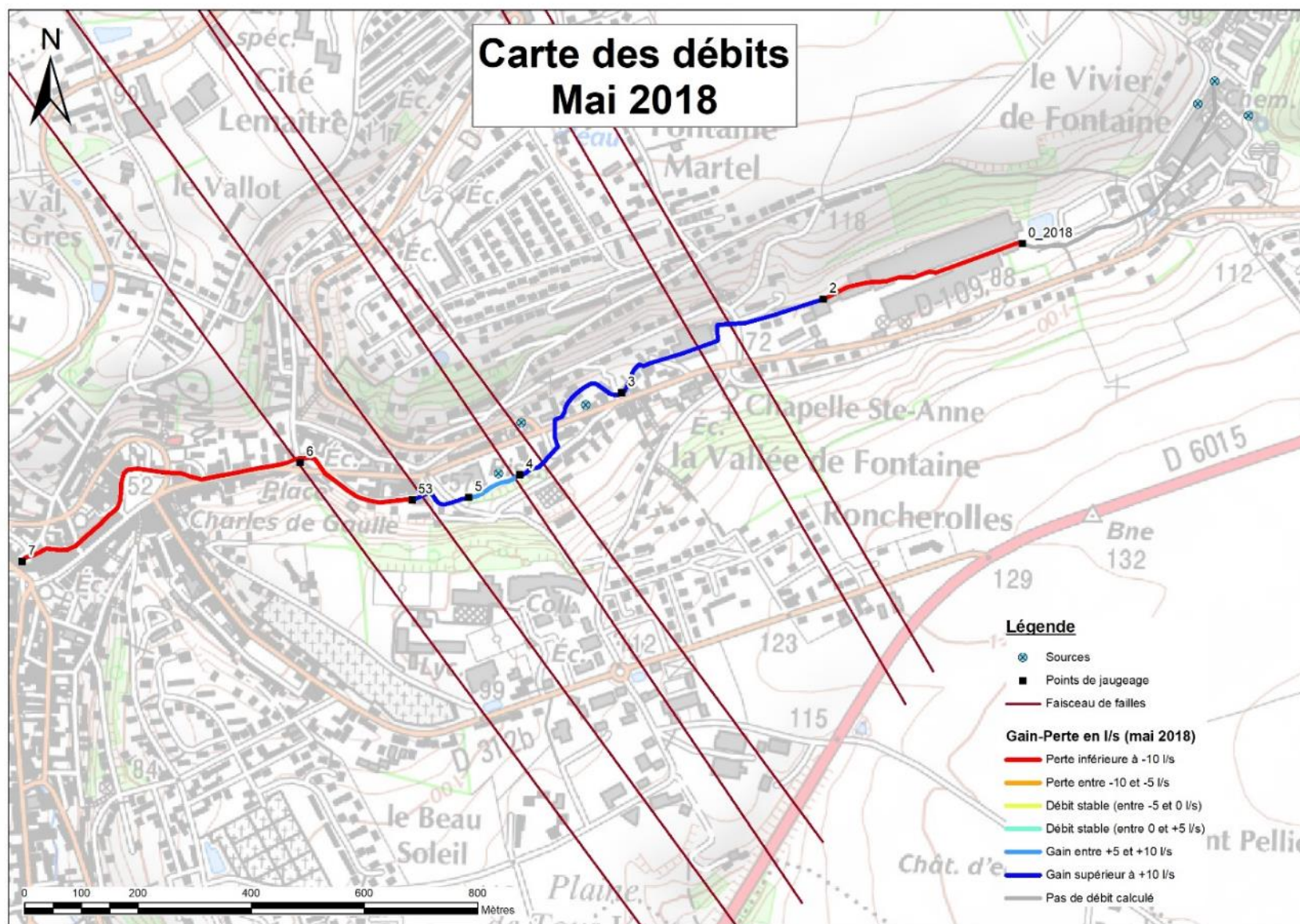


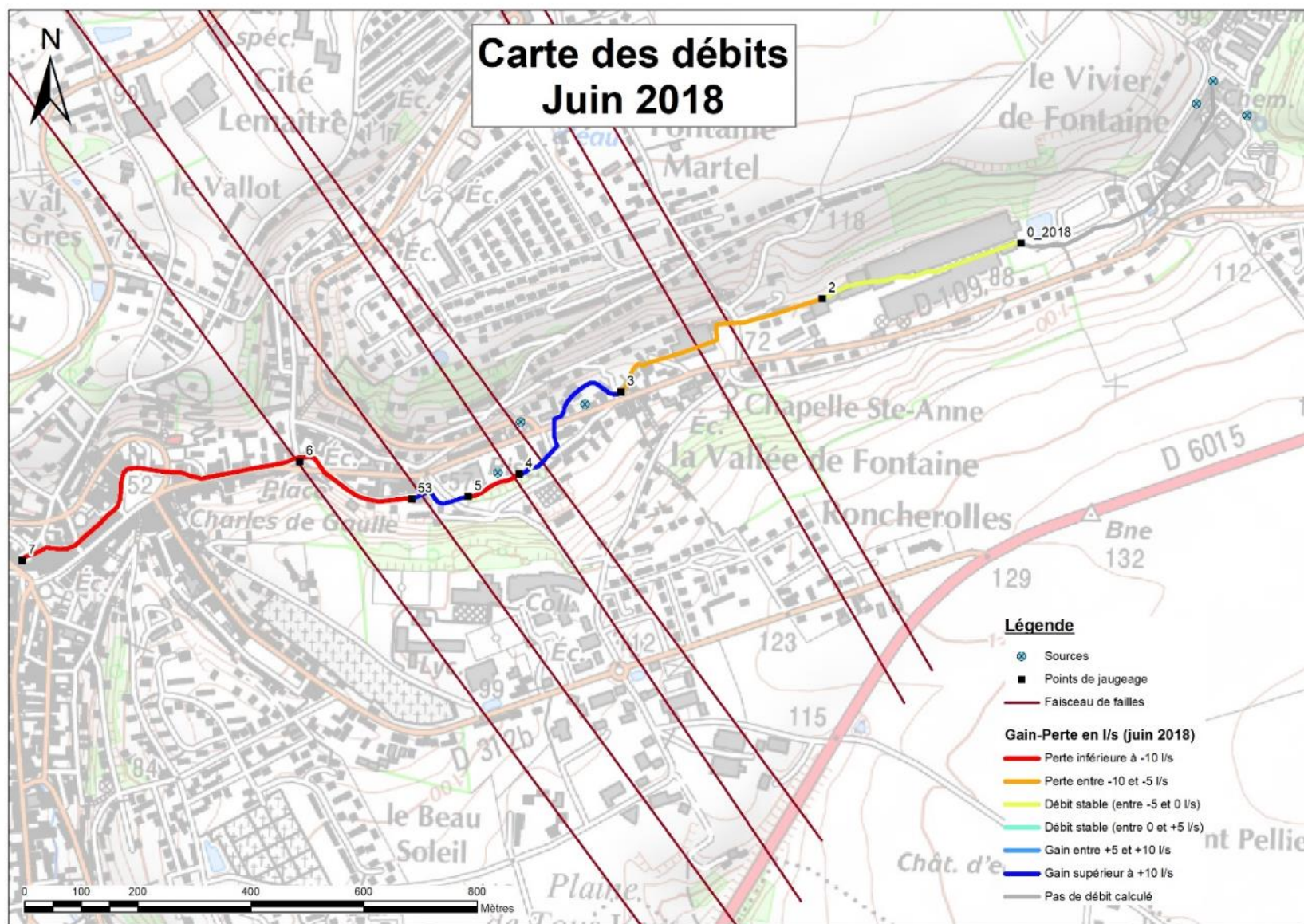
Amont de la rivière de Bolbec

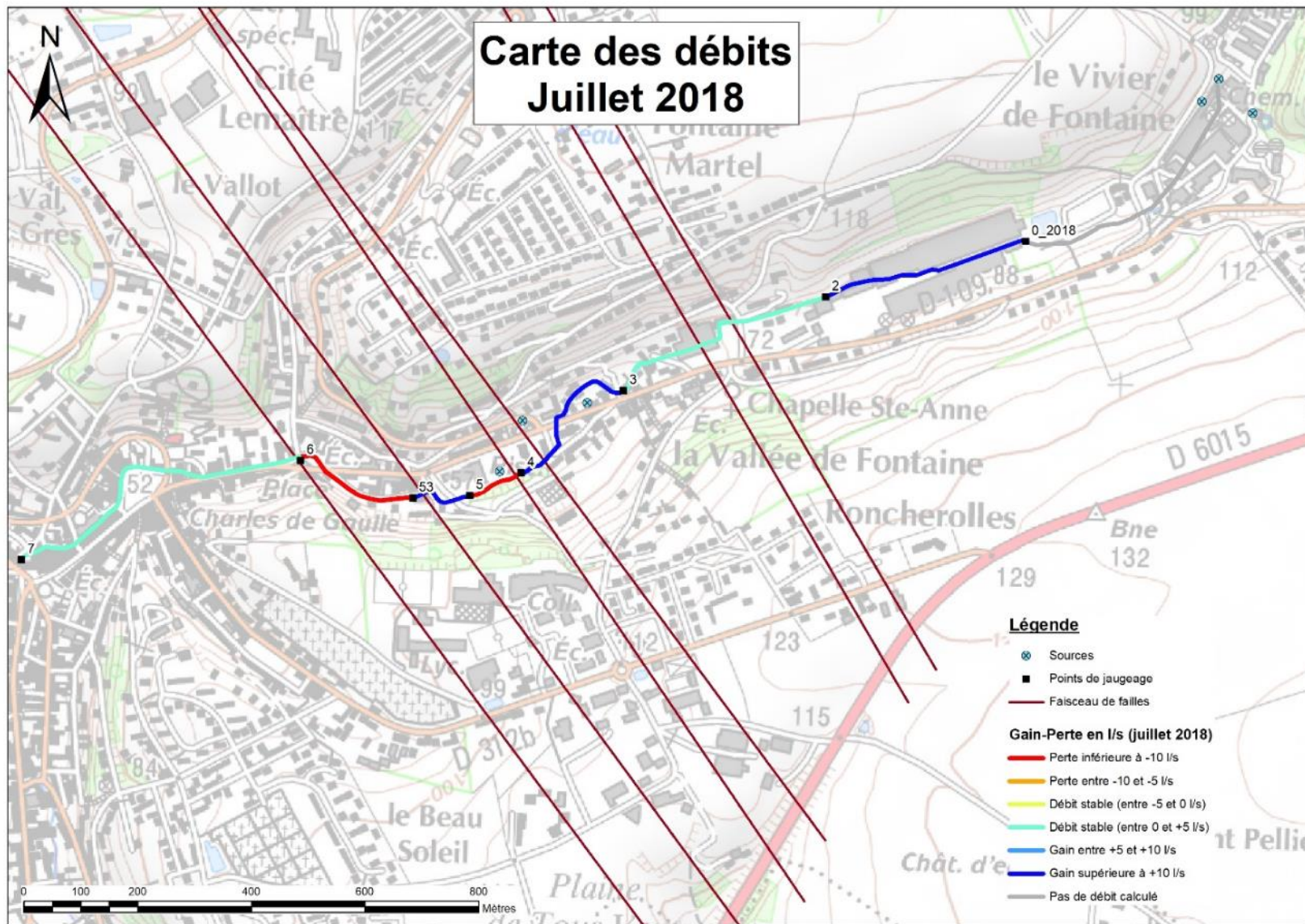


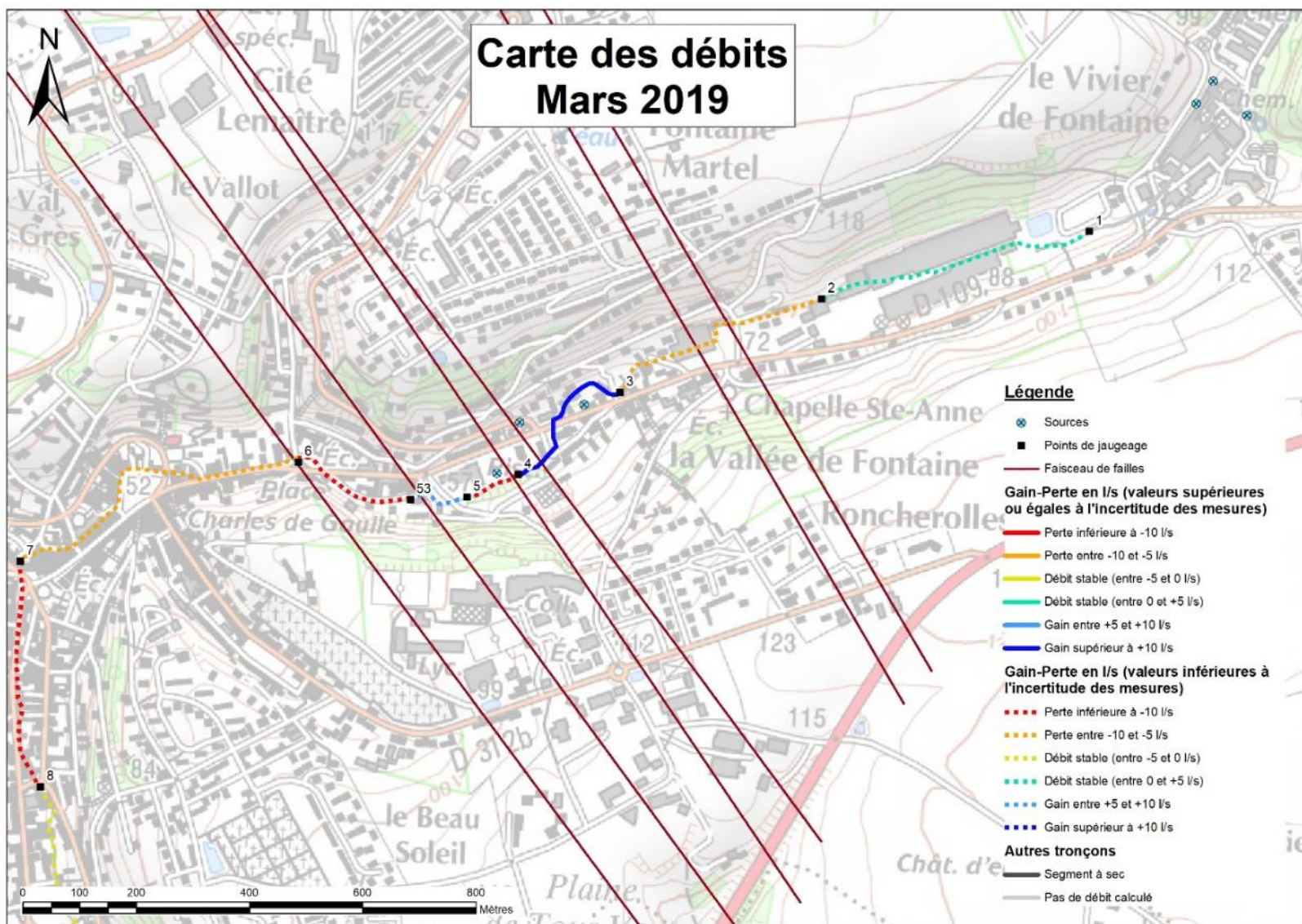




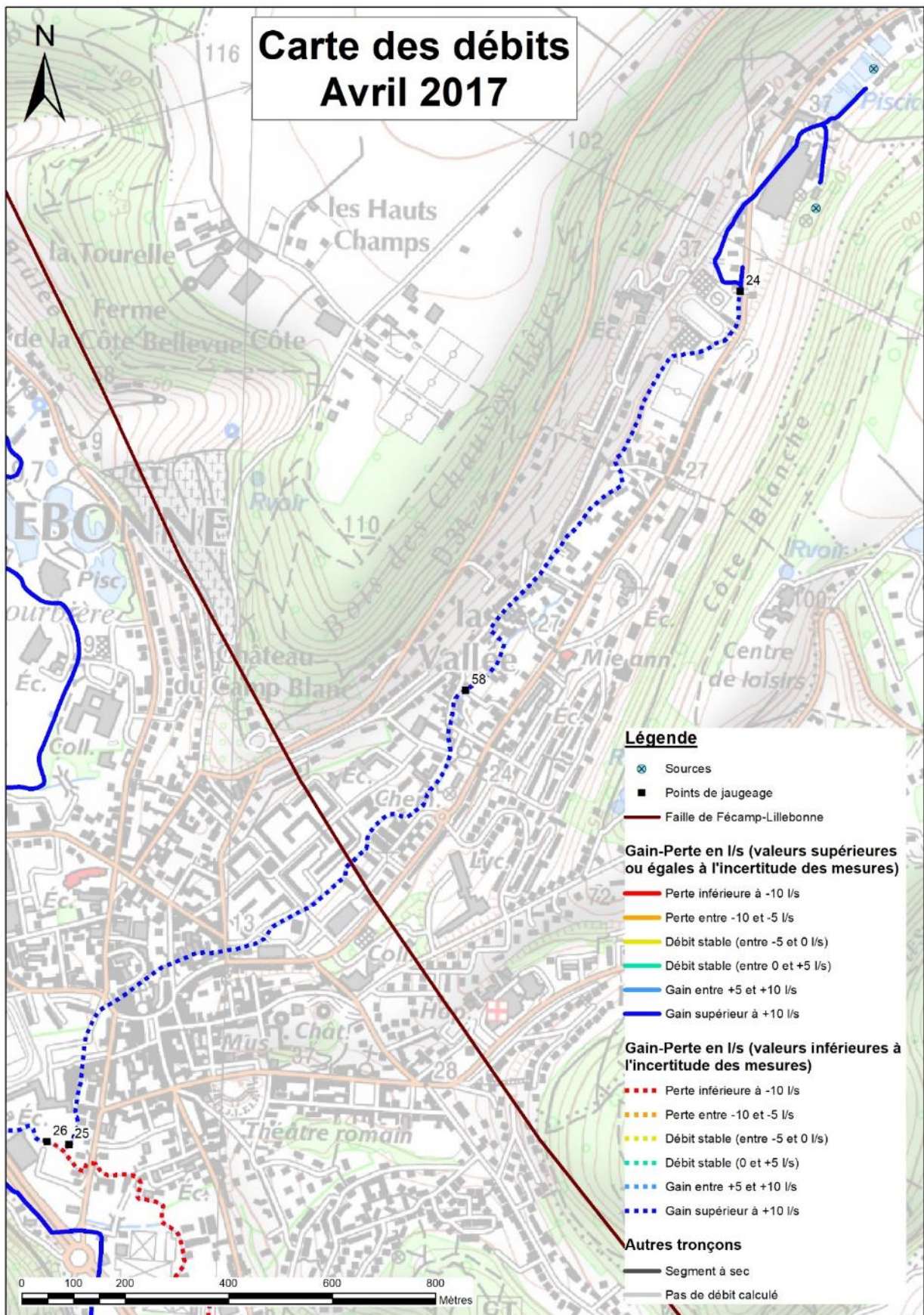


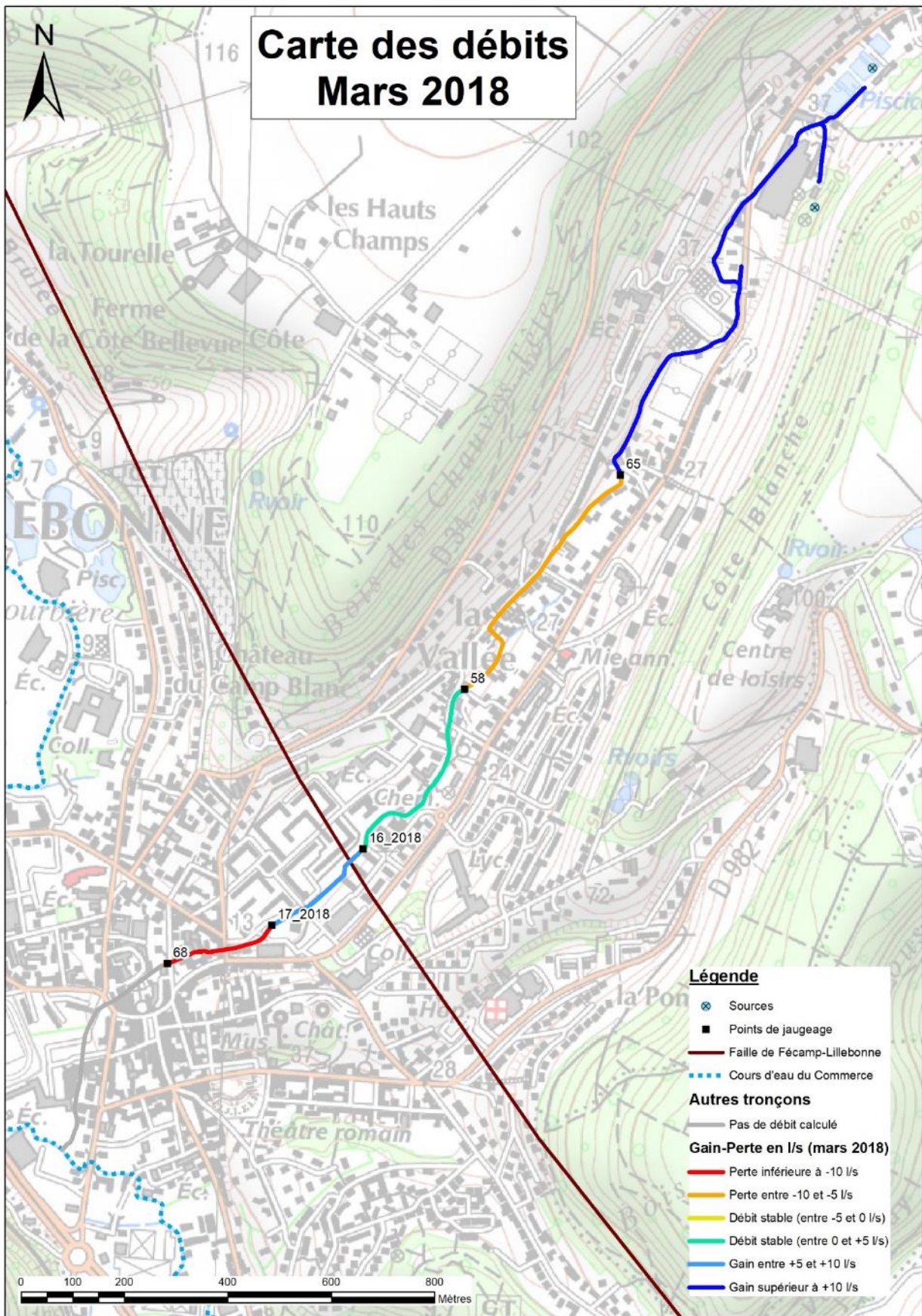


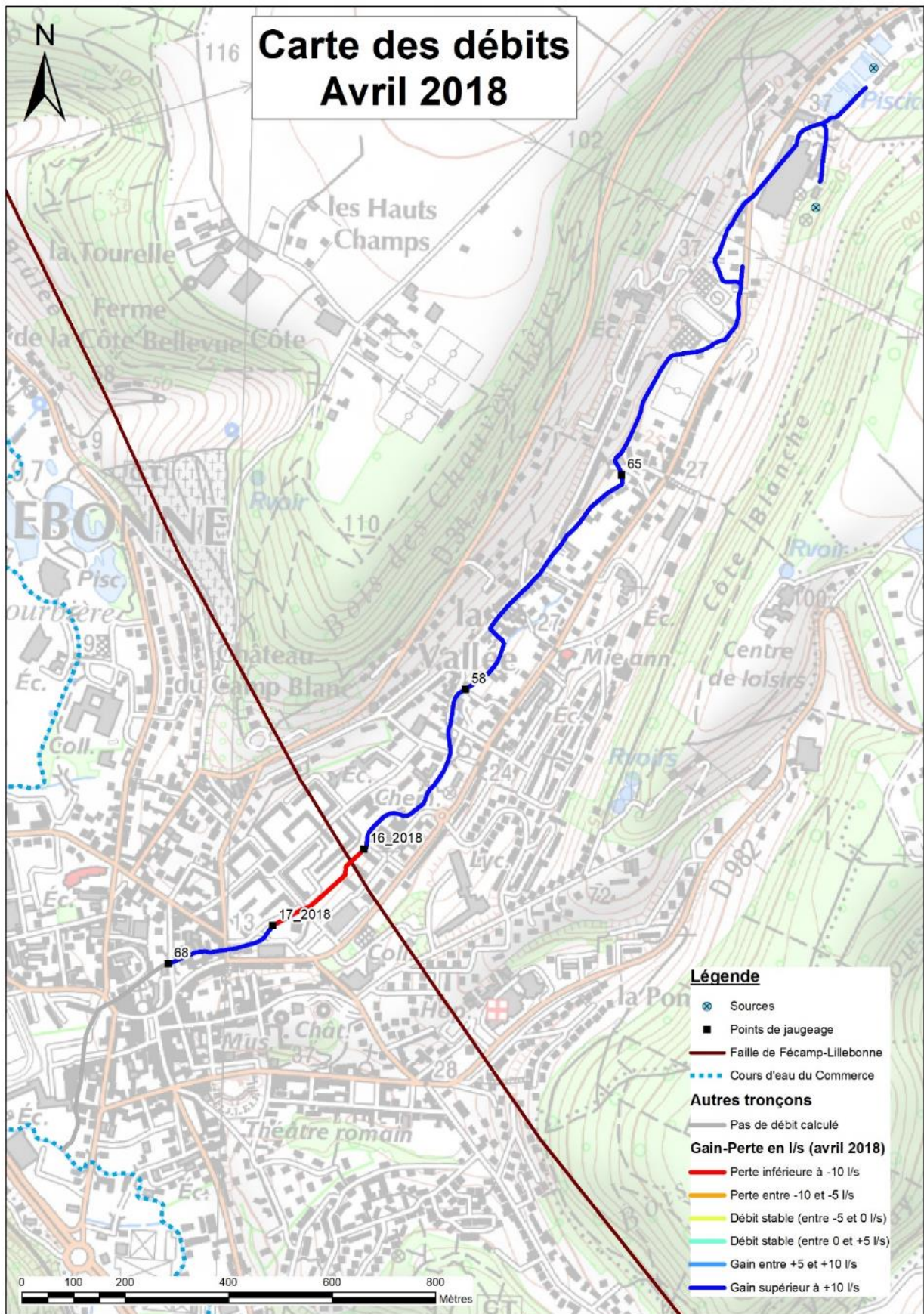


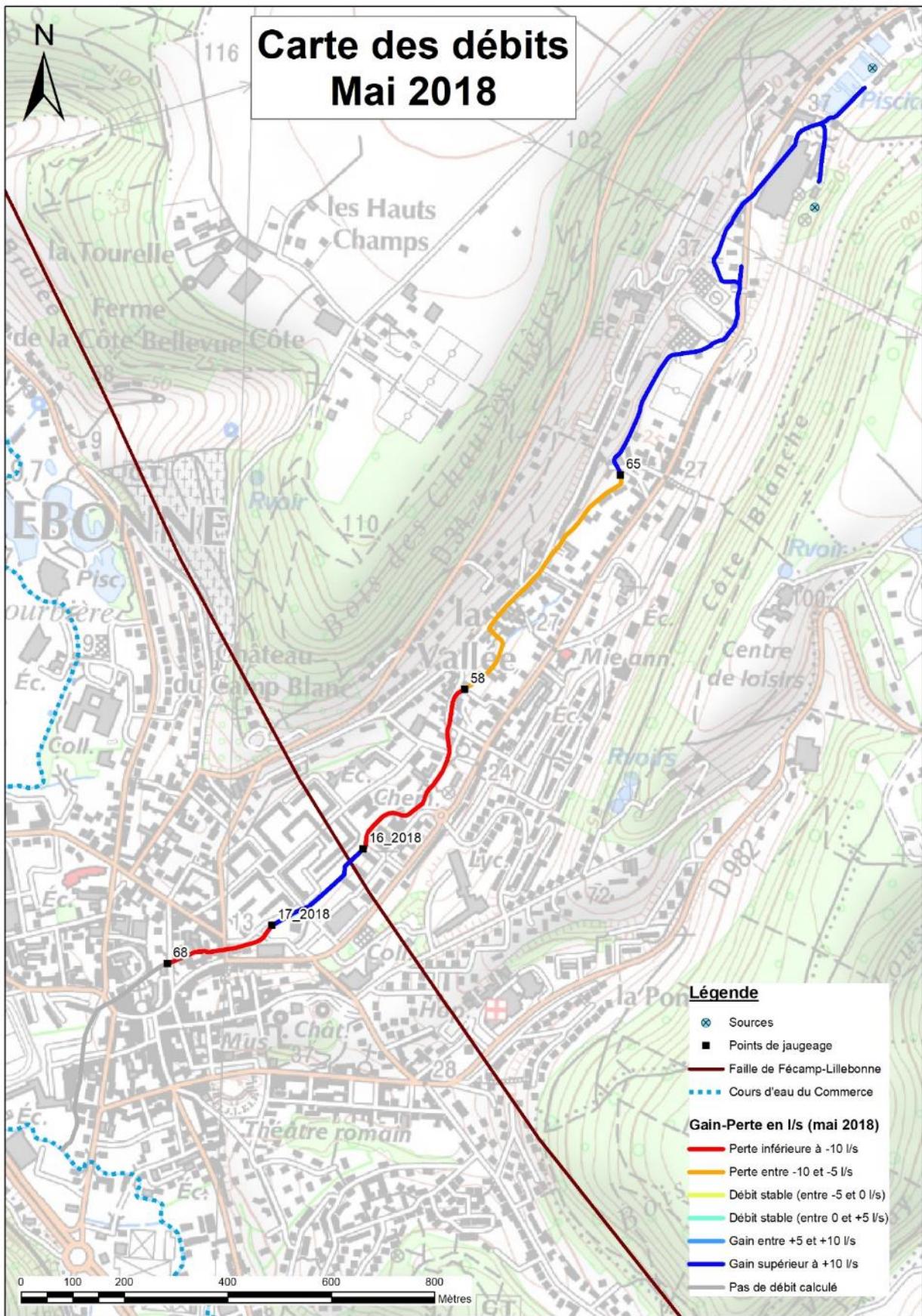


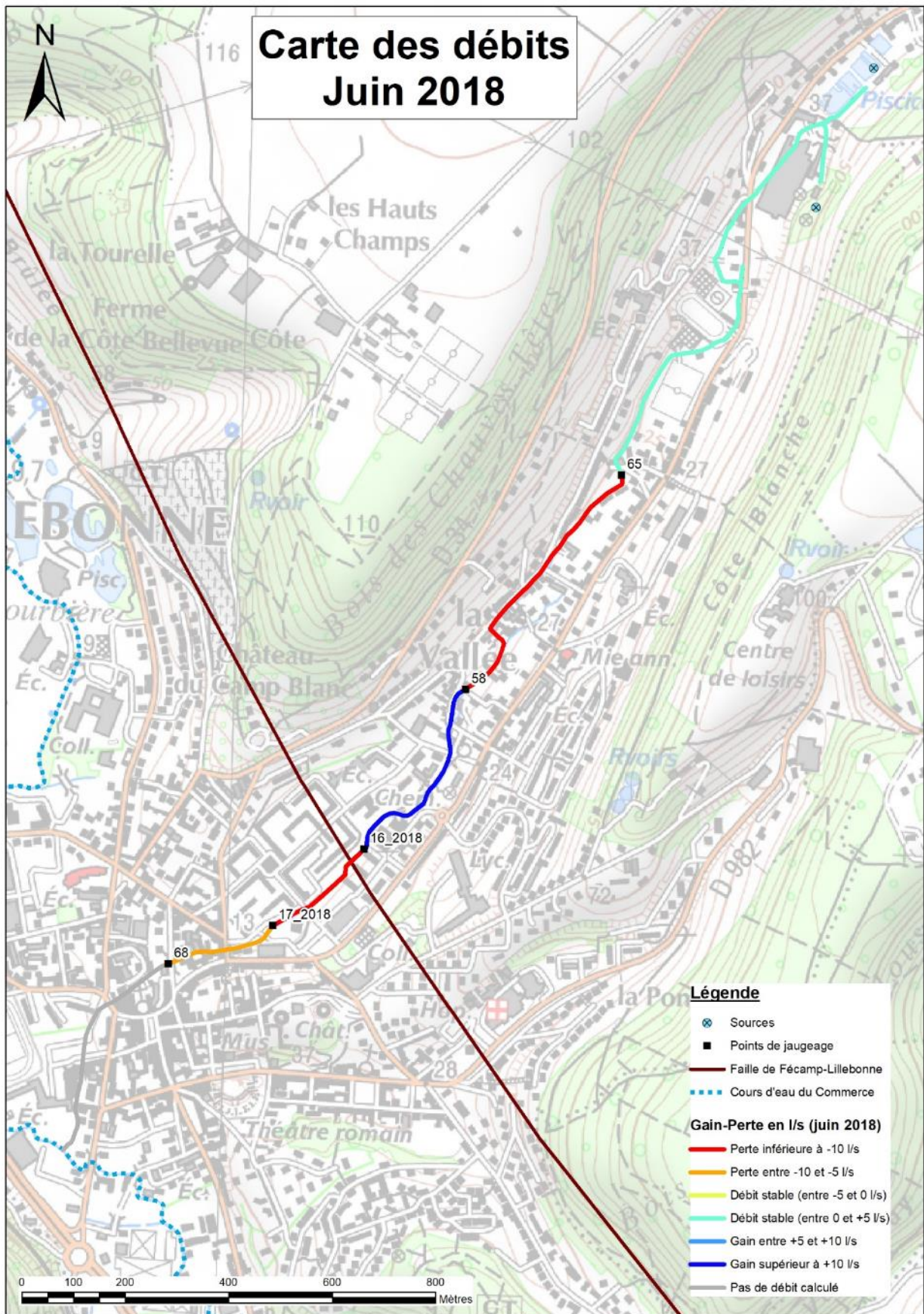
Rivière de la Vallée

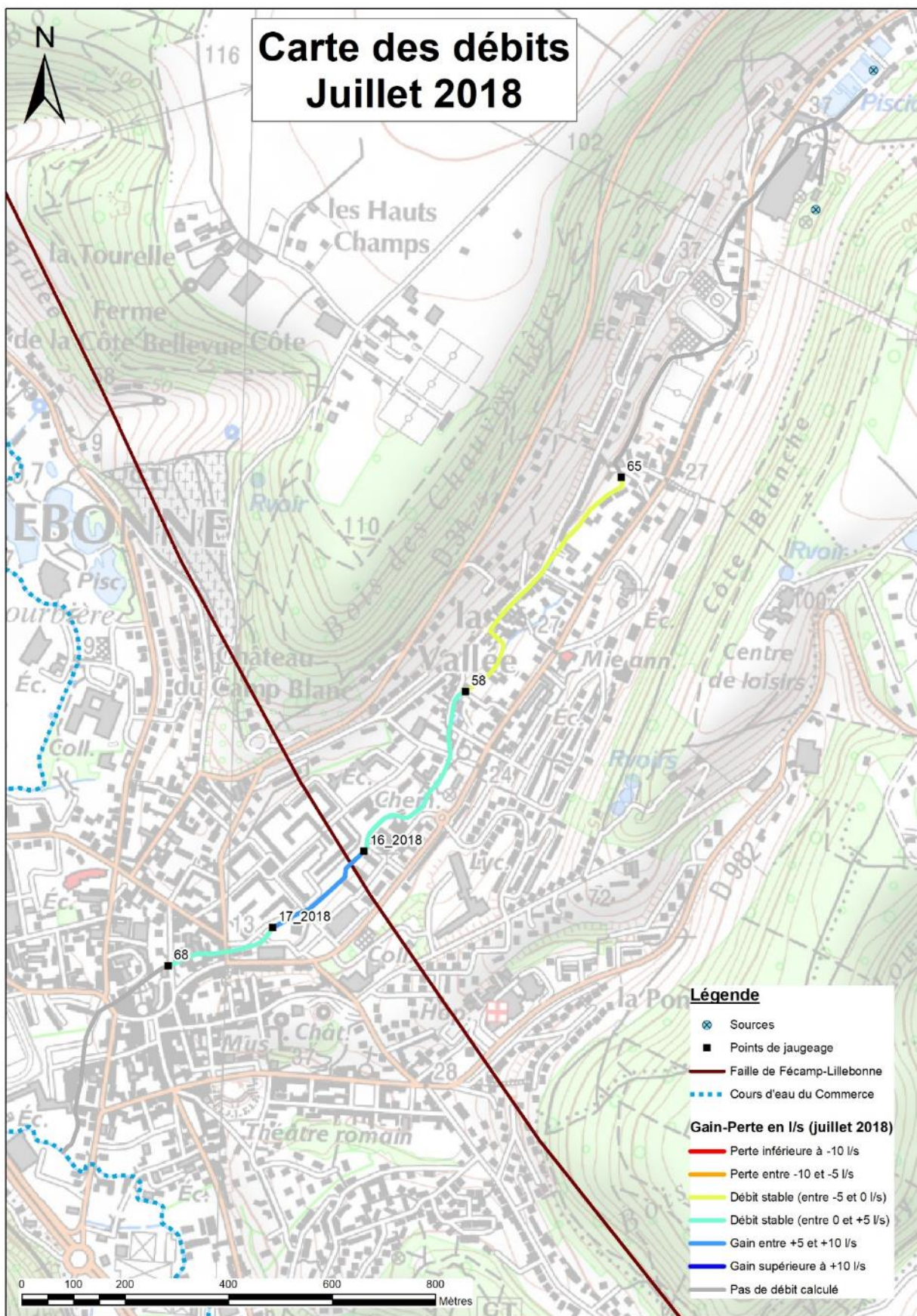


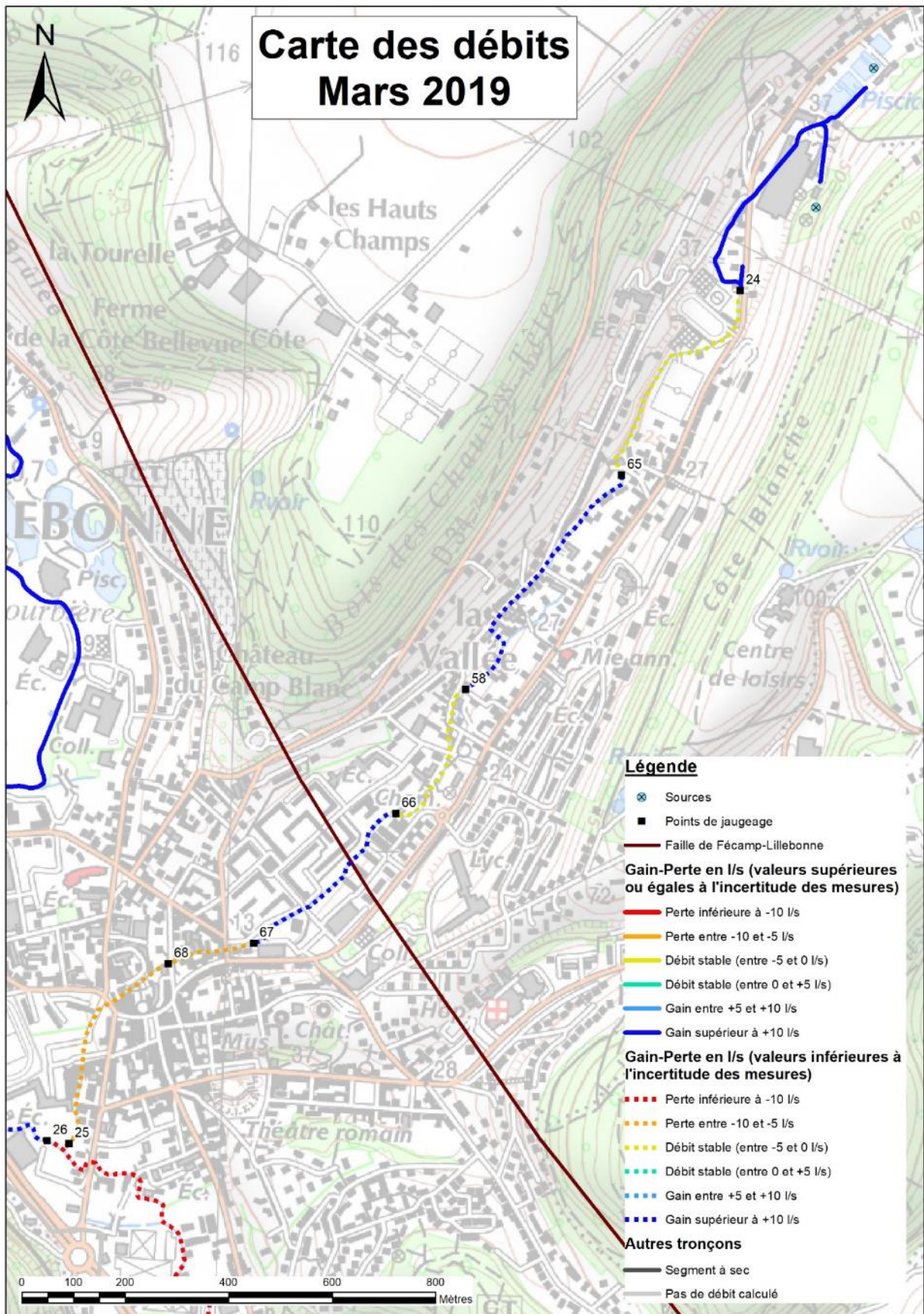




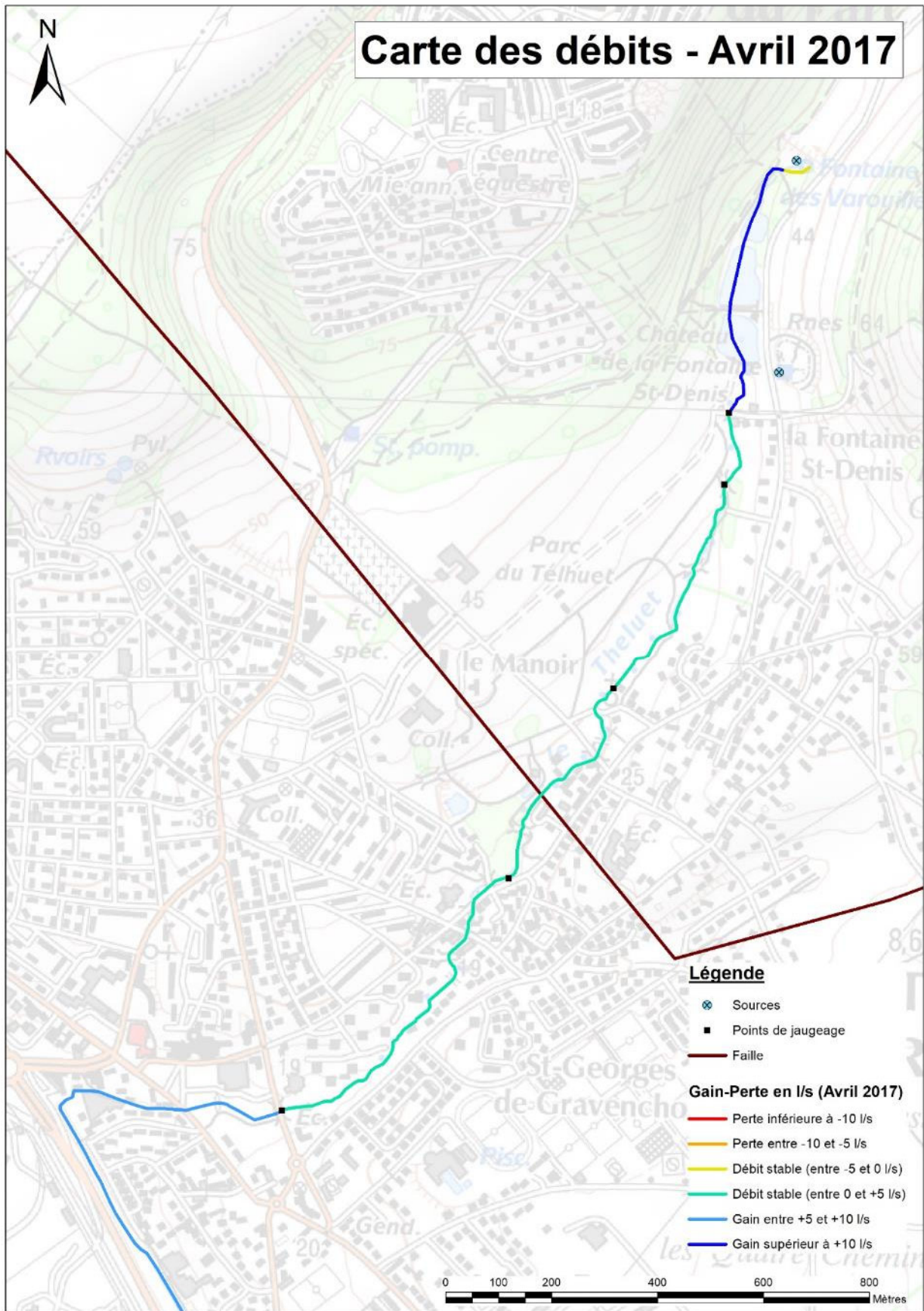


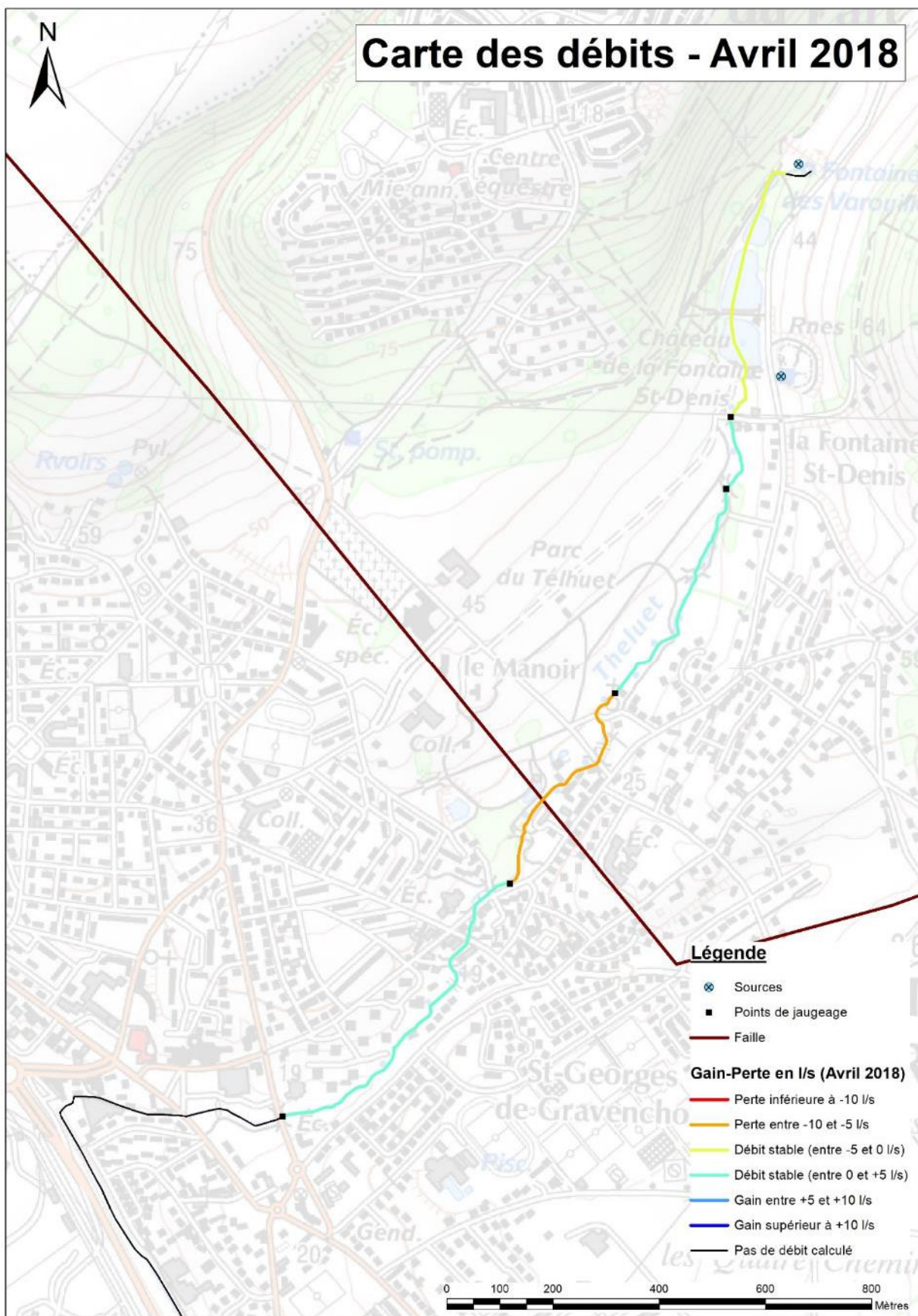


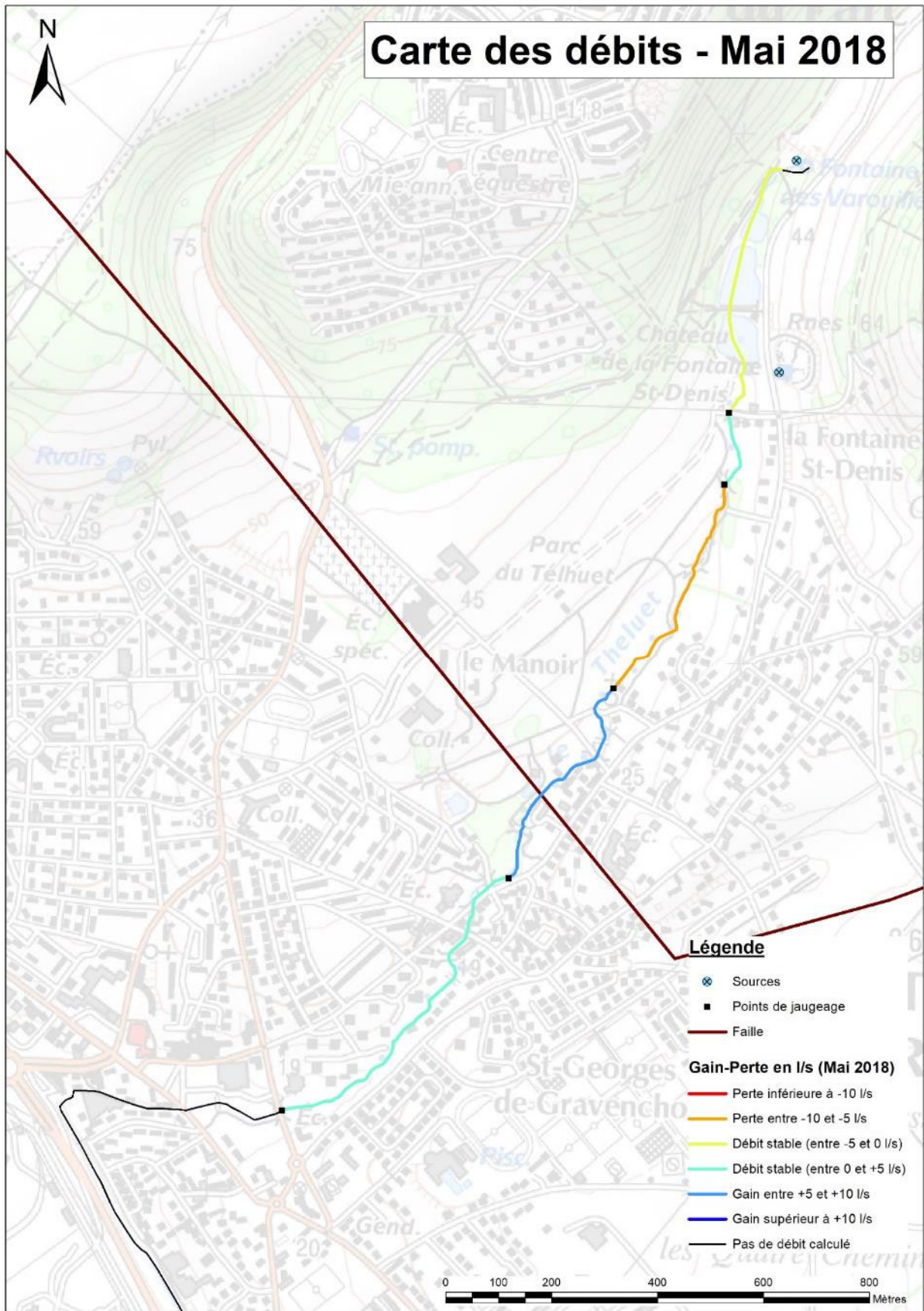


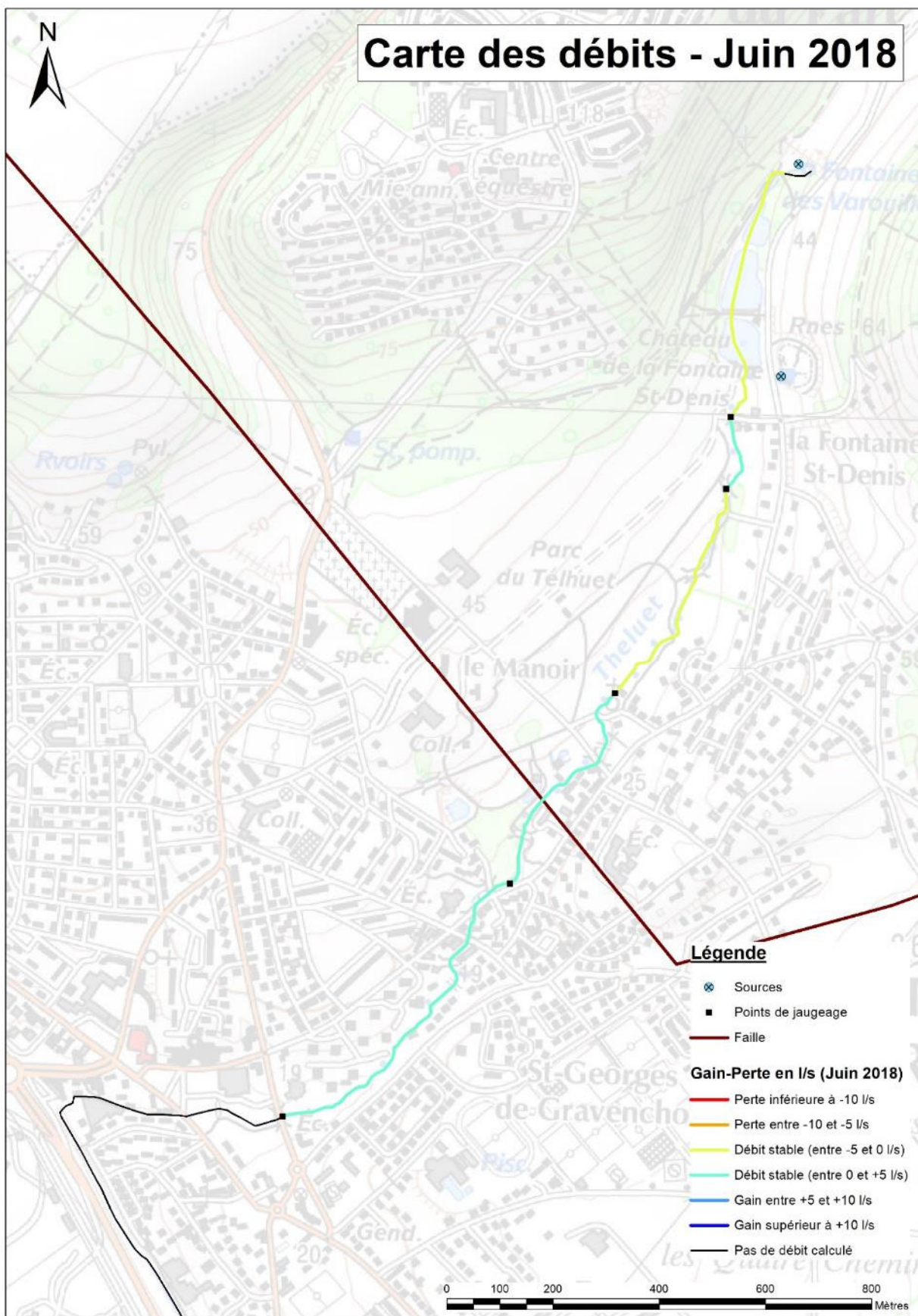


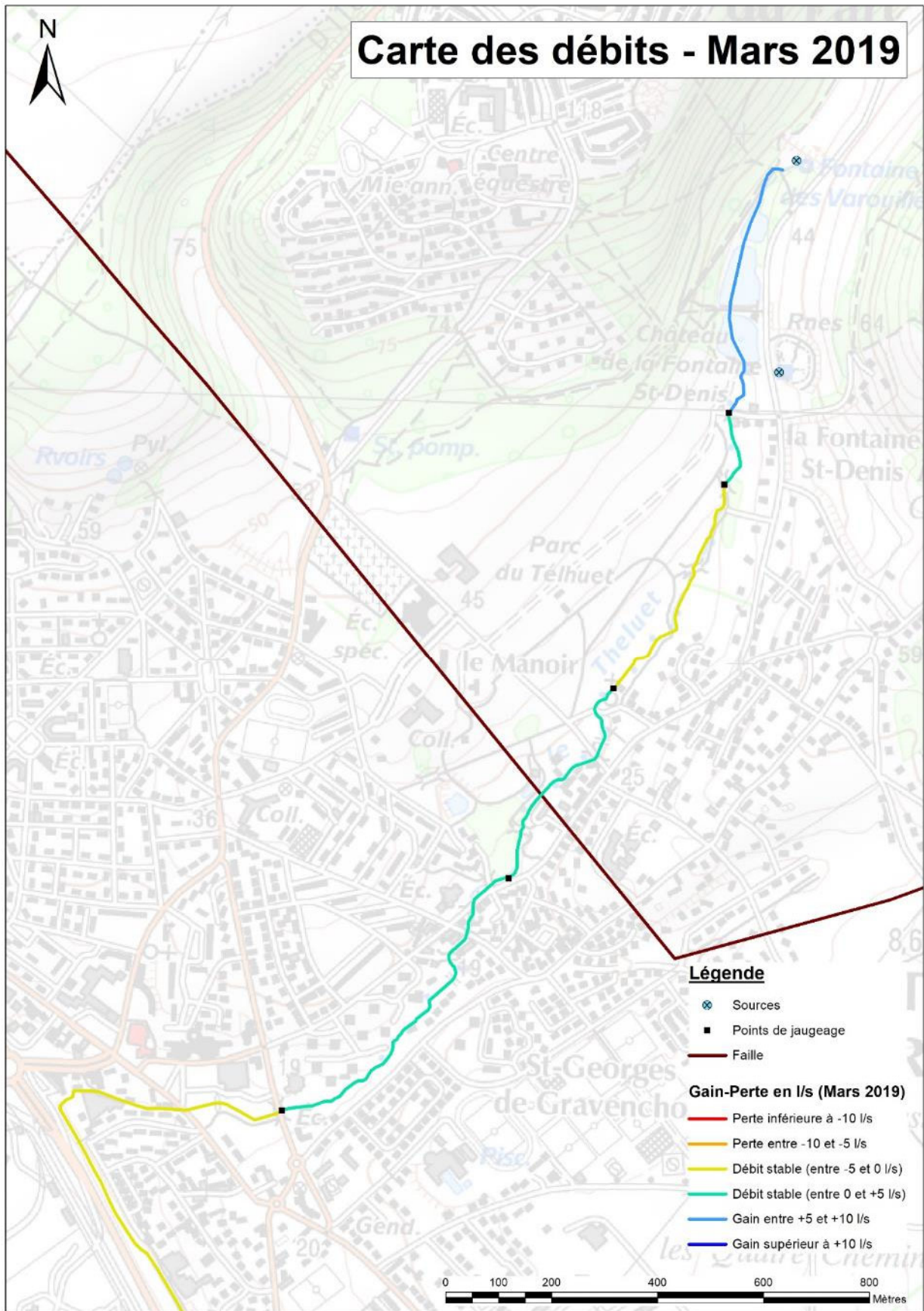
Le Théluet











Cours d'eau jaugé	Nom du point de mesure	Avril 2017		Mars 2018		Avril 2018		Mai 2018		Juin 2018		Juillet 2018		Mars 2019	
		Débit mesuré (m3/s)	Date de la mesure	Débit mesuré (m3/s)	Date de la mesure	Débit mesuré (m3/s)	Date de la mesure	Débit mesuré (m3/s)	Date de la mesure	Débit mesuré (m3/s)	Date de la mesure	Débit mesuré (m3/s)	Date de la mesure	Débit mesuré (m3/s)	Date de la mesure
Thelvet	00757X0018	0,005	07/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,006	21/03/2019
	35	0,025	07/04/2017	Non mesuré	x	0,028	27/04/2018	0,026	22/05/2018	0,017	21/06/2018	Non mesuré	x	0,012	21/03/2019
	20_2018	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,033	27/04/2018	0,030	22/05/2018	0,018	21/06/2018	Non mesuré	x	0,016	21/03/2019
	21_2018	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,036	27/04/2018	0,024	22/05/2018	0,017	21/06/2018	Non mesuré	x	0,015	21/03/2019
	22_2018	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,031	27/04/2018	0,030	22/05/2018	0,022	21/06/2018	Non mesuré	x	0,017	28/03/2019
	36	0,027	07/04/2017	Non mesuré	x	0,033	27/04/2018	0,032	22/05/2018	0,027	21/06/2018	Non mesuré	x	0,021	28/03/2019
	61	0,033	06/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,020	21/03/2019
	37	0,009	06/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x
39	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,018	21/03/2019	
Hannetot	00984X0062	0,025	12/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,018	26/03/2019
	43	0,003	12/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,002	26/03/2019
	45	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,005	21/03/2019
Bébec	00757X0030	0,000	12/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x
	58	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,001	28/03/2019
	56	0,000	12/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,000	25/03/2019
	57	0,000	12/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,000	25/03/2019
	40	0,004	06/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,011	25/03/2019
	41	0,000	Zone de perte	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,000	Zone de perte
Vivier	00756X0082	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,042	26/03/2019
	32	0,003	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,011	22/03/2019
	34	0,142	11/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,114	27/03/2019
Brousseresse	60	0,184	06/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,795	20/03/2019
		0,180	06/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,245	22/03/2019
	46	0,415	06/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,449	27/03/2019
		0,424	06/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,471	22/03/2019
	47	0,523	06/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,450	27/03/2019
		0,534	06/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,502	22/03/2019
Rivière de Radcatel	59	0,077	06/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,146	20/03/2019
		0,077	06/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,152	22/03/2019
Commerce	1	0,064	04/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,094	20/03/2019
	0_2018	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,180	27/04/2018	0,241	22/05/2018	0,245	21/06/2018	0,154	24/07/2018	Non mesuré	x
	2	0,049	04/04/2017	0,118	05/04/2018	0,167	27/04/2018	0,118	22/05/2018	0,238	21/06/2018	0,198	24/07/2018	0,095	20/03/2019
		0,056	05/04/2017												
	3	0,060	04/04/2017	0,170	05/04/2018	0,204	27/04/2018	0,175	22/05/2018	0,217	21/06/2018	0,201	24/07/2018	0,088	21/03/2019
	50	0,015	04/04/2017	0,015	05/04/2018	0,020	27/04/2018	0,007	22/05/2018	0,030	21/06/2018		24/07/2018	0,043	21/03/2019
	51	0,001	04/04/2017	0,003	05/04/2018	0,003	27/04/2018	0,003	22/05/2018	0,002	21/06/2018	0,002	24/07/2018	0,002	21/03/2019
	52	0,017	04/04/2017	0,002	05/04/2018	0,001	27/04/2018	0,000	22/05/2018	0,000	21/06/2018	0,000	24/07/2018	0,000	21/03/2019
	4	0,104	04/04/2017	0,227	05/04/2018	0,231	27/04/2018	0,168	22/05/2018	0,234	21/06/2018	0,248	24/07/2018	0,138	20/03/2019
	5	0,102	04/04/2017	0,209	05/04/2018	0,183	27/04/2018	0,177	22/05/2018	0,208	21/06/2018	0,210	24/07/2018	0,128	20/03/2019
	53	0,125	04/04/2017	0,239	05/04/2018	0,257	27/04/2018	0,249	22/05/2018	0,274	21/06/2018	0,225	24/07/2018	0,138	21/03/2019
		0,099	05/04/2017												
	54_Buse	Non mesuré	x	0,007	05/04/2018	0,009	27/04/2018	0,015	22/05/2018	0,012	21/06/2018	0,005	24/07/2018	0,020	29/03/2019
	54_Rivière	0,105	04/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,158	21/03/2019
		0,115	04/04/2017												
		0,105	06/04/2017												
	6	0,094	05/04/2017	0,227	05/04/2018	0,226	27/04/2018	0,247	22/05/2018	0,256	21/06/2018	0,209	24/07/2018	0,144	20/03/2019
	62	0,001	05/04/2017	Non mesuré	x	0,002	27/04/2018	0,001	22/05/2018	0,001	21/06/2018	0,001	24/07/2018	0,001	21/03/2019
	7	0,095	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,200	22/05/2018	0,231	21/06/2018	0,210	24/07/2018	0,138	21/03/2019
	8	0,079	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,127	20/03/2019
	10	0,074	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,123	20/03/2019
	11	0,090	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,152	20/03/2019
	12	0,256	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,159	20/03/2019
		0,126	06/04/2017												
	13	0,235	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,168	20/03/2019
	19	0,227	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,140	21/03/2019
	23	0,253	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,137	21/03/2019
	26	0,451	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,425	21/03/2019
	29	0,627	04/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,670	22/03/2019
		0,644	05/04/2017												
	30	0,668	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,831	22/03/2019
31	0,722	04/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	1,013	21/03/2019	
Petit affluent	9	0,000	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,000	20/03/2019
Aulnes	16 = BSS003ESSG_16a	0,001	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,021	20/03/2019
	17 = BSS003ESSG_17	0,008	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,022	20/03/2019
	18	0,010	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,045	20/03/2019
	20	0,023	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,064	21/03/2019
	BSS002PZH	0,005	06/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,004	19/03/2019
	BSS002PZH	0,002	06/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,004	19/03/2019
	BSS002PZJK	0,008	06/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,005	10/04/2019
	21	0,008	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,006	21/03/2019
	57	0,000	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,008	21/03/2019
	22	0,171	05/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,224	21/03/2019
Vallée	BSS002PZKB	0,137	04/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,034	20/03/2019
	BSS002PZKB_aval	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,147	20/03/2019
	00757X0029	0,003	04/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,070	20/03/2019
	24	0,226	05/04/2017	0,485	05/04/2018	0,586	27/04/2018	0,594	22/05/2018	0,538	21/06/2018	Non mesuré	x	0,279	21/03/2019
	65	Non mesuré	x	0,507	05/04/2018	0,624	27/04/2018	0,632	22/05/2018	0,539	21/06/2018	0,503	24/07/2018	0,275	21/03/2019
	BSS003SWCA	0,006	06/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,001	19/03/2019
	BSS003SWDE	0,004	06/04/2017	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	Non mesuré	x	0,003	19/0

Annexe 3

Création d'un piézomètre à St Antoine la Foret

(N°BSS : BSS003QDJY)

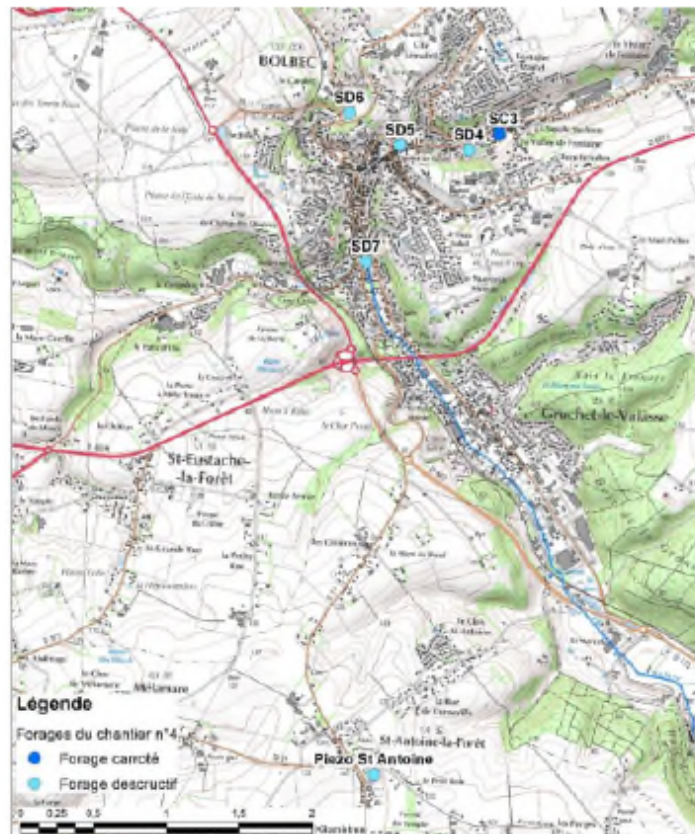
II. CONTEXTE DU SITE ET CONTENU DE LA RECONNAISSANCE

II.1. LE SITE

Les piézomètres sont situés sur la commune suivante :

	SD4	SD5	SD6	SD7	PZ ST ANTOINE
Département	SEINE MARITIME (76)	SEINE MARITIME (76)	SEINE MARITIME (76)	SEINE MARITIME (76)	SEINE MARITIME (76)
Commune	BOLBEC	BOLBEC	BOLBEC	BOLBEC	SAINT-ANTOINE
Lieu-dit	Rue de la Cavée	9 Square Général Leclerc	Parc du Val au Grès –Route de Mirville	Place des Lions	Chemin des Romains
Références cadastrale	AN 961	AD 607	AD223	AZ 224	AB 319

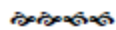
Localisation de l'ouvrage du projet

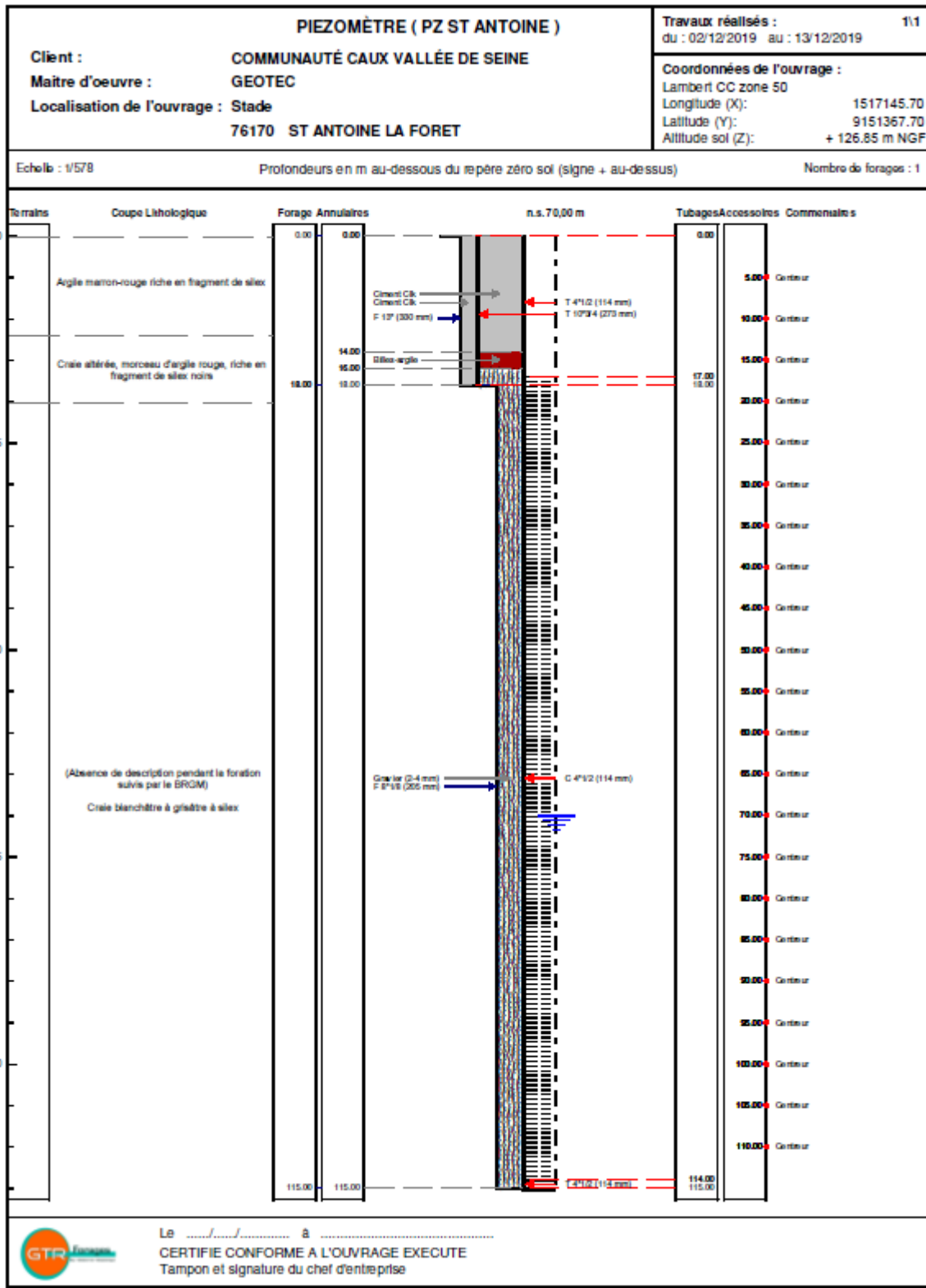


Situation géographique du projet d'ouvrage (IGN)



Photographie de PZ SAINT-ANTOINE





GTR FORAGES



TRONCONS de L'OUVRAGE PIEZOMÈTRE (PZ ST ANTOINE)



Client:	COMMUNAUTÉ CAUX VALLÉE DE SEINE
Maître d'oeuvre:	GEOTEC
Lieu de l'ouvrage :	Stade
	76170 ST ANTOINE LA FORET

FORAGE

De	à	Ø"	Ømm	Mode de forage	Fluide de forage
0.00	18.00	13"	330.00	Rotary	Boue
18.00	115.00	8"1/8	205.00	M.f.t.	Air

* Reconnaissance

TUBAGE

De	à	Ø"	Ømm	Épais.	Ecra.	Nature du tubage	Type	Slot	Vide %
0.00	17.00	4"1/2	114.00	0.00		P.v.c.-lisse	Tube-plein		
0.00	18.00	10"3/4	273.00	0.00		Acier-ordinaire	Tube-plein		
17.00	114.00	4"1/2	114.00	0.00		P.v.c.-lisse	Crepine fentes-continues	1.00	
114.00	115.00	4"1/2	114.00	0.00		P.v.c.-lisse	Tube-plein		

REPLISSAGE

De	à	Ø"	Ømm	Matériau	Nature	Méthode de pose	Texture	Gra. (mm)	Vol. m3
0.00	14.00	4"1/2	114.00	Ciment	Clk	Sous pression			0.80
14.00	16.00	4"1/2	114.00	Billes-argile	Compactonite				0.05
0.00	18.00	10"3/4	273.00	Ciment	Clk	Sous pression			1.20
16.00	115.00	4"1/2	114.00	Gravier	Autre	Gravitaire	Roule	2.00-4.00	3.60

ACCESSOIRE

De	à	Type d'accessoire
5.00	5.00	Centreur
10.00	10.00	Centreur
15.00	15.00	Centreur
20.00	20.00	Centreur
25.00	25.00	Centreur
30.00	30.00	Centreur
35.00	35.00	Centreur
40.00	40.00	Centreur
45.00	45.00	Centreur
50.00	50.00	Centreur
55.00	55.00	Centreur
60.00	60.00	Centreur
65.00	65.00	Centreur
70.00	70.00	Centreur
75.00	75.00	Centreur

Epais.-Épaisseur (mm) Ecra.-Résist. à l'écrasement (bar) Slot (mm) Granul.-Granulométrie Min/Max (mm)

PAGE: 2

GTR FORAGES



ACCESSOIRE (suite)

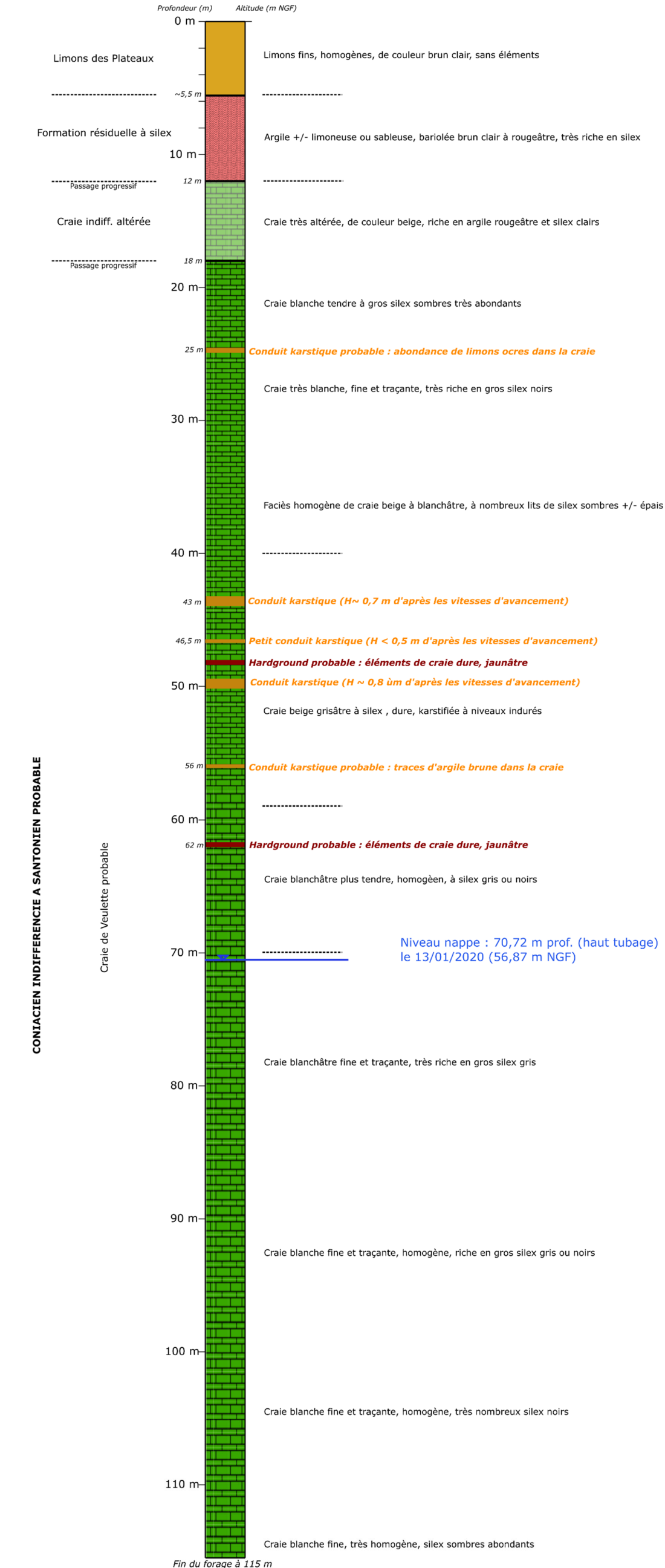
De	à	Type d'accessoire
80.00	80.00	Centreur
85.00	85.00	Centreur
90.00	90.00	Centreur
95.00	95.00	Centreur
100.00	100.00	Centreur
105.00	105.00	Centreur
110.00	110.00	Centreur

**COUPE INTERPRETATIVE DU FORAGE DESTRUCTIF
"SAINT-ANTOINE-LA-FORÊT"
BSS003QDJY**

X (L93) = 517 048 m
Y (L93) = 6 940 221 m
Z = 127,114 m NGF (dalle béton)
Haut tubage +0,48 m

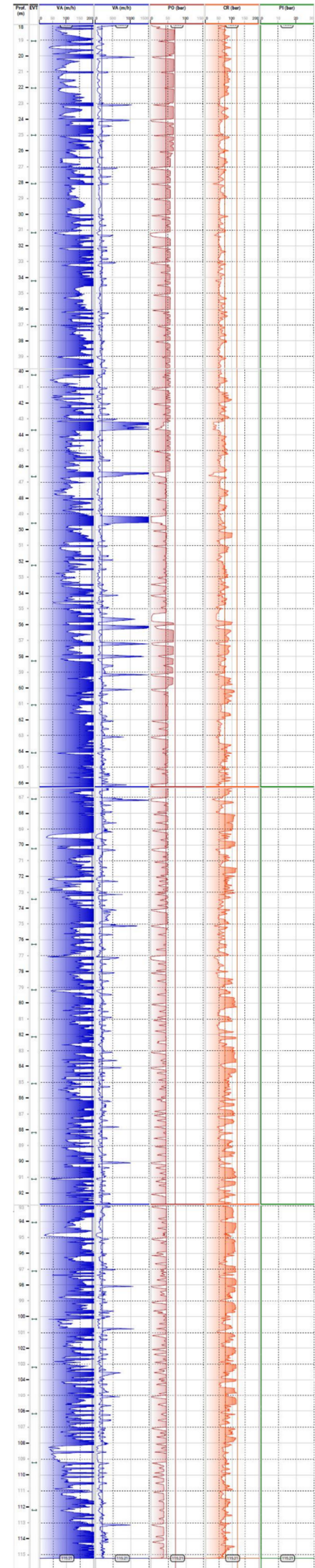
INTERPRETATION STRATIGRAPHIQUE

DESCRIPTION DES TERRAINS



CONJACIEN INDIFFERENCIE A SANTONIEN PROBABLE

Craie de Veulleite probable



Annexe 4

Piézométrie 2017 et 2019

1. Interpolation des cartes piézométriques

1.1. PREPARATION DES DONNEES

Les campagnes piézométriques ont permis la compilation de 311 mesures piézométriques en avril-juin 2017 et de 337 mesures en mars-avril 2019. Au droit de chaque ouvrage ayant fait l'objet d'une mesure du niveau statique, l'altitude du sol (Zsol) a été nivelée ou extraite du MNT 5 m. L'altitude de la nappe a été calculée en chaque point, en prenant en compte la hauteur du repère de mesure et la profondeur de la nappe par rapport à celui-ci.

1.1.1. Vérification des données et suppression des anomalies

Chaque mesure du niveau piézométrique a fait l'objet d'une validation par un hydrogéologue. Certaines informations essentielles ont notamment été vérifiées, afin d'identifier les mesures ne représentant pas le niveau statique de la nappe :

- les coordonnées géographiques ;
- la cohérence entre l'altitude mesurée du point et celle calculée d'après le MNT ;
- la cohérence entre la profondeur totale mesurée du puits et l'aquifère capté ;
- les éventuelles influences.

1.1.2. Cas particuliers des sources

Au droit d'une rivière, l'altitude de la nappe est imposée par le niveau de la rivière lorsque celle-ci est en communication hydraulique avec la nappe. Le potentiel imposé par la rivière se fait au pied des coteaux où, bien souvent, il existe des sources. Pour respecter ces conditions hydrauliques, des points ont été placés au droit des sources et correspondent aux valeurs de l'altitude de ces sources. Ainsi, 10 sources ont été identifiées en vallée de Seine comme étant une résurgence de la nappe de la craie et intégrées comme points de calage.

1.1.3. Cas particuliers des mesures extrapolées

Lors des campagnes de terrains, certains points d'eau se sont révélés secs ou la sonde s'est bloquée lors de la mesure. Sur ces ouvrages, la mesure du niveau piézométrique n'a pas été possible. Certains ouvrages ont également été mesurés alors que les pompes étaient actives ou étaient stoppées depuis peu de temps. Les niveaux mesurés étaient alors dynamiques car influencés directement par le pompage ou en cours de remontée suite à l'arrêt du pompage.

Ces mesures ont été vérifiées avec les anciennes mesures réalisées sur le point, les mesures voisines et la connaissance hydrogéologique du secteur. Les mesures incohérentes ont été écartées ou ont pu être extrapolées, notamment à partir d'autres mesures effectuées sur le point ou sur des ouvrages proches. Dans ce dernier cas, elles ont été intégrées à la base de données finales comme « mesures extrapolées ».

1.1.4. Création d'une base de données

Les informations suivantes ont été intégrées dans une base de données utilisées pour la construction des cartes piézométriques :

- les 370 points d'eau ayant une mesure piézométrique en 2017 et/ou en 2019, dont :

- 277 mesures validées et 34 mesures extrapolés en 2017 (23 données influencées par un pompage, 6 points d'eau secs ou 5 points avec une sonde bloquée) ;
- 220 mesures validées et 108 mesures extrapolés en 2019 (dont 20 données influencées par un pompage, 16 points d'eau secs ou 6 points avec une sonde bloquée).
- 70 mesures ont été effectuées par des bureaux d'études dans la zone industrielle de Port-Jérôme en 2017, valeurs extrapolées en 2019 ;
- des anciennes mesures piézométriques issues de la BSS EAU, servant de points de contrôle ;
- la position des sources provenant de la BSS, servant de points de contrôle ;
- les secteurs d'étude, limites des interpolations ;
- les failles géologiques ;
- les traçages positifs vers Yport, avec les points d'injection et les sources de sortie ;
- les cours d'eau ;
- les modèles numériques de terrain (MNT) à la maille 25 m et 5 m (source IGN).

1.2. METHODOLOGIE POUR L'INTERPOLATION DES CARTES PIEZOMETRIQUES

1.2.1. Méthode de modélisation

Les cartes piézométriques ont été réalisées selon la démarche suivante (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) :

- analyse et codage de données de mesures piézométriques et des points de contrainte imposés ;
- interpolation par krigeage avec modèle de variogramme de la cote piézométrique ;
- contrôle des résultats.

La base rassemblant les données nécessaires à l'élaboration des cartes piézométriques a été organisée de façon à utiliser les mesures des piézomètres comme « points de passage » (équivalent aux données d'entrée) dans l'interpolation. L'ensemble des données est codé avec une valeur de « NGF_2017 » et une valeur de « NGF_2019 », correspondant à la surface de la nappe en 2017 et en 2019.

La méthode d'interpolation utilisée est le krigeage avec un modèle de variogramme pour la surface piézométrique. Le variogramme permet d'évaluer la corrélation des observations en fonction de la distance qui sépare les points d'observation. La méthode d'interpolation par krigeage avec modèle de variogramme permet de procéder à une validation des estimations par la méthode nommée « validation croisée » et d'identifier les points sur ou sous-estimés. Cette méthode permet d'identifier rapidement des points erronés. Une fois les points aberrants identifiés puis corrigés ou éliminés, un nouveau variogramme est calculé pour détecter les erreurs résiduelles. Le processus peut être réitéré plusieurs fois pour éliminer les erreurs. L'interpolation finale par krigeage intégrant le modèle de variogramme retenu permet de générer une grille de calcul de maille 25 m par 25 m dont l'extension est celle de la zone d'étude.

Les cartes piézométriques ont été réalisées en utilisant le logiciel Suite GDM 2018 (*Geological Data Management* - <http://gdm.brgm.fr>). La suite GDM 2018, développée et éditée par le BRGM, est conçue pour compiler, interpoler et visualiser des données géoscientifiques, dont

des données hydrogéologiques. Le « workflow » mis en place comprend la vérification des données, la gestion des paramètres de calcul, les contrôles de cohérence entre les données, la génération automatique des interpolations des surfaces piézométriques et les restitutions graphiques en cartes des interpolations.

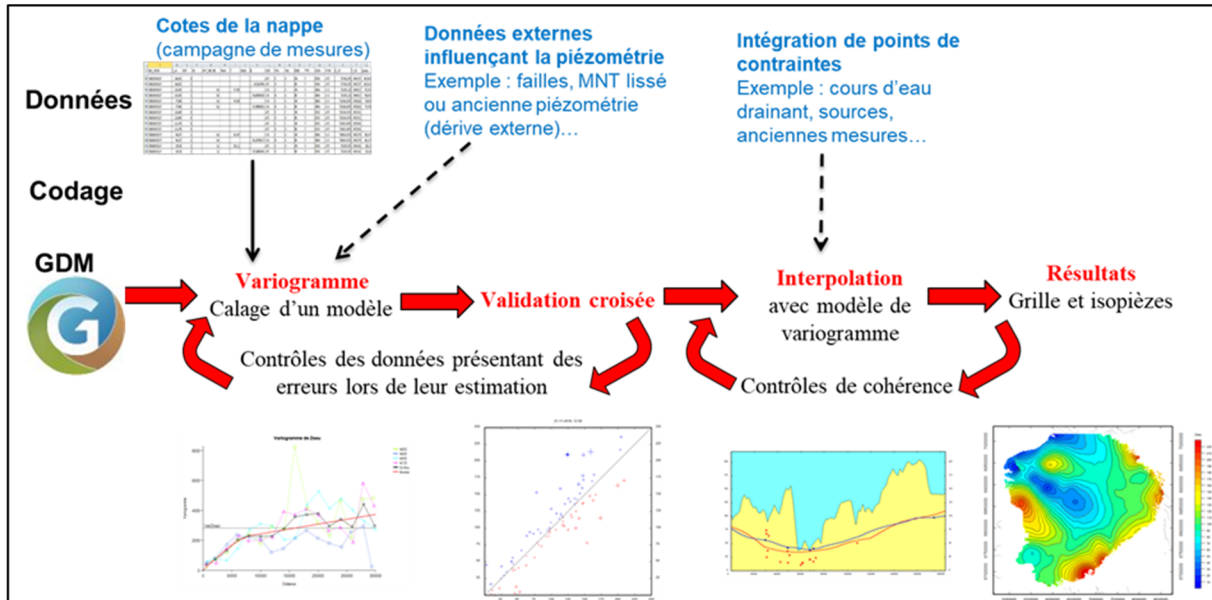


Figure 1 - Principe de la modélisation d'une carte piézométrique sous GDM.

1.2.2. Fonctionnement hydrodynamique de la nappe de la craie

Les nombreuses études hydrogéologiques menées sur la nappe libre de la craie du bassin parisien montrent que la piézométrie reproduit, mais de façon très atténuée, l'allure de la surface topographique. La nappe est drainée régionalement par les vallées principales et plus localement par les petites vallées humides et vallons secs. Les niveaux piézométriques sont alors fortement corrélés à la topographie.

Dans un tel contexte, une méthode géostatistique non-stationnaire appelée « krigeage avec dérive externe » peut être utilisée pour interpoler la surface piézométrique. Cette méthode consiste à intégrer une topographie dégradée (dérive externe), pour forcer l'interpolation de la piézométrie à calquer le comportement général de cette topographie et ainsi de mieux reproduire les crêtes en plateaux et les axes de drainage en vallées humides et vallons secs.

Cependant, l'hydrogéologie de la zone d'étude est complexe en raison du caractère potentiellement karstique de la craie, de la présence de failles, du fort drainage par la Seine et de l'anthropisation de sa vallée. Des tests de corrélation avec la topographie et d'interpolation ont été effectués sur chaque secteur, en prenant en compte les éventuelles influences, afin de vérifier si la méthode géostatistique « krigeage avec dérive externe » peut être mise en œuvre. L'objectif est de rechercher l'influence principale sur la piézométrie de chaque secteur afin de mettre en œuvre une méthodologie adaptée.

Les failles influencent la piézométrie, en constituant soit des axes de drainage, soit des limites étanches et masquent l'influence de la topographie. Une méthode géostatistique intégrant la topographie comme dérive externe et les failles comme barrières étanches a été testée lors des interpolations. Elle génère des niveaux aberrants à proximité immédiate des failles, notamment en vallée du Commerce. Les différents tests d'interpolation ont permis de valider

une zone tampon de 750 mètres tracée autour des failles. Cette zone permet d'intégrer la zone d'influence des failles et une partie de la vallée du Commerce (Figure 2).

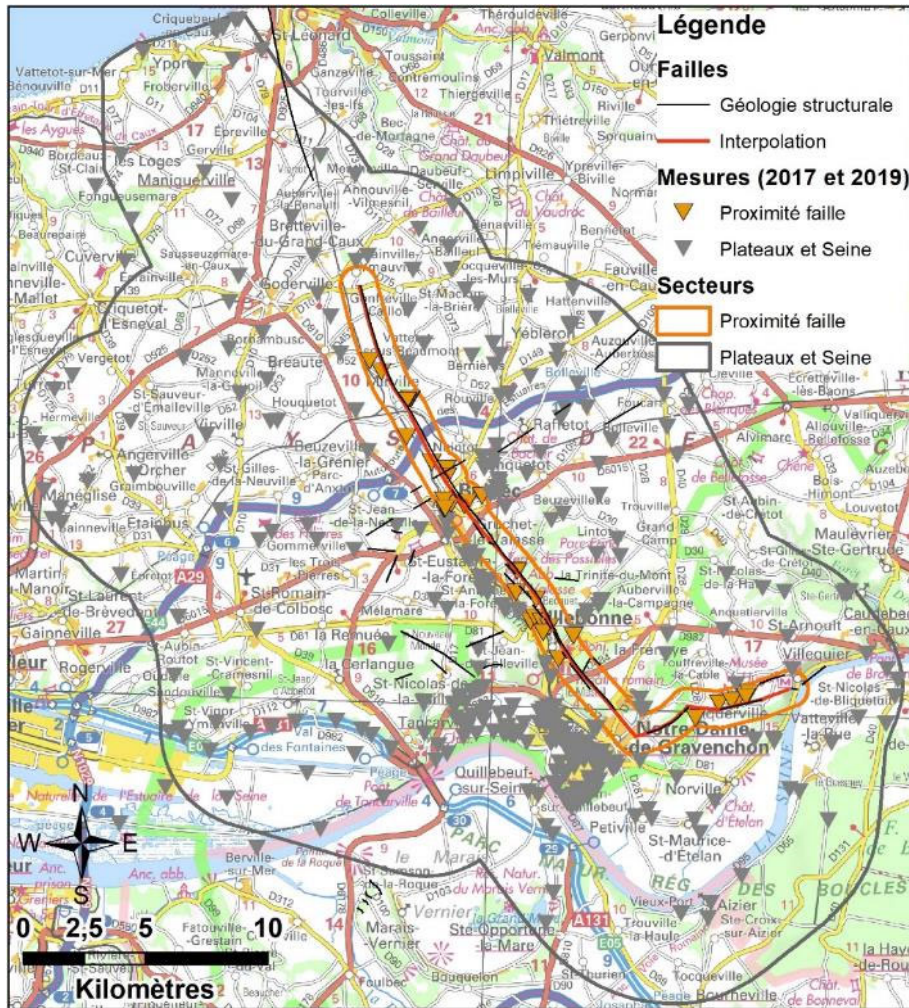


Figure 2 - Secteur à proximité de la faille et mesures piézométriques 2017 et 2019 associées

La craie serait karstique sur la partie nord et ouest de la zone d'étude. Les plateaux crayeux à l'est de la vallée du Commerce et au sud de la Seine sont moins influencés par des karsts. Plusieurs secteurs potentiellement influencés par des karsts ont été définis (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) :

- Craie A : craie au nord d'une ligne Mirville-Turretot ;
- Craie B : craie au nord de l'autoroute A29 et au sud d'une ligne Mirville-Turretot ;
- Craie C : craie au nord de la route départementale D6015 et au sud de l'autoroute A29 ;
- Craie D : craie au sud de la route départementale D6015 et au nord de la vallée de la Seine ;
- Craie E : craie à l'est de la vallée du Commerce et craie au sud de la Seine.

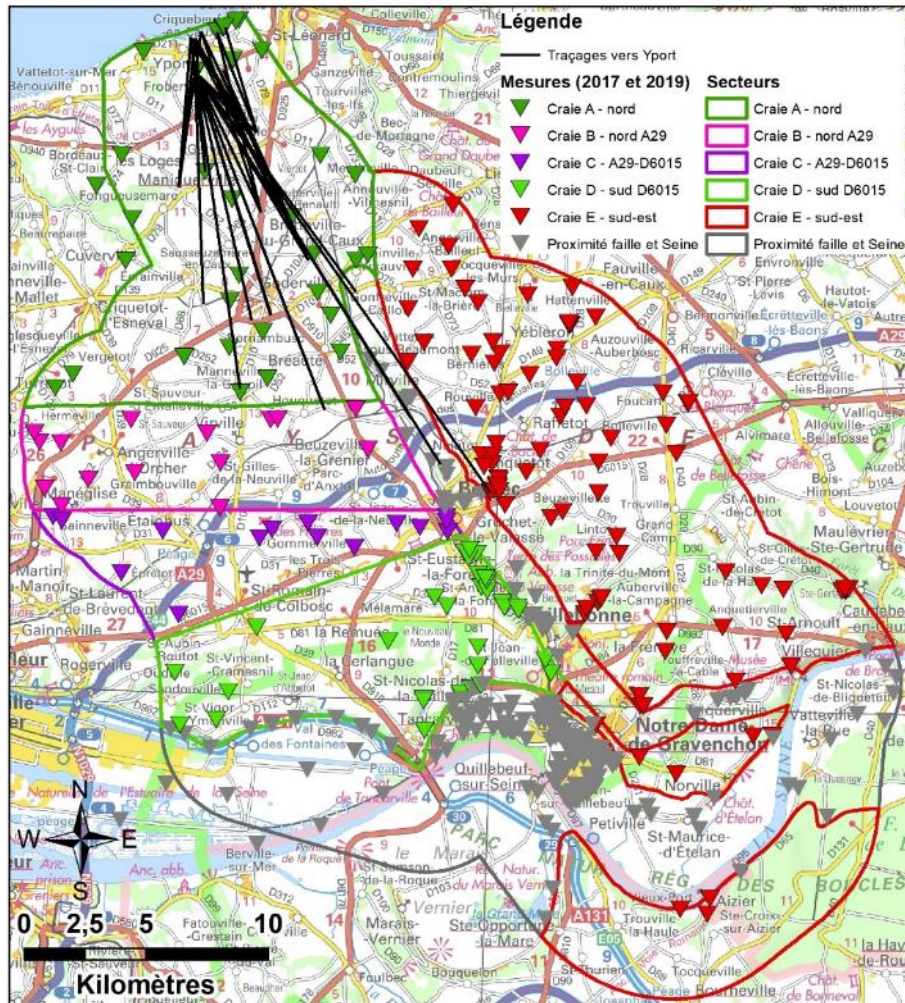


Figure 3 – Secteurs du plateaux crayeux et mesures piézométriques 2017 et 2019 associées

Afin de délimiter un premier secteur pour lequel l'influence de la topographie est prédominante et un second secteur pour lequel l'influence des conduits karstiques est prédominante, des corrélations sont recherchées entre les côtes piézométriques mesurés lors des campagnes de terrain de 2017 et de 2019 et la topographie lissée. Au droit de la zone d'étude, le MNT25m (©IGN) lissé à 1500 m s'avère le mieux corrélé avec la piézométrie de la craie du secteur sud-est Craie E (cf 1.3.2). Le nombre de données étant faible sur les secteurs ouest Craie A, Craie B, Craie C et Craie D (respectivement 32, 14, 14 et 28 mesures) et la plage d'altitude étant réduite, il n'est pas possible de déterminer des corrélogrammes fiables pour chaque secteur. Le corrélogramme du secteur sud-est Craie E (environ 80 mesures) est donc tracé puis les secteurs sont ajoutés un à un afin de vérifier si la corrélation avec la topographie est améliorée ou dégradée (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Sur le secteur sud-est Craie E, le coefficient de corrélation entre la piézométrie et la topographie lissée est excellent (0,91). Il se dégrade légèrement mais demeure élevé avec l'ajout des secteurs du sud-ouest Craie D (0,90), Craie C (0,89 en 2017 et 0,88 en 2019) et Craie B (0,87 en 2017 et 0,86 en 2019). Le nuage de points ne s'éparpille pas et reste sensiblement identique. Le coefficient de corrélation se dégrade fortement (0,79), dès que les 32 mesures situées au nord d'une ligne Mirville-Turretot (Craie A) sont prises en comptes. Une partie des points du secteur Craie A se situe hors du nuage de points des autres secteurs.

Les résultats obtenus avec la méthode géostatistique non-stationnaire appelée « krigeage avec dérive externe » surestiment les niveaux au droit des plateaux des plateaux et l'influence des vallées sèches du secteur Craie A. La méthode tente de masquer l'influence des conduits karstiques, entre Mirville et Yport, et génère alors des erreurs lors de l'étape de validation croisée et des artefacts lors de l'interpolation. Sur les autres secteurs, les tests réalisés avec la méthode géostatistique « krigeage avec dérive externe » et les anciennes mesures issues de la BSS semblent confirmer la forte influence de la topographie sur la piézométrie.

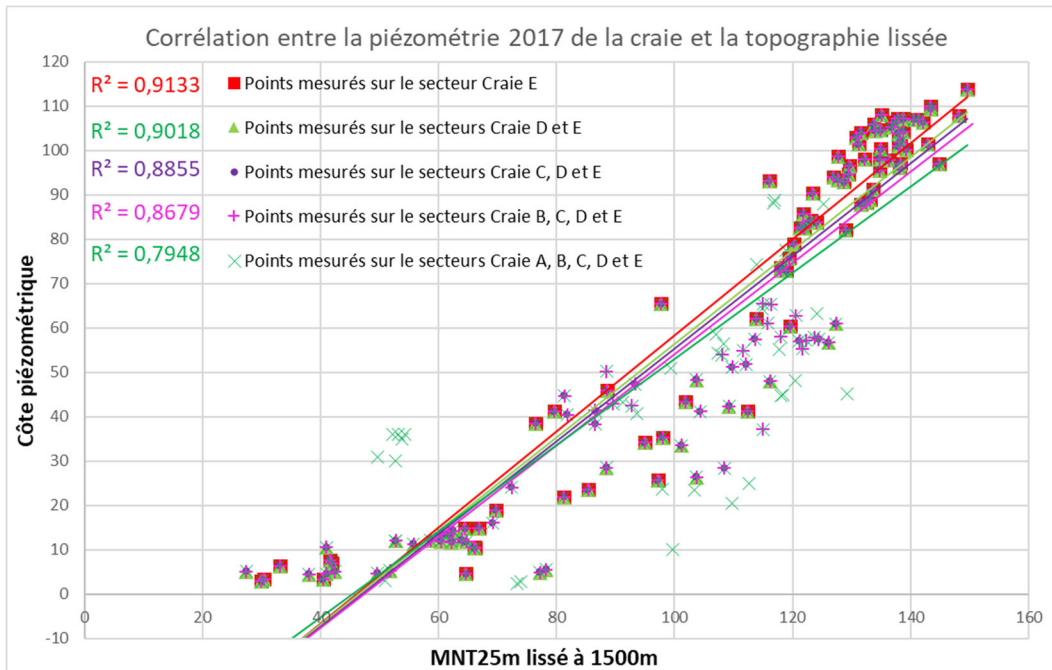


Figure 4 – Corrélation entre la piézométrie 2017 et la topographie lissée, selon les secteurs délimités sur les plateaux crayeux

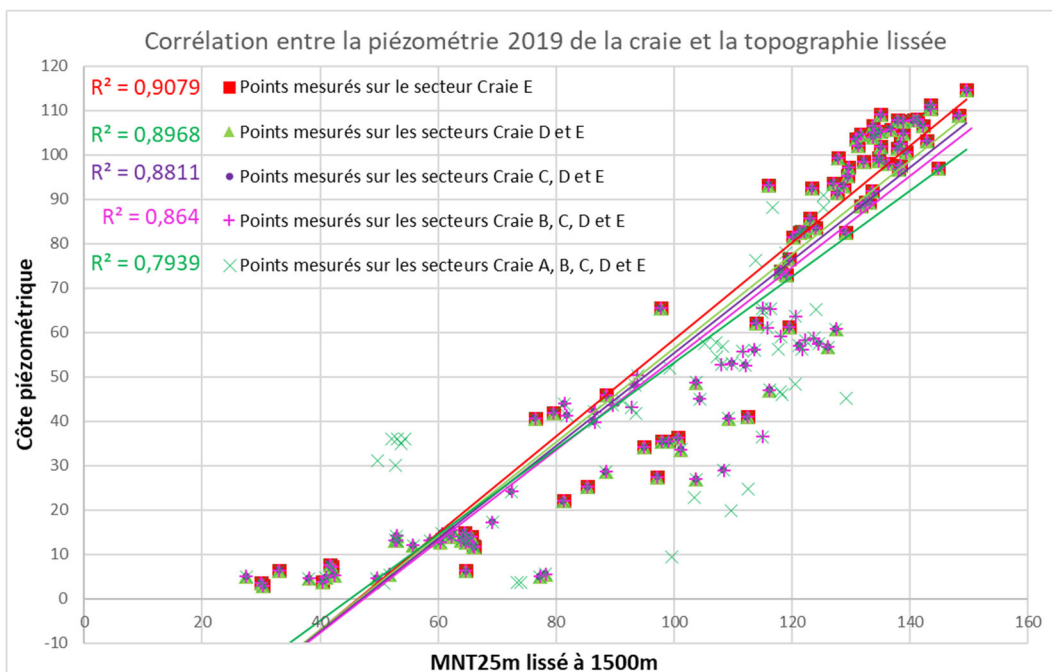


Figure 5 – Corrélation entre la piézométrie 2019 et la topographie lissée, selon les secteurs délimités sur les plateaux crayeux

a) Délimitation des secteurs selon le comportement principal de la nappe de la craie

La méthodologie d'interpolation mise en œuvre doit permettre de rendre compte du fonctionnement hydrodynamique de la nappe de la craie différent selon les influences principales des différents secteurs. Ces différents comportements ressortent avec les tests réalisés sur la corrélation entre piézométrie et topographie lissée et lors des étapes de « validation croisée » et d'interpolation, prenant en compte différents jeux de données par secteurs. Trois secteurs hydrogéologiques ont été définis : « Craie nord », « Craie sud » et « Vallée de Seine » (Figure 6).

Les mesures du secteur Craie A montrent une corrélation faible avec la topographie. La piézométrie serait principalement influencée par la présence de conduits karstiques. Les failles influencent également la piézométrie, en constituant soit des axes de drainage, soit des limites étanches et masquent l'influence de la topographie. Une méthode géostatistique conventionnelle, intégrant les failles en tant que limites étanches, est plus adaptée sur ce secteur appelé « Craie nord » et situé au nord d'une ligne Mirville-Turretot et à proximité des failles (zone tampon de 750 m).

Le secteur « Craie sud » correspond aux secteurs Craie B, Craie C, Craie D et Craie E, soit aux mesures des plateaux est et sud d'une ligne Mirville-Turretot. Sur ce secteur, la piézométrie se corrèle relativement bien avec la topographie lissée à 1500 m. Ce comportement hydrogéologique est le principal et masque probablement d'éventuelles influences locales de conduits karstiques. Cependant, afin de mieux reproduire les crêtes en plateaux et les axes de drainage en vallées humides et vallons secs, la méthode géostatistique « krigage avec dérive externe » est mise en œuvre sur le secteur « Craie sud ».

Au droit de la vallée de la Seine, une méthode géostatistique avec un modèle de variogramme calé uniquement sur les mesures prises en vallée de Seine et au droit de Port-Jérôme est la plus adaptée pour interpoler la piézométrie du secteur hydrogéologique « Vallée de Seine ».

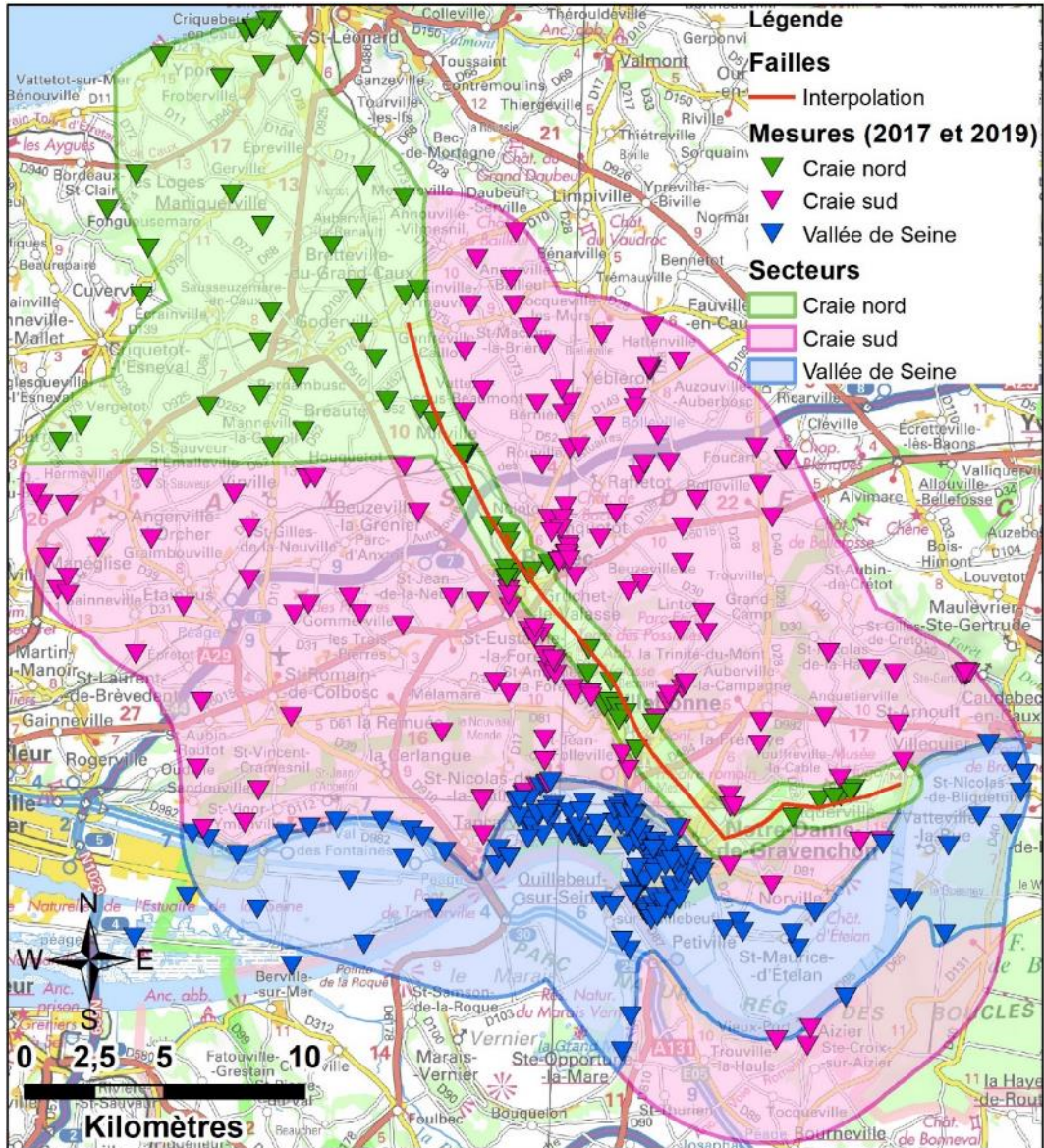


Figure 6 – Carte des différents secteurs hydrogéologiques

Les différentes valeurs (niveau piézométrique, écart type de krigeage et indice de confiance) des 3 grilles piézométriques correspondant aux secteurs de comportement hydrogéologique différent sont ensuite combinées. Une pondération linéaire est appliquée entre 2 secteurs sur une zone tampon de 250 m (+10% ou -10% tous les 25 m).

1.3. ELABORATION DES CARTES PIEZOMETRIQUES

1.3.1. Variogramme sur les mesures du secteur « Craie nord »

Les points de mesures situés au droit de la craie fortement influencée par des conduits karstiques et à proximité des failles de Lillebonne-Fécamp et de Villequier ne sont pas suffisamment nombreux (63 données mesurées et extrapolées en 2017 et 67 en 2019) pour caler un modèle de variogramme robuste. Les variogrammes du secteur « Craie nord » d'une part et de l'ensemble de la craie (secteurs « Craie nord » et « Craie sud ») sont très proches à des distances inférieures à 10 km (Figure 6). Au-delà d'une distance de 10 km, les mesures sur le secteur « Craie nord » ne sont pas suffisamment nombreuses et bien réparties pour atteindre un palier clair. L'ensemble des points captant la craie sont donc pris en compte dans le variogramme, pour permettre d'atteindre un palier et caler un modèle robuste, et toutes les mesures sont réintégrées dans les interpolations finales.

Un premier variogramme est réalisé sur les points de passage correspondant aux mesures validées. Les points de passages extrapolés (données influencées par un pompage, points d'eau secs ou sonde bloquée) sont ensuite intégrés au variogramme. Il s'avère que les variogrammes des mesures validées d'une part et des mesures validées et extrapolées d'autre part sont très proches.

Selon la connaissance du contexte hydrogéologique, les modèles de variogramme pour les mesures de 2017 et de 2019 les plus appropriés et robustes sont adoptés. Il s'agit de modèles emboîtés cubique et sphérique (Figure 7, Figure 8). Ces modèles prennent en compte une barrière étanche dessinée par la faille de Lillebonne-Fécamp, de Grainville-Ymauville à Notre-Dame-de-Gravenchon, et par l'accident de Villequier, entre Notre-Dame-de-Gravenchon et Villequier. La variance et l'écart type sont respectivement de 1191,31 et de 34,52 pour 2017 ainsi que de 1179,37 et de 34,34 pour 2019. L'interpolation est limitée à un voisinage de 12 km, du fait d'une corrélation entre les mesures moins bonnes au-delà de cette distance.

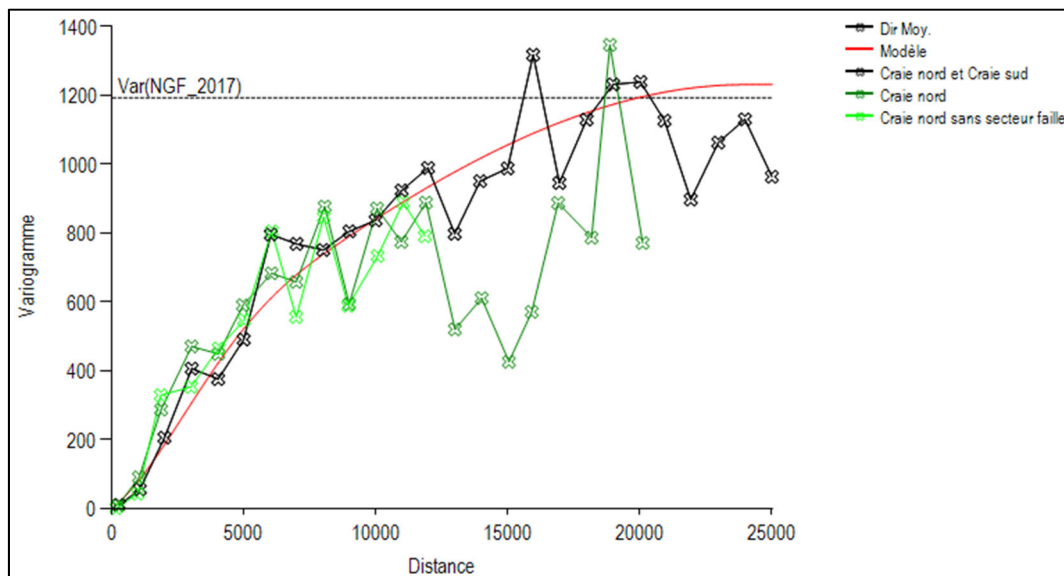


Figure 7 – Variogramme et modèle de variogramme sur les données mesurées et extrapolées du secteur « Craie nord » en 2017

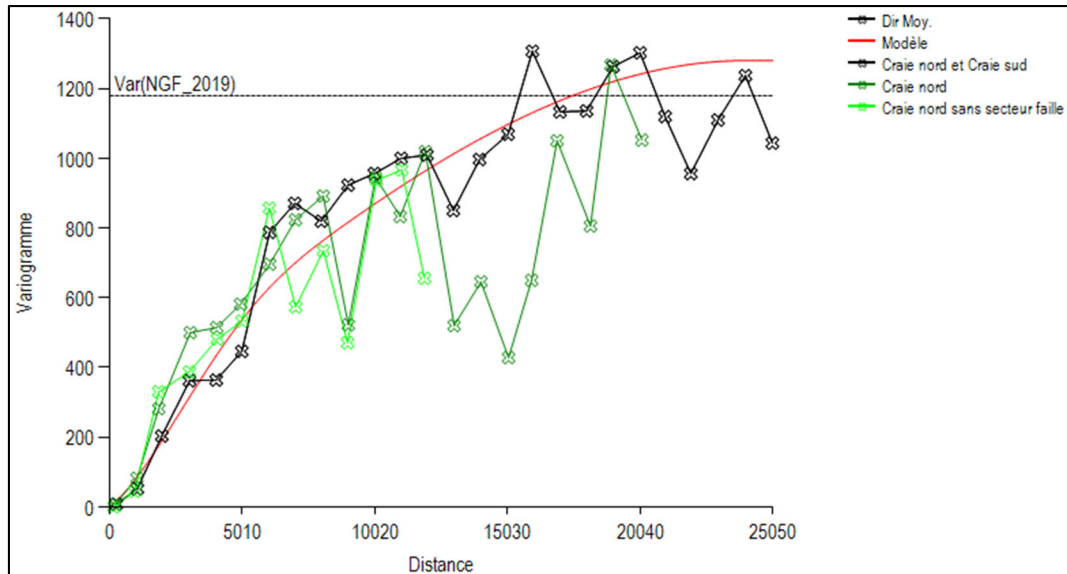


Figure 8 – Variogramme et modèle de variogramme sur les données mesurées et extrapolées du secteur « Craie nord » en 2019

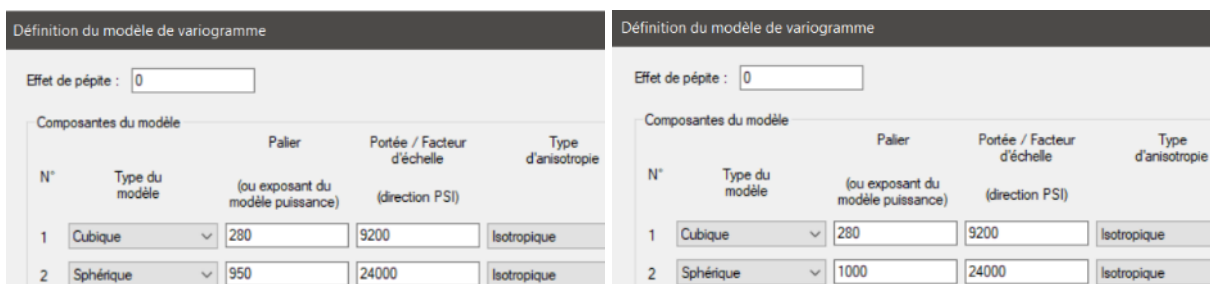


Figure 9 – Paramètres du modèle de variogramme du secteur « Craie sud » en 2017 et en 2019

1.3.2. Variogramme sur les mesures du secteur « Craie sud »

Seuls les points de mesures situés au droit du secteur « Craie sud » sont considérés. L'ensemble des mesures de la zone d'étude sont toutefois réintégrées dans les interpolations finales. Un variogramme est réalisé sur les points de passage correspondant aux mesures validées. Les points de passages extrapolés (données influencées par un pompage, points d'eau secs ou sonde bloquée) sont ensuite intégrés au variogramme.

Les variogrammes des variables de 2017 et de 2019, pour les données mesurées d'une part et pour les données mesurées et extrapolées d'autre part sont très proches et traduisent un comportement non stationnaire : les variogrammes augmentent avec la distance, sans atteindre un palier. Ceci s'explique par l'altitude constamment décroissante de la surface piézométrique de l'amont (plateaux crayeux) vers l'aval (vallée de la Seine au sud). Plusieurs méthodes d'interpolation sont mises en œuvre pour tenter d'obtenir un modèle de variogramme stationnaire et structuré. L'intégration d'une dérive d'ordre 1 (plan incliné) ou d'ordre 2 (cuvette) ne permet pas d'améliorer les résultats.

Des études méthodologiques antérieures (Bourgine, 2011) ont montré que dans le cas d'une nappe libre, lorsque la cote piézométrique est liée à la topographie, une méthode géostatistique non-stationnaire appelée « krigeage avec dérive externe » peut être utilisée pour interpoler la surface piézométrique. Cette méthode consiste à intégrer une topographie dégradée (dérive externe), pour forcer l'interpolation de la piézométrie à reproduire le

comportement général de cette topographie. Elle permet de ramener le modèle de variogramme à un cas stationnaire et structuré. La méthode comporte 3 étapes :

- calcul d'une topographie lissée de façon « optimale » ;
- analyse géostatistique du « résidu », correspondant à la différence entre la cote piézométrique mesurée et la surface topographique lissée ;
- construction finale de la surface piézométrique par krigeage avec dérive externe.

La taille de la fenêtre de lissage est choisie en s'attachant à respecter les critères de choix suivants :

- coefficient de corrélation maximum entre les mesures piézométriques et la topographie lissée (et/ou écart-type du résidu de la régression linéaire minimum) ;
- bonne linéarité du nuage de corrélation entre les mesures piézométriques et la topographie lissée ;
- variogramme des résidus vrais, correspondant à la différence entre les mesures de 2018 ou de 2019 et les données extraites de la topographie lissée, le plus continu possible (bonne continuité spatiale de la différence entre cote topographique lissée et cote piézométrique) et avec une variance inférieure à celle du variogramme sans dérive.

La corrélation linéaire entre les mesures de 2017 ou de 2019 avec les altitudes dégradées issues du MNT25m est relativement bonne. La relation quasi linéaire qui existe entre ces deux variables justifie d'ailleurs pleinement l'utilisation de la méthode dite du « krigeage avec dérive externe ». L'écart-type du résidu de la régression linéaire est minimum et le coefficient de corrélation maximal pour un lissage de 1250 à 2000 m (Figure 10). Les variogrammes des résidus vrais sont très proches pour les tailles de fenêtre comprises entre 1250 et 2000 m (Figure 11).

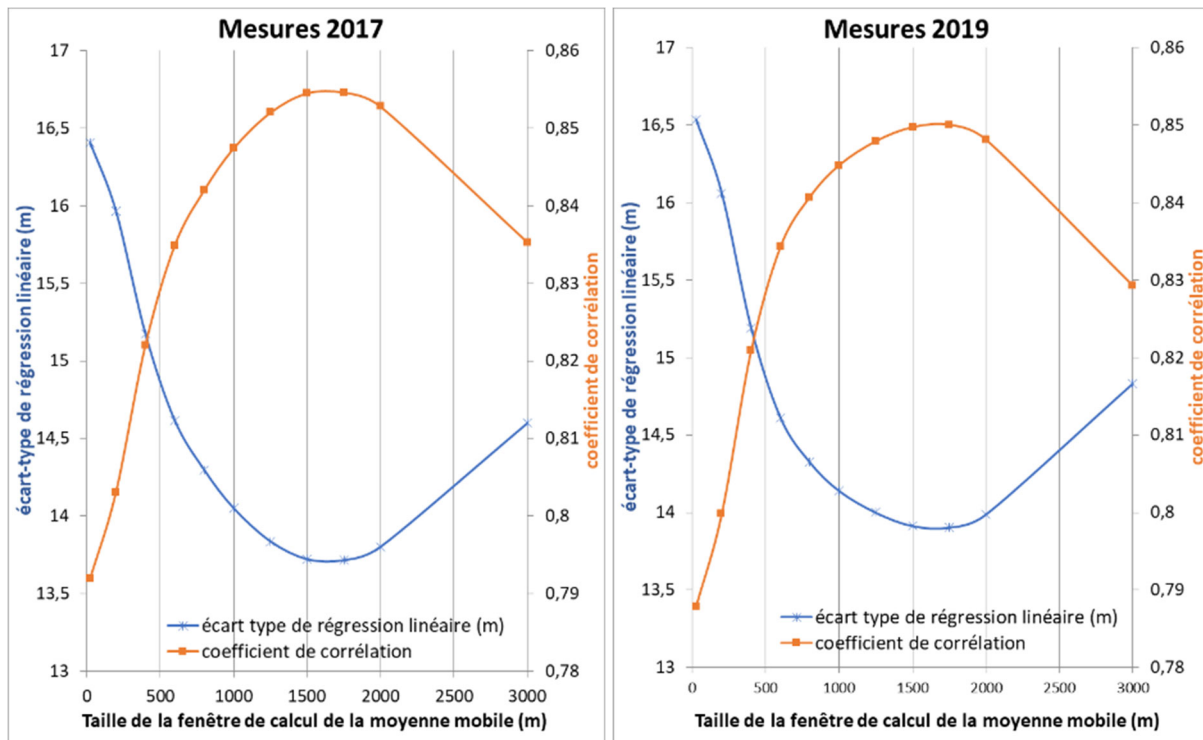


Figure 10 – Ecart-type du résidu de la régression linéaire et coefficient de corrélation entre les mesures du secteur « Craie sud » en 2017 (à gauche) ou en 2019 (à droite) et la topographie lissée

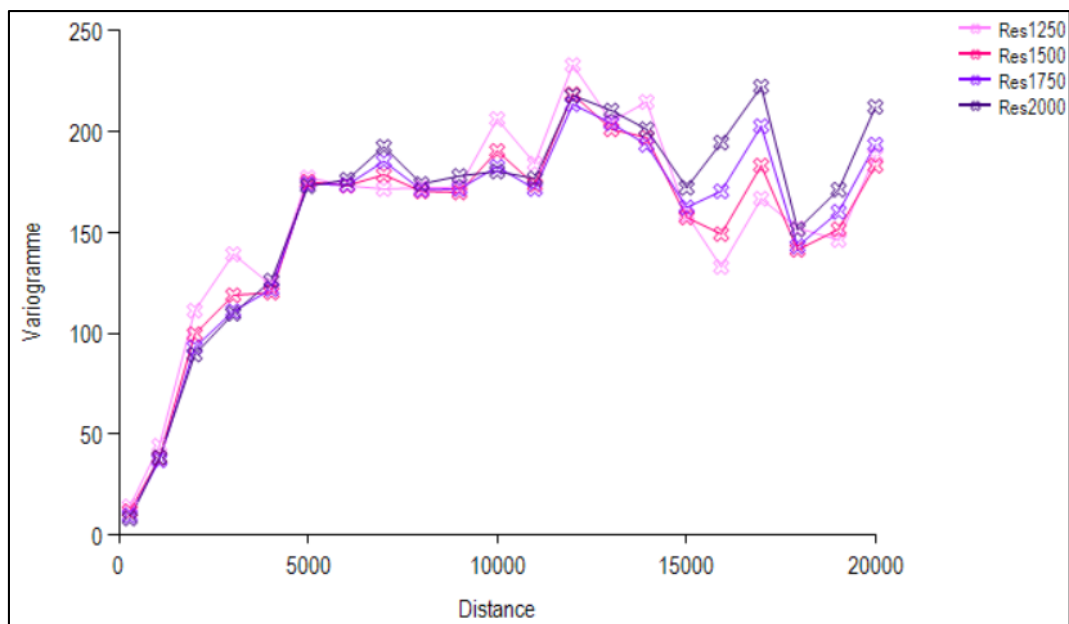


Figure 11 – Variogramme sur les résidus vrais des données mesurées et extrapolées du secteur « Craie sud » en 2017

Selon la connaissance du contexte hydrogéologique, le modèle de variogramme des résidus vrais de 2017 et de 2019 le plus approprié et robuste est adopté. Il s'agit d'un modèle sphérique pour un lissage de 1500 m*1500 m (Figure 12, Figure 13). Ce modèle prend également en compte les barrières étanches représentée par la faille de Lillebonne-Fécamp, de Grainville-Ymauville à Notre-Dame-de-Gravenchon, et par l'accident de Villequier, entre Notre-Dame-de-Gravenchon et Villequier. La variance et l'écart type sont respectivement de 174,13 et de 13,20 pour 2017 ainsi que de 176,56 et de 13,29 pour 2019.

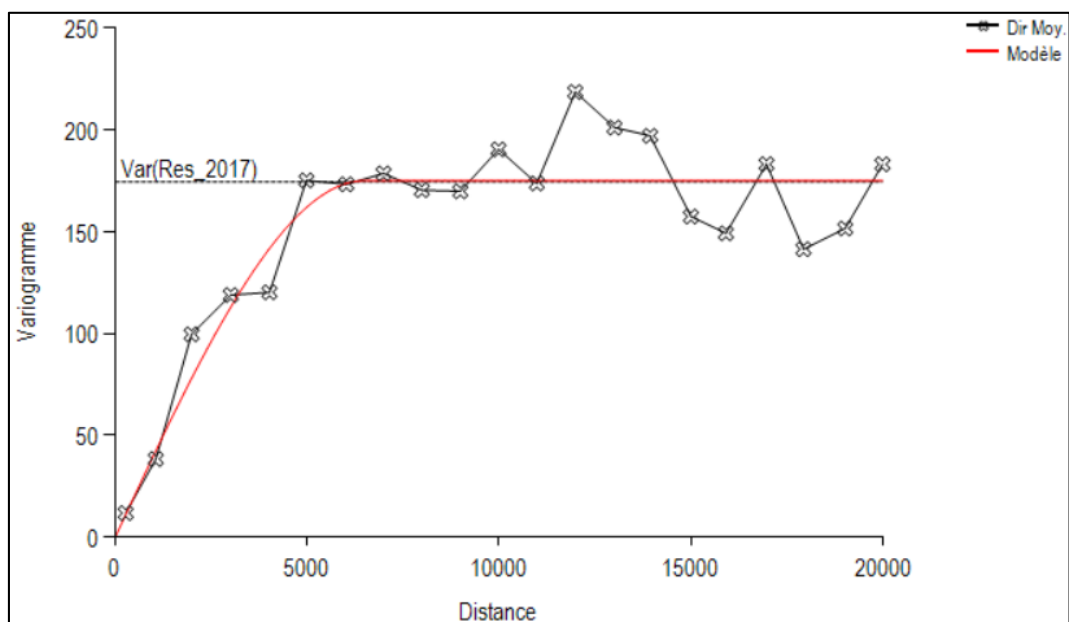


Figure 12 – Variogramme et modèle de variogramme sur les résidus vrais des données mesurées et extrapolées du secteur « Craie sud » en 2017

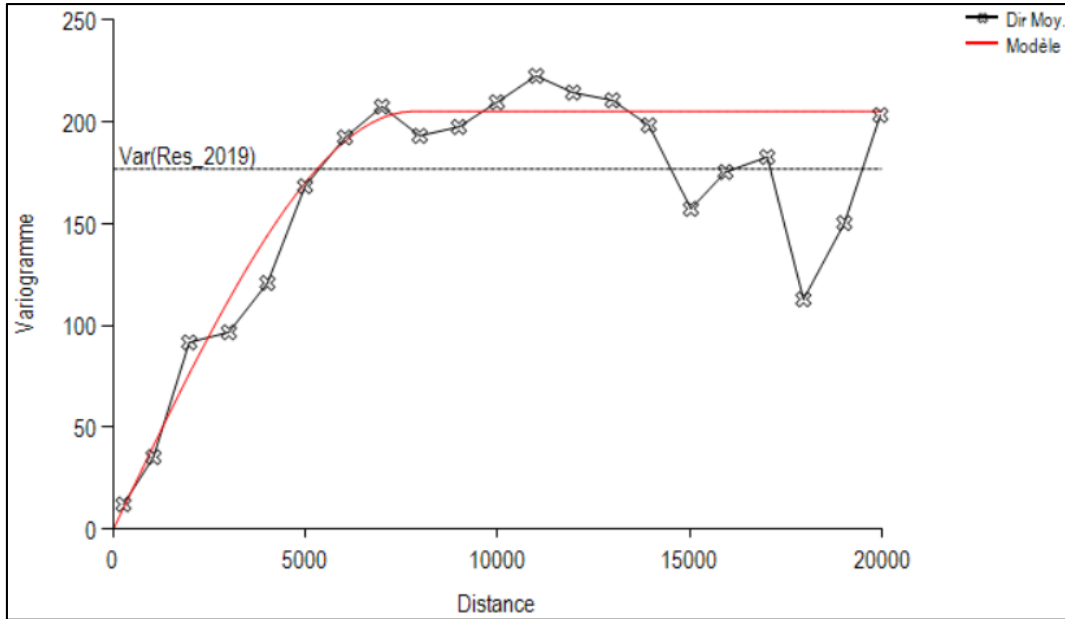


Figure 13 – Variogramme et modèle de variogramme sur les résidus vrais des données mesurées et extrapolées du secteur « Craie sud » en 2019

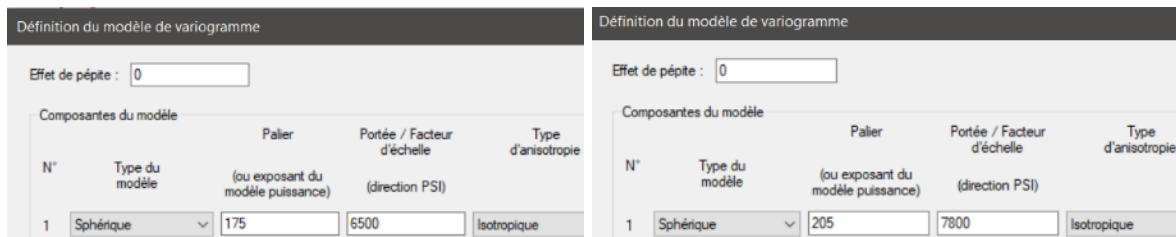


Figure 14 – Paramètres du modèle de variogramme du secteur « Craie sud » en 2017 et en 2019

1.3.3. Variogramme sur les mesures du secteur « Vallée de Seine »

- **Intégration des données externes**

En vallée de Seine, la topographie est relativement plane et n'a que peu d'influence sur la piézométrie. L'utilisation du MNT 5m n'est pas suffisante dans ce cas car la précision attendue pour le rendu sur ce secteur est métrique. L'utilisation de relevés lidar n'est pas possible ici car ces données intègrent les aménagements anthropiques.

La corrélation entre les côtes piézométriques mesurées en 2017 et 2019 et la topographie lissée est quasiment nulle en vallée de Seine, avec des coefficients de corrélation de 0,14 en 2017 et de 0,00 en 2019 (Figure 15 et Figure 16). A noter que les coefficients de corrélation ne sont pas très élevés sur les points mesurés au droit des plateaux crayeux (0,78 en 2017 et 2019), montrant de probables influences autres que la topographie.

La méthode intégrant la topographie dégradée comme dérive externe ne convient généralement pas aux interpolations des piézométries en vallée. Les tests réalisés avec cette méthode engendrent de nombreux artefacts au droit de Port-Jérôme, du fait de fortes variations locales de la piézométrie. Les niveaux sont également très sous-estimés sur certains secteurs de la vallée de la Seine, les interpolations amplifiant les dépressions topographiques.

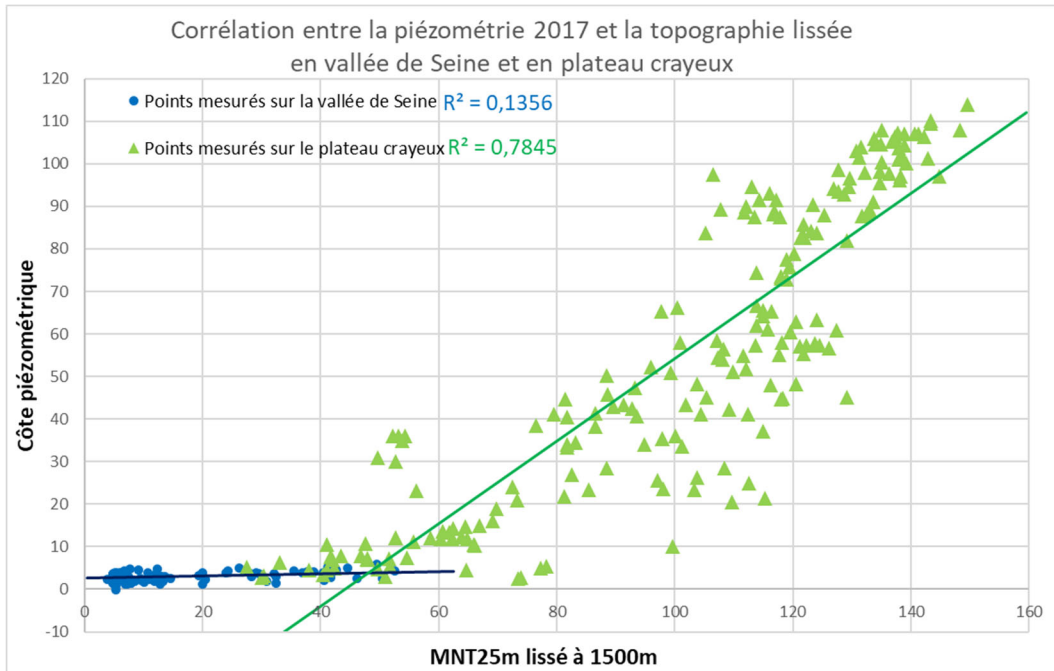


Figure 15 - Corrélation entre la piézométrie 2017 et la topographie lissée, en vallée de Seine et en plateaux crayeux

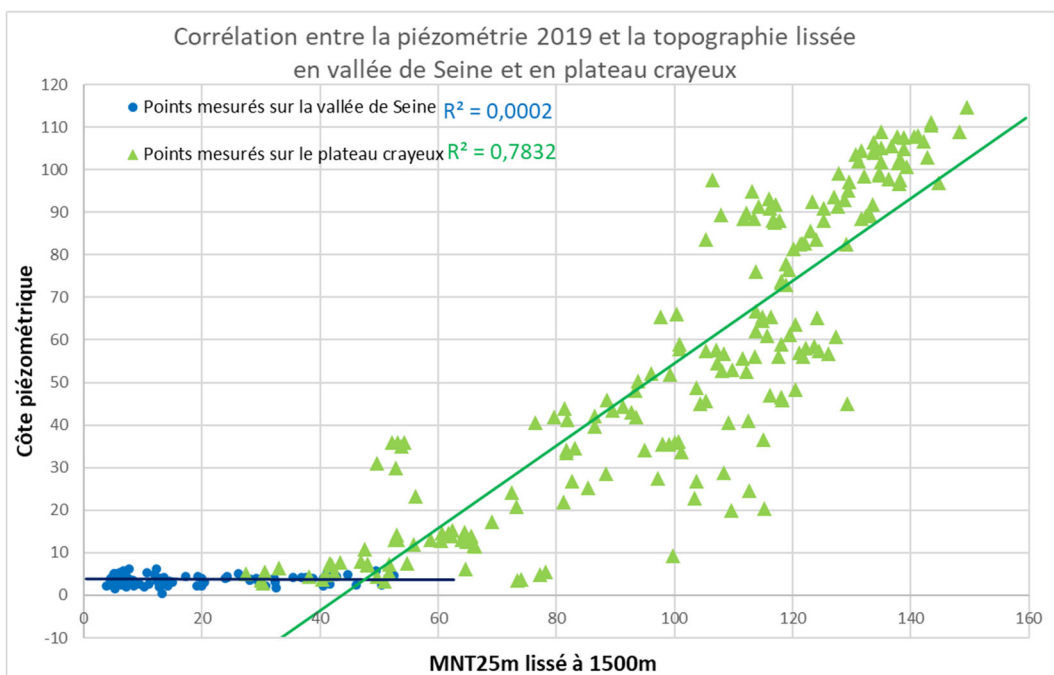


Figure 16 - Corrélation entre la piézométrie 2019 et la topographie lissée, en vallée de Seine et en plateaux crayeux

- **Cadre général**

Seuls les points de passage (NGF_2017 et NGF_2019) situés en vallée de Seine et sur le site de Port Jérôme ont été pris en compte pour le calage du modèle de variogramme et lors de l'interpolation (Figure 17).

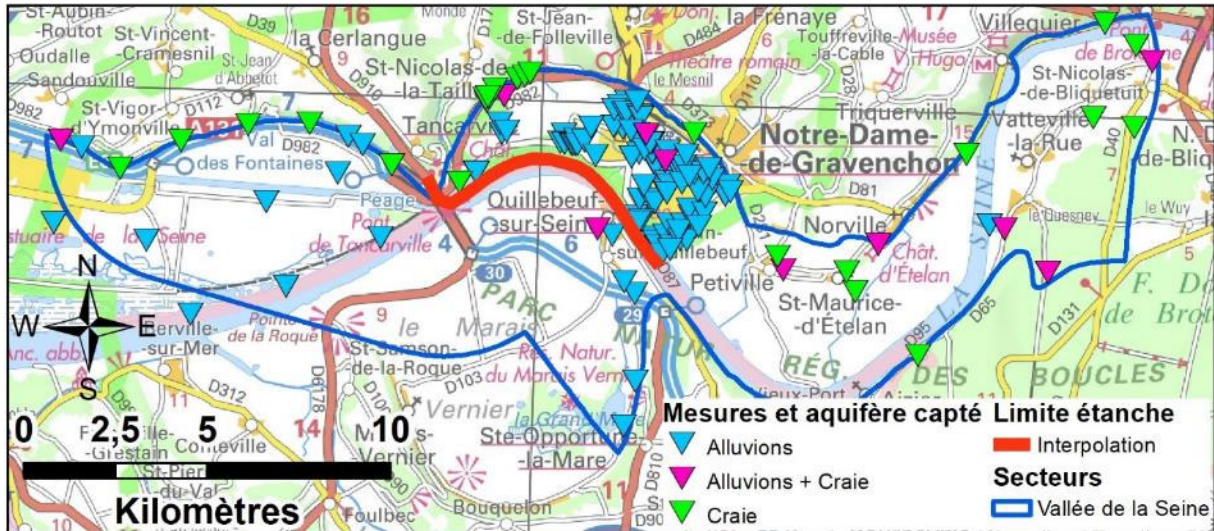


Figure 17 – Localisation des données mesurées et extrapolées du secteur « Vallée de Seine » en 2017 et en 2019

Les variogrammes de 2017 et de 2019 traduisent un comportement non stationnaire au sens géostatistique : le variogramme devient rapidement non stationnaire (modèle linéaire) et augmente avec la distance sans atteindre un palier. Ceci s'explique par l'altitude constamment décroissante de la surface piézométrique de l'amont (est) vers l'aval (ouest). L'intégration d'une dérive d'ordre 1 (plan incliné) permet de ramener le modèle de variogramme à un cas stationnaire et structuré, plus aisé à caler.

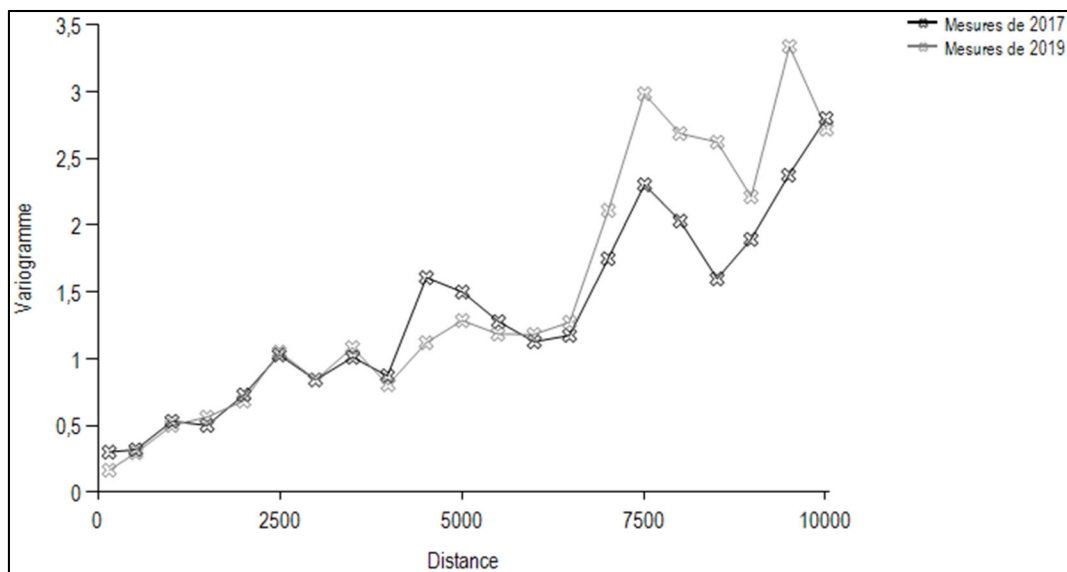


Figure 18 – Variogramme sur les données mesurées et extrapolées du secteur « Vallée de Seine » en 2017 et en 2019

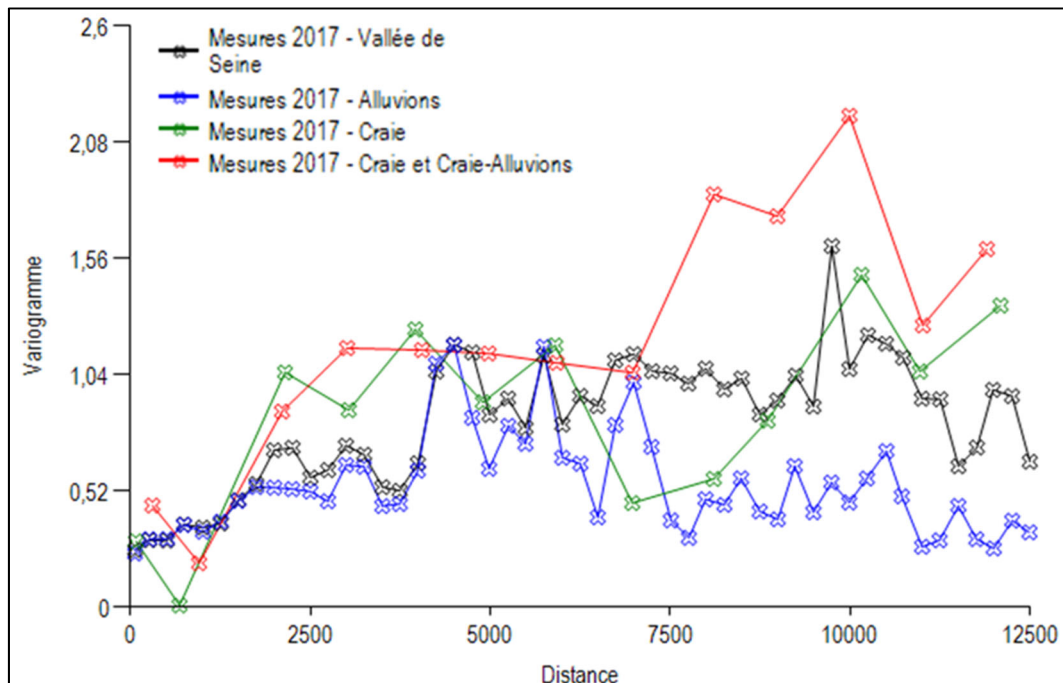
- **Cas des points captant l'aquifère de la craie**

Afin de vérifier que les aquifères de la craie et des alluvions sont en continuité hydraulique, les variogrammes des mesures réalisées pour chaque aquifères sont réalisés en vallée de la Seine (Figure 19 et Figure 20). Les variogrammes des mesures à la craie et les variogrammes des mesures aux alluvions ne se superposent pas, notamment aux plus grandes distances.

Cependant, les points captant l'aquifère de la craie ou l'aquifère des alluvions et de la craie sont peu nombreux (39 en 2017 et 42 en 2019) et sont essentiellement des sources de bas de coteaux et des forages implantés en bordure de la vallée (Figure 17). Leurs niveaux piézométriques sont alors fortement influencés par les apports amonts de la nappe de la craie. Les points situés en partie centrale de la vallée de Seine et représentatifs de l'aquifère de la craie sur ce secteur ne sont pas suffisamment nombreux pour tracer des variogrammes suffisamment robustes (24 en 2017 et 27 en 2019).

Les étapes de « validation croisée » ne font pas ressortir de mesures à la craie comme points aberrants. Les interpolations ne créent pas de dômes ou de dépressions piézométriques anormales spécifiquement au droit des ouvrages captant l'aquifère de la craie. Il est toutefois difficile de distinguer des anomalies dues à l'aquifère capté des singularités dues aux influences des pompages mais également des cours d'eau.

Un seul modèle de variogramme est calé sur l'ensemble des mesures 2017 d'une part et 2019 d'autre part de la vallée de Seine, pour les aquifères des alluvions et de la craie.



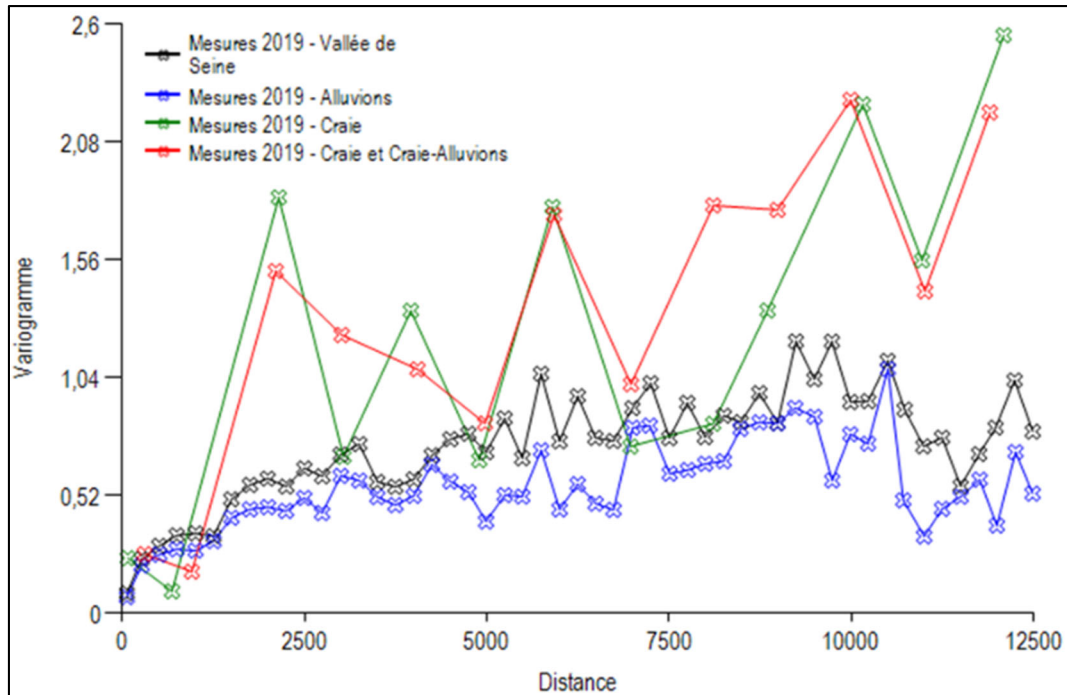


Figure 20 – Variogramme, intégrant un dérive d'ordre 1, sur les données mesurées et extrapolées du secteur « Vallée de Seine » en 2017, selon l'aquifère capté

- **Cas du secteur de Port Jérôme**

Les variogrammes de l'ensemble des mesures réalisées en vallée de la Seine, uniquement sur Port Jérôme ou hors Port Jérôme sont relativement proches (Figure 21 et Figure 22). Il est jugé plus simple de caler un seul modèle de variogramme sur l'ensemble des mesures de la vallée de Seine et de Port Jérôme pour les campagnes de 2017 d'une part et de 2019 d'autre part.

Les pompages influencent considérablement la piézométrie au droit de Port Jérôme. L'absence de points de mesures sur la rive opposée de la Seine ne permet pas de contraindre la piézométrie et les dépressions piézométriques dues aux pompages s'étendent en rive gauche créant des artefacts. Au droit de Port Jérôme, les berges de la Seine sont artificialisées et il est alors supposé que l'influence des pompages ne s'étend pas en rive gauche de la Seine. Une barrière étanche, modélisant l'imperméabilisation des berges artificialisées de la Seine, est intégrée le long de la Seine à Port Jérôme. Elle permet de limiter l'influence des pompages en rive gauche de la Seine.

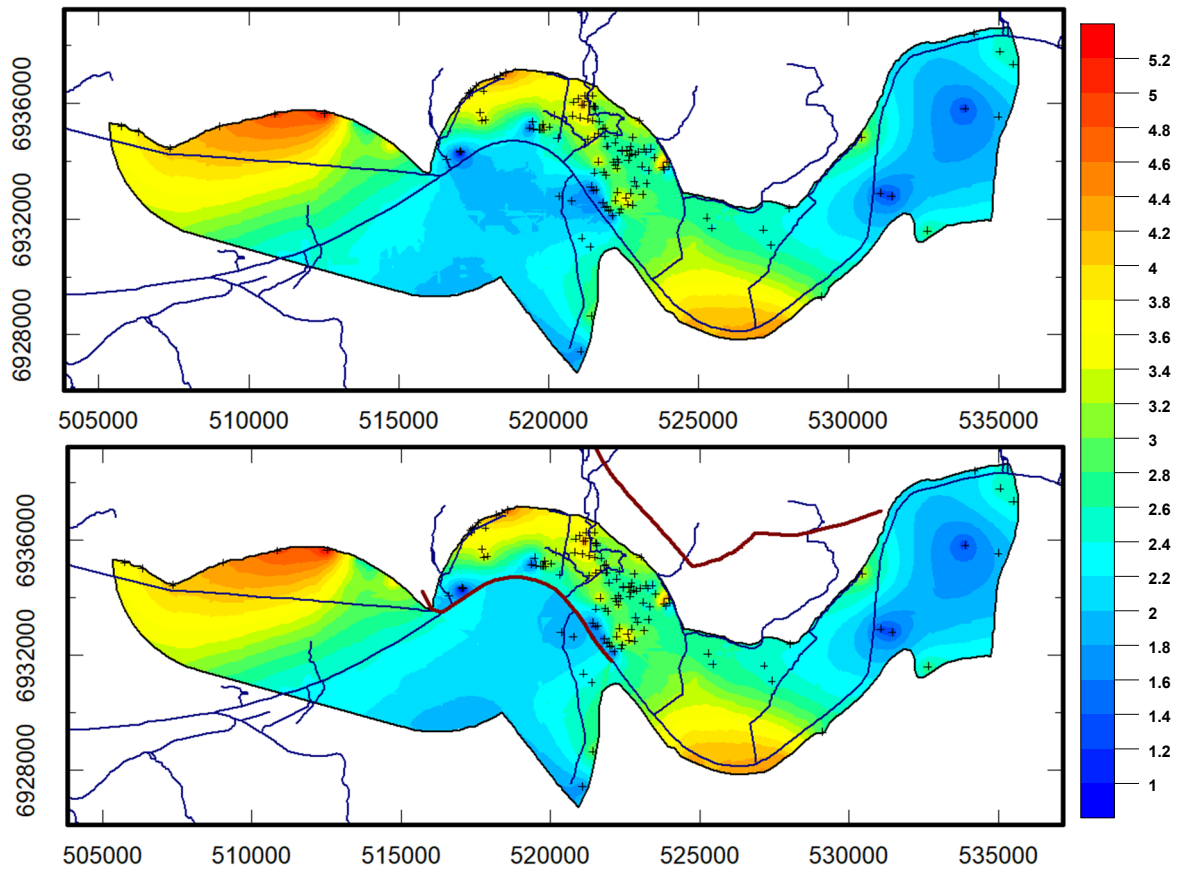


Figure 21 – Cartes piézométriques brutes 2017 de la vallée de la Seine, sans barrière étanche (en haut) et avec barrière étanche (en bas)

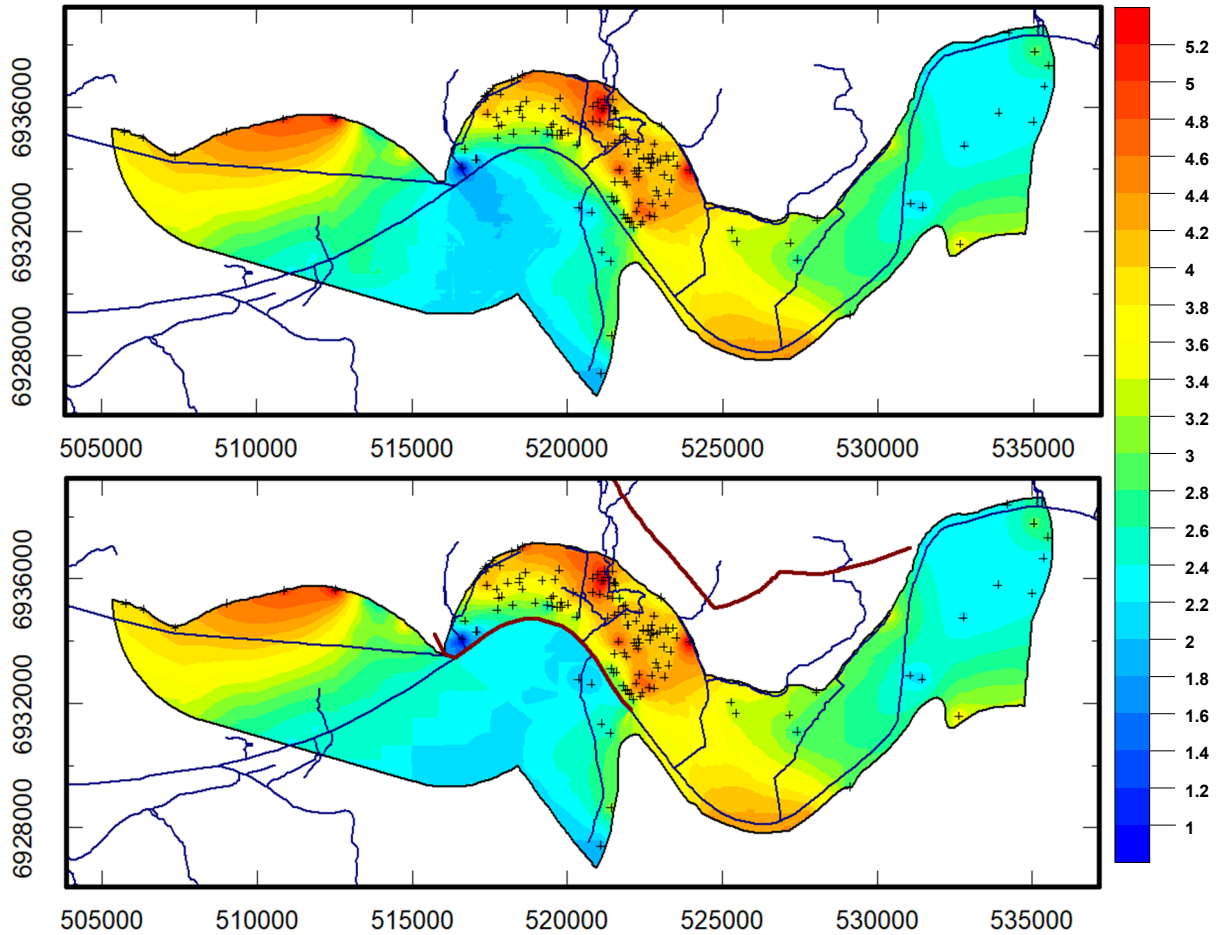


Figure 22 – Cartes piézométriques brutes 2019 de la vallée de la Seine, sans barrière étanche (en haut) et avec barrière étanche (en bas)

- **Modèle de variogramme final du secteur « Vallée de Seine »**

Plusieurs méthodes d'interpolation, intégrant des variogrammes différents, sont testées. Les fortes variabilités des niveaux, du fait des influences en vallée de Seine (pompages et drainage), se traduisent par des variogrammes non lisses, notamment sur Port Jérôme. Le modèle est calé au plus proche du variogramme de la vallée de Seine.

Selon la connaissance du contexte hydrogéologique, le modèle de variogramme le plus approprié et robuste est adopté. Il s'agit de modèles emboîtés exponentiel et sphérique (Figure 23, Figure 24 et Figure 25). La variance et l'écart type sont respectivement de 0,89 et de 0,94 pour 2017 ainsi que de 0,87 et de 0,93 pour 2019 sans intégration d'une dérive, et de 0,69 et de 0,83 pour 2017 ainsi que de 0,76 et de 0,87 pour 2019 avec une dérive d'ordre 1.

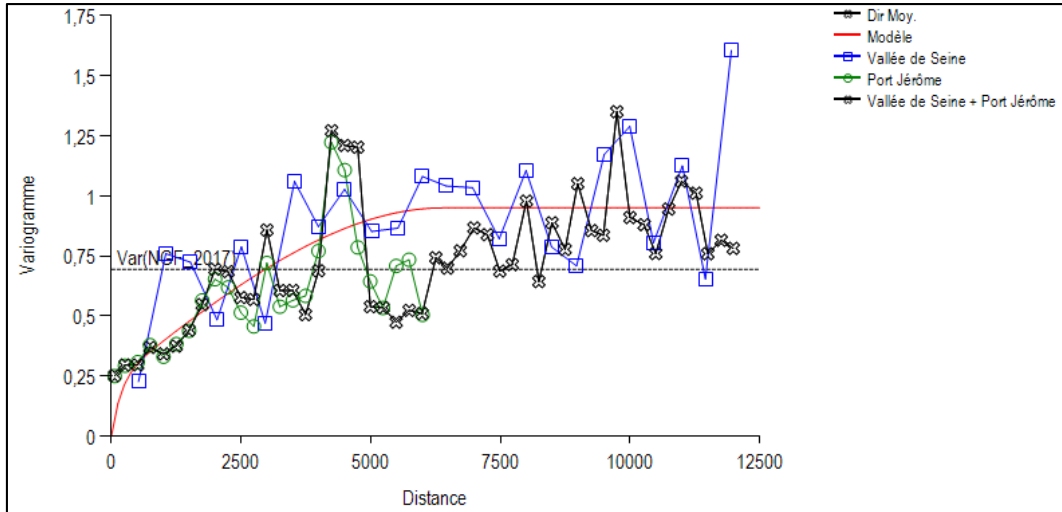


Figure 23 – Variogramme et modèle de variogramme, intégrant un dérive d'ordre 1, sur les données mesurées et extrapolées du secteur « Vallée de Seine » en 2017

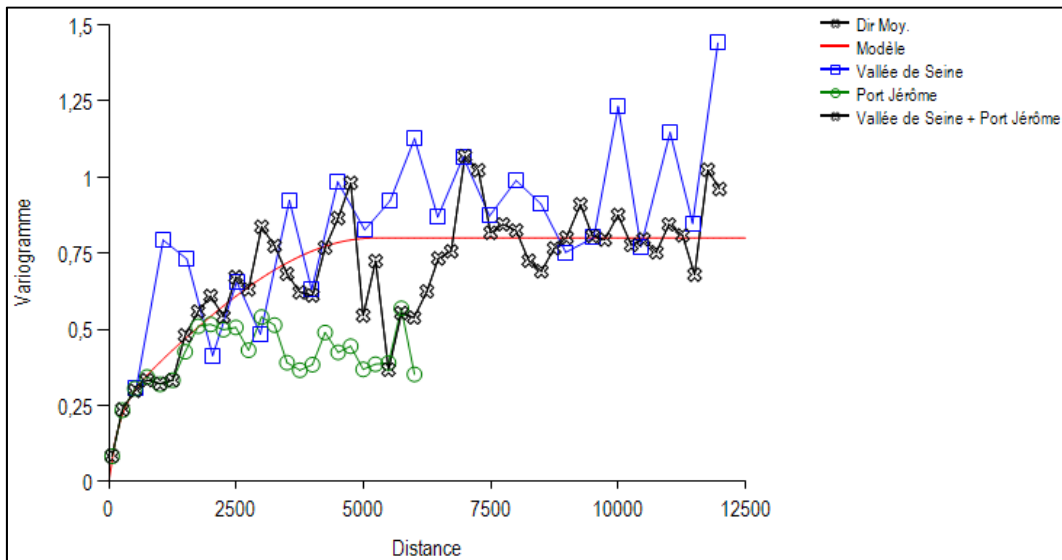


Figure 24 – Variogramme et modèle de variogramme, intégrant un dérive d'ordre 1, sur les données mesurées et extrapolées du secteur « Vallée de Seine » en 2019

Définition du modèle de variogramme					Définition du modèle de variogramme				
Effet de pépite : 0					Effet de pépite : 0				
Composantes du modèle					Composantes du modèle				
N°	Type du modèle	Pallier (ou exposant du modèle puissance)	Portée / Facteur d'échelle (direction PSI)	Type d'anisotropie	N°	Type du modèle	Pallier (ou exposant du modèle puissance)	Portée / Facteur d'échelle (direction PSI)	Type d'anisotropie
1	Exponentiel	0,23	180	Isotropique	1	Exponentiel	0,23	180	Isotropique
2	Sphérique	0,72	6400	Isotropique	2	Sphérique	0,57	5200	Isotropique

Figure 25 – Paramètres du modèle de variogramme du secteur « Vallée de Seine » en 2017 et en 2019

1.3.4. Contrôle de l'interpolation et points de contraintes imposés

Plusieurs tests de cohérences ont été effectués sur les données :

- vérification des variogramme par validation croisée et identification des éventuels points erronés ;
- test sur les différences entre l'altitude de la topographie (MNT 5 m) et l'interpolation de la surface de la nappe, notamment sur les secteurs où la nappe est sub-affleurante ;
- contrôle de la carte piézométrique avec les anciennes mesures et cartes piézométriques et correction par l'intégration de points de contrainte ;
- contrôle visuel des isopièzes (limites d'alimentation, drainage, artefacts, influence éventuelle des failles...) et correction par l'intégration de points de contrainte ;
- contrôle de la carte piézométrique au droit des points de contrainte imposés.

a) Mesures incohérentes : écartées ou corrigées

Le contrôle des données et la phase d'élaboration des cartes piézométriques ont permis d'identifier et d'écarter certaines données incohérentes : influence d'un pompage (niveau dynamique), niveau statique incohérent... 10 points d'eau, concernant 8 mesures en 2017 et 8 mesures en 2019, ont été écartés :

- les mesures 2017 et 2019 du point 00744X0035 sont incohérentes, par rapport aux mesures voisines et aux anciennes piézométries. Cet ouvrage est indiqué en BSS comme puisard absorbant les eaux pluviales du lotissement et sa profondeur totale (35 m) ne devrait pas permettre d'atteindre la nappe ;
- le point 00751X0051 n'était pas mesurable, la sonde s'étant bloquée. La mesure extrapolée en 2019 ressort comme incohérente et a été écartée ;
- les mesures de l'ouvrage « anquetierville » ont été effectués alors que le pompage venait d'être arrêté et que le niveau remontait. Les mesures de 2017 et de 2019 s'avèrent incohérentes par rapport aux mesures voisines ;
- l'ouvrage 00756X0085 s'est rebouché, de 22 m d'après le dossier BSS à 18,55 m lors des campagnes de 2017 et 2019, et s'est alors retrouvé sec. Les mesures extrapolées en 2017 et 2019 sont incohérentes avec les mesures des ouvrages situés en aval ;
- le point BSS002PZJV était sec en 2019 et la mesure extrapolée ressort comme incohérente. La donnée a été écartée mais pourra servir comme point de vérification ;
- le sol au pied de la source 00756X0120 a été nivelé à 13,982 m NGF, pour un niveau piézométrique proche du sol en 2017 et 2019. Hors les sources voisines ont été nivelées entre 4 et 5 m NGF ;
- la mesure 2017 du point 00752X0070 est 4,5 m plus basse que les mesures voisines et semble donc erronée ;
- les ouvrages 00756X0081 et 00756X0166 se situe en vallée amont du Commerce, secteur sur lequel des mesures précises sont primordiales. Or les points n'ont pas été nivelés et leurs mesures 2017 et 2019 créent des artefacts lors des interpolations ;
- la mesure à 0,00 m NFG de l'ouvrage BSS003QQUG est probablement une erreur ;
- l'ouvrage 00981X0012 était pompé lors des campagnes de 2017 et de 2019 et ses mesures sont incohérentes avec les données voisines.

Enfin, les informations de points d'eau ont pu être corrigées :

- au droit du point 00756X0041, le sol estimé à 17,45 m NGF d'après le MNT 5m a été corrigé, selon les informations du dossier BSS, à 10,2 m NGF. Les mesures piézométriques sont ainsi cohérentes avec les mesures anciennes et celles des forages et sources voisins ;
- la mesure de 2019 sur l'ouvrage 00756X0176 est influencée par un pompage et l'altitude du point est issu du MNT 5m. L'altitude de la nappe en 2019 est plus basse de 7 m environ par rapport aux mesures historiques du dossier BSS. Les mesures ne sont pas prises en compte lors de l'interpolation mais ont été corrigées pour servir de point de vérification.

b) Points de contrainte

Dans certains secteurs, il a été nécessaire de densifier les mesures afin d'améliorer les résultats de l'interpolation et tenir compte du contexte hydrogéologique local. Les données sont issues d'anciennes mesures enregistrées en BSS et réalisées lors de précédentes campagnes de terrain ou lors de la réalisation du point d'eau. Les battements des nappes ont été recalculés au droit de ces ouvrages avec les mesures effectuées à proximité lors des campagnes de 2017 et de 2019. Ces niveaux ont été comparés à la situation piézométrique des campagnes de 2017 et de 2019. Les coordonnées ont été vérifiées d'après les plans disponibles et les fonds cartographiques de l'IGN au 1 / 25 000, sans pour autant pouvoir garantir une précision centimétrique.

Des points de contrainte ont été ajoutées vers le littoral et en limite du secteurs d'étude (plateaux crayeux et vallée de Seine), afin de mieux caractériser les écoulements, ainsi qu'à proximité des failles afin d'éviter les artefacts.

2. Profils nappe/rivière

La réalisation des profils nappe/rivière le long du Commerce et de certains des affluents du Commerce et de la Seine est basée sur la superposition des grilles interpolées des niveaux piézométriques et des mesures de ligne d'eau en rivière.

L'analyse des relations entre la nappe et le cours d'eau peut être appréhendée par le calcul de l'écart existant entre le niveau piézométrique au droit de la rivière et la ligne d'eau de celle-ci. Les mesures de nivellement des cours d'eau effectuées pendant la campagne et les interpolations des surfaces piézométriques réalisées précédemment permettent de tracer ces profils nappe/rivière.

2.1. PREPARATION DES DONNEES

Les mesures de nivellement des cours d'eau ont été effectuées pendant les campagnes de 2017 et de 2019. Elles ont permis la compilation de 118 points, correspondant à 110 mesures en avril-juin 2017 et à 111 mesures en mars-avril 2019.

Ces points de nivellements ont été placés régulièrement le long des cours d'eau, et en particulier à l'amont et à l'aval des ouvrages hydrauliques de hauteur de chute importante (supérieure à 1 mètre), de part et d'autre des zones de failles pouvant entraîner des communications entre la rivière et la nappe ainsi qu'en amont et aval des confluences et des stations d'épuration.

Au droit de chaque point, les coordonnées (X et Y) et l'altitude (Z) ont été nivelées. L'altitude correspond à l'altitude du cours d'eau ou à l'altitude d'un point de repère (pont par exemple) à partir duquel la mesure du niveau du cours d'eau a été effectuée. Dans ce dernier cas, l'altitude du cours d'eau a été recalculé, en prenant en compte la hauteur du repère de mesure et la profondeur du cours d'eau par rapport à celui-ci.

2.1.1. Vérification des données

Chaque mesure de nivellement des cours d'eau a fait l'objet d'une validation par un hydrogéologue. Certaines informations essentielles ont notamment été vérifiées, afin d'identifier les mesures anormales :

- les coordonnées géographiques ;
- la cohérence entre l'altitude mesurée du point et celle calculée d'après le MNT ;
- la cohérence entre l'altitude mesurée du point et celles des points situés en amont et en aval du même cours d'eau ;
- les éventuelles influences.

2.1.2. Création d'une base de données

Les informations suivantes ont été intégrées dans une base de données utilisées pour la construction des grilles des lignes d'eau au droit des vallées (Figure 26) :

- les 111 points de cours d'eau ayant une mesure de nivellement en 2017 et/ou en 2019 ;
- les ouvrages hydrauliques de hauteur de chute importante, supérieure à 1 mètre ;
- les enveloppes des vallées, limites des interpolations ;
- les modèles numériques de terrain (MNT) à la maille 25 m et 5 m (source IGN).



Figure 26 – Localisation des données de nivellement des cours d'eau de 2017 et de 2019 pour l'interpolation des lignes d'eau.

2.2. INTERPOLATION DES LIGNES D'EAU

2.2.1. Méthode de modélisation

Les grilles ont été réalisées selon la démarche suivante :

- analyse et codage de données de mesures de nivellement et des points de contrainte imposés ;
- Interpolation linéaire des altitudes de 2017 et de 2019 mesurées sur les cours d'eau, intégrant les ouvrages hydrauliques comme barrières étanches ;
- contrôle des résultats.

La base rassemblant les données nécessaires à l'élaboration des grilles des lignes d'eau a été organisée de façon à utiliser les mesures de nivellement comme « points de passage » (équivalent aux données d'entrée) dans l'interpolation. L'ensemble des données est codé avec une valeur de « NGF_2017 » et une valeur de « NGF_2019 », correspondant à l'altitude des cours d'eau en 2017 et en 2019.

La réalisation des profils nappe/rivière le long des cours d'eau est basée sur la superposition des niveaux piézométriques et des mesures de ligne d'eau en rivière. Les profils sont tracés le long de l'axe de drainage de la piézométrie. Or cet axe ne passe pas toujours exactement au droit du cours d'eau. L'interpolation des lignes d'eau est donc réalisée sur la largeur totale des vallées et non uniquement au droit des cours d'eau.

La méthode d'interpolation utilisée est l'interpolation linéaire. L'interpolation finale permet de générer une grille de calcul de maille 25 m par 25 m dont l'extension est celle des vallées.

Les grilles des lignes d'eau ont été réalisées en utilisant le logiciel Suite GDM 2018 (*Geological Data Management* - <http://gdm.brgm.fr>). La suite GDM 2018, développée et éditée par le BRGM, est conçue pour compiler, interpoler et visualiser des données géoscientifiques, dont des données hydrogéologiques. Le « workflow » mis en place comprend la vérification des données, la gestion des paramètres de calcul, les contrôles de cohérence entre les données, la génération automatique des interpolations et les restitutions graphiques en cartes des interpolations.

2.2.2. Contrôle de l'interpolation et points de contraintes imposés

Plusieurs tests de cohérences ont été effectués sur les données :

- contrôle visuel des lignes d'eau (décroissance de l'altitude de l'amont vers l'aval, artefacts, influence éventuelle des failles...);
- test sur les différences entre l'altitude de la topographie (MNT 5 m) et l'interpolation des lignes d'eau ;
- contrôle des lignes d'eau avec les cartes piézométriques interpolées ;
- correction par l'intégration de points de contrainte ;
- contrôle des grilles des lignes d'eau au droit des points de contrainte imposés.

a) Mesures incohérentes : écartées ou corrigées

Le contrôle des données et la phase d'élaboration des grilles des lignes d'eau ont permis d'identifier certaines données incohérentes et de les corriger :

- BSS002PZKB-aval : la mesure de 2019 (36,24 m) est aberrante et a été corrigée à 33,24 m NGF ;
- Etang peche mirville : l'absence de mesure en 2019 ne permet pas de réaliser l'interpolation de la ligne d'eau sur le secteur de Mirville. Une mesure de 76,23 m NGF, identique à celle de 2017, a été ajoutée en 2019.
- mirville aval château : la mesure aval de 2019 (93,748 m) est aberrante car très supérieure à la mesure de 2017 sur le même point (87,316 m) et au nivellement sur le point 00752X0034 situé en amont (89,895 m en 2017 et 2019). La mesure a été corrigée à une altitude identique à 2017, soit 87,316 m NGF.

c) Points de contrainte

Dans certains secteurs, il a été nécessaire de densifier les mesures afin d'améliorer les résultats de l'interpolation et tenir compte du contexte local :

- 4 points de contraintes ont été ajoutés à l'intersection de la vallée du Commerce et de 3 de ses affluents, afin de lisser les pentes et ne pas générer d'artefacts (« bosse ») à la confluence des vallées ;

- 3 points de contraintes ont été intégrés en extrême aval des vallées de Théluet, de Bébec et du Commerce, pour éviter les remontées de niveaux aux bordures des secteurs d'interpolation.

Afin de placer ces points de contrainte, des coupes sont tracées au droit des secteurs problématiques. L'allure de la ligne d'eau est analysée selon différentes orientations de coupes afin d'évaluer l'altitude théorique de la ligne d'eau permettant de lisser les incohérences.

2.2.3. Grilles finales des lignes d'eau

Les grilles des lignes d'eau sont une représentation cartographique, à un instant donné, de la surface des cours d'eau, extrapolée à la largeur de la vallée. L'altitude de chaque courbe de niveau (ou isopièze) est indiquée en mètres et possède le même plan de référence qui est celui du réseau de Nivellement Général de la France (NGF).

Au droit du cours d'eau, les courbes de niveau correspondent aux altitudes du cours d'eau au moment de la mesure de nivellement (Figure 27). Elles donnent donc des indications sur le sens des écoulements et sur le gradient hydraulique. Sur la vallée, l'utilisation de ces grilles de lignes d'eau permet uniquement de pouvoir les comparer aux grilles des cartes piézométriques.

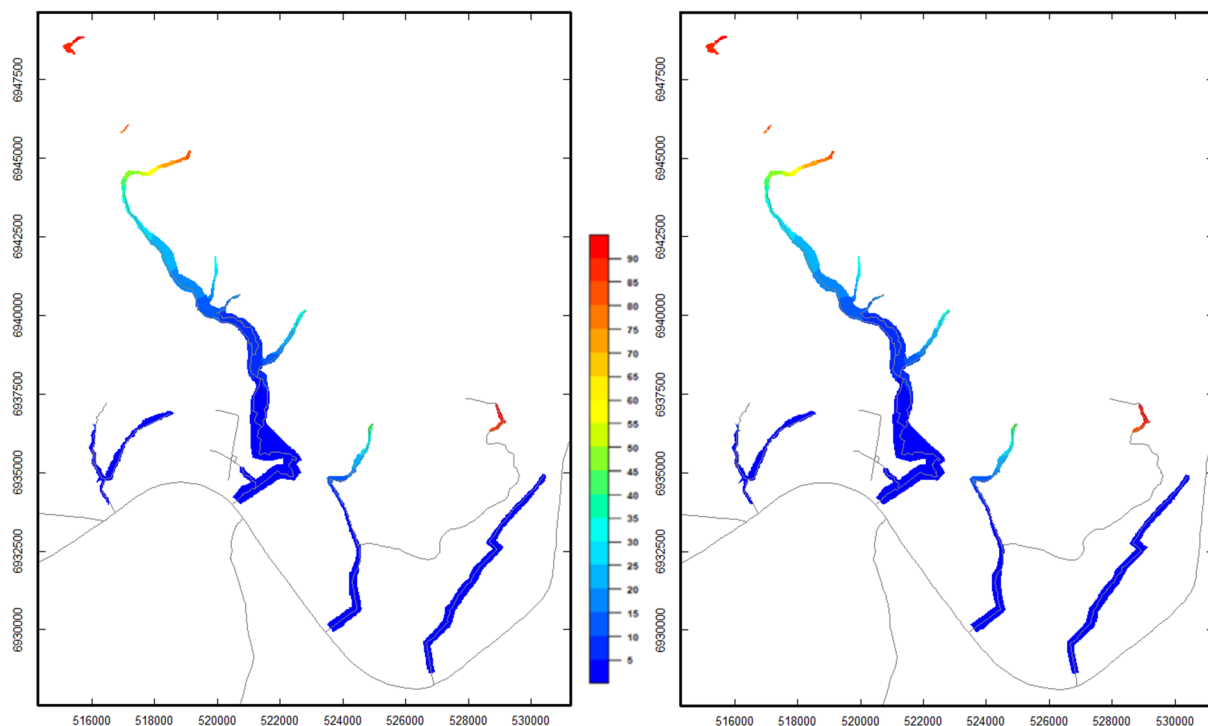


Figure 27 – Interpolation des lignes d'eau en 2017 (à gauche) et en 2019 (à droite)

2.3. ELABORATION DES PROFILS NAPPE/RIVIERE

Des profils nappe/rivière ont été réalisés le long des vallées concernées (Figure 28) :

- traçage du transect, correspondant à l'axe de la piézométrie en vallée ;
- tracé d'une coupe pour comparaison des niveaux de la rivière et des niveaux de la nappe.

Les coupes longitudinales réalisées le long des vallées comparent la position des niveaux piézométriques et des lignes d'eau des rivières aux deux campagnes de mesures (2017 et 2019). Elles mettent en évidence les zones de connexion et de déconnexion.

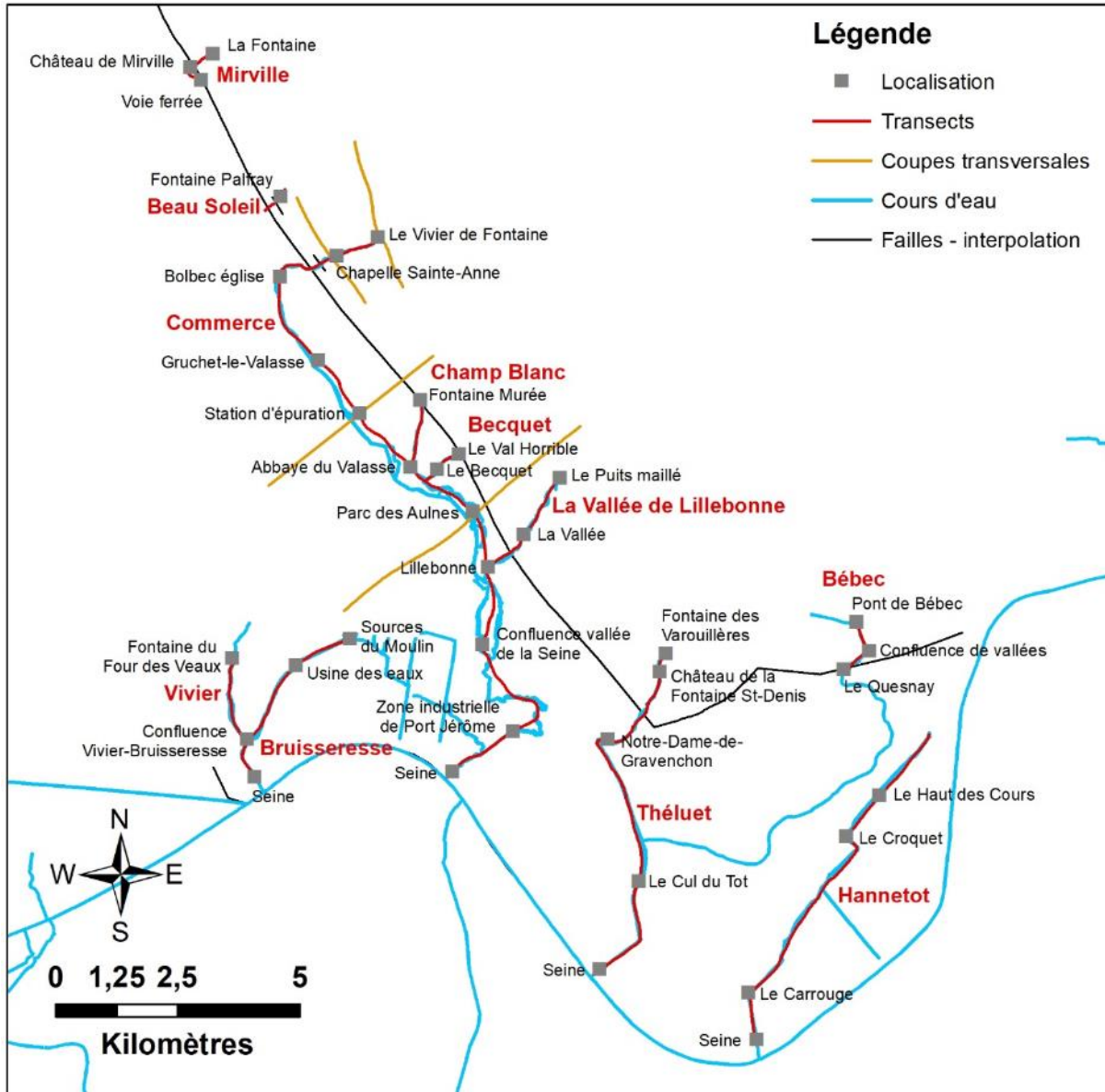


Figure 28 - Localisation des coupes transversales et longitudinales réalisées dans les vallées

2.3.1. Coupes longitudinales et transversales nappe/rivière

- Point de mesure 2017 : Puits/forage
- Interpolation niveau piézométrique 2017 (m NGF)
- Point de mesure 2019 : Puits/forage
- Interpolation niveau piézométrique 2019 (m NGF)
- Point de mesure : Ligne d'eau
- Interpolation ligne d'eau du cours d'eau (m NGF)
- Source
- Commune ou lieu-dit
- Topographie : MNT 5m (©IGN)
- Faille

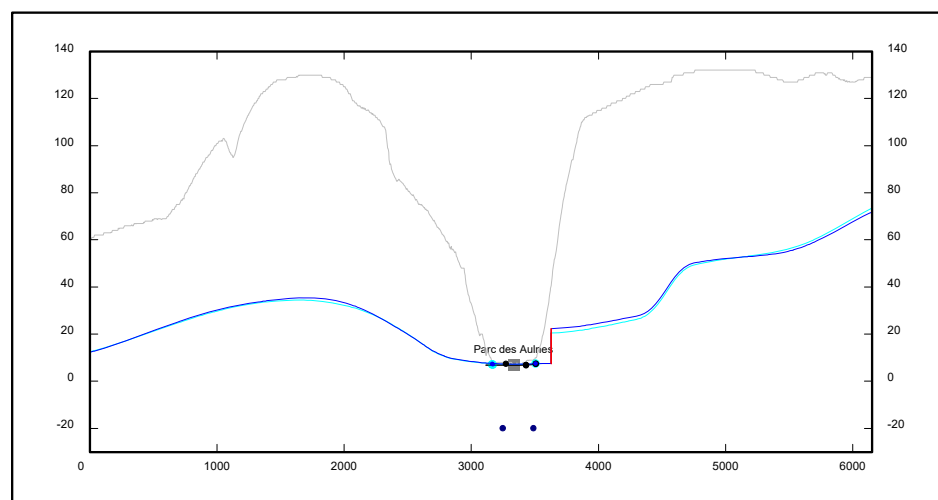
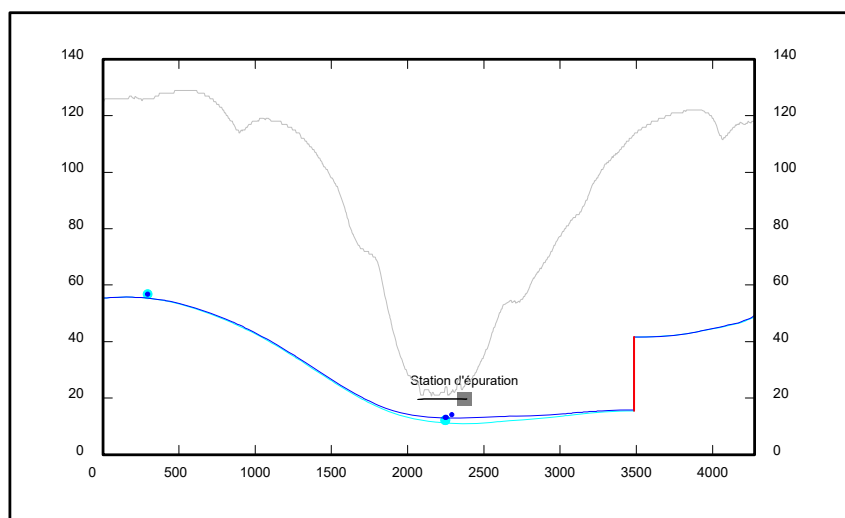
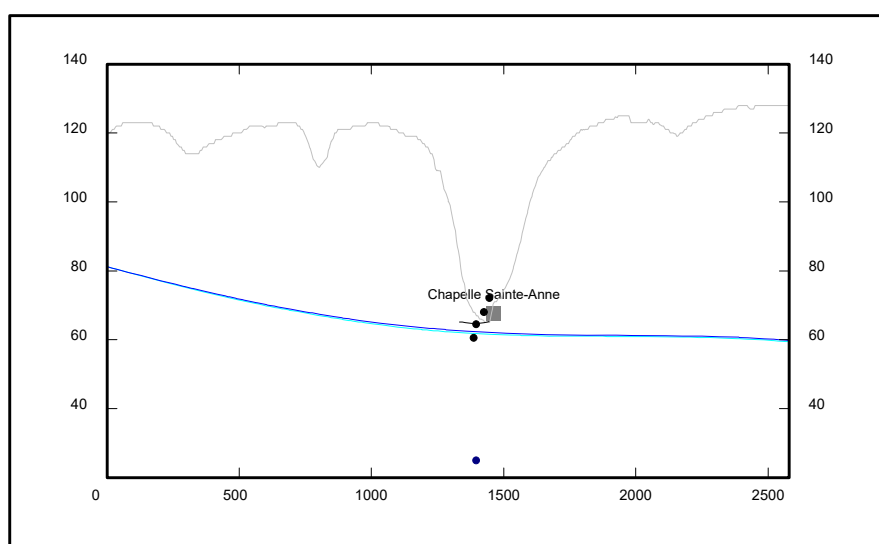
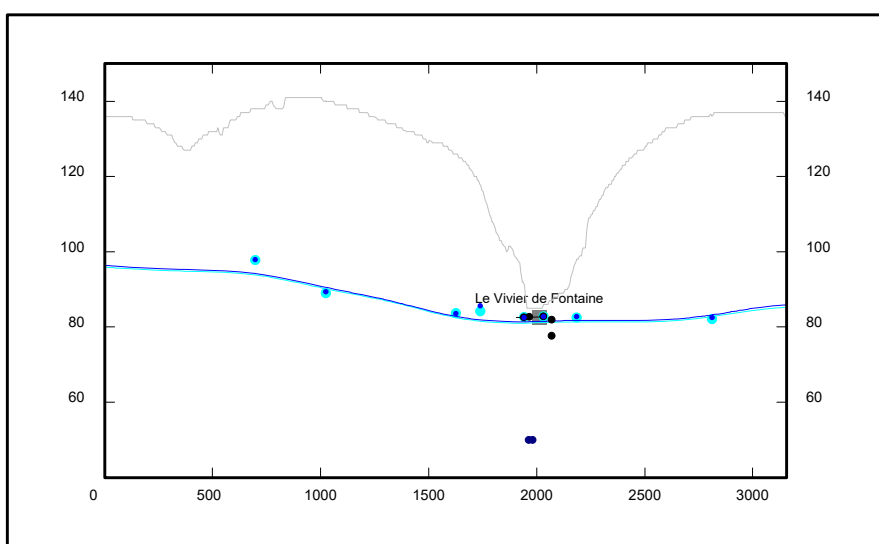


Figure 29 - Coupes transversales 2017 (bleu clair) et 2019 (bleu foncé) de la vallée du Commerce. NB1 : la piézométrie présentée sur les coupes est celle de la version n°1 de l'interpolation

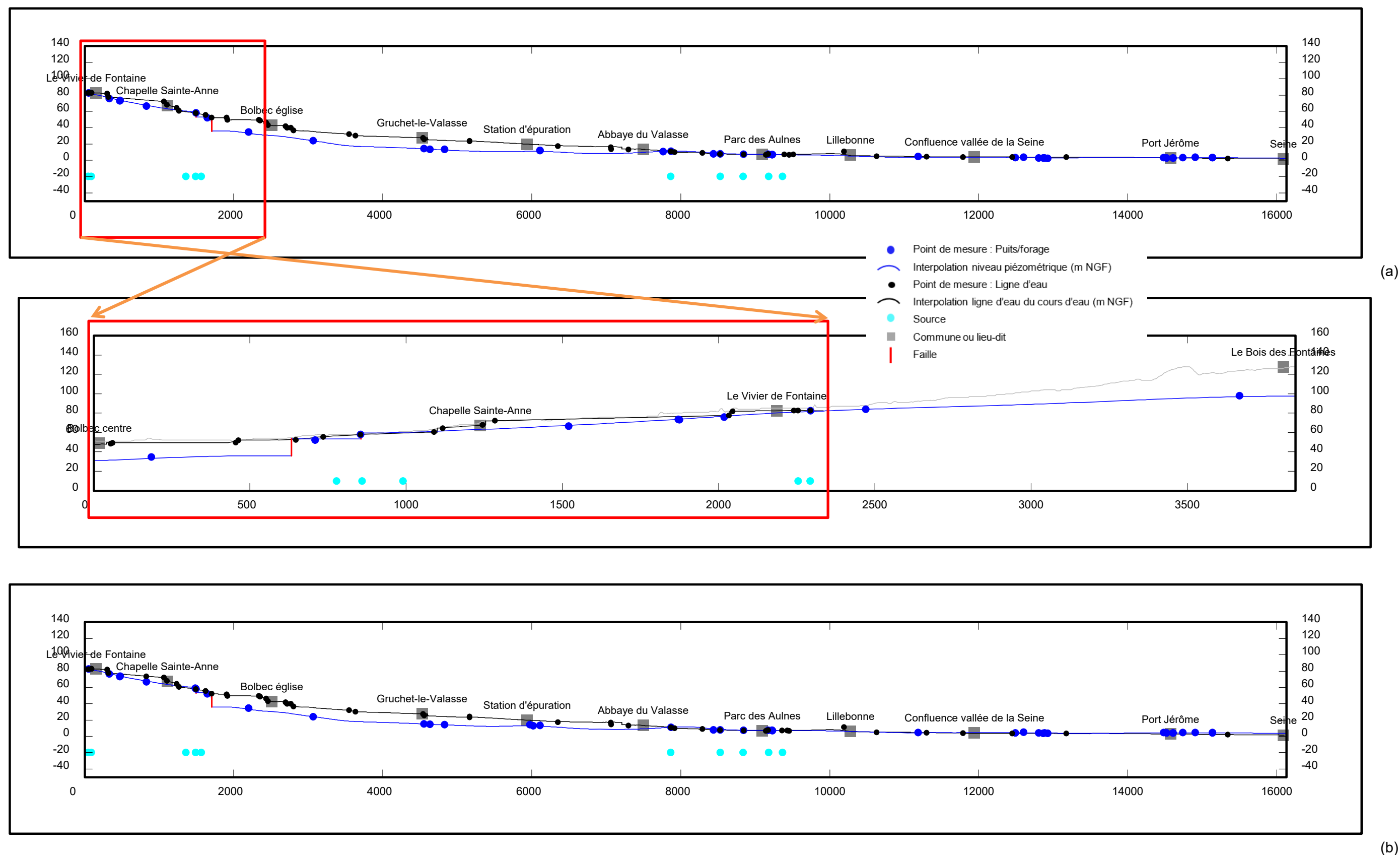


Figure 30 - Coupe longitudinale de la vallée du Commerce – Comparaison de la ligne d'eau et des niveaux piézométriques mesurés lors des campagnes de 2017 (a) et 2019 (b00756X0175)– NB1 : la piézométrie présentée sur les coupes est celle de la version n°1 de l'interpolation. NB2 : les sources (points bleus clairs), ne sont pas positionnées en altitude sur la coupe, mais juste en X/Y à titre informatif

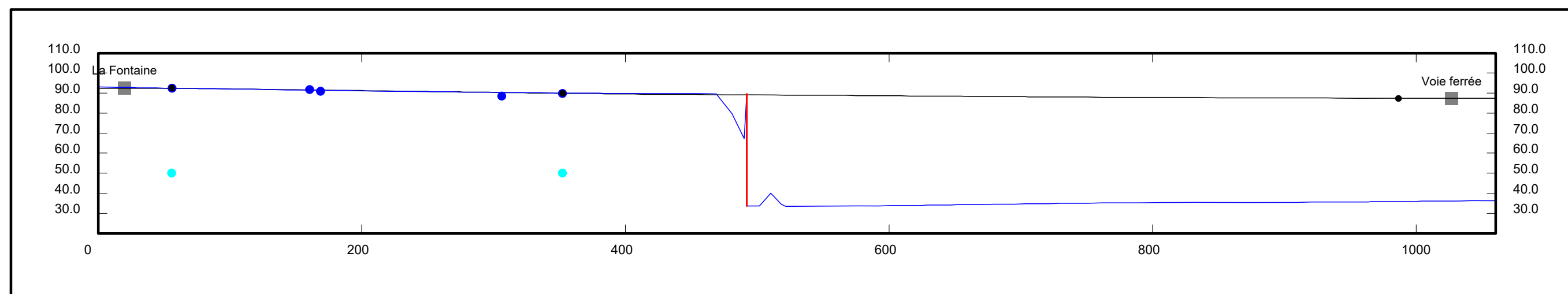
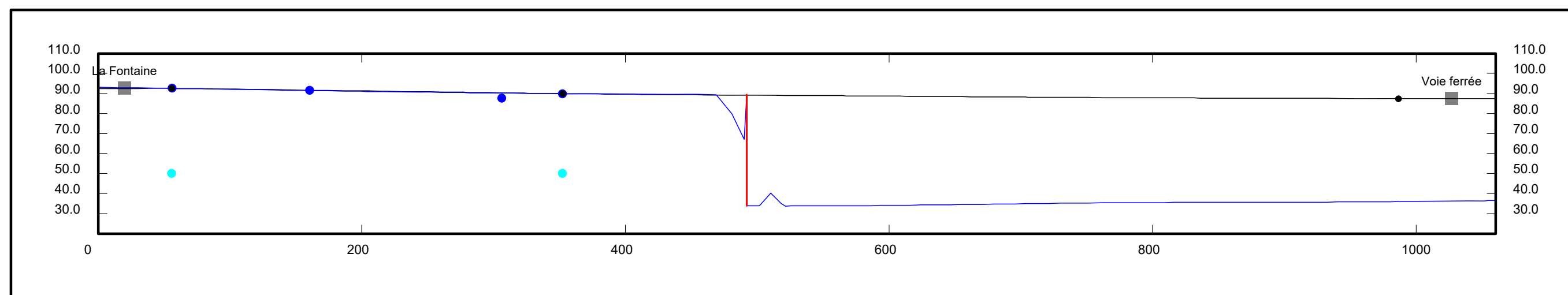


Figure 31 - Coupes longitudinales 2017 (en haut) et 2019 (en bas) de la vallée de Mirville

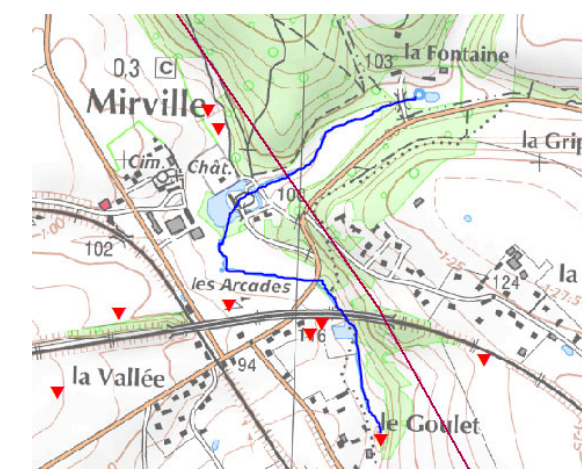
NB1 : Les sources (points bleus clairs), ne sont pas positionnées en altitude sur la coupe mais juste en X/Y

NB2 : Les variations locales (pics) des niveaux de nappe autour de la faille sont des artéfacts liés à l'interpolation

NB3 : La piézométrie présentée sur les coupes est celle de la version n°1 de l'interpolation

- Point de mesure : Puits/forage
- Interpolation niveau piézométrique (m NGF)
- Point de mesure : Ligne d'eau
- Interpolation ligne d'eau du cours d'eau (m NGF)
- Source
- Commune ou lieu-dit
- Faille

Le ruisseau de Mirville est connecté à la nappe à l'amont de la zone faillée. A l'aval de la faille, le ruisseau est perché d'environ 50 à 60 mètres au-dessus de la nappe. Le ruisseau s'engouffre totalement dans la bétairie n°18489 au lieu-dit « le Goulet ».



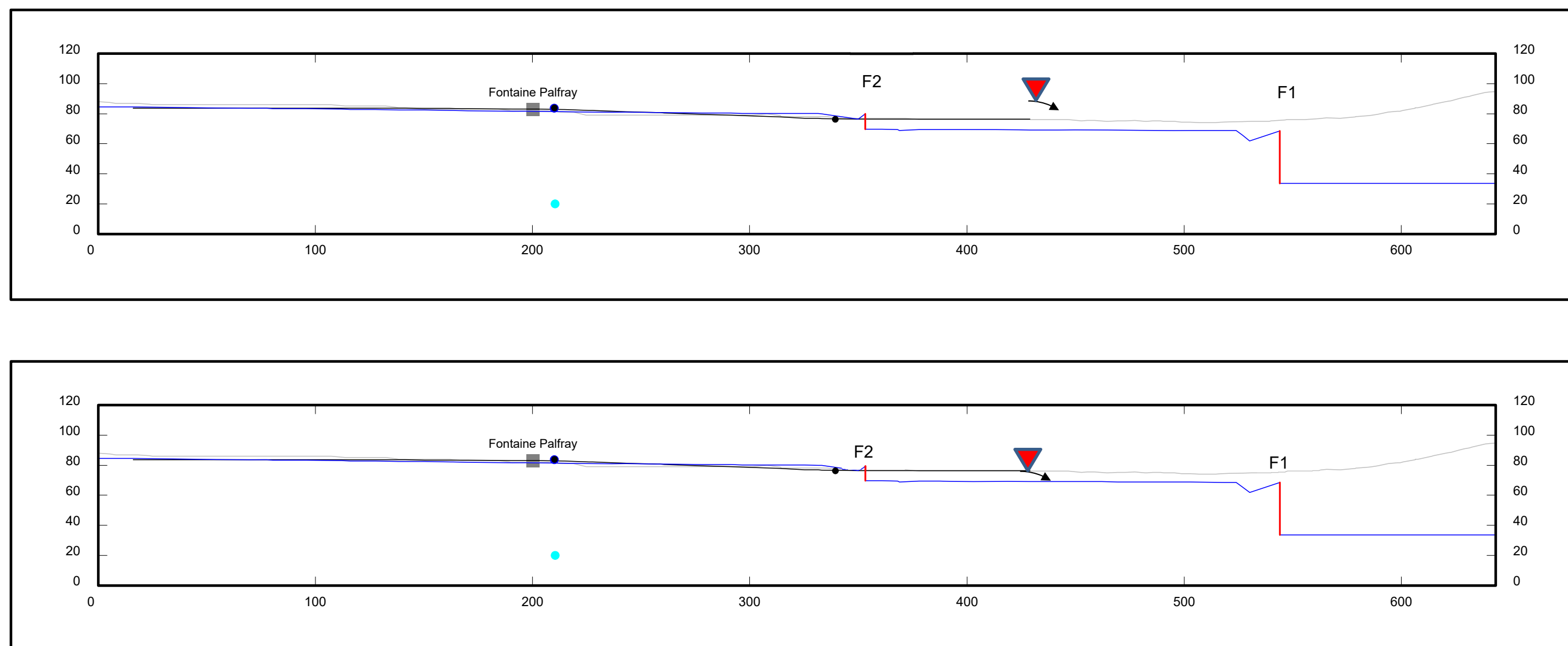


Figure 32 - Coupes longitudinales 2017 (en haut) et 2019 (en bas) de la vallée du lieu-dit Beau Soleil
 NB1 : Les sources (points bleus clairs), ne sont pas positionnées en altitude sur la coupe mais juste en X/Y
 NB2 : Les variations locales des niveaux de nappe autour de la faille sont des artéfacts liés à l'interpolation
 NB3 : La piézométrie présentée sur les coupes est celle de la version n°1 de l'interpolation

- Point de mesure : Puits/forage
- Interpolation niveau piézométrique (m NGF)
- Point de mesure : Ligne d'eau
- Interpolation ligne d'eau du cours d'eau (m NGF)
- Source
- Commune ou lieu-dit
- Topographie : MNT 5m (©IGN)
- Faille

Le ruisseau de Beau Soleil situé dans le vallon Palfray, prend naissance au niveau de la Fontaine Palfray (source n°00756X0001/HY). Le ruisseau est connecté à la nappe à l'amont de la zone faillée. A l'aval du faisceau de Faille F2, le ruisseau est perché, s'engouffre totalement dans la bétouire n°18478.



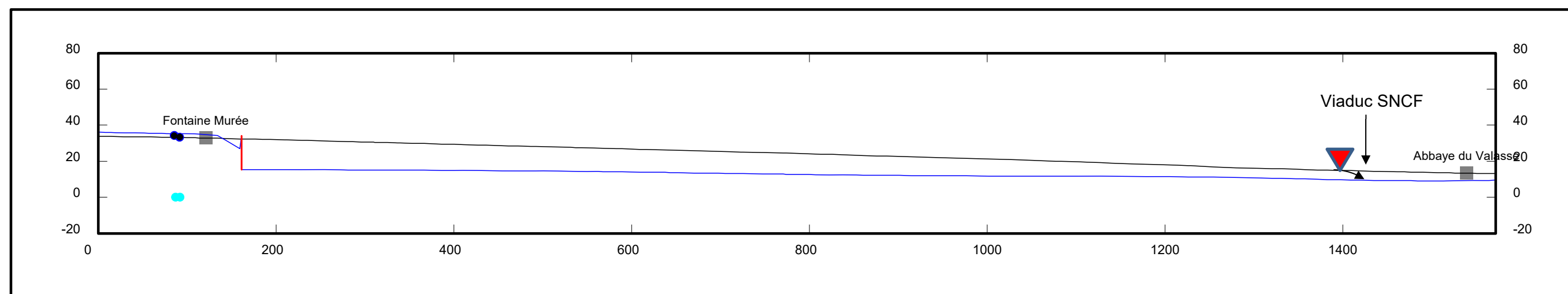
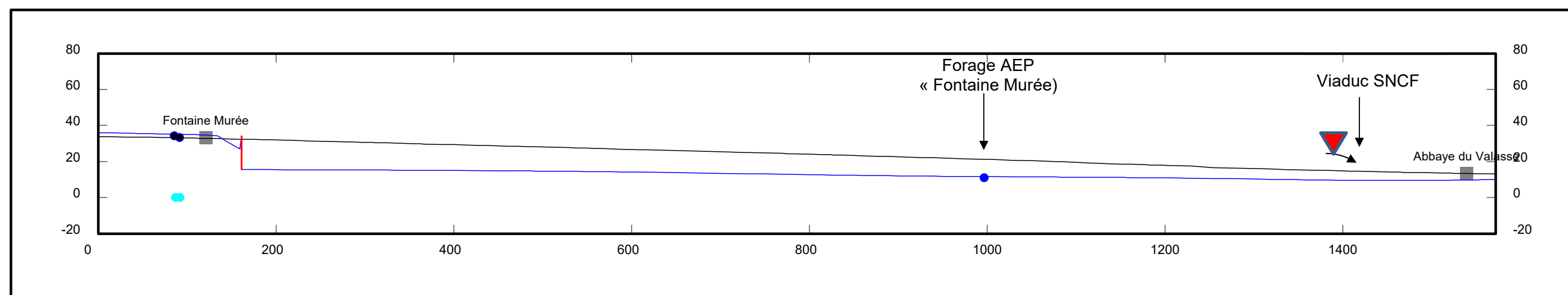


Figure 33 - Coupes longitudinales 2017 (en haut) et 2019 (en bas) de la vallée de Champ Blanc

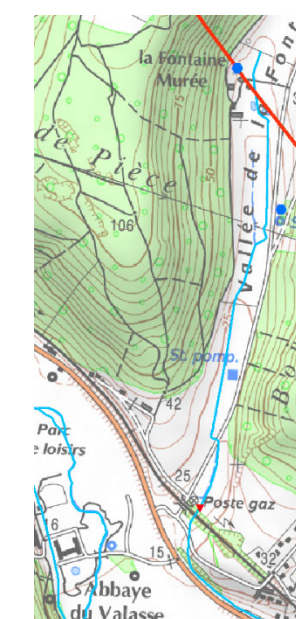
NB1 : Les sources (points bleus clairs), ne sont pas positionnées en altitude sur la coupe mais juste en X/Y.

NB2 : Ce profil est peu précis du fait du peu d'ouvrages disponibles (1 seul à l'aval de la faille dans ce vallon). Les niveaux de nappe indiqués sont ceux issus de l'interpolation.

NB3 : La piézométrie présentée sur les coupes est celle de la version n°1 de l'interpolation

- Point de mesure : Puits/forage
- Interpolation niveau piézométrique (m NGF)
- Point de mesure : Ligne d'eau
- Interpolation ligne d'eau du cours d'eau (m NGF)
- Source
- Commune ou lieu-dit
- Faille

Le ruisseau de la Fontaine Murée (aussi nommé Champ blanc) prend naissance au niveau de la source n°00756X0096/HY (en partie captée par l'Abbaye) sur le secteur Faillé. Il est quasi immédiatement en condition perchée au-dessus du niveau de la nappe. Ce ruisseau s'assèche rapidement et coule au mieux jusqu'à la béttoire n°18480 située au pied du viaduc SNCF. Au-delà du viaduc, le « ruisseau » est un fossé sec. Le ruisseau est souvent sec bien en amont de la béttoire n°18480 notamment durant la période estivale.



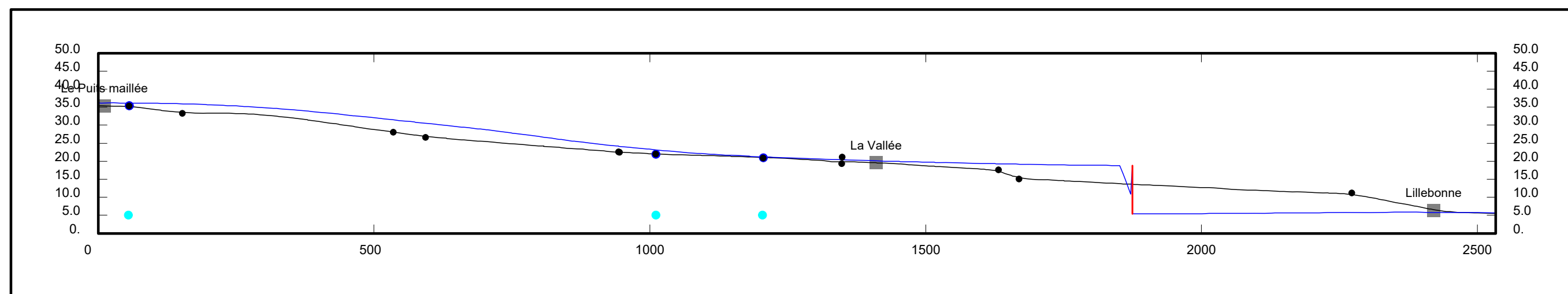
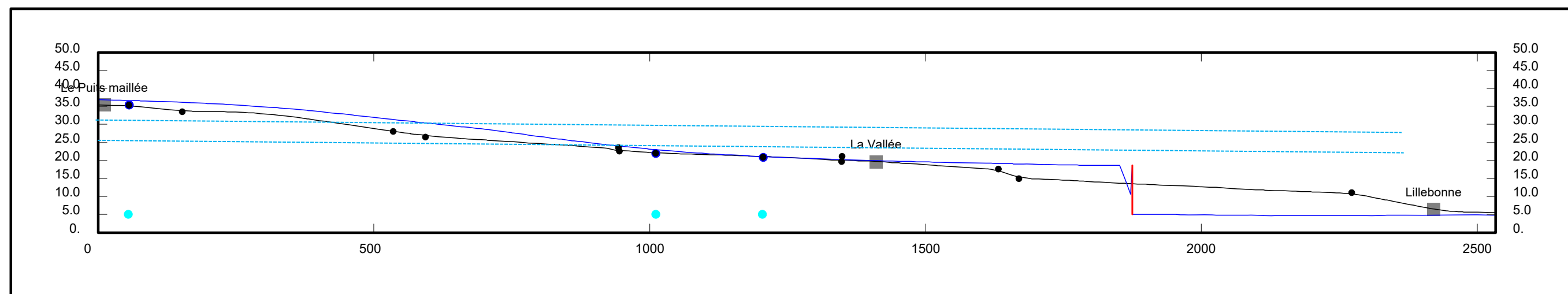


Figure 34 - Coupes longitudinales 2017 (en haut) et 2019 (en bas) de la vallée du Becquet

NB1 : Les sources (points bleus clairs), ne sont pas positionnées en altitude sur la coupe mais juste en X/Y

NB2 : Les variations locales des niveaux de nappe autour de la faille sont des artéfacts liés à l'interpolation

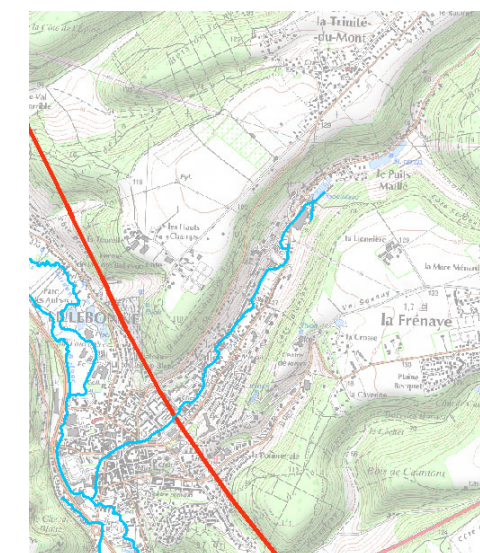
NB3 : Ce profil est peu précis du fait du peu d'ouvrages disponibles. Les niveaux de nappe indiqués sont ceux issus de l'interpolation. Ce profil est présenté au titre de schéma de principe

NB4 : La piézométrie présentée sur les coupes est celle de la version n°1 de l'interpolation

- Point de mesure : Puits/forage
- Interpolation niveau piézométrique (m NGF)
- Point de mesure : Ligne d'eau
- Interpolation ligne d'eau du cours d'eau (m NGF)
- Source
- Commune ou lieu-dit

D'après la coupe ci-dessus la rivière La Vallée semble connectée à la nappe en amont de la faille et perchée à l'aval. Toutefois les seuls points de mesures eaux souterraines à l'amont de la faille sont des sources. Aucune mesure n'a été réalisée en puits/forage faute d'ouvrage disponible. Il n'est donc pas exclu que la rivière puisse être au moins localement en position perchée même à l'amont de la faille. Ce point serait à vérifier par des mesures en forage.

La position perchée à l'aval de la faille semble en revanche attestée par la mesure dans le puits de l'amphithéâtre romain.



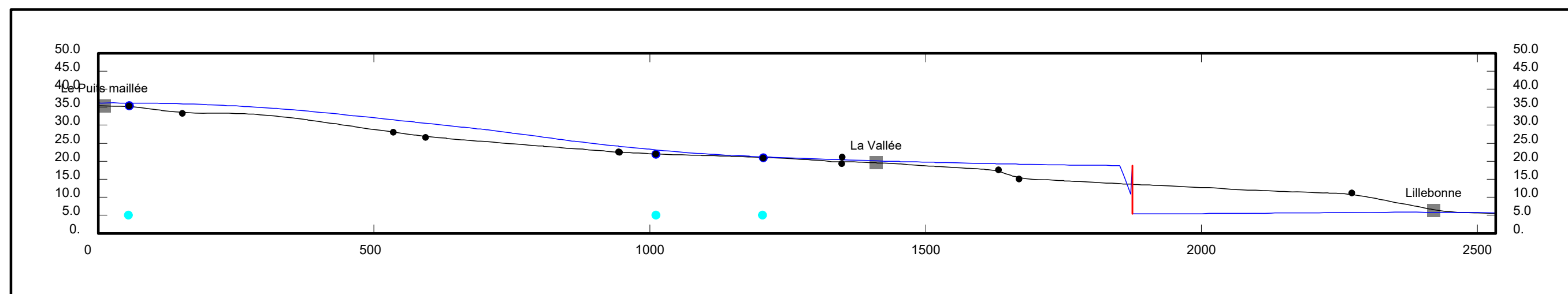
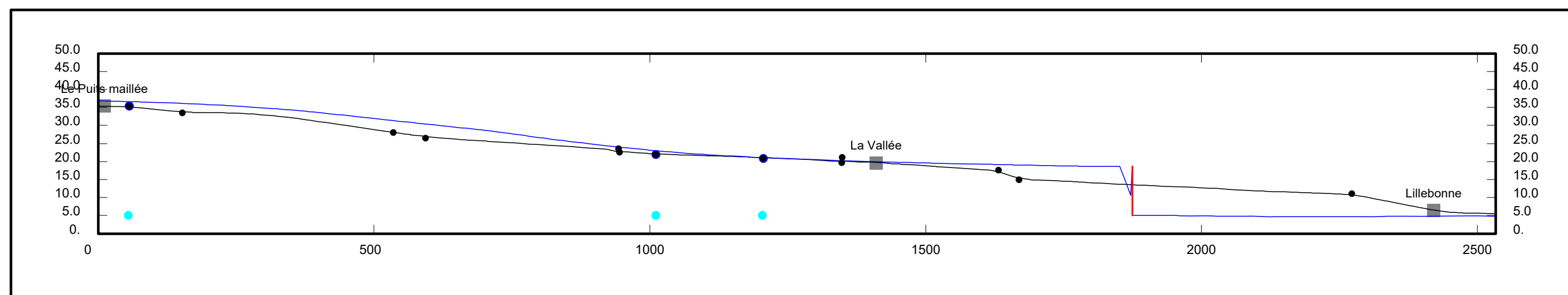


Figure 35 - Coupes longitudinales 2017 (en haut) et 2019 (en bas) de la rivière la Vallée à Lillebonne
 NB1 : Les sources (points bleus clairs), ne sont pas positionnées en altitude sur la coupe mais juste en X/Y
 NB2 : Les variations locales des niveaux de nappe autour de la faille sont des artéfacts liés à l'interpolation
 NB3 : La piézométrie présentée sur les coupes est celle de la version n°1 de l'interpolation

- Point de mesure : Puits/forage
- Interpolation niveau piézométrique (m NGF)
- Point de mesure : Ligne d'eau
- Interpolation ligne d'eau du cours d'eau (m NGF)
- Source
- Commune ou lieu-dit
- | Faille

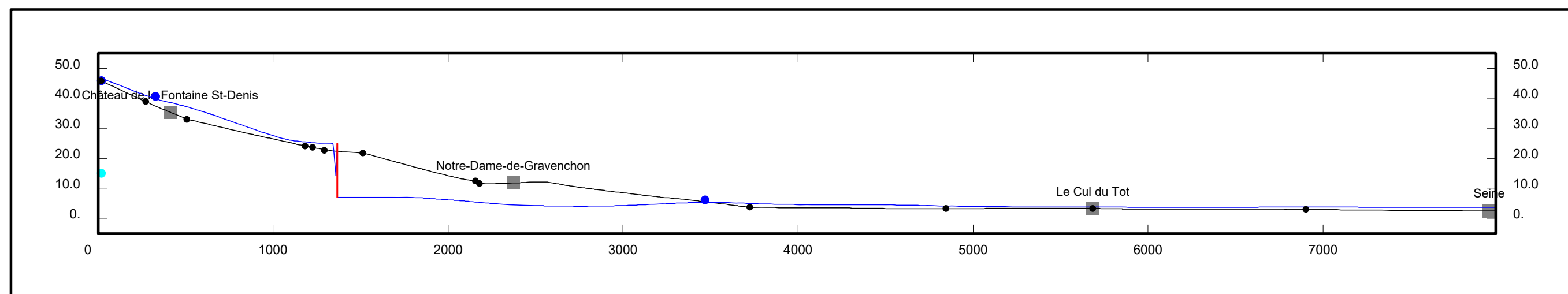
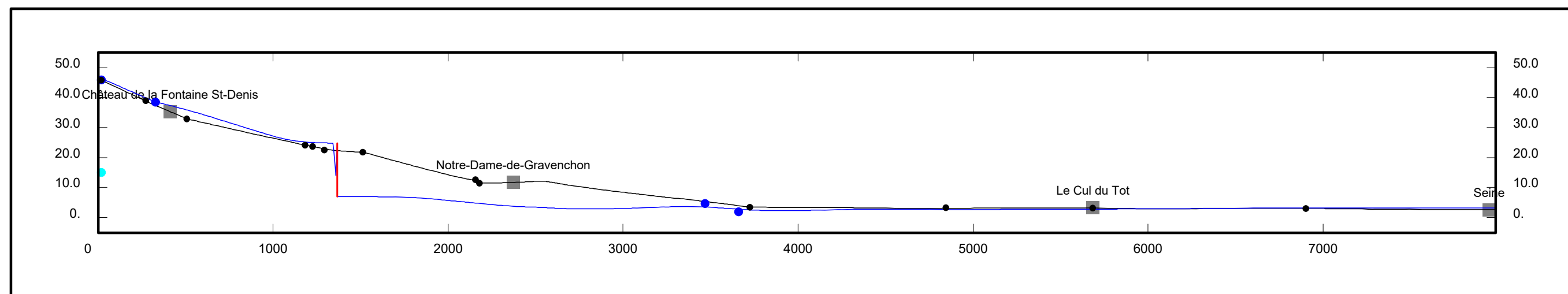


Figure 36 - Coupes longitudinales 2017 (en haut) et 2019 (en bas) de la vallée du Theluet
 NB1 : Les sources (points bleus clairs), ne sont pas positionnées en altitude sur la coupe mais juste en X/Y
 NB2 : Les variations locales des niveaux de nappe autour de la faille sont des artéfacts liés à l'interpolation
 NB3 : La piézométrie présentée sur les coupes est celle de la version n°1 de l'interpolation

- Point de mesure : Puits/forage
- Interpolation niveau piézométrique (m NGF)
- Point de mesure : Ligne d'eau
- Interpolation ligne d'eau du cours d'eau (m NGF)
- Source
- Commune ou lieu-dit
- | Faille

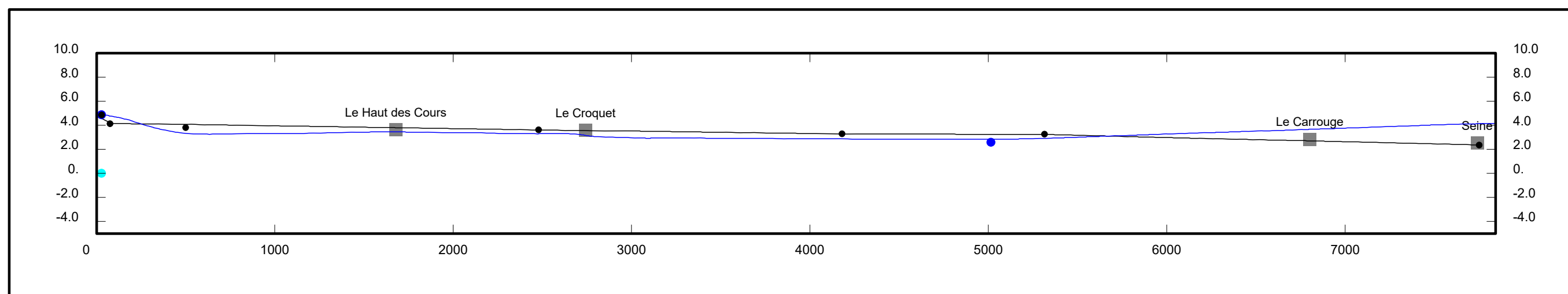
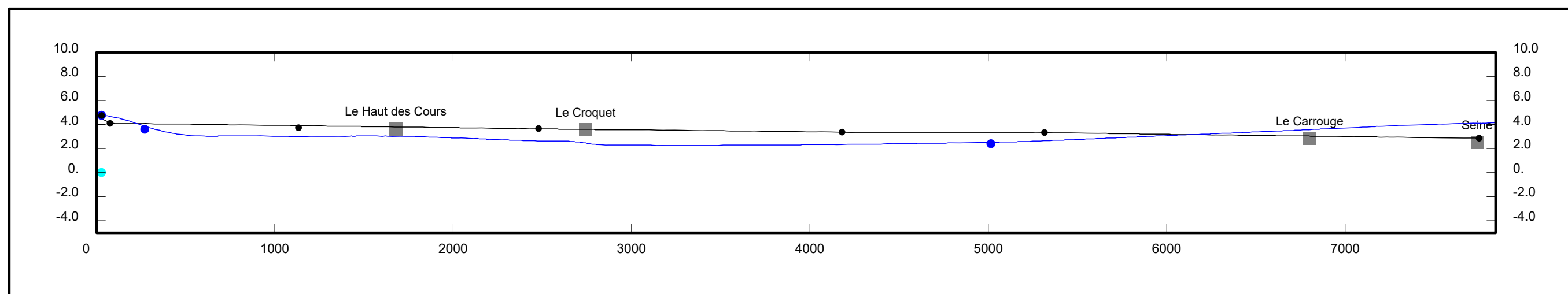


Figure 37 - Coupes longitudinales 2017 (en haut) et 2019 (en bas) de la vallée du Hannebot
 NB1 : Les sources (points bleus clairs), ne sont pas positionnées en altitude sur la coupe mais juste en X/Y
 NB2 : Les variations locales des niveaux de nappe autour de la faille sont des artéfacts liés à l'interpolation
 NB3 : La piézométrie présentée sur les coupes est celle de la version n°1 de l'interpolation

- Point de mesure : Puits/forage
- Interpolation niveau piézométrique (m NGF)
- Point de mesure : Ligne d'eau
- Interpolation ligne d'eau du cours d'eau (m NGF)
- Source
- Commune ou lieu-dit

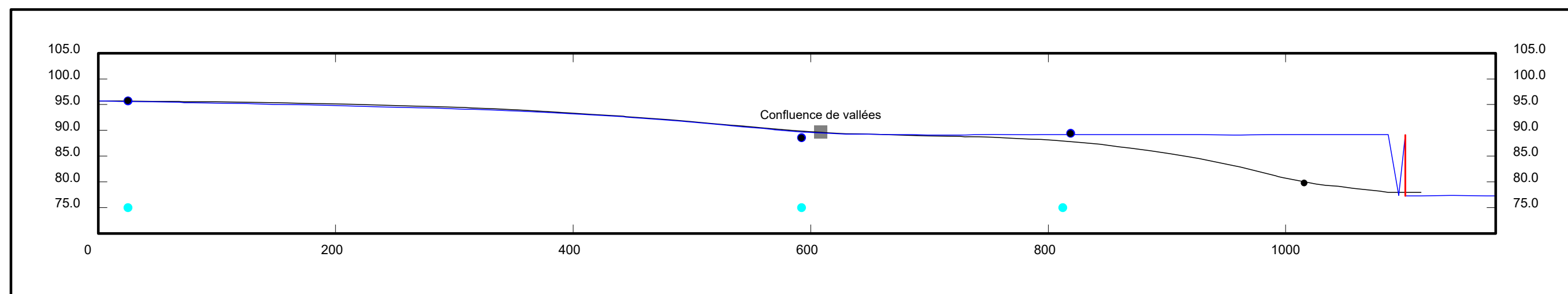
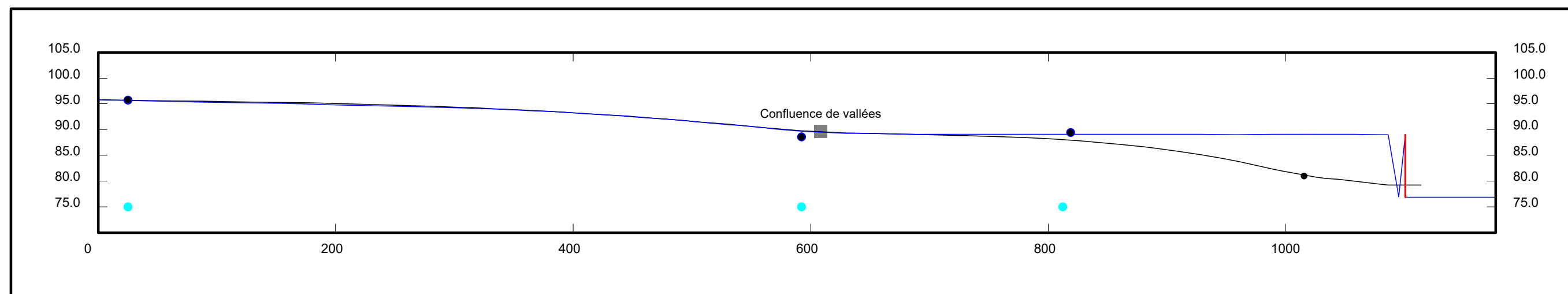


Figure 38 - Coupes longitudinales 2017 (en haut) et 2019 (en bas) de la vallée de Bébec
 NB1 : Les sources (points bleus clairs), ne sont pas positionnées en altitude sur la coupe mais juste en X/Y
 NB2 : Les variations locales des niveaux de nappe autour de la faille sont des artéfacts liés à l'interpolation
 NB3 : La piézométrie présentée sur les coupes est celle de la version n°1 de l'interpolation

- Point de mesure : Puits/forage
- Interpolation niveau piézométrique (m NGF)
- Point de mesure : Ligne d'eau
- Interpolation ligne d'eau du cours d'eau (m NGF)
- Source
- Commune ou lieu-dit
- | Faille

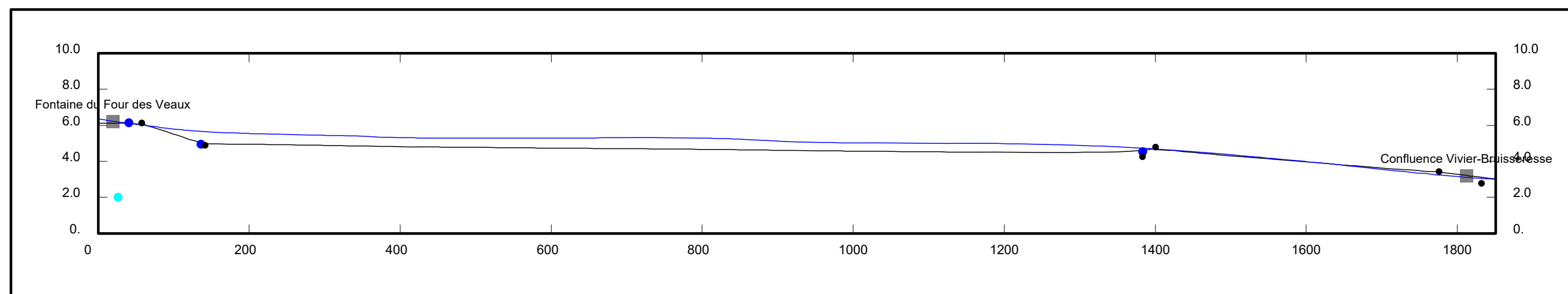
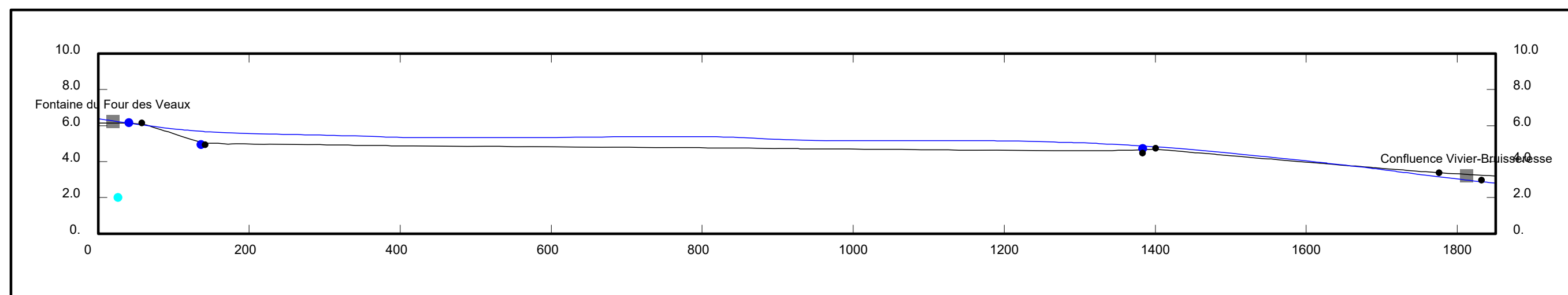


Figure 39 - Coupes longitudinales 2017 (en haut) et 2019 (en bas) de la vallée du Vivier
 NB1 : Les sources (points bleus clairs), ne sont pas positionnées en altitude sur la coupe mais juste en X/Y
 NB2 : Les variations locales des niveaux de nappe autour de la faille sont des artéfacts liés à l'interpolation
 NB3 : La piézométrie présentée sur les coupes est celle de la version n°1 de l'interpolation

- Point de mesure : Puits/forage
- Interpolation niveau piézométrique (m NGF)
- Point de mesure : Ligne d'eau
- Interpolation ligne d'eau du cours d'eau (m NGF)
- Source
- Commune ou lieu-dit

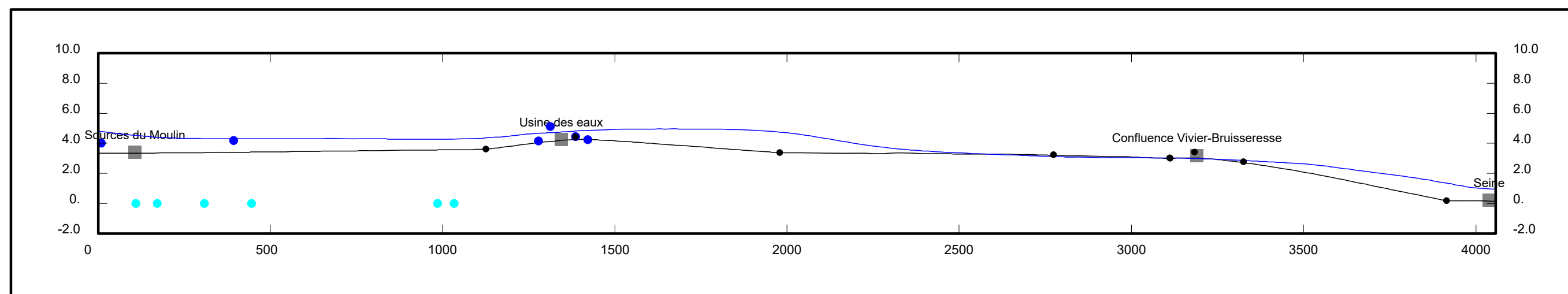
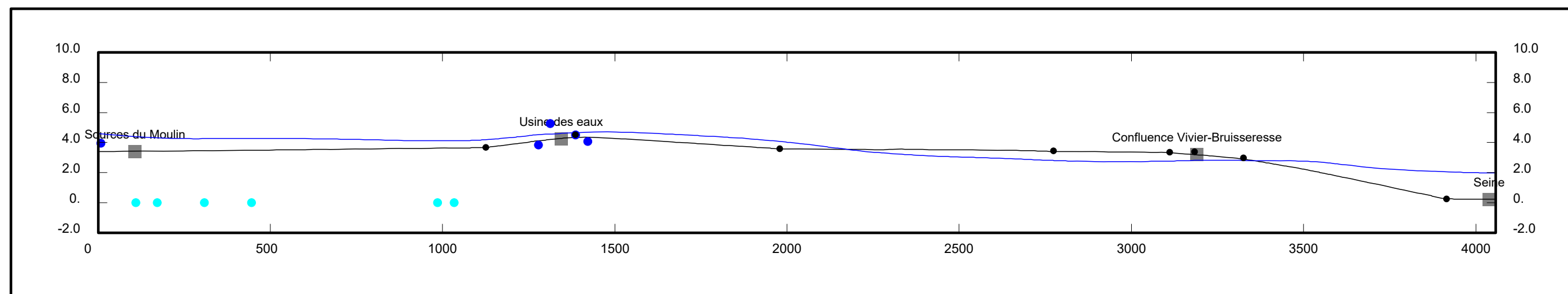


Figure 40 - Coupes longitudinales 2017 (en haut) et 2019 (en bas) de la vallée de la Bruisseresse
 NB1 : Les sources (points bleus clairs), ne sont pas positionnées en altitude sur la coupe mais juste en X/Y
 NB2 : Les variations locales des niveaux de nappe autour de la faille sont des artéfacts liés à l'interpolation
 NB3 : La piézométrie présentée sur les coupes est celle de la version n°1 de l'interpolation

- Point de mesure : Puits/forage
- Interpolation niveau piézométrique (m NGF)
- Point de mesure : Ligne d'eau
- Interpolation ligne d'eau du cours d'eau (m NGF)
- Source
- Commune ou lieu-dit

Annexe 5

Données utilisées pour évaluer les prélèvements agricoles

Coefficients cultureux utilisés pour le calcul de l'ETM

Période	Blé tendre	Orge	Protéagineux (Pois)	Maïs
5-janv.	1	0,5	0,5	0,5
15-janv.	1	0,5	0,5	0,5
25-janv.	1	0,5	0,5	0,5
5-févr.	1	0,5	0,5	0,5
15-févr.	1	0,5	0,5	0,5
25-févr.	1	0,5	0,5	0,5
5-mars	1	0,5	0,5	0,5
15-mars	1	0,5	0,5	0,5
25-mars	1	0,5	0,5	0,5
5-avr.	1	1	0,5	0,5
15-avr.	1	1	0,5	0,5
25-avr.	1,2	1,2	0,5	0,5
5-mai	1,2	1,2	0,5	0,5
15-mai	1,2	1,2	1	0,5
25-mai	1,2	1,2	1,2	0,5
5-juin	1,2	1,2	1,2	0,6
15-juin	1,2	1,2	1,2	0,6
25-juin	1	1	0,5	0,8
5-juil.	0,7	1	0,5	1,15
15-juil.	0,6	0,5	0,5	1,15
25-juil.	0,6	0,5	0,5	1,15
5-août	0,5	0,5	0,5	1,15
15-août	0,5	0,5	0,5	1,15
25-août	0,5	0,5	0,5	0,9
5-sept.	0,5	0,5	0,5	0,9
15-sept.	0,5	0,5	0,5	0,9
25-sept.	0,5	0,5	0,5	0,9
5-oct.	0,5	0,5	0,5	0,9
15-oct.	0,5	0,5	0,5	0,9
25-oct.	0,5	0,5	0,5	0,5
5-nov.	0,85	0,5	0,5	0,5
15-nov.	0,9	0,5	0,5	0,5
25-nov.	1	0,5	0,5	0,5
5-déc.	1	0,5	0,5	0,5
15-déc.	1	0,5	0,5	0,5
25-déc.	1	0,5	0,5	0,5

Source : Chambre Agriculture de l'Eure

Cultures dans la zone d'étude en 2015, 2011 et 2010

Les terres agricoles situées dans la zone d'étude sont majoritairement des cultures de blé tendre, des prairies permanentes et du maïs (grains et ensilage), En 2015, ces cultures représentent respectivement 30,6 %, 23,3 % et 12,5 % des terrains agricoles, Les autres cultures ne représentent qu'entre 7,7 % (plantes à fibres) et 0,01 % (légumineuses à grains),

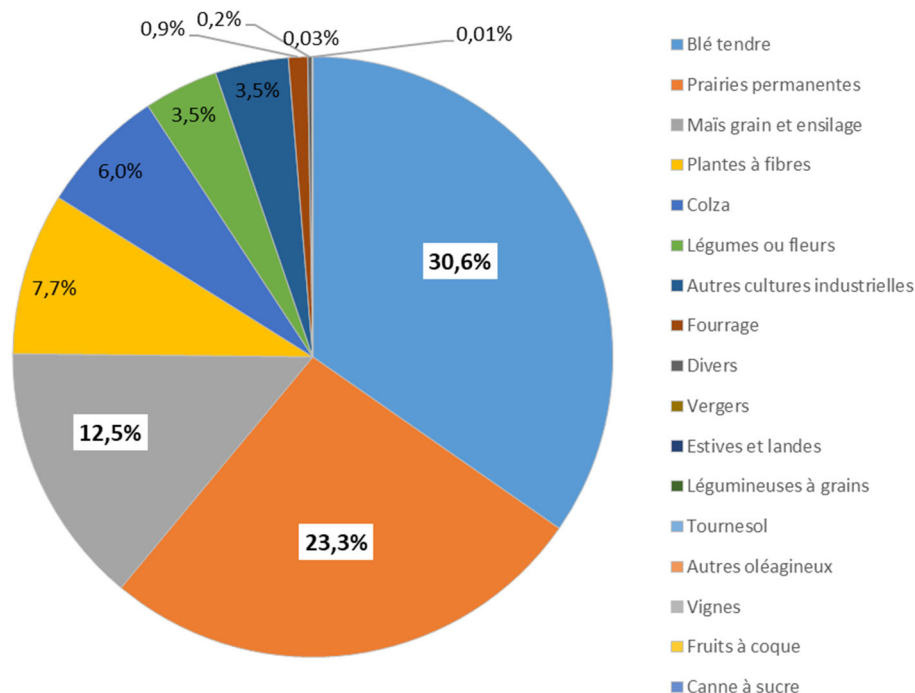
La répartition des cultures en 2015 est très similaire à celles de 2011 et 2010, Il est cependant à noter, entre 2010 et 2015, une légère baisse de la surface des terrains agricoles,

Ces faibles différences nous permettent de poser l'hypothèse d'une très faible variation des cultures au cours du temps, Les cultures de 2015 seront ainsi utilisées pour l'ensemble de la période 1994 – 2015,

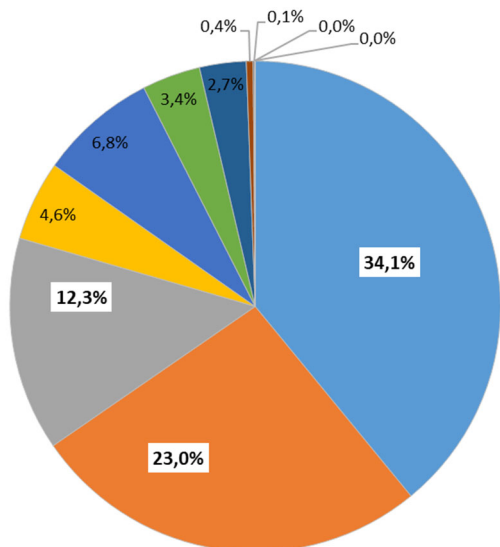
Libellé Groupe Culture	2015		2011		2010	
	Surface (m ²)	%	Surface (m ²)	%	Surface (m ²)	%
Blé tendre	152 989 988	30,6%	171 632 028	34,1%	171 632 028	34,1%
Prairies permanentes	116 297 738	23,3%	115 784 464	23,0%	115 784 464	23,0%
Maïs grain et ensilage	62 328 971	12,5%	61 950 522	12,3%	61 950 522	12,3%
Plantes à fibres	38 555 959	7,7%	23 106 029	4,6%	23 106 029	4,6%
Colza	30 181 641	6,0%	34 063 798	6,8%	34 063 798	6,8%
Prairies temporaires	25 607 789	5,1%	30 209 763	6,0%	30 209 763	6,0%
Orge	20 797 736	4,2%	18 216 633	3,6%	18 216 633	3,6%
Légumes ou fleurs	17 643 346	3,5%	16 915 894	3,4%	16 915 894	3,4%
Autres cultures industrielles	17 442 783	3,5%	13 506 168	2,7%	13 506 168	2,7%
Protéagineux	8 396 277	1,7%	9 591 007	1,9%	9 591 007	1,9%
Fourrage	4 526 408	0,9%	1 955 847	0,4%	1 955 847	0,4%
Gel (surfaces gelées sans production)	2 489 083	0,5%	0	0,0%	0	0,0%
Autres céréales	1 256 971	0,3%	1 244 380	0,2%	1 244 380	0,2%
Divers	1 014 914	0,2%	532 425	0,1%	532 425	0,1%
Vergers	139 313	0,03%	55 322	0,0%	55 322	0,0%
Estives et landes	59 506	0,01%	0	0,0%	0	0,0%
Légumineuses à grains	6 929	0,00%	0	0,0%	0	0,0%
Tournesol	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Autres oléagineux	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Semences	0	0,0%	2 527 591	0,5%	2 527 591	0,5%
Autres gels	0	0,0%	1 886 040	0,4%	1 886 040	0,4%
Riz	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Vignes	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Fruits à coque	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Oliviers	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Canne à sucre	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
Total	499 735 352	100%	503 177 911	100%	503 177 911	100%

Répartition des cultures dans la zone d'étude en 2015, 2011 et 2010

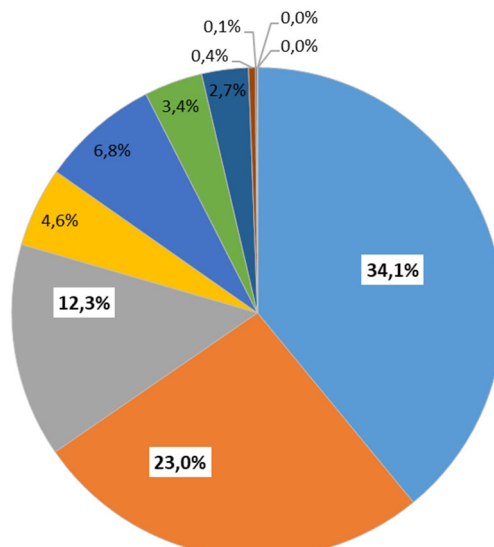
Répartition des cultures sur la zone d'étude en 2015



Répartition des cultures sur la zone d'étude en 2010



Répartition des cultures sur la zone d'étude en 2011



Annexe 6

Eléments utilisés pour l'analyse de la qualité des eaux souterraines et superficielles

Données ESU : nombre de données disponibles, période de référence par point d'eau, par paramètre

Numéro station	3185164		3185620		3206150		3206250		3206350		3207030		3185950		3000000		3100000		3185210		3186000	
	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période
Température eau (Teau)	24	2012-2013	88	1995-2017	167	1995-2017	113	1993-2006	96	2007-2017	32	1993-2006	94	1995-2017					125	1993-2017	275	1993-2017
pH	24	2012-2013	88	1995-2017	167	1995-2017	114	1993-2006	96	2007-2017	32	1993-2006	94	1995-2017	21	2005-2012			125	1993-2017	275	1993-2017
Conductivité	24	2012-2013	88	1995-2017	189	1995-2017	114	1993-2006	96	2007-2017	32	1993-2006	94	1995-2017	20	2005-2012			125	1993-2017	271	1993-2017
Potentiel redox (eH)	3	2012-2013			5	2012-2015			5	2012-2015									26	1993-2015	48	1993-2015
Calcium (Ca)	4	2012-2013	20	1996-2017	31	1995-2017	18	1993-2010	20	2007-2017	7	2003-2006	19	2008-2017	17	2012-2012	3	1999-2000	129	1993-2017	234	1993-2017
Magnésium (Mg)	4	2012-2013	20	1996-2017	31	1995-2017	18	1993-2010	20	2007-2017	7	2003-2006	19	2008-2017	17	2012-2012	3	1999-2000	129	1993-2017	234	1993-2017
Sodium (Na)	4	2012-2013	20	1996-2017	31	1995-2017	18	1993-2010	20	2007-2017	7	2003-2006	19	2008-2017	18	2010-2012	3	1999-2000	129	1993-2017	234	1993-2017
Potassium (K)	4	2012-2013	20	1996-2017	31	1995-2017	18	1993-2010	20	2007-2017	7	2003-2006	19	2008-2017	17	2012	3	1999-2000	129	1993-2017	234	1993-2017
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	4	2012-2013	20	1996-2017	31	1995-2017	18	1993-2010	20	2007-2017	7	2003-2006	18	2008-2017	valeur estimée à partir des points aux alentours		3	1999-2000	129	1993-2017	234	1993-2017
Fluorures (F)					15	2000-2005	36	1993-2005			13	2002-2005			19	2005-2012			80	1993-2006	166	1993-2006
Chlorures (Cl)	4	2012-2013	19	1996-2017	31	1995-2017	18	1993-2010	20	2007-2017	7	2003-2006	19	2008-2017	16	2012-2012	3	1999-2000	129	1993-2017	234	1993-2017
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	4	2012-2013	19	1996-2017	31	1995-2017	18	1993-2010	20	2007-2017	7	2003-2006	19	2008-2017	18	2010-2012	3	1999-2000	129	1993-2017	234	1993-2017
Nitrites (NO ₂ ⁻)	23	2012-2013	87	1995-2017	182	1995-2017	106	1993-2010	94	2007-2017	17	1993-2006	94	1995-2017	24	2005-2012			131	1993-2017	288	1993-2017
Nitrates (NO ₃ ⁻)	23	2012-2013	87	1995-2017	187	1995-2017	115	1993-2010	94	2007-2017	32	1993-2006	94	1995-2017	24	2005-2012			134	1993-2017	293	1993-2017
Fer (Fe)					2	2016-2017	3	1993-1995	2	2016-2017	5	2002-2006			18	2010-2012			19	1995-2017	55	1993-2017
Manganèse (Mn)					2	2016-2017	3	1993-1995	2	2016-2017	5	2002-2006			18	2010-2012			19	1995-2017	55	1993-2017
Aluminium (Al)			1	2010-2010	26	2010-2017	3	1993-1995	26	2010-2017	5	2002-2006			18	2010-2012			25	1995-2017	55	1993-2017
Ammonium (NH ₄ ⁺)	23	2012-2013	87	1995-2017	184	1995-2017	100	1993-2010	94	2007-2017	20	1993-2006	93	1995-2017	24	2005-2012			130	1993-2017	285	1993-2017
Origine des données	Naïades		Naïades		Naïades		Naïades		Naïades		Naïades		Naïades		TEREOS / ARS		Thèse MASSEI (2001)		Naïades		Naïades	

Données ESO : nombre de données disponibles, période de référence par point d'eau, par paramètre

		Teau	pH	Conduc	eH	Ca	Mg	Na	K	HCO3-	F	Cl	SO4	NO2	NO3	Fe	Mn	Al	NH4	Origine des données
00756X0004	Nb de valeurs	9	9	7		8	8	8	8	8	7	8	8	8	8	8	8	2	8	ADES
	Période	1997-2016	1997-2016	2001-2016		1997-2016	1997-2016	1997-2016	1997-2016	1997-2016	1997-2014	1997-2016	1997-2016	1997-2016	1997-2016	1997-2016	1997-2016	1997-2016	1997-2001	
00756X0005	Nb de valeurs	9	9	7		8	8	8	8	8	7	8	8	8	8	8	8	2	8	ADES
	Période	1999-2016	1999-2016	2002-2016		1999-2016	1999-2016	1999-2016	1999-2016	1999-2016	1999-2014	1999-2016	1999-2016	1999-2016	1999-2016	1999-2016	1999-2016	1999-2016	1999-2002	
00756X0039	Nb de valeurs	12	12	9	3	11	11	11	11	11	7	11	11	11	11	11	11	1	11	ADES
	Période	1993-2016	1993-2016	2004-2016	2012-2012	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2014	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1999-1999	
00756X0120	Nb de valeurs	47	47	31		47	47	47	47	47	42	47	47	47	47	47	47	22	47	ADES
	Période	1993-2017	1993-2017	2000-2017		1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	
00756X0121	Nb de valeurs	53	53	37	3	52	52	52	52	52	44	52	52	52	52	52	52	22	52	ADES
	Période	1993-2017	1993-2017	2000-2017	2012-2012	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	
00984X0089	Nb de valeurs	11	11	8		10	10	10	10	10	9	11	11	11	11	11	10	3	11	ADES
	Période	1995-2017	1995-2017	2001-2017		1995-2017	1995-2017	1995-2017	1995-2017	1995-2017	1995-2015	1995-2017	1995-2017	1995-2017	1995-2017	1995-2017	1995-2017	1995-2017	1995-2001	
00983X0029	Nb de valeurs	13	13	9		12	12	12	12	12	10	12	13	13	13	12	12	5	13	ADES
	Période	1993-2017	1993-2017	2001-2017		1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2013	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2003	
00756X0082	Nb de valeurs	13	13	8		13	13	13	13	13	12	13	13	13	13	13	13	7	13	ADES
	Période	1994-2016	1994-2016	2001-2016		1994-2016	1994-2016	1994-2016	1994-2016	1994-2016	1994-2014	1994-2016	1994-2016	1994-2016	1994-2016	1994-2016	1994-2016	1994-2016	1994-2003	
00756X0122	Nb de valeurs	51	52	36	3	52	52	52	52	52	44	52	52	52	52	52	52	22	52	ADES
	Période	1993-2017	1993-2017	2000-2017	2012-2012	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	
00756X0151	Nb de valeurs	76	75	80	66	76	76	76	76	76	51	72	76	76	75	74	74	11	76	ADES
	Période	1998-2016	1998-2016	2000-2016	2000-2014	1998-2016	1998-2016	1998-2016	1998-2016	1998-2016	1998-2014	1998-2016	1998-2016	1998-2016	1998-2016	1998-2016	1998-2016	1998-2016	1998-2014	
00756X0138	Nb de valeurs	20	20	14		17	17	17	17	17	15	20	20	20	20	20	17	3	20	ADES
	Période	1993-2017	1993-2017	2002-2017		1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1997-2002	
00757X0004	Nb de valeurs	13	13	9		12	12	12	12	12	11	13	13	13	13	13	12	4	13	ADES

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

		Teau	pH	Conduc	eH	Ca	Mg	Na	K	HCO3-	F	Cl	SO4	NO2	NO3	Fe	Mn	Al	NH4	Origine des données
	<i>Période</i>	1994-2017	1994-2017	2003-2017		1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2015	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1997-2013	1994-2017	
00983X0058	<i>Nb de valeurs</i>	16	17	12		15	15	15	15	15	13	15	15	15	16	15	15	4	15	ADES
	<i>Période</i>	1994-2017	1994-2017	2002-2017		1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2015	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1996-2002	1994-2017	
00982X0083	<i>Nb de valeurs</i>	8	8	5		8	8	8	8	8	7	8	8	7	8	7	7	3	7	ADES
	<i>Période</i>	1993-2015	1993-2015	2005-2015		1993-2015	1993-2015	1993-2015	1993-2015	1993-2015	1993-2011	1993-2015	1993-2015	1993-2015	1993-2015	1993-2015	1993-2015	1993-1995	1993-2015	
00756X0040	<i>Nb de valeurs</i>	95	94	97	68	95	95	95	95	94	71	91	95	95	97	96	94	64	95	ADES
	<i>Période</i>	1993-2017	1993-2017	1999-2017	1999-2014	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2014	1993-2017	
00756X0041	<i>Nb de valeurs</i>	13	13	6		14	14	14	14	14	13	14	14	14	14	14	14	8	14	ADES
	<i>Période</i>	1993-2017	1993-2017	2003-2017		1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2013	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2003	1993-2017	
00756X0042	<i>Nb de valeurs</i>	24	24	15		25	25	25	25	25	22	25	25	25	25	25	25	11	25	ADES
	<i>Période</i>	1993-2016	1993-2016	2001-2016		1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2003	1993-2017	
00756X0043	<i>Nb de valeurs</i>	17	17	10		17	17	17	17	17	16	17	17	17	17	17	17	10	17	ADES
	<i>Période</i>	1993-2017	1993-2017	2001-2017		1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2003	1993-2017	
00756X0045	<i>Nb de valeurs</i>	13	13	4		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	12	ADES
	<i>Période</i>	1993-2013	1993-2013	2001-2013		1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1994-2003	
00756X0070	<i>Nb de valeurs</i>	29	29	13		17	17	17	17	17	15	17	28	28	28	17	17	2	28	ADES
	<i>Période</i>	1993-2017	1993-2017	2004-2017		1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	2000-2000	1993-2017	
00757X0005	<i>Nb de valeurs</i>	14	14	8		12	12	12	12	12	11	14	14	14	14	14	12	5	14	ADES
	<i>Période</i>	1993-2017	1993-2017	2003-2017		1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2003	1993-2017	
00756X0046	<i>Nb de valeurs</i>	17	17	9	5	17	17	17	17	17	13	17	17	17	17	16	16	9	17	ADES
	<i>Période</i>	1993-2016	1993-2016	2001-2016	2010-2014	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2013	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1995-2016	
00756X0047	<i>Nb de valeurs</i>	10	10	2		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	7	10	ADES
	<i>Période</i>	1993-2005	1993-2005	2003-2005		1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1995-2003	
00756X0139	<i>Nb de valeurs</i>	14	14	10	3	14	14	14	14	14	10	14	14	14	14	14	14	5	14	ADES
	<i>Période</i>	1993-2016	1993-2016	2003-2016	2012-2012	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2014	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2003	

Annexe 7

Données ESU : nombre de données disponibles, période de référence par point d'eau, par paramètre

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données
complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

Numéro station	3185164		3185620		3206150		3206250		3206350		3207030		3185950		3000000		3100000		3185210		3186000	
	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période	Nbre de valeurs	Période
Température eau (Teau)	24	2012-2013	88	1995-2017	167	1995-2017	113	1993-2006	96	2007-2017	32	1993-2006	94	1995-2017					125	1993-2017	275	1993-2017
pH	24	2012-2013	88	1995-2017	167	1995-2017	114	1993-2006	96	2007-2017	32	1993-2006	94	1995-2017	21	2005-2012			125	1993-2017	275	1993-2017
Conductivité	24	2012-2013	88	1995-2017	189	1995-2017	114	1993-2006	96	2007-2017	32	1993-2006	94	1995-2017	20	2005-2012			125	1993-2017	271	1993-2017
Potentiel redox (eH)	3	2012-2013			5	2012-2015			5	2012-2015									26	1993-2015	48	1993-2015
Calcium (Ca)	4	2012-2013	20	1996-2017	31	1995-2017	18	1993-2010	20	2007-2017	7	2003-2006	19	2008-2017	17	2012-2012	3	1999-2000	129	1993-2017	234	1993-2017
Magnésium (Mg)	4	2012-2013	20	1996-2017	31	1995-2017	18	1993-2010	20	2007-2017	7	2003-2006	19	2008-2017	17	2012-2012	3	1999-2000	129	1993-2017	234	1993-2017
Sodium (Na)	4	2012-2013	20	1996-2017	31	1995-2017	18	1993-2010	20	2007-2017	7	2003-2006	19	2008-2017	18	2010-2012	3	1999-2000	129	1993-2017	234	1993-2017
Potassium (K)	4	2012-2013	20	1996-2017	31	1995-2017	18	1993-2010	20	2007-2017	7	2003-2006	19	2008-2017	17	2012	3	1999-2000	129	1993-2017	234	1993-2017
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	4	2012-2013	20	1996-2017	31	1995-2017	18	1993-2010	20	2007-2017	7	2003-2006	18	2008-2017	valeur estimée à partir des points aux alentours		3	1999-2000	129	1993-2017	234	1993-2017
Fluorures (F)					15	2000-2005	36	1993-2005			13	2002-2005			19	2005-2012			80	1993-2006	166	1993-2006
Chlorures (Cl)	4	2012-2013	19	1996-2017	31	1995-2017	18	1993-2010	20	2007-2017	7	2003-2006	19	2008-2017	16	2012-2012	3	1999-2000	129	1993-2017	234	1993-2017
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	4	2012-2013	19	1996-2017	31	1995-2017	18	1993-2010	20	2007-2017	7	2003-2006	19	2008-2017	18	2010-2012	3	1999-2000	129	1993-2017	234	1993-2017
Nitrites (NO ₂ ⁻)	23	2012-2013	87	1995-2017	182	1995-2017	106	1993-2010	94	2007-2017	17	1993-2006	94	1995-2017	24	2005-2012			131	1993-2017	288	1993-2017
Nitrates (NO ₃ ⁻)	23	2012-2013	87	1995-2017	187	1995-2017	115	1993-2010	94	2007-2017	32	1993-2006	94	1995-2017	24	2005-2012			134	1993-2017	293	1993-2017
Fer (Fe)					2	2016-2017	3	1993-1995	2	2016-2017	5	2002-2006			18	2010-2012			19	1995-2017	55	1993-2017
Manganèse (Mn)					2	2016-2017	3	1993-1995	2	2016-2017	5	2002-2006			18	2010-2012			19	1995-2017	55	1993-2017
Aluminium (Al)			1	2010-2010	26	2010-2017	3	1993-1995	26	2010-2017	5	2002-2006			18	2010-2012			25	1995-2017	55	1993-2017
Ammonium (NH ₄ ⁺)	23	2012-2013	87	1995-2017	184	1995-2017	100	1993-2010	94	2007-2017	20	1993-2006	93	1995-2017	24	2005-2012			130	1993-2017	285	1993-2017
Origine des données	Naiades		Naiades		Naiades		Naiades		Naiades		Naiades		Naiades		TEREOS / ARS		Thèse MASSEI (2001)		Naiades		Naiades	

Annexe 8

Données ESO : nombre de données disponibles, période de référence par point d'eau, par paramètre

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données
complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

		Teau	pH	Conduc	eH	Ca	Mg	Na	K	HCO3-	F	Cl	SO4	NO2	NO3	Fe	Mn	Al	NH4	Origine des données
00756X0004	Nb de valeurs	9	9	7		8	8	8	8	8	7	8	8	8	8	8	8	2	8	ADES
	Période	1997-2016	1997-2016	2001-2016		1997-2016	1997-2016	1997-2016	1997-2016	1997-2016	1997-2014	1997-2016	1997-2016	1997-2016	1997-2016	1997-2016	1997-2016	1997-2001	1997-2016	
00756X0005	Nb de valeurs	9	9	7		8	8	8	8	8	7	8	8	8	8	8	8	2	8	ADES
	Période	1999-2016	1999-2016	2002-2016		1999-2016	1999-2016	1999-2016	1999-2016	1999-2016	1999-2014	1999-2016	1999-2016	1999-2016	1999-2016	1999-2016	1999-2016	1999-2002	1999-2016	
00756X0039	Nb de valeurs	12	12	9	3	11	11	11	11	11	7	11	11	11	11	11	11	1	11	ADES
	Période	1993-2016	1993-2016	2004-2016	2012-2012	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2014	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1999-1999	1993-2016	
00756X0120	Nb de valeurs	47	47	31		47	47	47	47	47	42	47	47	47	47	47	47	22	47	ADES
	Période	1993-2017	1993-2017	2000-2017		1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2003	1993-2017	
00756X0121	Nb de valeurs	53	53	37	3	52	52	52	52	52	44	52	52	52	52	52	52	22	52	ADES
	Période	1993-2017	1993-2017	2000-2017	2012-2012	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2003	1993-2017	
00984X0089	Nb de valeurs	11	11	8		10	10	10	10	10	9	11	11	11	11	11	10	3	11	ADES
	Période	1995-2017	1995-2017	2001-2017		1995-2017	1995-2017	1995-2017	1995-2017	1995-2017	1995-2015	1995-2017	1995-2017	1995-2017	1995-2017	1995-2017	1995-2017	1995-2001	1995-2017	
00983X0029	Nb de valeurs	13	13	9		12	12	12	12	12	10	12	13	13	13	12	12	5	13	ADES
	Période	1993-2017	1993-2017	2001-2017		1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2013	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2003	1993-2017	
00756X0082	Nb de valeurs	13	13	8		13	13	13	13	13	12	13	13	13	13	13	13	7	13	ADES
	Période	1994-2016	1994-2016	2001-2016		1994-2016	1994-2016	1994-2016	1994-2016	1994-2016	1994-2014	1994-2016	1994-2016	1994-2016	1994-2016	1994-2016	1994-2016	1994-2003	1994-2016	
00756X0122	Nb de valeurs	51	52	36	3	52	52	52	52	52	44	52	52	52	52	52	52	22	52	ADES
	Période	1993-2017	1993-2017	2000-2017	2012-2012	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2003	1993-2017	
00756X0151	Nb de valeurs	76	75	80	66	76	76	76	76	76	51	72	76	76	75	74	74	11	76	ADES
	Période	1998-2016	1998-2016	2000-2016	2000-2014	1998-2016	1998-2016	1998-2016	1998-2016	1998-2016	1998-2014	1998-2016	1998-2016	1998-2016	1998-2016	1998-2016	1998-2016	1998-2014	1998-2016	
00756X0138	Nb de valeurs	20	20	14		17	17	17	17	17	15	20	20	20	20	20	17	3	20	ADES
	Période	1993-2017	1993-2017	2002-2017		1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1997-2002	1993-2017	
00757X0004	Nb de valeurs	13	13	9		12	12	12	12	12	11	13	13	13	13	13	12	4	13	ADES

Etat des connaissances géologiques et hydrogéologiques et acquisitions de données complémentaires sur le territoire du SAGE de la vallée du Commerce

		Teau	pH	Conduc	eH	Ca	Mg	Na	K	HCO3-	F	Cl	SO4	NO2	NO3	Fe	Mn	Al	NH4	Origine des données
	<i>Période</i>	1994-2017	1994-2017	2003-2017		1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2015	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1997-2013	1994-2017	
00983X0058	<i>Nb de valeurs</i>	16	17	12		15	15	15	15	15	13	15	15	15	16	15	15	4	15	ADES
	<i>Période</i>	1994-2017	1994-2017	2002-2017		1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2015	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1994-2017	1996-2002	1994-2017	
00982X0083	<i>Nb de valeurs</i>	8	8	5		8	8	8	8	8	7	8	8	7	8	7	7	3	7	ADES
	<i>Période</i>	1993-2015	1993-2015	2005-2015		1993-2015	1993-2015	1993-2015	1993-2015	1993-2015	1993-2011	1993-2015	1993-2015	1993-2015	1993-2015	1993-2015	1993-2015	1993-1995	1993-2015	
00756X0040	<i>Nb de valeurs</i>	95	94	97	68	95	95	95	95	94	71	91	95	95	97	96	94	64	95	ADES
	<i>Période</i>	1993-2017	1993-2017	1999-2017	1999-2014	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2014	1993-2017	
00756X0041	<i>Nb de valeurs</i>	13	13	6		14	14	14	14	14	13	14	14	14	14	14	14	8	14	ADES
	<i>Période</i>	1993-2017	1993-2017	2003-2017		1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2013	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2003	1993-2017	
00756X0042	<i>Nb de valeurs</i>	24	24	15		25	25	25	25	25	22	25	25	25	25	25	25	11	25	ADES
	<i>Période</i>	1993-2016	1993-2016	2001-2016		1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2003	1993-2017	
00756X0043	<i>Nb de valeurs</i>	17	17	10		17	17	17	17	17	16	17	17	17	17	17	17	10	17	ADES
	<i>Période</i>	1993-2017	1993-2017	2001-2017		1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2003	1993-2017	
00756X0045	<i>Nb de valeurs</i>	13	13	4		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	10	12	ADES
	<i>Période</i>	1993-2013	1993-2013	2001-2013		1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1993-2013	1994-2003	
00756X0070	<i>Nb de valeurs</i>	29	29	13		17	17	17	17	17	15	17	28	28	28	17	17	2	28	ADES
	<i>Période</i>	1993-2017	1993-2017	2004-2017		1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	2000-2000	1993-2017	
00757X0005	<i>Nb de valeurs</i>	14	14	8		12	12	12	12	12	11	14	14	14	14	14	12	5	14	ADES
	<i>Période</i>	1993-2017	1993-2017	2003-2017		1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2015	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2017	1993-2003	1993-2017	
00756X0046	<i>Nb de valeurs</i>	17	17	9	5	17	17	17	17	17	13	17	17	17	17	16	16	9	17	ADES
	<i>Période</i>	1993-2016	1993-2016	2001-2016	2010-2014	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2013	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1995-2016	
00756X0047	<i>Nb de valeurs</i>	10	10	2		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	7	10	ADES
	<i>Période</i>	1993-2005	1993-2005	2003-2005		1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1993-2005	1995-2003	
00756X0139	<i>Nb de valeurs</i>	14	14	10	3	14	14	14	14	14	10	14	14	14	14	14	14	5	14	ADES
	<i>Période</i>	1993-2016	1993-2016	2003-2016	2012-2012	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2014	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2016	1993-2003	

Annexe 9

Cartes de synthèse sur la qualité des eaux

a) Paramètres pris en compte dans l'analyse

Groupe de paramètres du SANDRE	Simplifications utilisées des groupes
Acetamides et metabolites	Pesticides
Acides carboxyliques	Acides carboxyliques
Alcools et polyols	Alcools
Aldehydes et cetonnes	Pesticides
Alkylphenols, nonylphenols et bisphenols A	Phénols
Amides (hors acetamides)	Pesticides
Anilines et derives	Pharmaceutique
Autres elements mineraux	Eléments minéraux
Autres phenols	Phénols
Benzene et derives	Hydrocarbures
Carbamates et thiocarbamates	Pesticides
Chloroalcanes SCCP	Chloroalcanes
Chlorobenzene et mono-aromatiques halogenes	Hydrocarbures
Chlorophenols	Phénols
COHV, solvants chlores, freons	COHV
Divers (autres organiques)	Pesticides
HAP (Hydrocarbures, aromatiques, polycyclique, pyrolytique et derives)	Hydrocarbures
Hydrocarbures et indices lies	Hydrocarbures
Indices globaux (AOX, DCO, ...)	Indices
Metaux et metalloides	Métaux
Metaux lourds	Métaux
Microbiologique	Microbiologie
Organochlores	Pesticides
Organometalliques	Métaux
Organophosphores	Pesticides
Parametres azotes	Paramètres
Parametres phosphores	Paramètres
PBDE et PBB	PBDE et PBB
PCB (arochlores), PCT, Dioxines, Furanes (PCDD, PCDF)	PCB
PFC (PFOA, PFOS)	PFC
Phenoxyacides	Pesticides
Phtalates	Perturbateurs endocriniens
Physique	Indices
Pyrethrinoides	Pesticides
Radioactifs, isotopes et traceurs	Radioactifs
Steroles et steroides (oestrogenes, progestogenes)	Pharmaceutique
Triazines et metabolites	Pesticides
Triazoles et imidazoles	Pesticides
Urees Sulfonylurees et metabolites	Pesticides

Tableau 1 : tableau de correspondance entre les groupes de paramètres Sandre et les simplifications utilisées dans le cadre de cette étude.

Simplifications utilisées des groupes	Résultats cartographiques ESO présentés	Résultats cartographiques ESU présentés
Acides carboxyliques	X	X
Alcools	X	X
Chloroalcane	X	X
COHV	X	X
Eléments minéraux	X	X
Hydrocarbures	X	X
Indices	X	X
Métaux	X	X
Paramètres	X	X
PBDE et PBB	PBDE	PBDE
PCB	X	X
Pesticides	X	X
PFC		X
Pharmaceutique	X	X
Phénols	X	X
Radioactifs	X	

Tableau 2 : Tableau précisant pour quels groupes simplifiés les résultats cartographiques ont été établis

b) Analyse pour les Eaux Souterraines (ESO)

- Dernière mesure
- Maximum connu
- Percentile 90
- Médiane

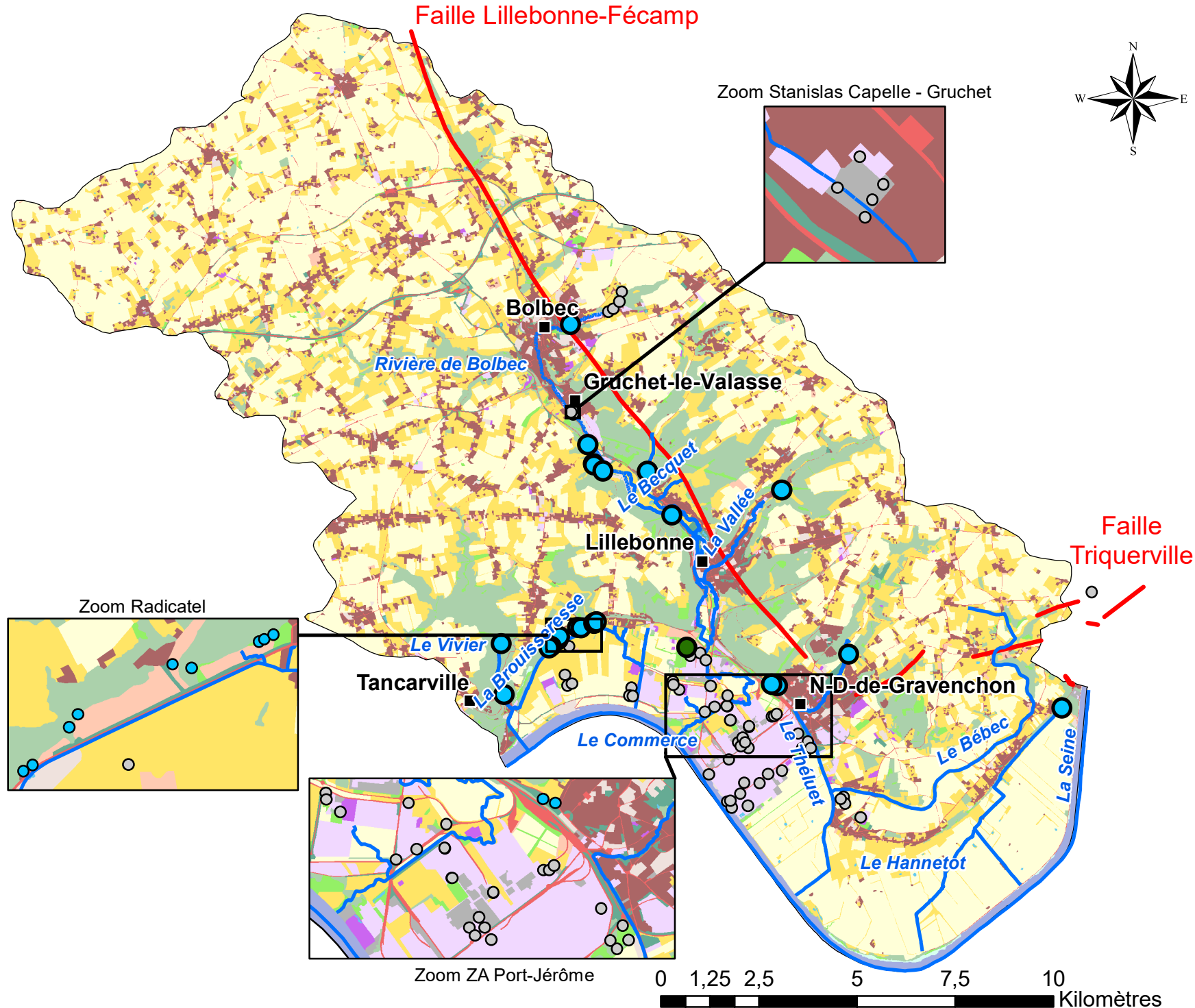
c) Analyse pour les Eaux Superficielles (ESU)

- Dernière mesure
- Maximum connu
- Percentile 90
- Médiane

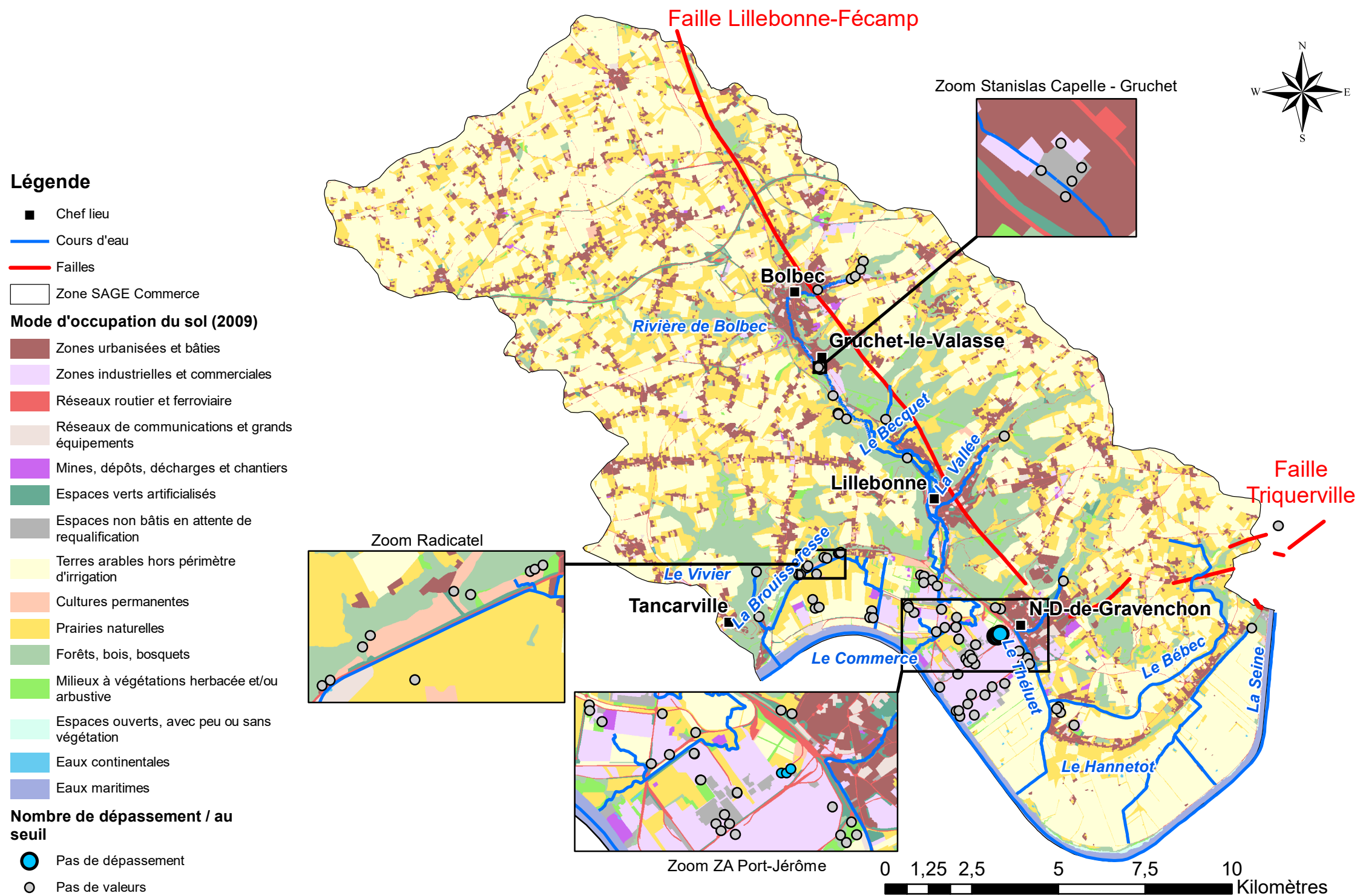
Valeur médiane A_Carboxy dans les eaux souterraines

Légende

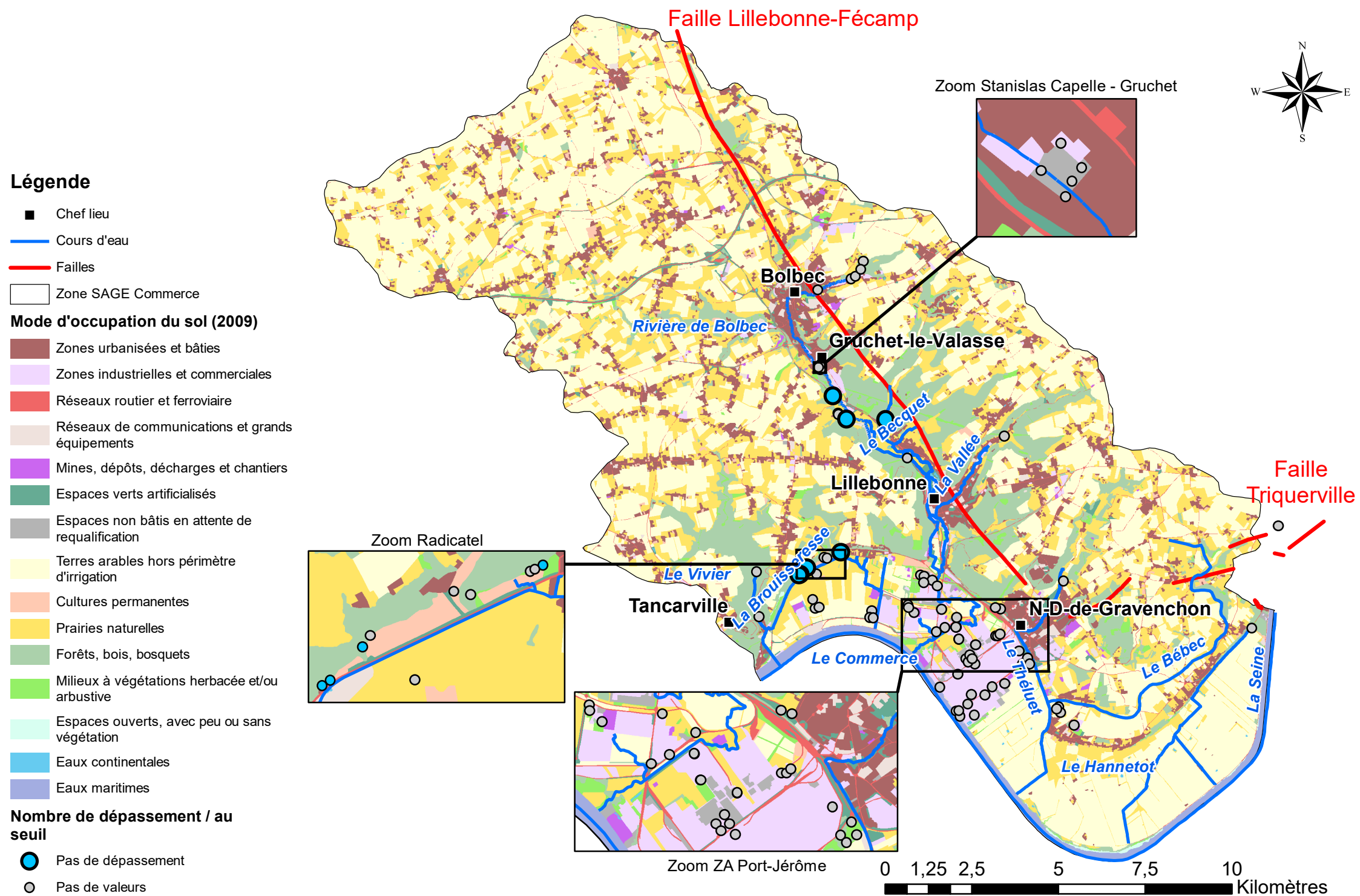
- Chef lieu
 - Cours d'eau
 - Failles
 - Zone SAGE Commerce
- Mode d'occupation du sol (2009)**
- Zones urbanisées et bâties
 - Zones industrielles et commerciales
 - Réseaux routier et ferroviaire
 - Réseaux de communications et grands équipements
 - Mines, dépôts, décharges et chantiers
 - Espaces verts artificialisés
 - Espaces non bâtis en attente de requalification
 - Terres arables hors périmètre d'irrigation
 - Cultures permanentes
 - Prairies naturelles
 - Forêts, bois, bosquets
 - Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
 - Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
 - Eaux continentales
 - Eaux maritimes
- Nombre de dépassement / au seuil**
- 1 - 2
 - Pas de dépassement
 - Pas de valeurs



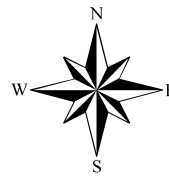
Valeur médiane Alcools dans les eaux souterraines



Valeur médiane Chloroalcan dans les eaux souterraines



Valeur médiane COHV dans les eaux souterraines



Légende

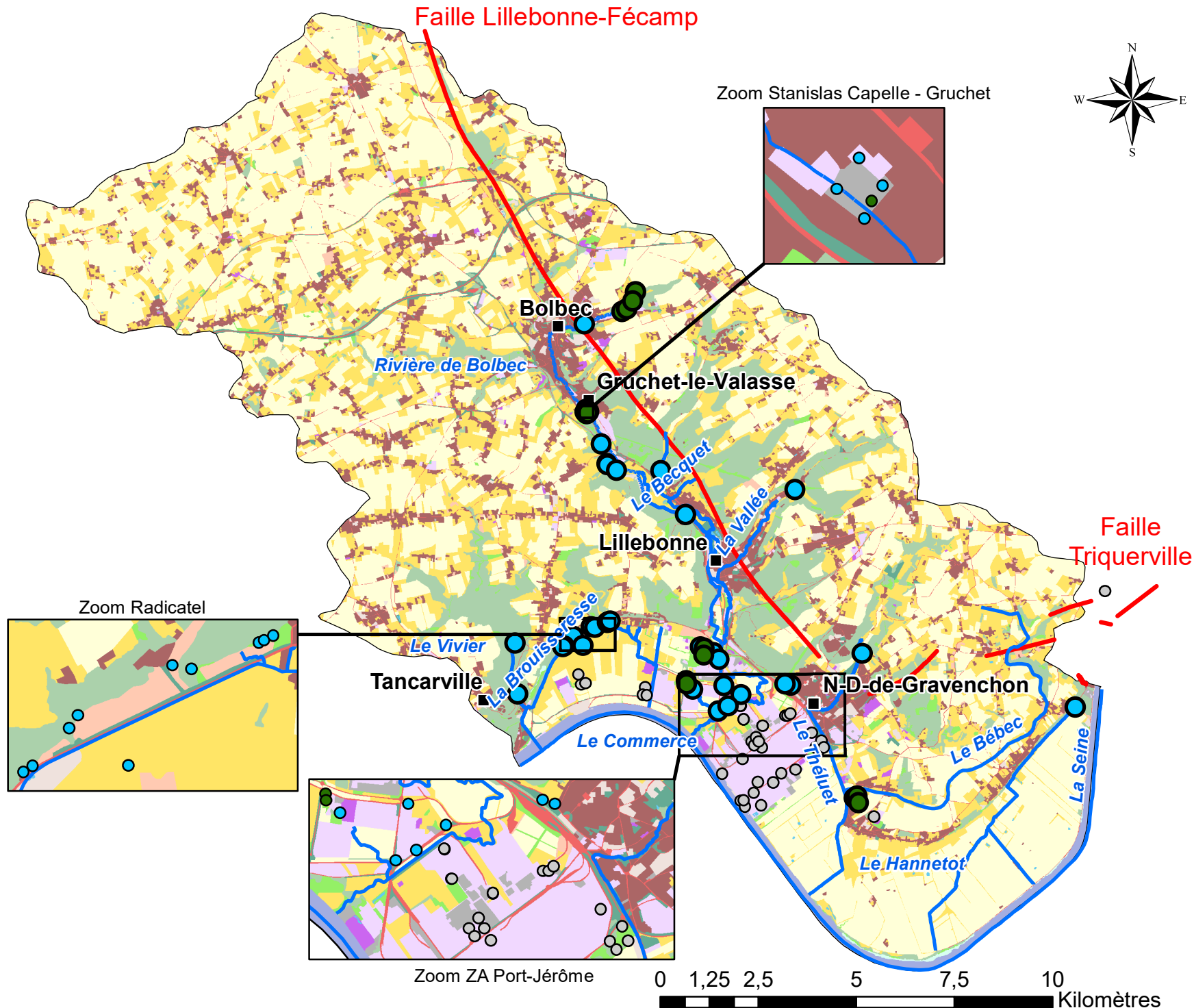
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

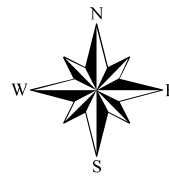
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane E_minéraux dans les eaux souterraines



Légende

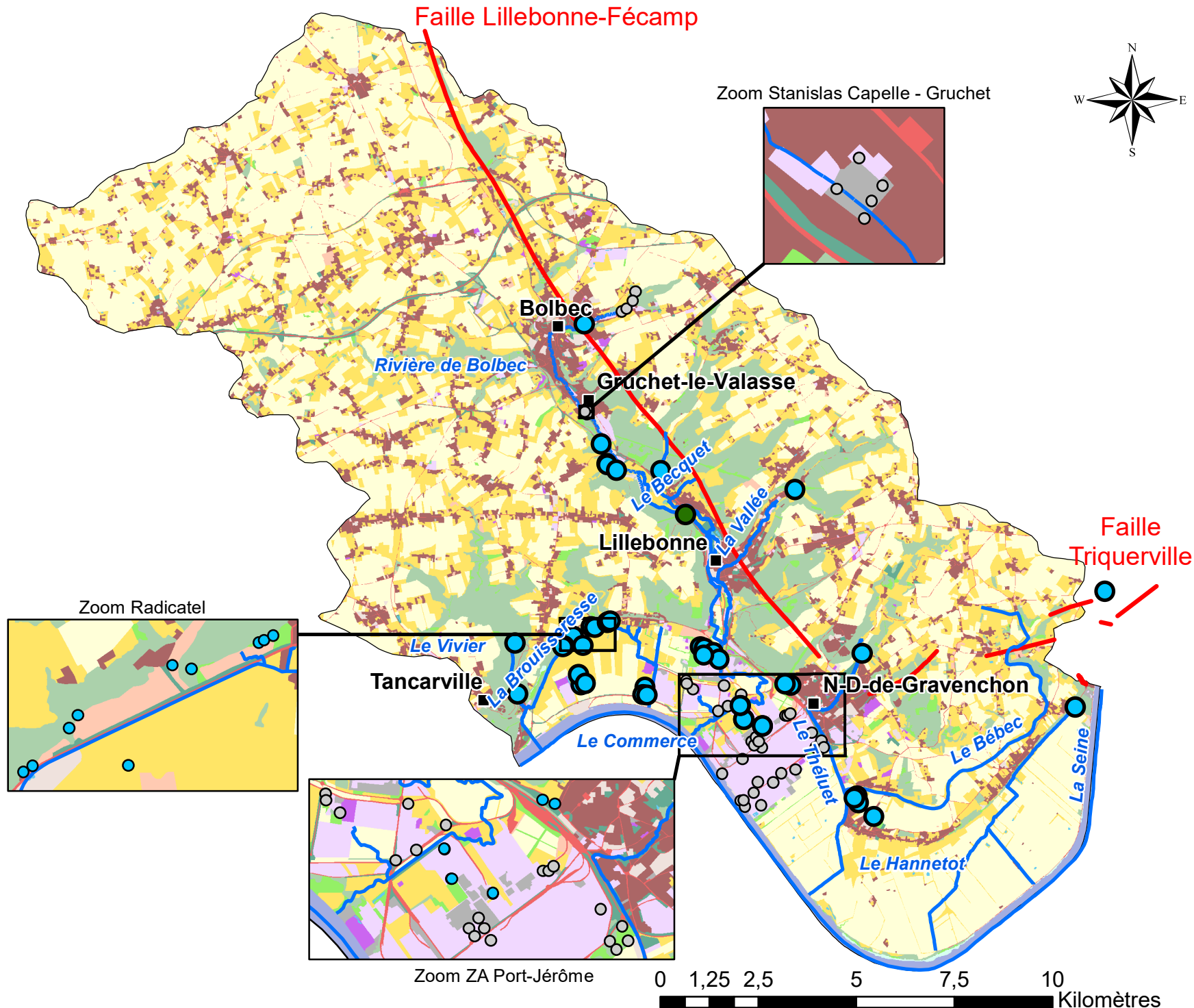
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

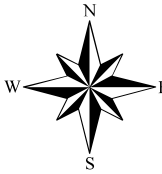
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane Hydrocarbu dans les eaux souterraines



Légende

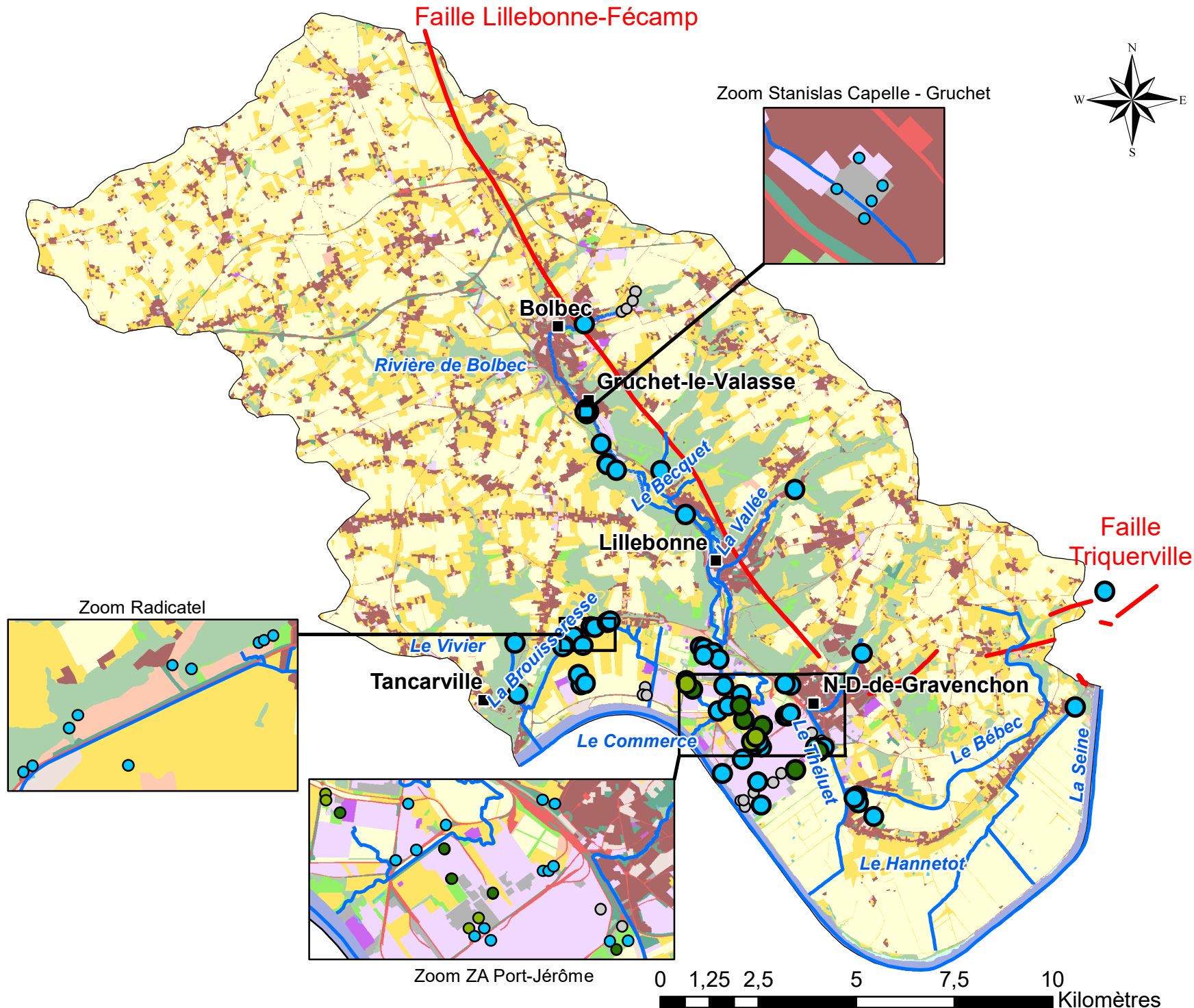
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

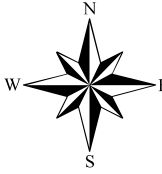
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

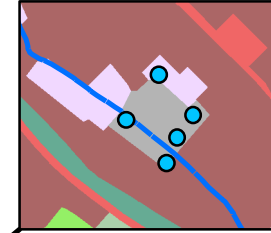
- 1 - 2
- 3 - 4
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



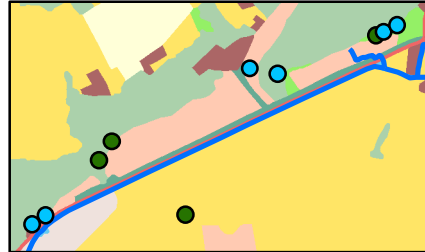
Valeur médiane Indices dans les eaux souterraines



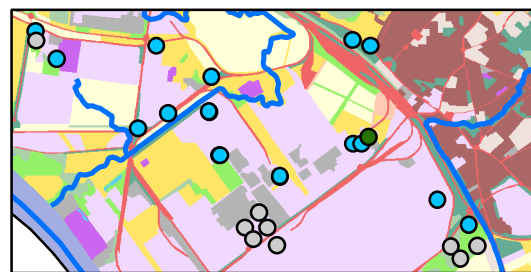
Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Zoom Radicatel



Zoom ZA Port-Jérôme



Légende

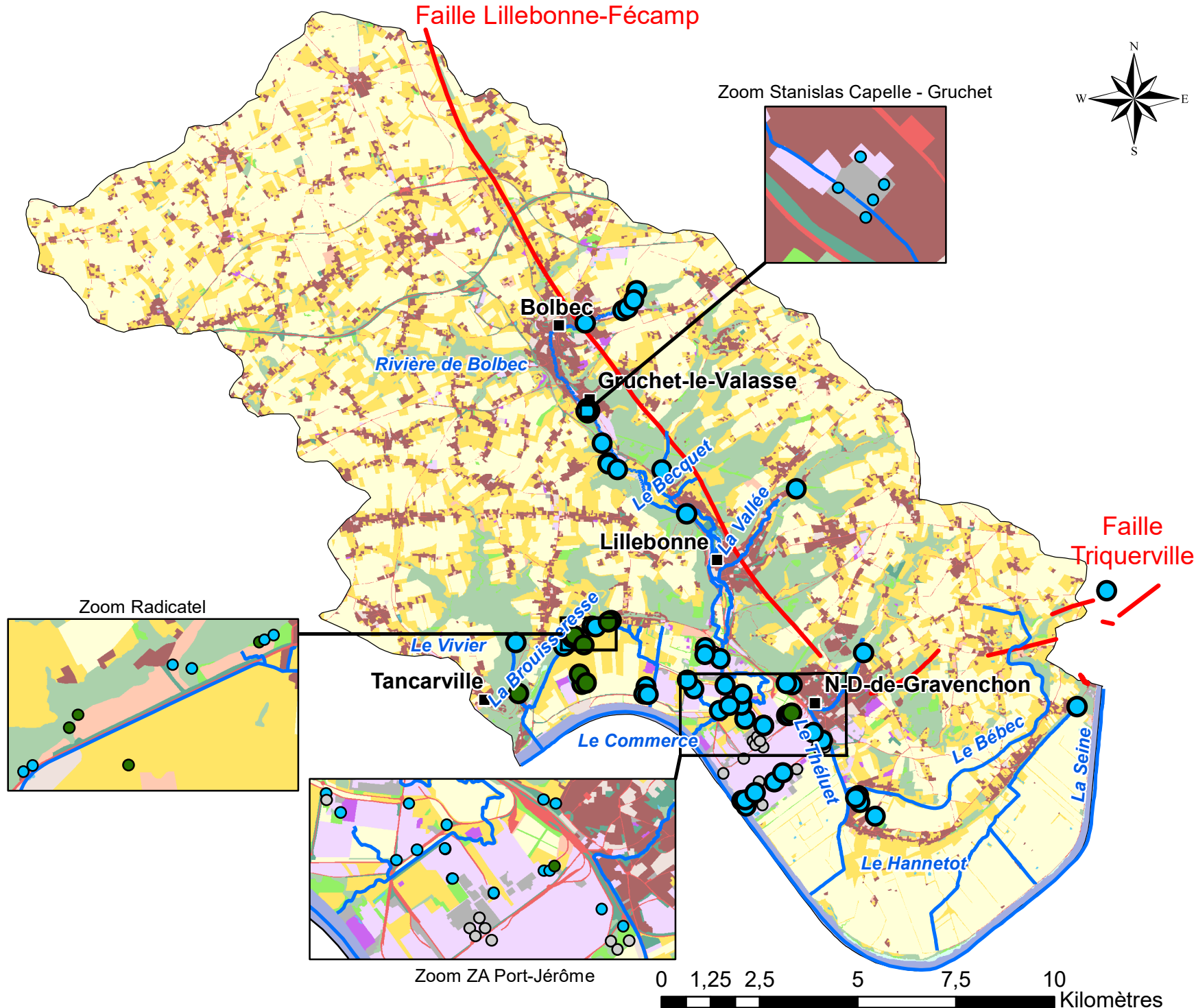
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

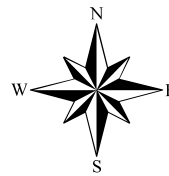
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane Metaux dans les eaux souterraines



Légende

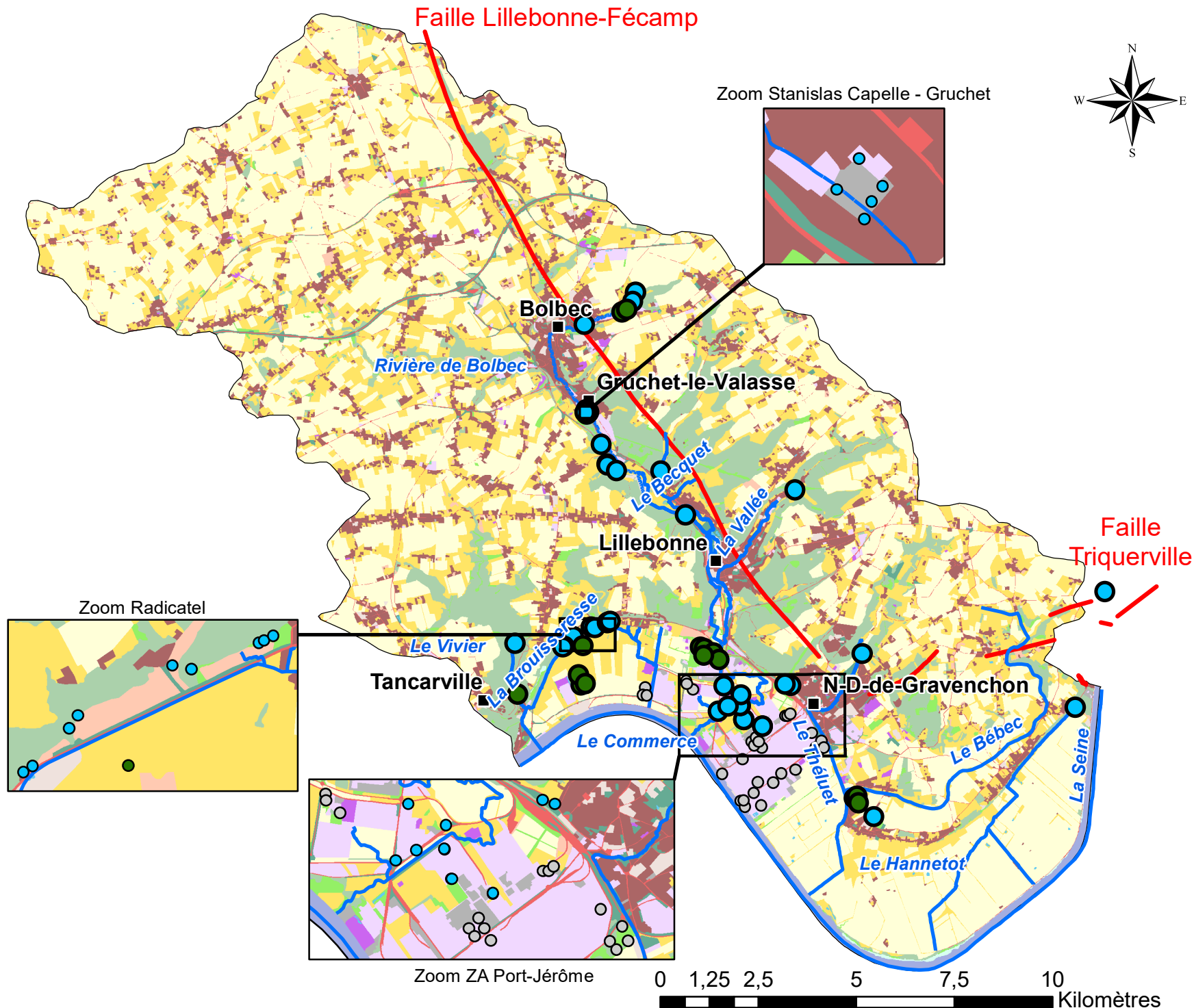
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

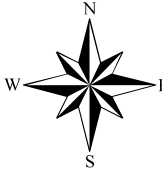
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane Paramètres dans les eaux souterraines



Légende

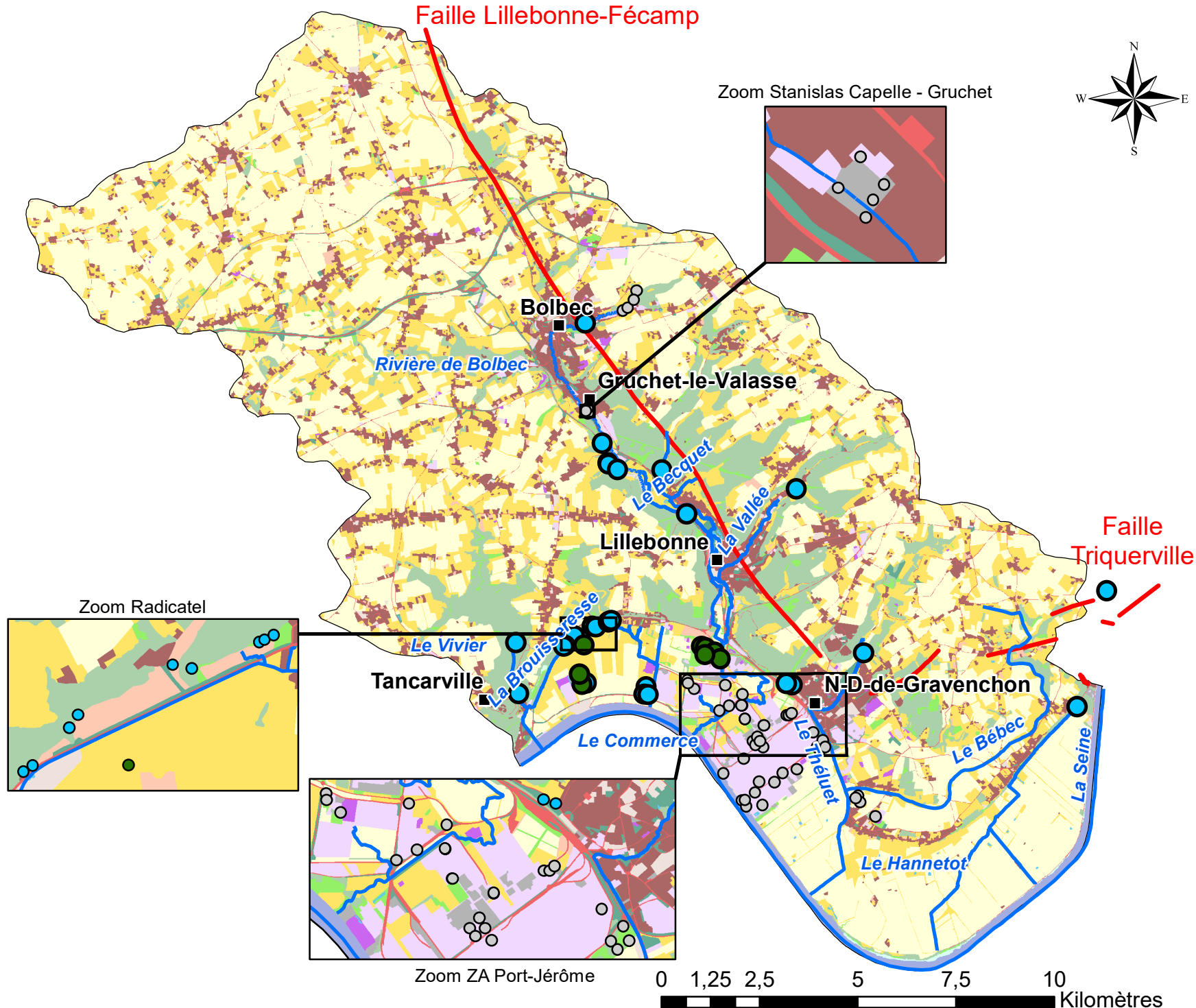
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



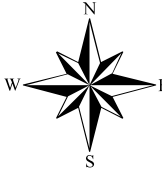
Zoom Stanislas Capelle - Gruchet

Zoom Radicatel

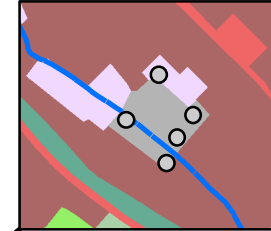
Zoom ZA Port-Jérôme

0 1,25 2,5 5 7,5 10 Kilomètres

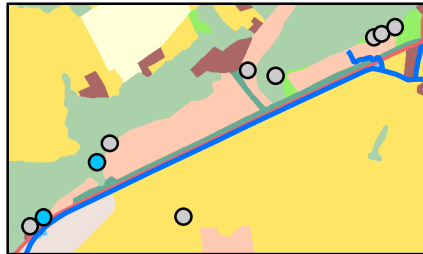
Valeur médiane PBDE dans les eaux souterraines



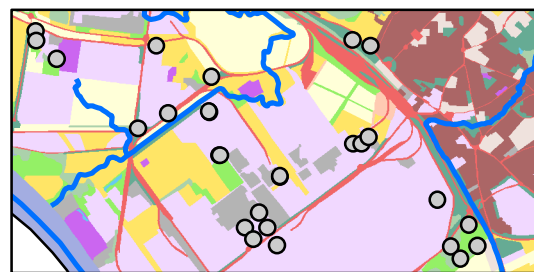
Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Zoom Radicatel

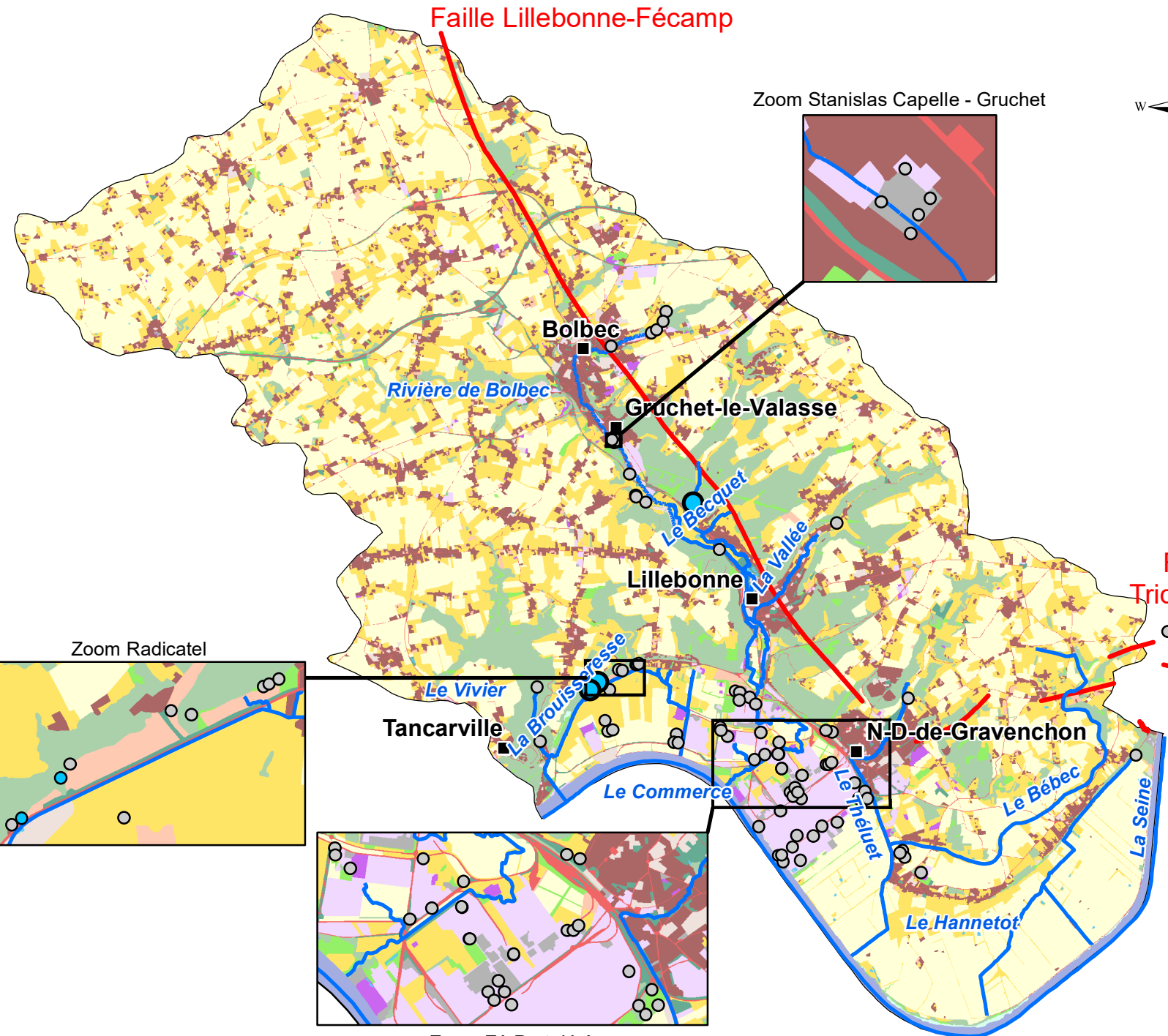


Zoom ZA Port-Jérôme



Faïlle Triquerville

Faïlle Lillebonne-Fécamp



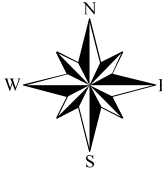
Légende

- Chef lieu
 - Cours d'eau
 - Failles
 - Zone SAGE Commerce
- Mode d'occupation du sol (2009)**
- Zones urbanisées et bâties
 - Zones industrielles et commerciales
 - Réseaux routier et ferroviaire
 - Réseaux de communications et grands équipements
 - Mines, dépôts, décharges et chantiers
 - Espaces verts artificialisés
 - Espaces non bâtis en attente de requalification
 - Terres arables hors périmètre d'irrigation
 - Cultures permanentes
 - Prairies naturelles
 - Forêts, bois, bosquets
 - Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
 - Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
 - Eaux continentales
 - Eaux maritimes

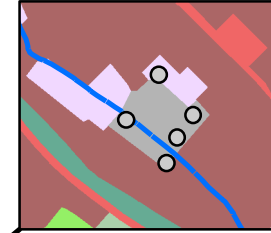
Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

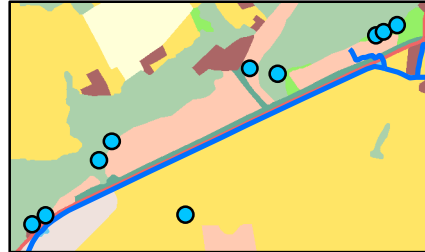
Valeur médiane PCB dans les eaux souterraines



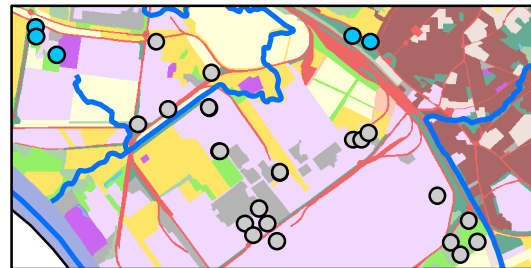
Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Zoom Radicatel

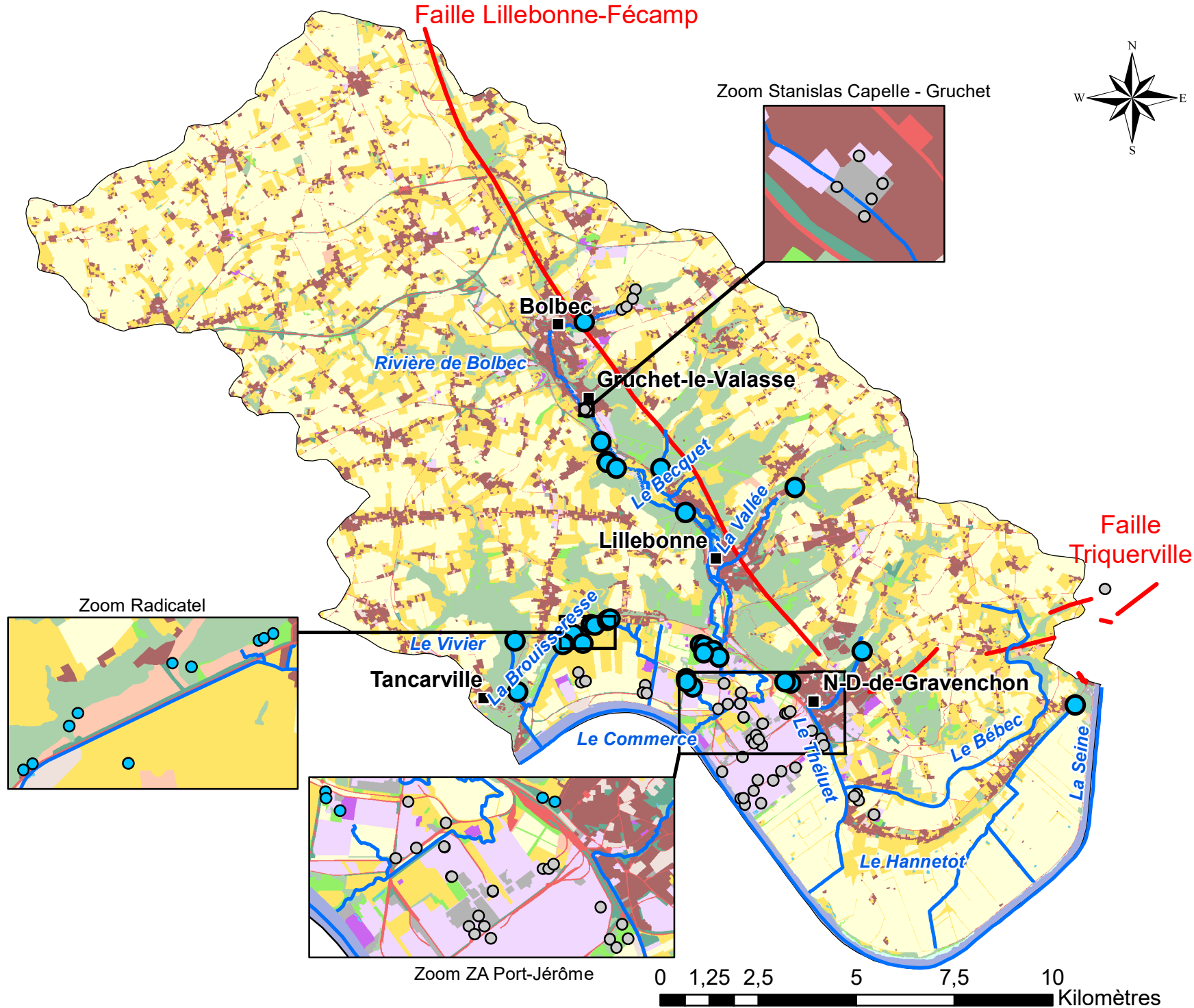


Zoom ZA Port-Jérôme



Faïlle Triquerville

Faïlle Lillebonne-Fécamp



Légende

- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

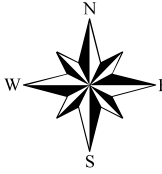
Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

Valeur médiane Pesticides dans les eaux souterraines



Légende

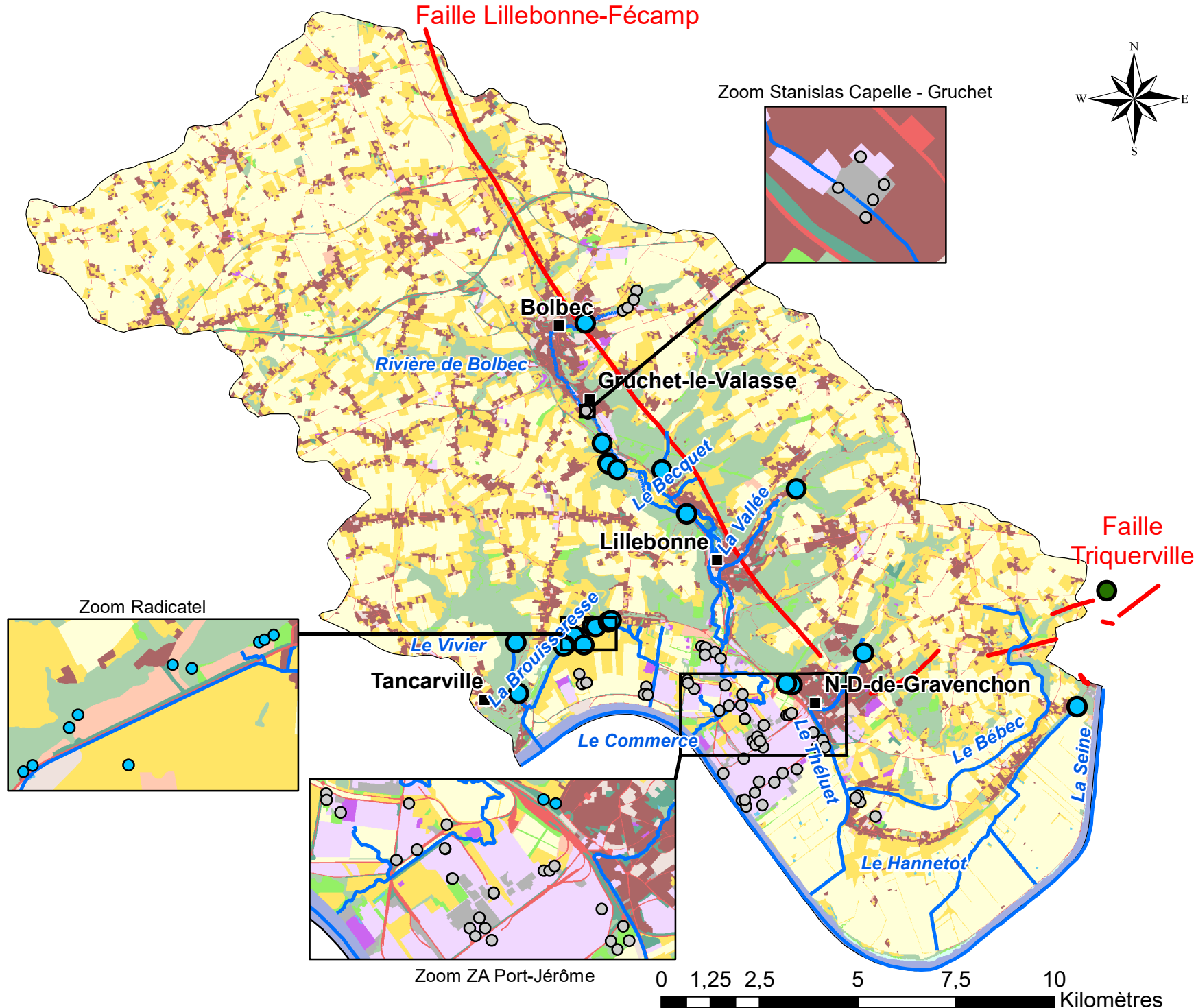
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

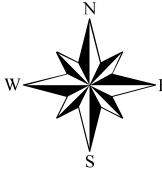
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

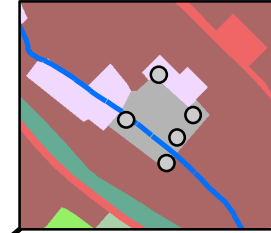
- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



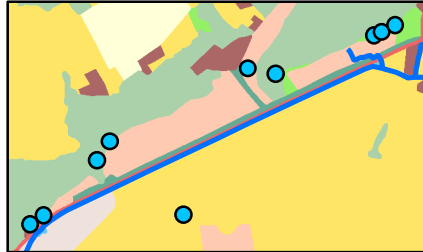
Valeur médiane Pharmacie dans les eaux souterraines



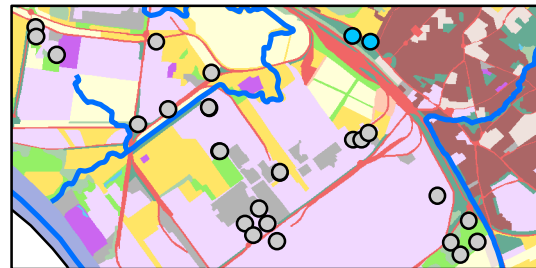
Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Zoom Radicatel



Zoom ZA Port-Jérôme



Faille Triquerville



Légende

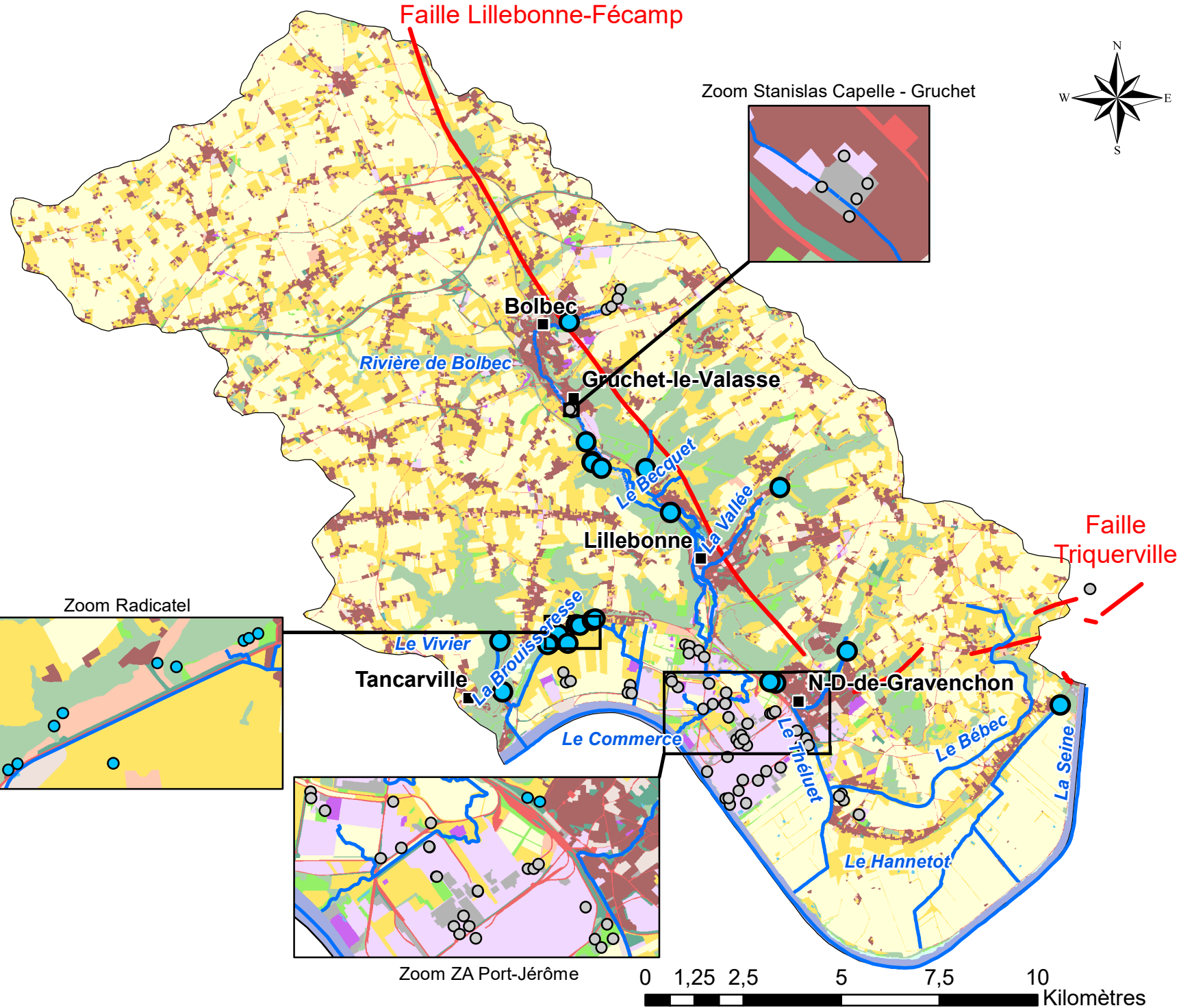
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane Phenols dans les eaux souterraines

Légende

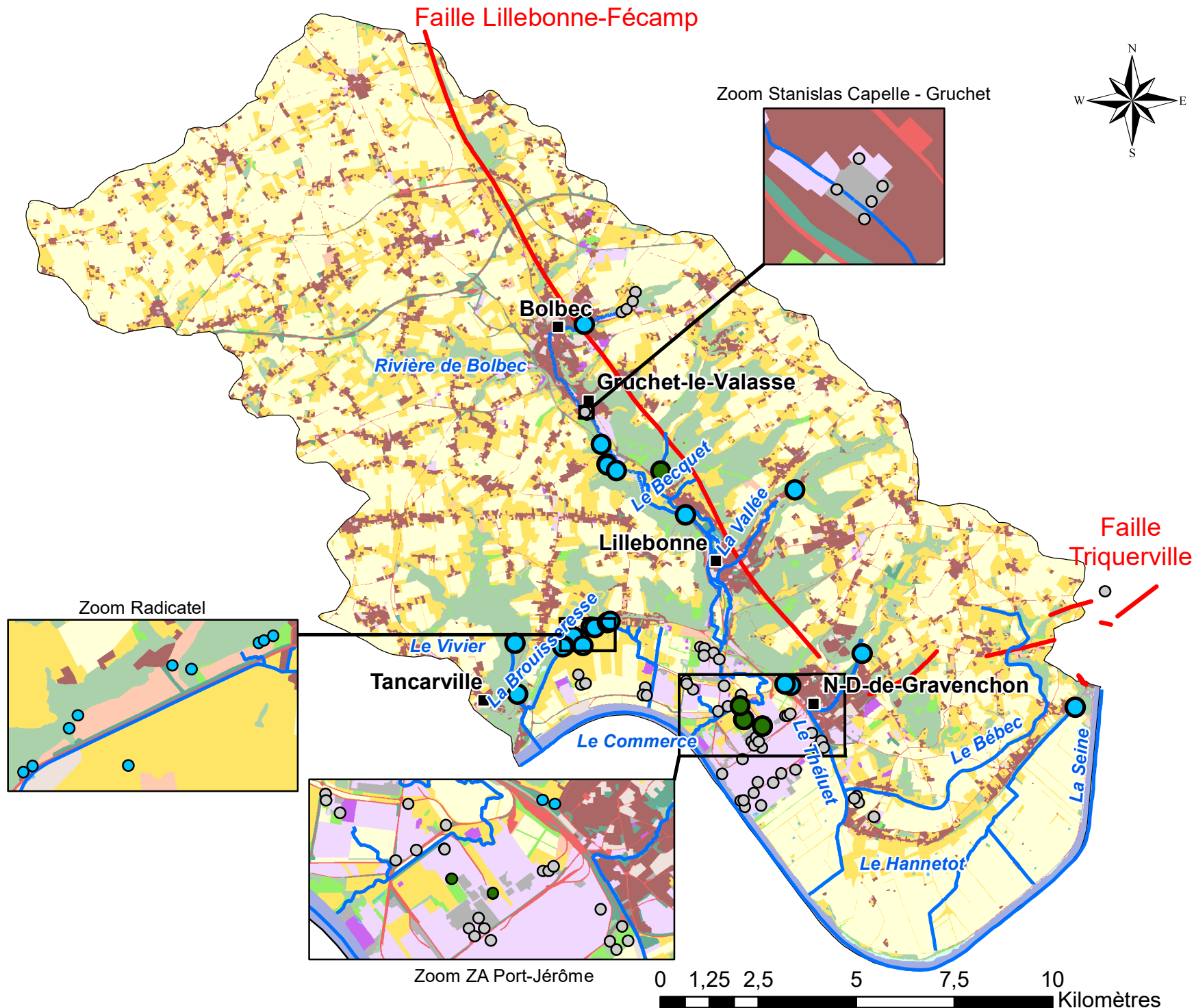
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

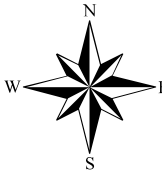
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

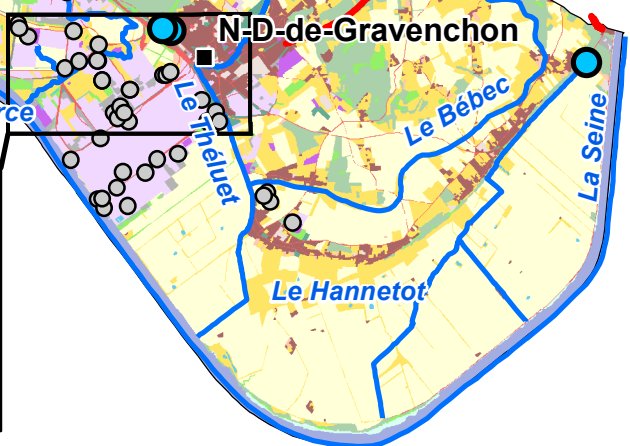
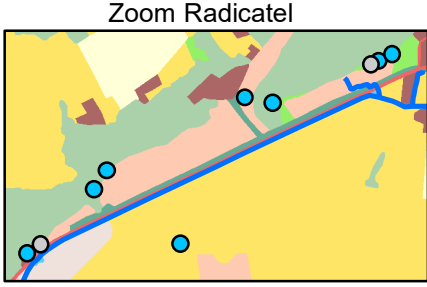
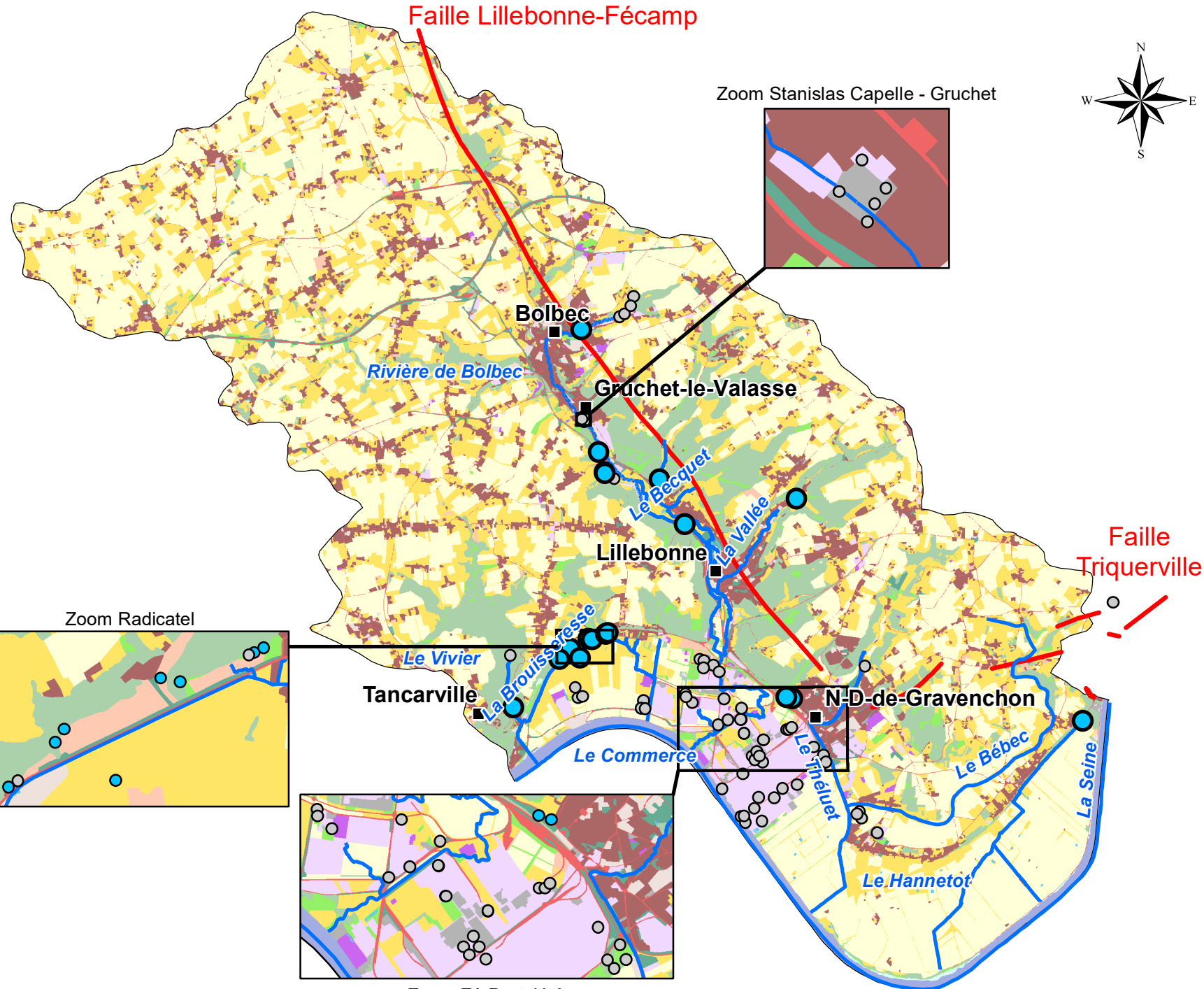
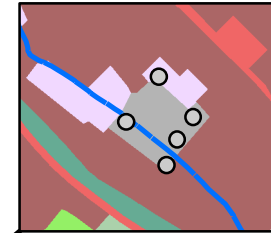
- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane Radioactifs dans les eaux souterraines



Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



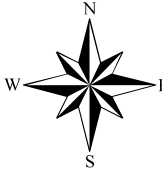
Légende

- Chef lieu
 - Cours d'eau
 - Failles
 - Zone SAGE Commerce
- Mode d'occupation du sol (2009)**
- Zones urbanisées et bâties
 - Zones industrielles et commerciales
 - Réseaux routier et ferroviaire
 - Réseaux de communications et grands équipements
 - Mines, dépôts, décharges et chantiers
 - Espaces verts artificialisés
 - Espaces non bâtis en attente de requalification
 - Terres arables hors périmètre d'irrigation
 - Cultures permanentes
 - Prairies naturelles
 - Forêts, bois, bosquets
 - Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
 - Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
 - Eaux continentales
 - Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

Valeur maximale A_Carboxy dans les eaux souterraines



Légende

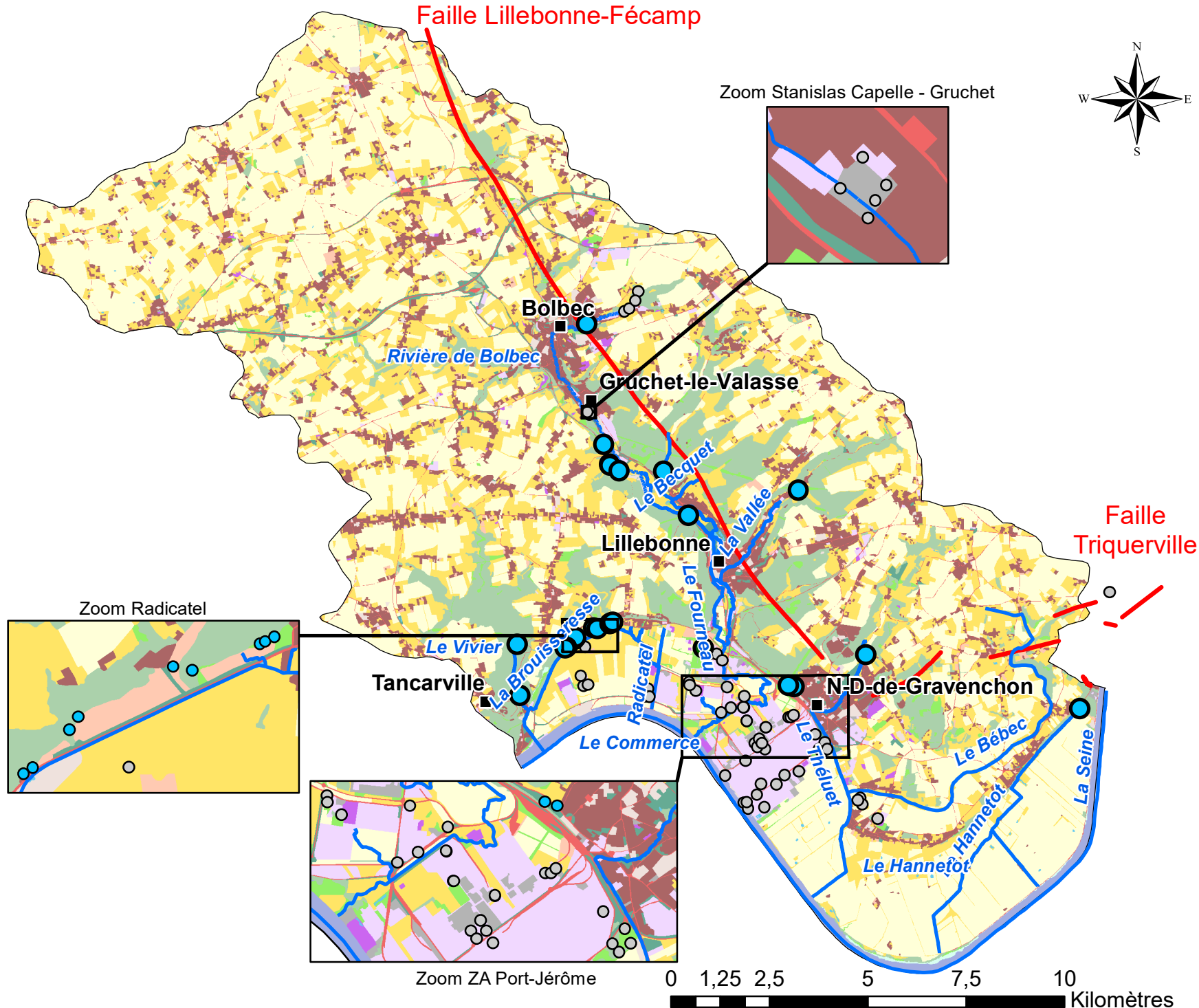
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieus à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

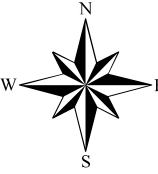
Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

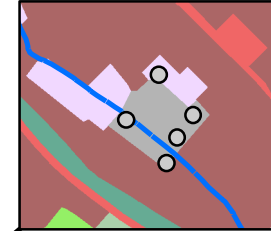


Valeur maximale Alcools dans les eaux souterraines

Faille Lillebonne-Fécamp



Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Légende

- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

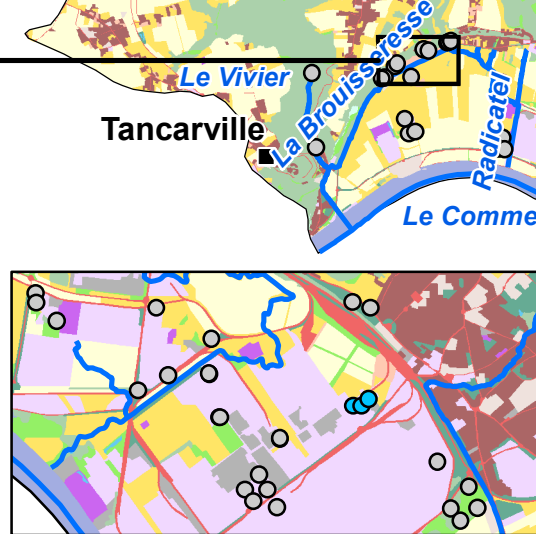
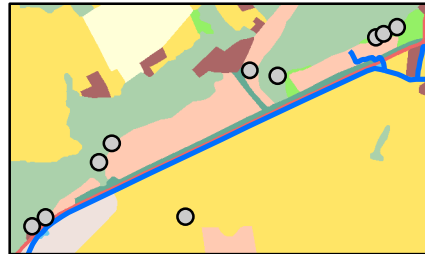
Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

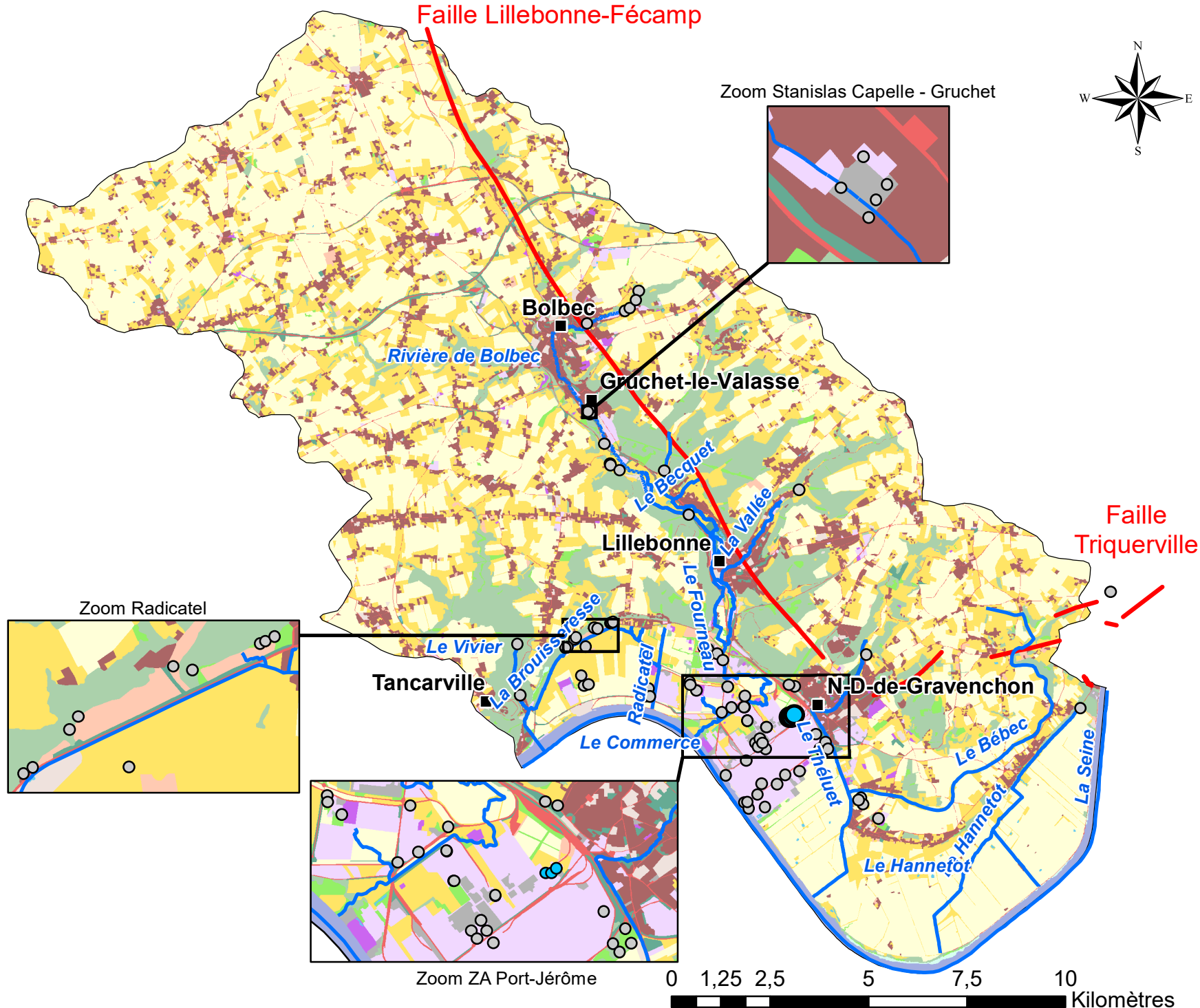
Zoom Radicatel



Zoom ZA Port-Jérôme



Faille Triquerville

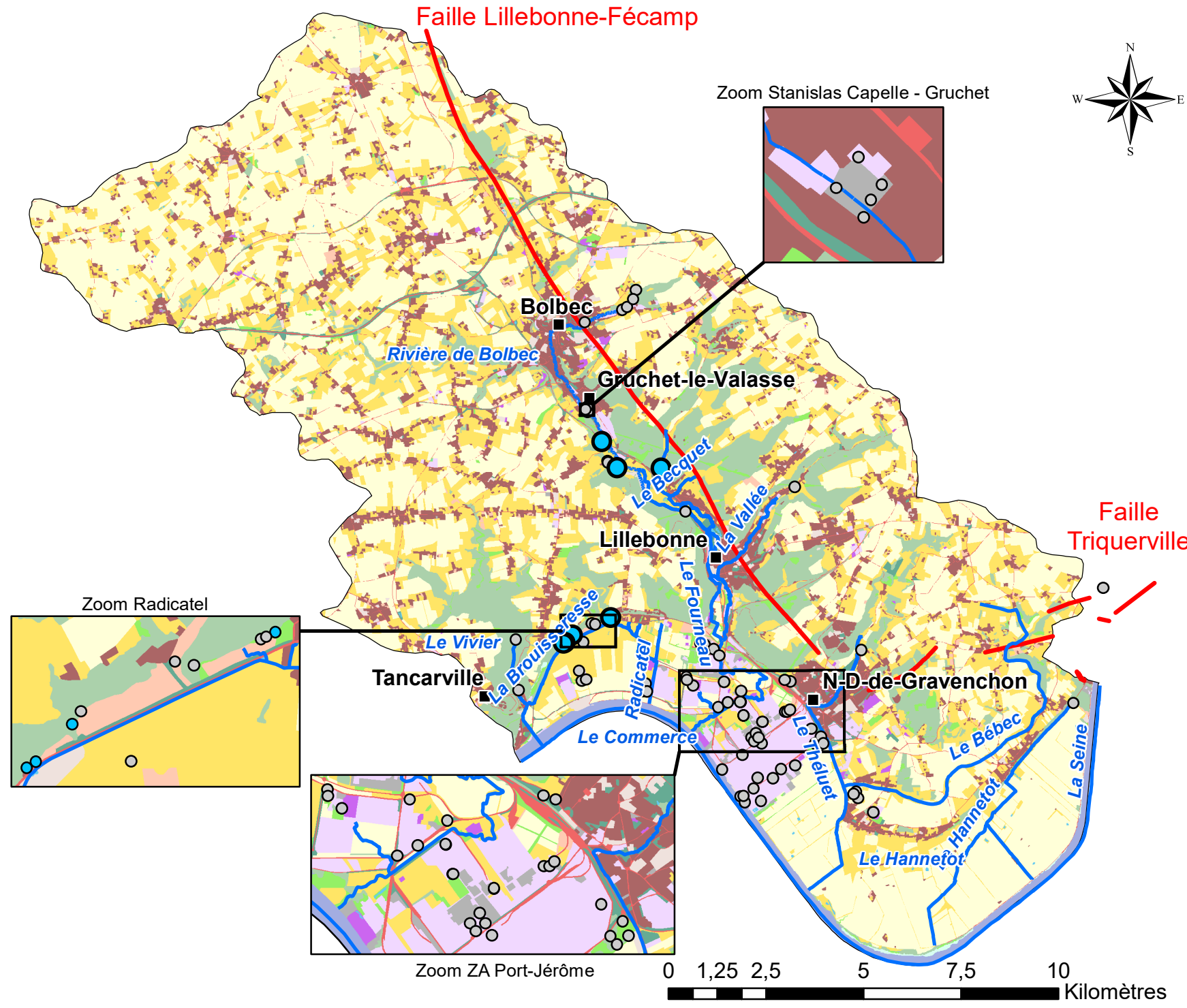


Valeur maximale Chloroalcan dans les eaux souterraines

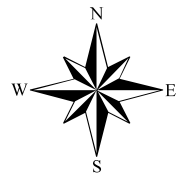


Légende

- Chef lieu
 - Cours d'eau
 - Failles
 - Zone SAGE Commerce
- Mode d'occupation du sol (2009)**
- Zones urbanisées et bâties
 - Zones industrielles et commerciales
 - Réseaux routier et ferroviaire
 - Réseaux de communications et grands équipements
 - Mines, dépôts, décharges et chantiers
 - Espaces verts artificialisés
 - Espaces non bâtis en attente de requalification
 - Terres arables hors périmètre d'irrigation
 - Cultures permanentes
 - Prairies naturelles
 - Forêts, bois, bosquets
 - Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
 - Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
 - Eaux continentales
 - Eaux maritimes
- Nombre de dépassement / au seuil**
- Pas de dépassement
 - Pas de valeurs

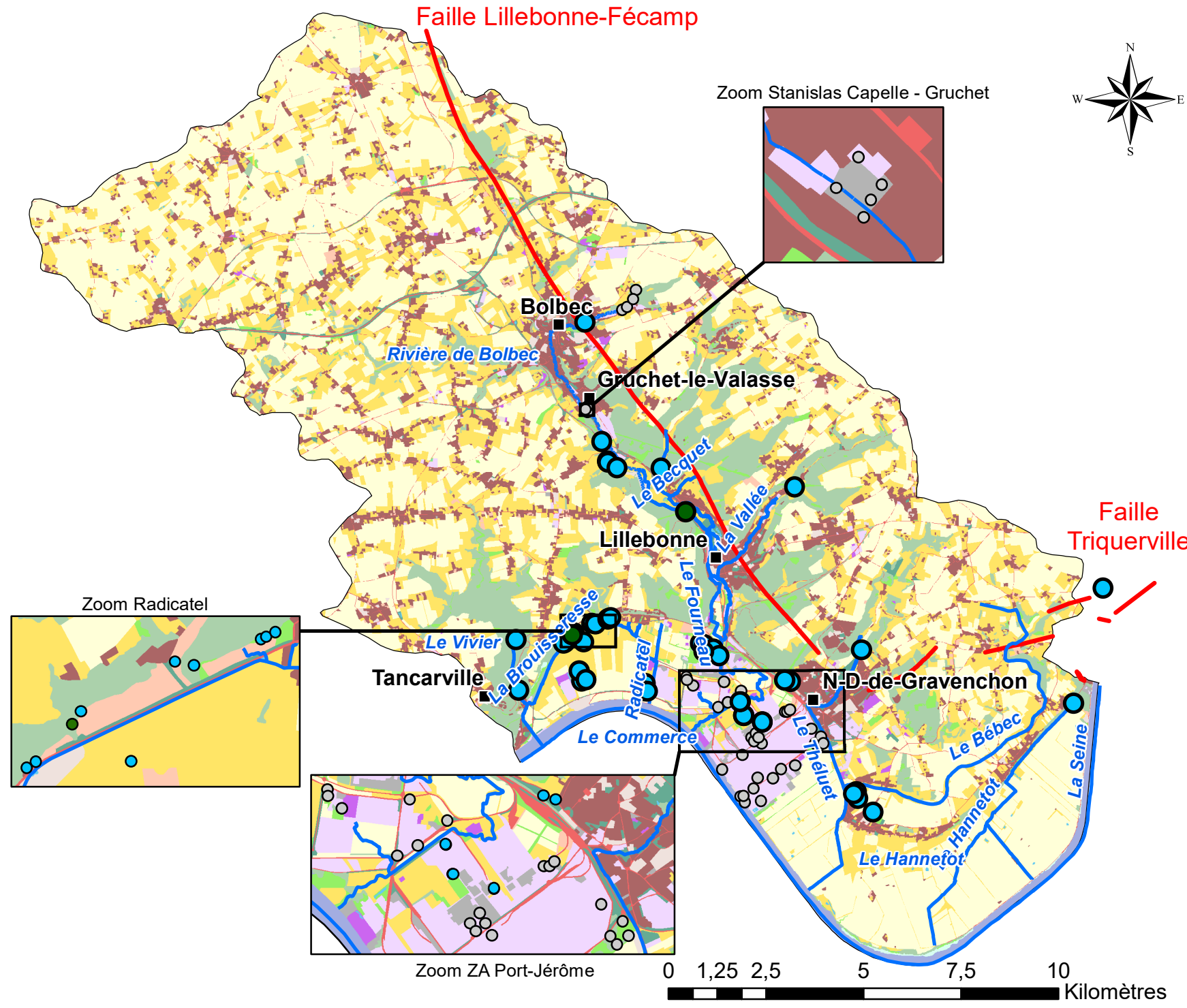


Valeur maximale E_mineraux dans les eaux souterraines

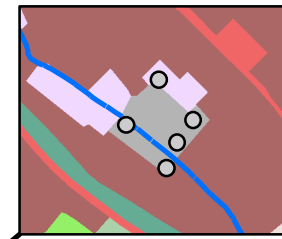


Légende

- Chef lieu
 - Cours d'eau
 - Failles
 - Zone SAGE Commerce
- Mode d'occupation du sol (2009)**
- Zones urbanisées et bâties
 - Zones industrielles et commerciales
 - Réseaux routier et ferroviaire
 - Réseaux de communications et grands équipements
 - Mines, dépôts, décharges et chantiers
 - Espaces verts artificialisés
 - Espaces non bâtis en attente de requalification
 - Terres arables hors périmètre d'irrigation
 - Cultures permanentes
 - Prairies naturelles
 - Forêts, bois, bosquets
 - Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
 - Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
 - Eaux continentales
 - Eaux maritimes
- Nombre de dépassement / au seuil**
- 1 - 2
 - Pas de dépassement
 - Pas de valeurs



Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



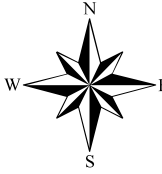
Zoom Radicatel



Zoom ZA Port-Jérôme



Valeur maximale Hydrocarbu dans les eaux souterraines



Légende

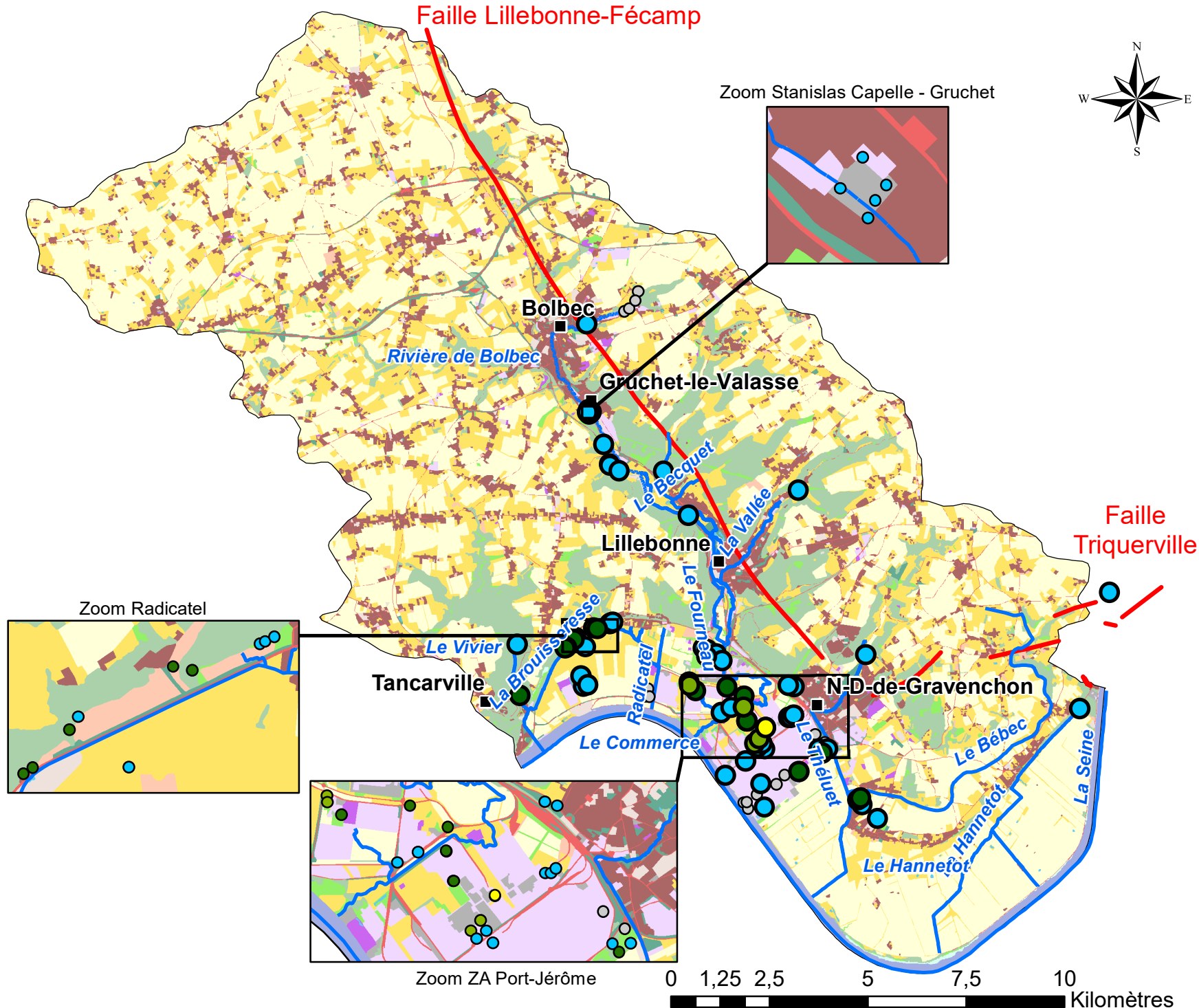
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- 5 - 6
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur maximale Indices dans les eaux souterraines

Légende

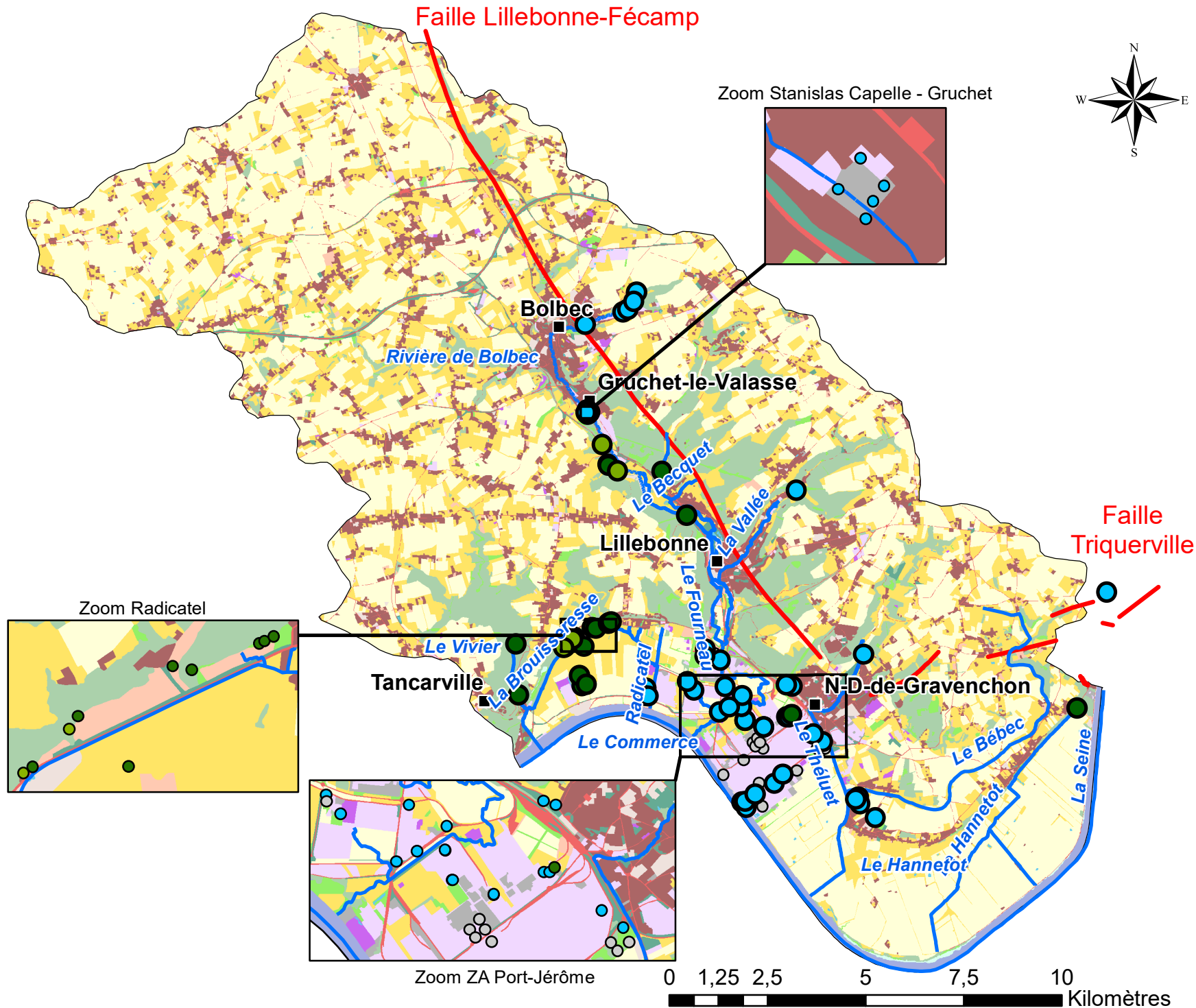
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur maximale Metaux dans les eaux souterraines

Légende

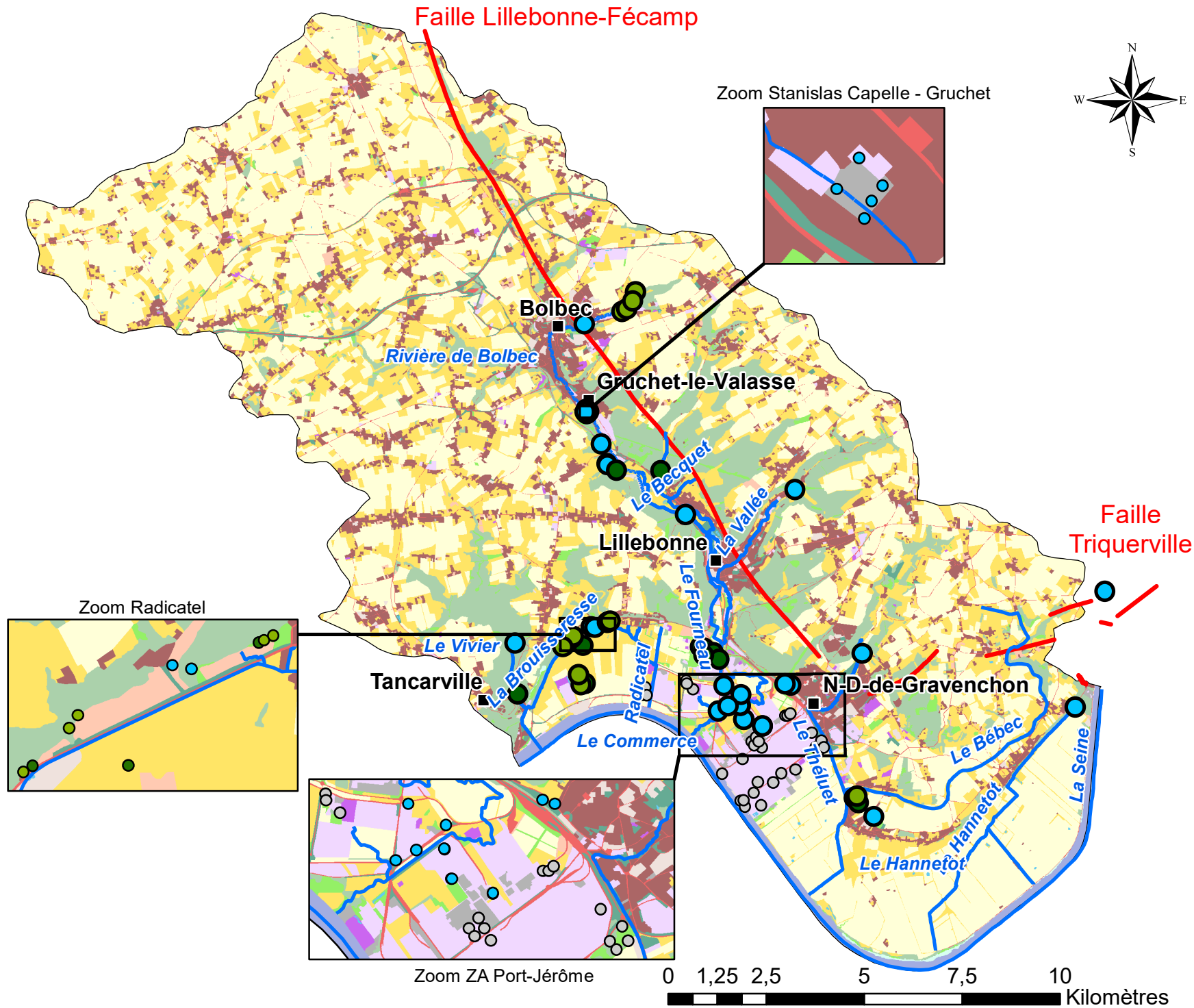
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieus à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur maximale Paramètres dans les eaux souterraines

Légende

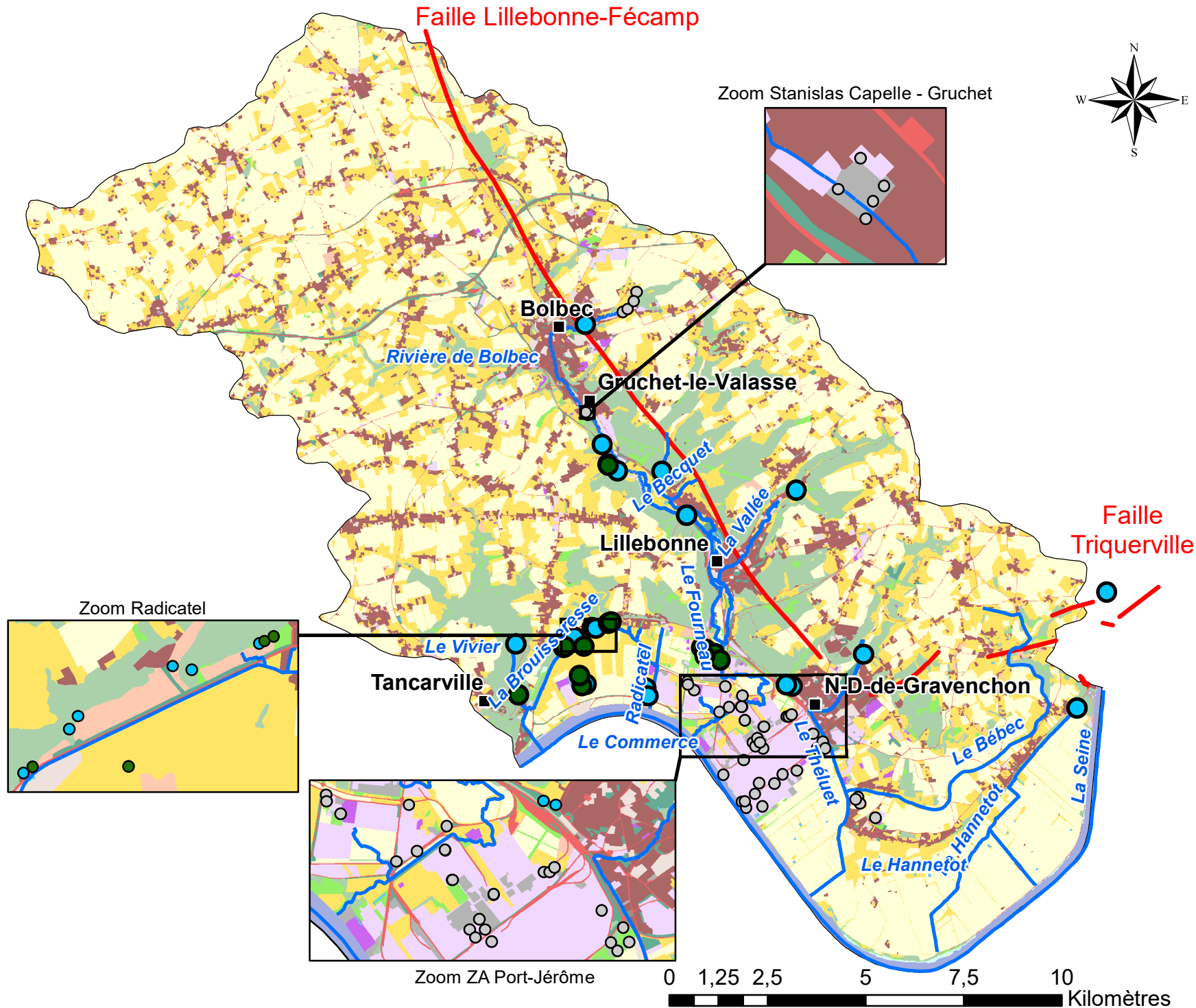
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

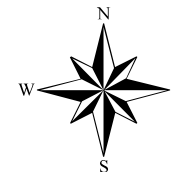
Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

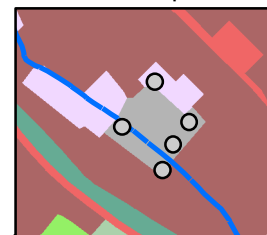


Valeur maximale PBDE dans les eaux souterraines

Faille Lillebonne-Fécamp



Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Légende

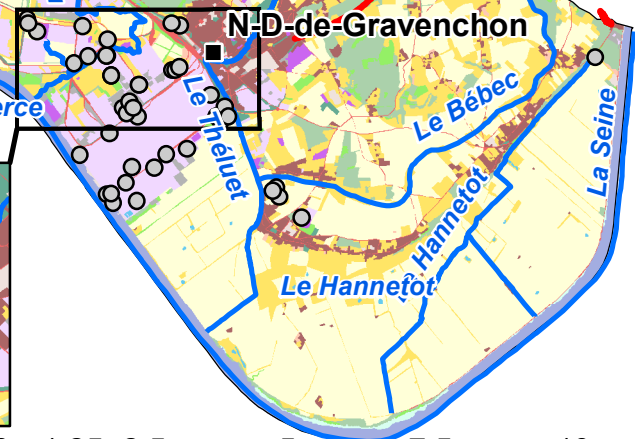
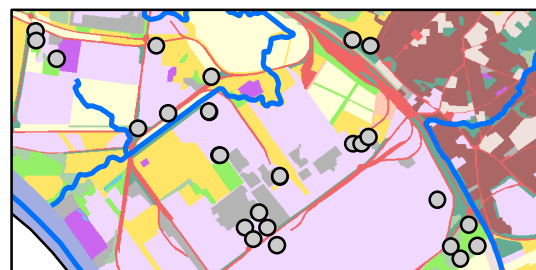
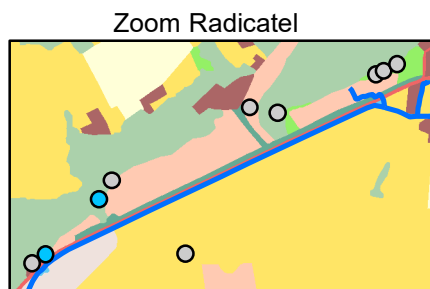
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

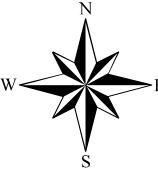


Faille Triquerville

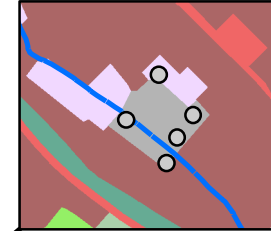


Valeur maximale PCB dans les eaux souterraines

Faille Lillebonne-Fécamp



Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Légende

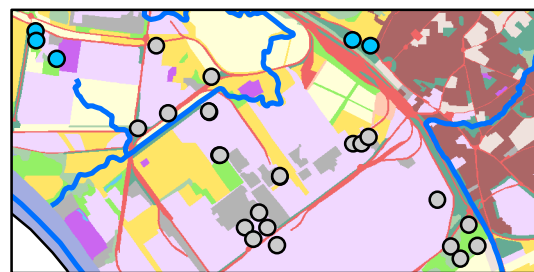
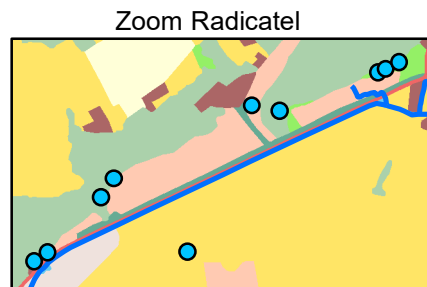
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Tancarville

Bolbec

Gruchet-le-Valasse

Lillebonne

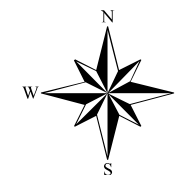
N-D-de-Gravenchon

Faille Triquerville

Zoom ZA Port-Jérôme



Valeur maximale Pesticides dans les eaux souterraines



Légende

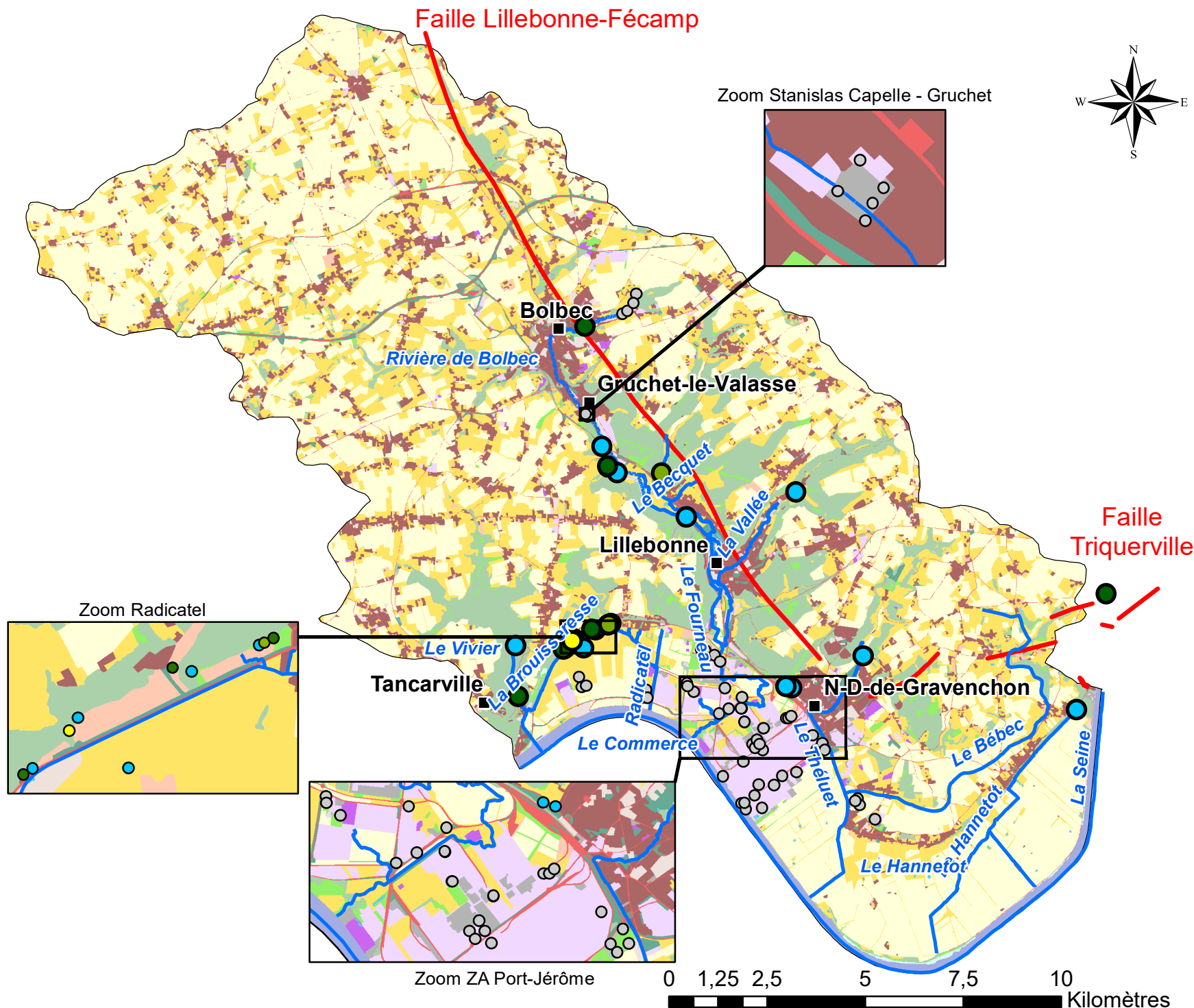
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

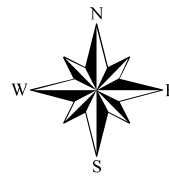
Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- 5 - 6
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



0 1,25 2,5 5 7,5 10 Kilomètres

Valeur maximale Pharmacie dans les eaux souterraines



Légende

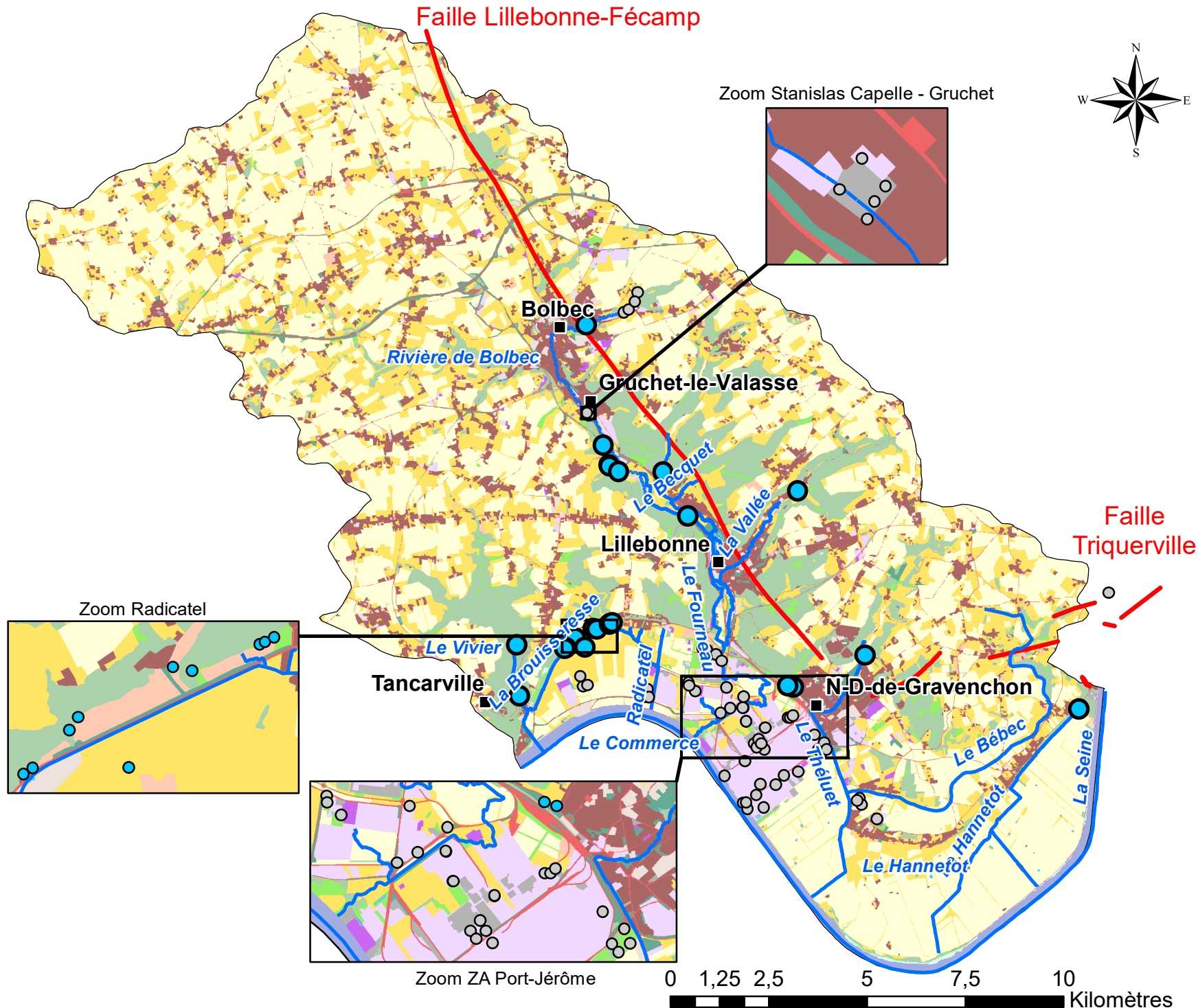
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur maximale Phenols dans les eaux souterraines

Légende

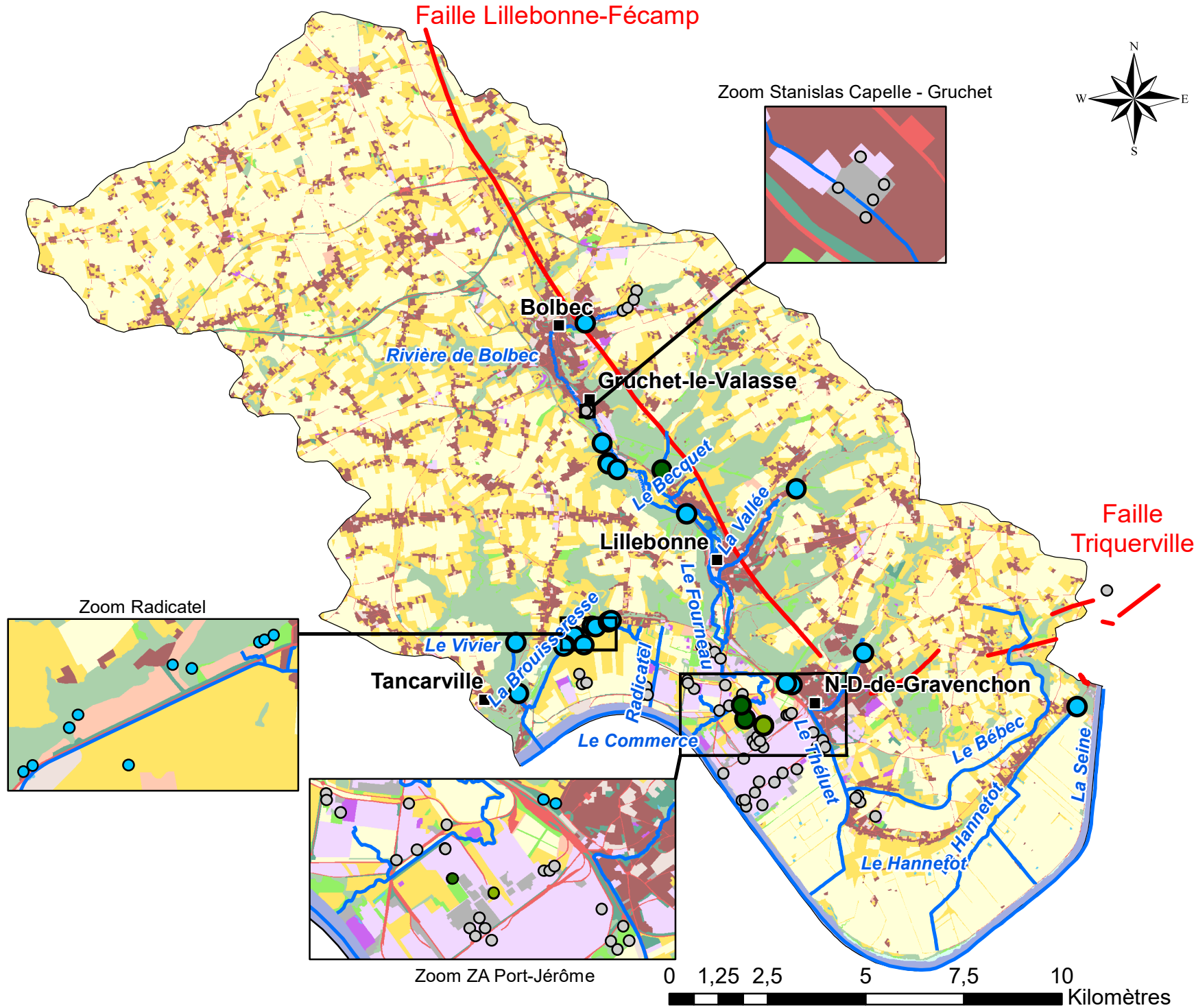
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

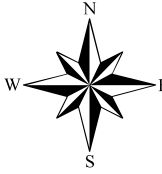
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur maximale Radioactifs dans les eaux souterraines



Légende

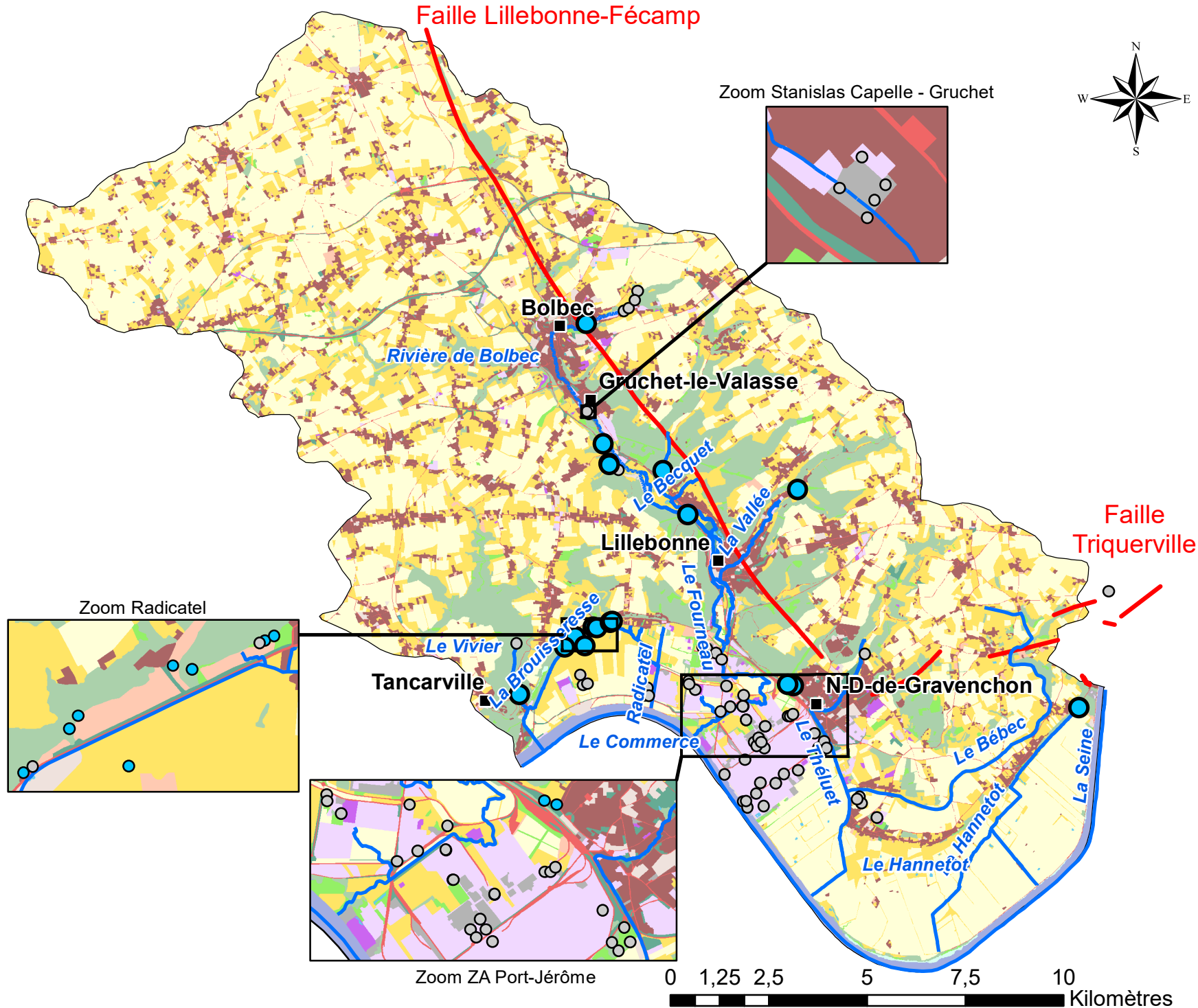
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

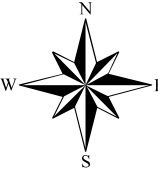
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 A_Carboxy dans les eaux souterraines

Faille Lillebonne-Fécamp

Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Légende

- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

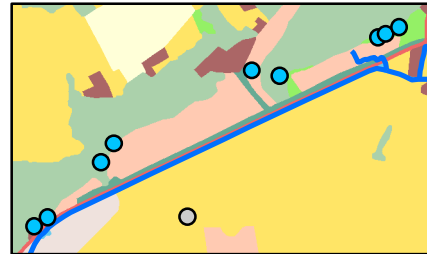
Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

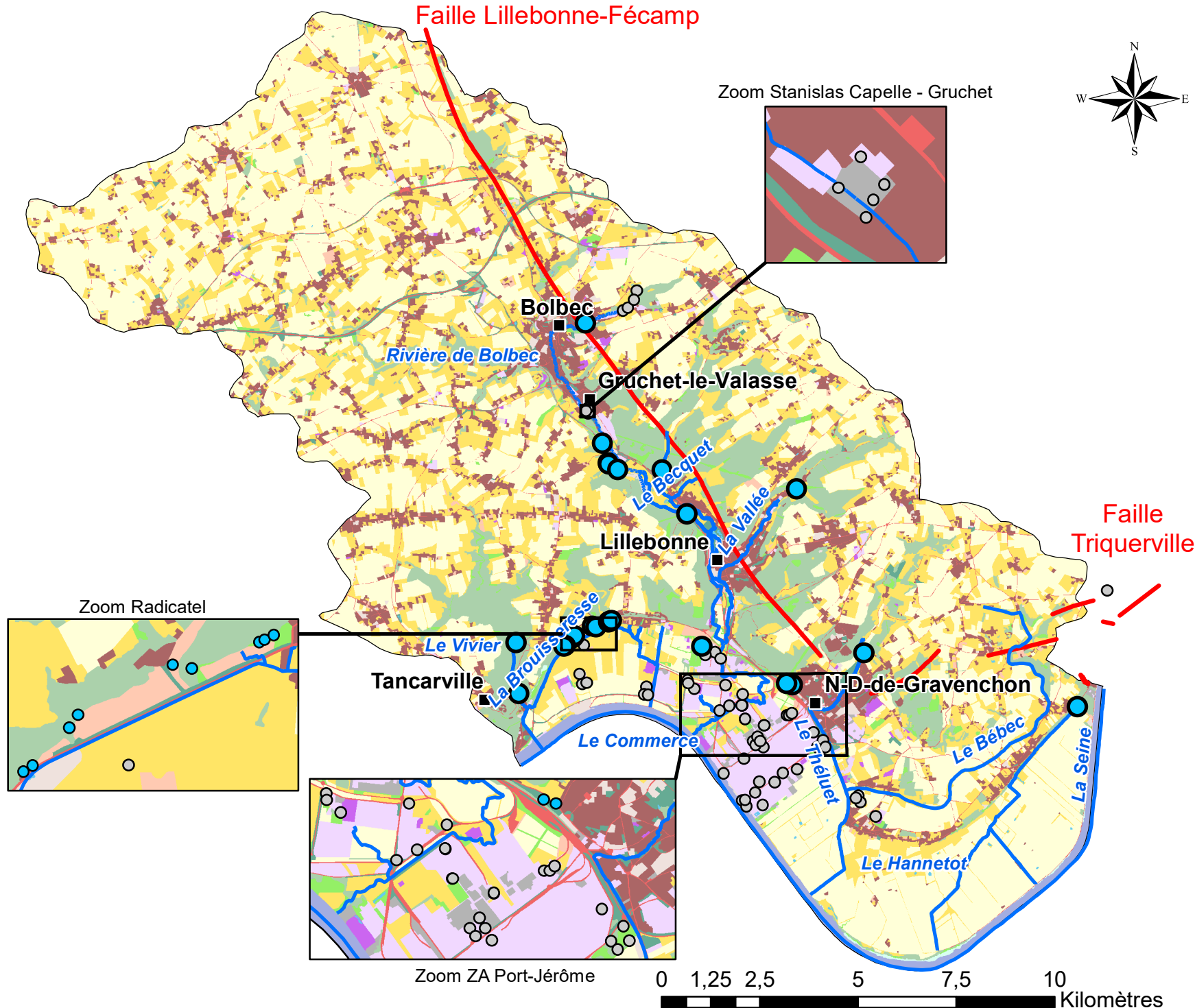
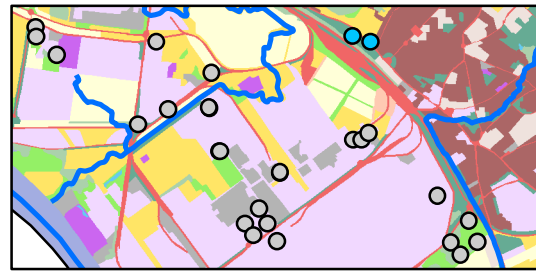
Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

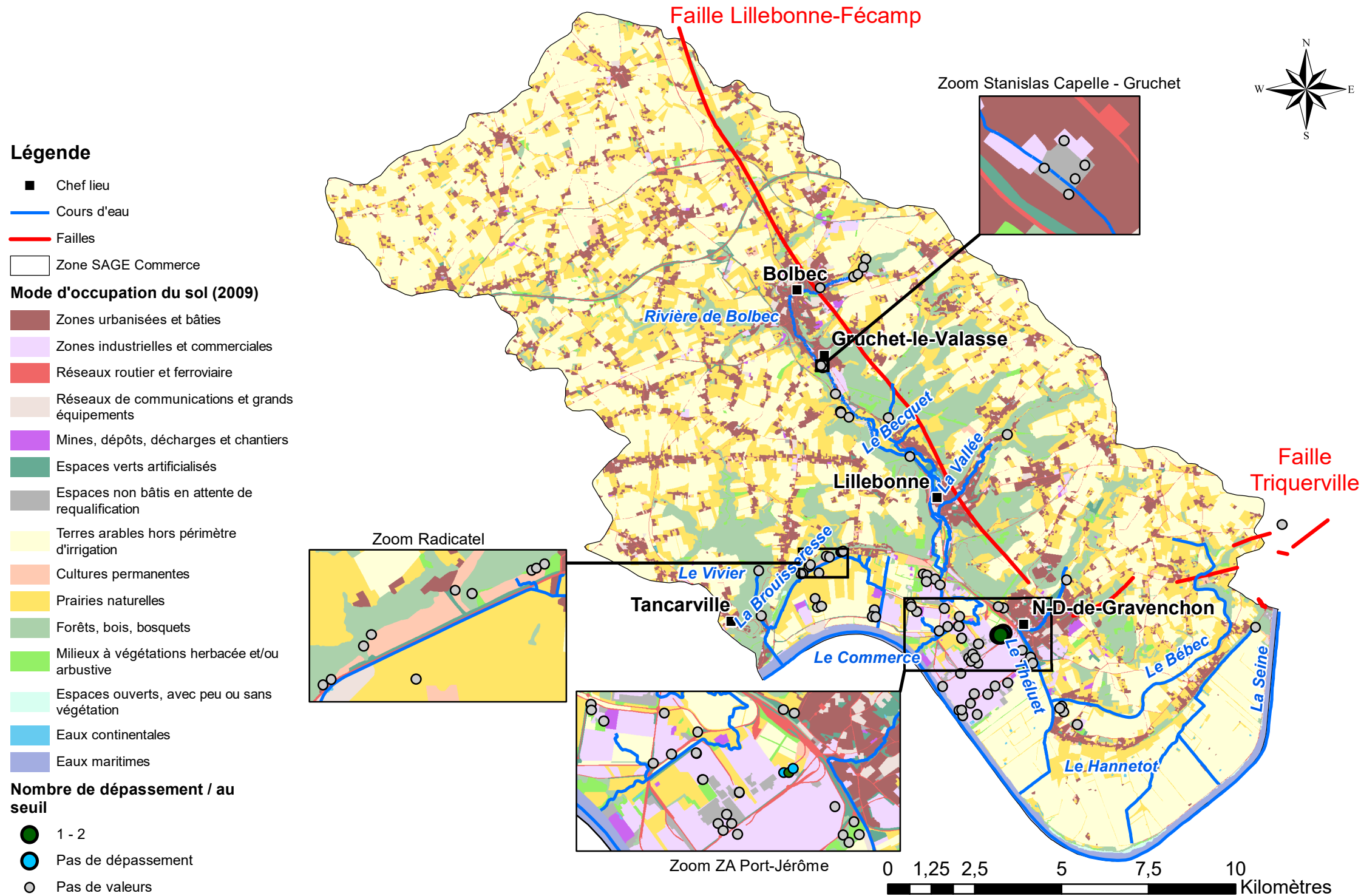
Zoom Radicatel



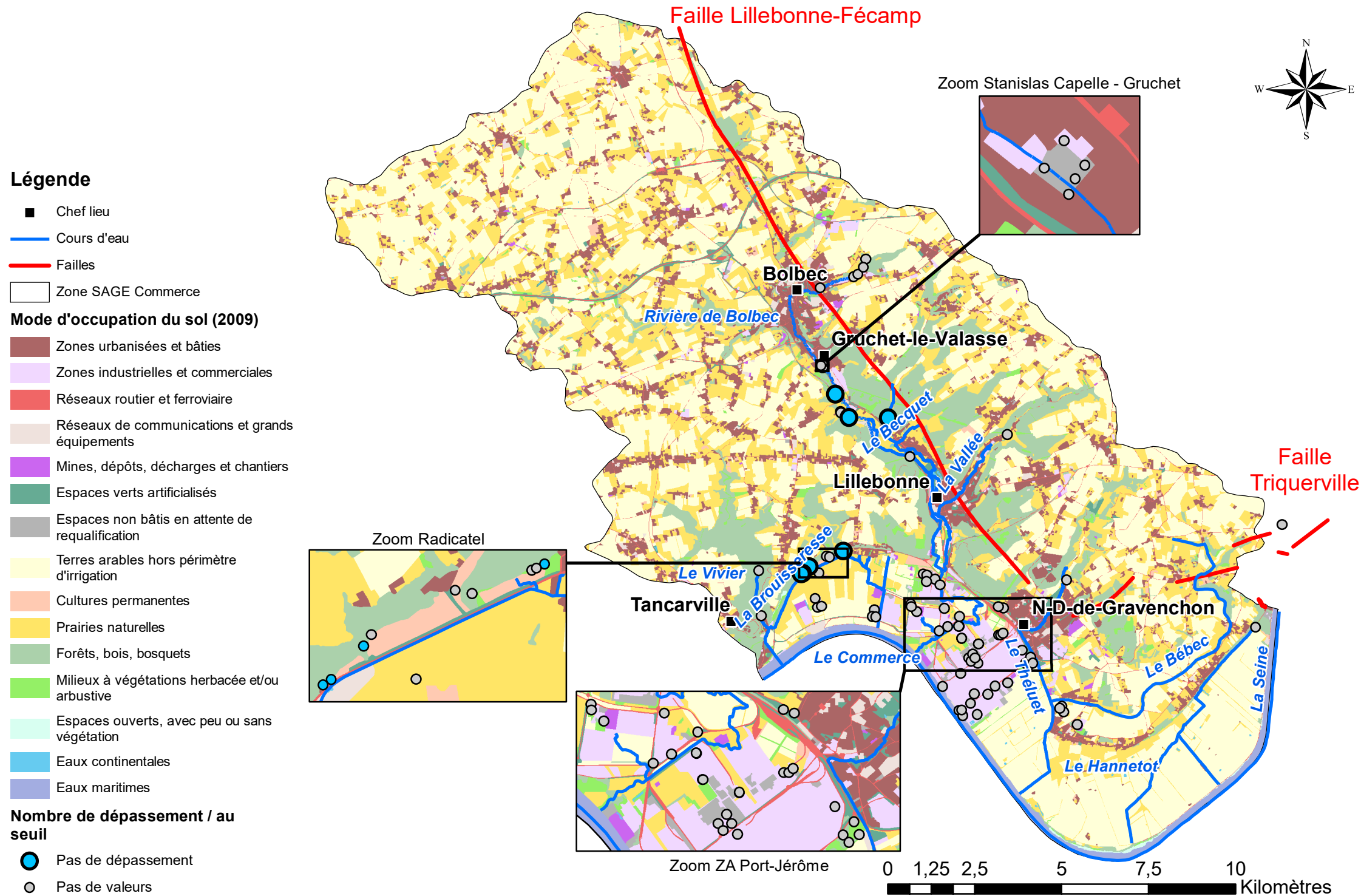
Zoom ZA Port-Jérôme



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Alcools dans les eaux souterraines



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Chloroalcan dans les eaux souterraines



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 COHV dans les eaux souterraines

Légende

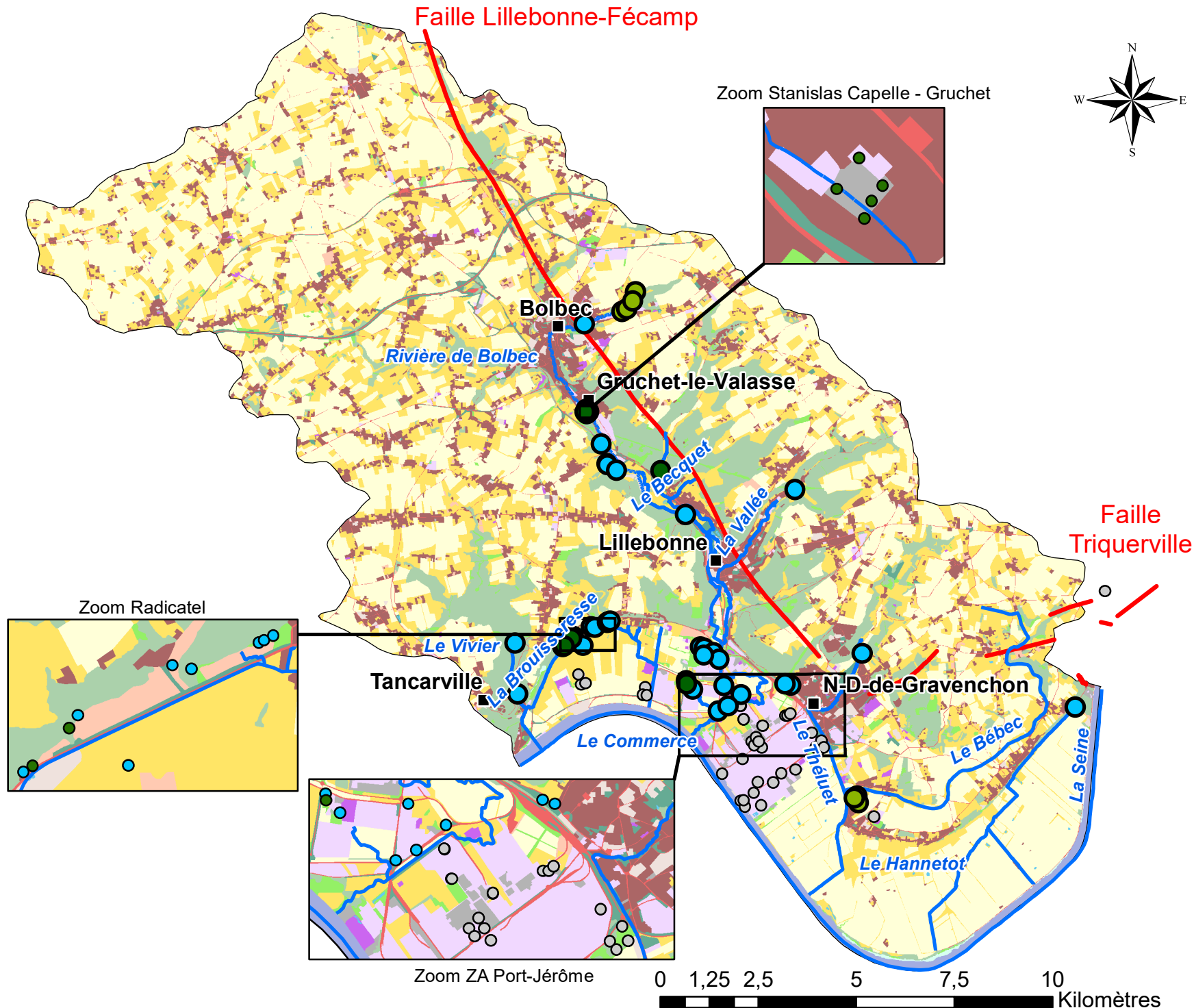
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

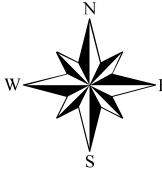
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 E_minéraux dans les eaux souterraines



Légende

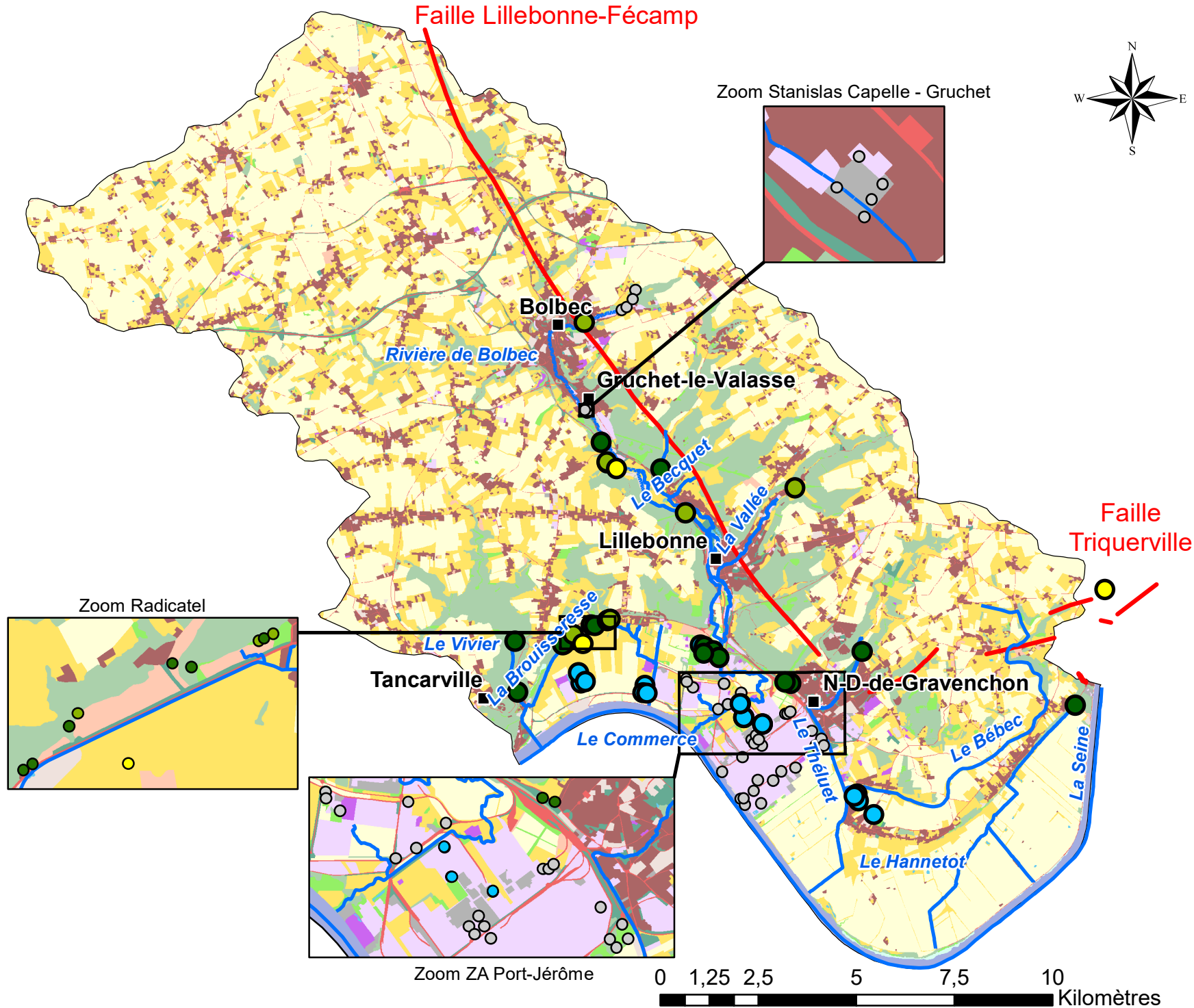
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- 5 - 10
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Hydrocarbu dans les eaux souterraines



Légende

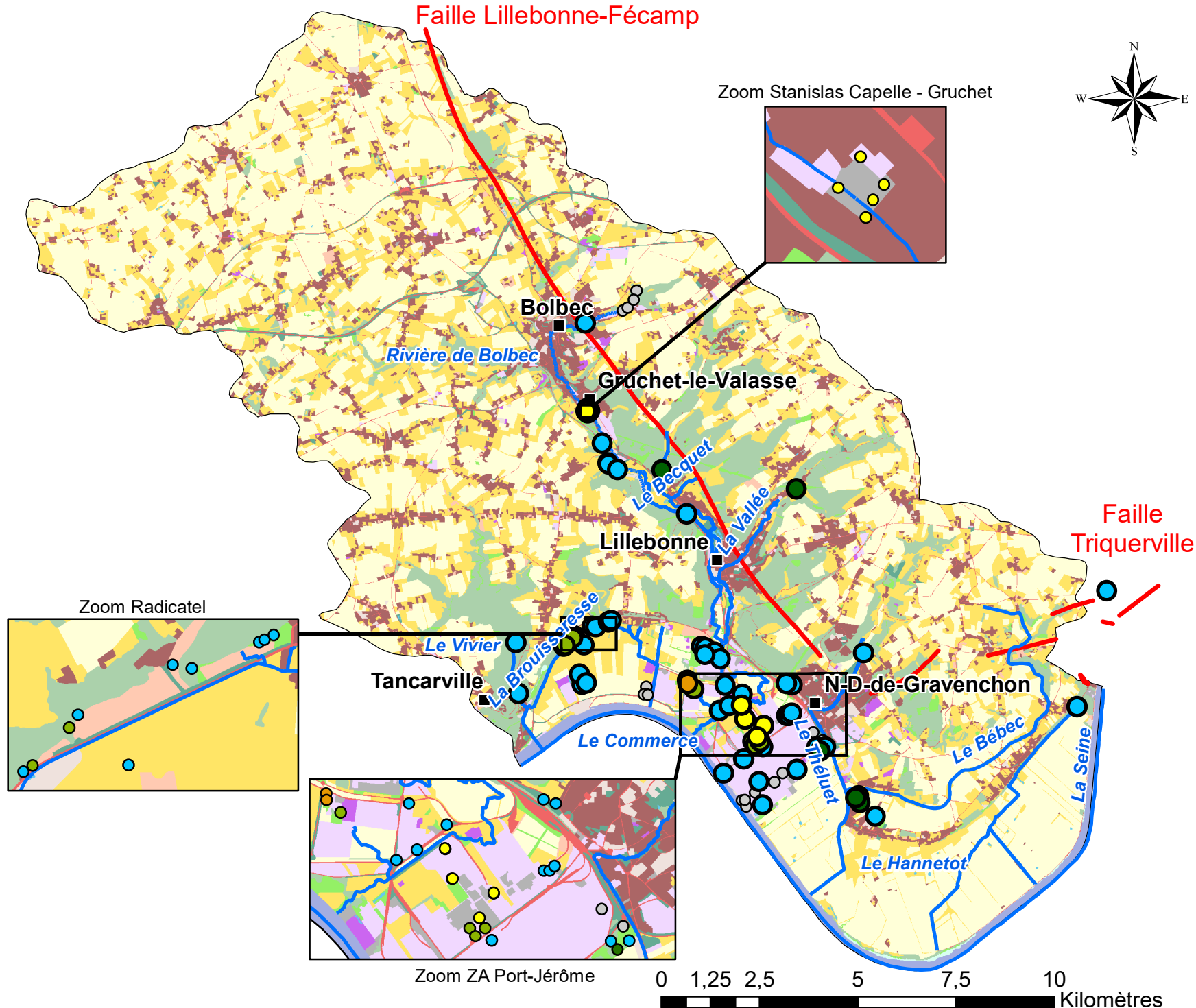
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- 5 - 10
- 11 - 21
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Indices dans les eaux souterraines

Légende

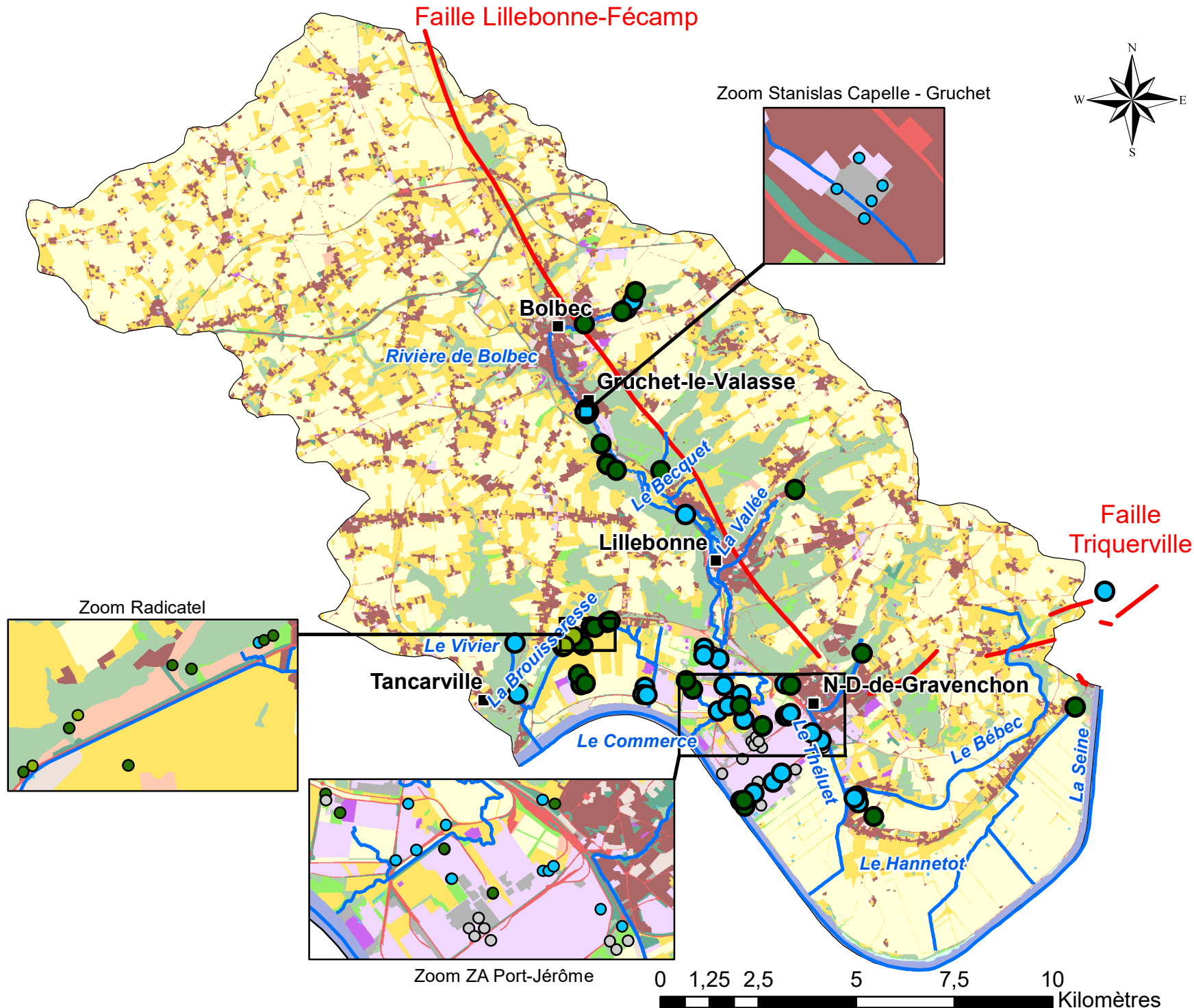
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieus à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Métaux dans les eaux souterraines

Légende

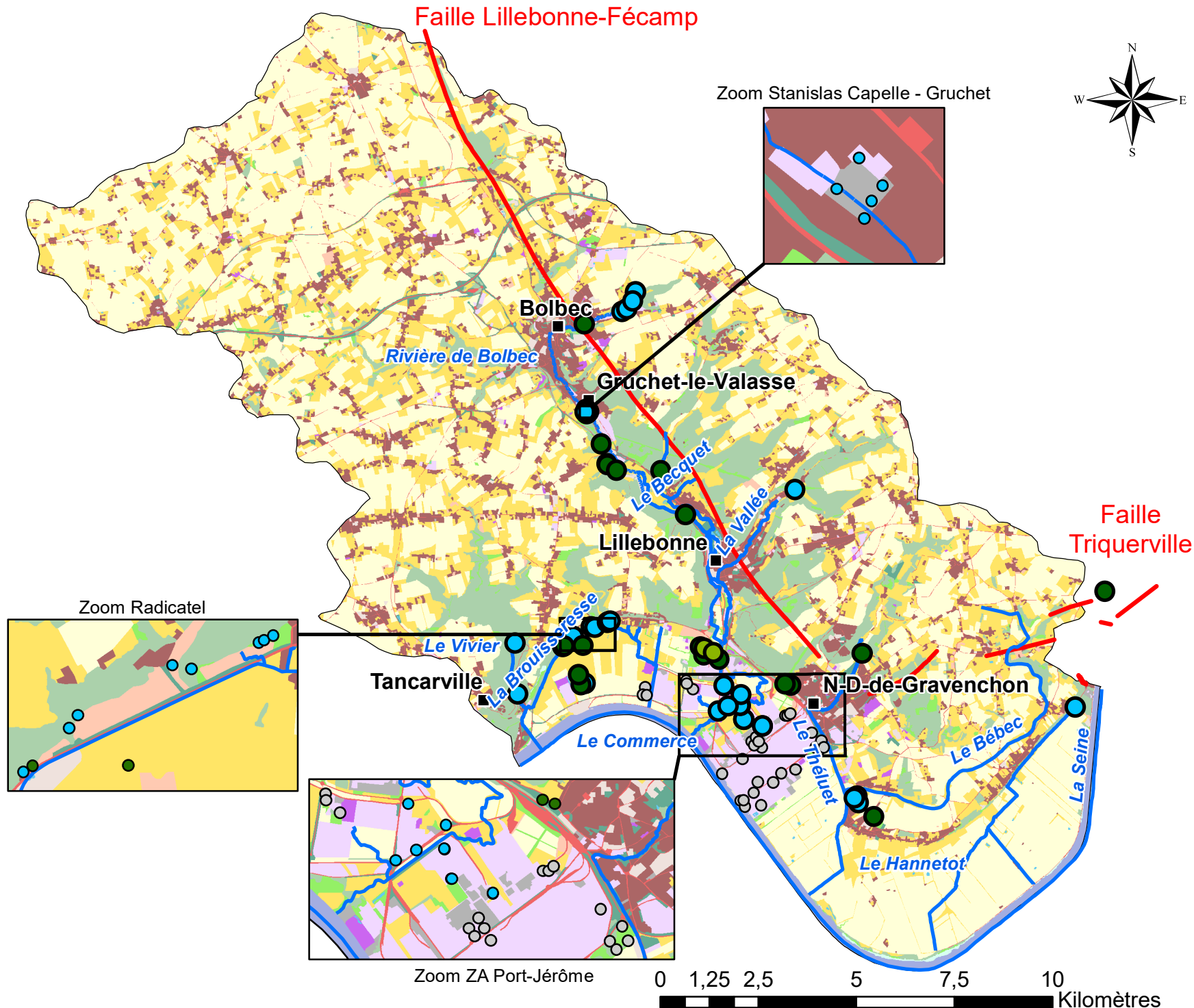
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

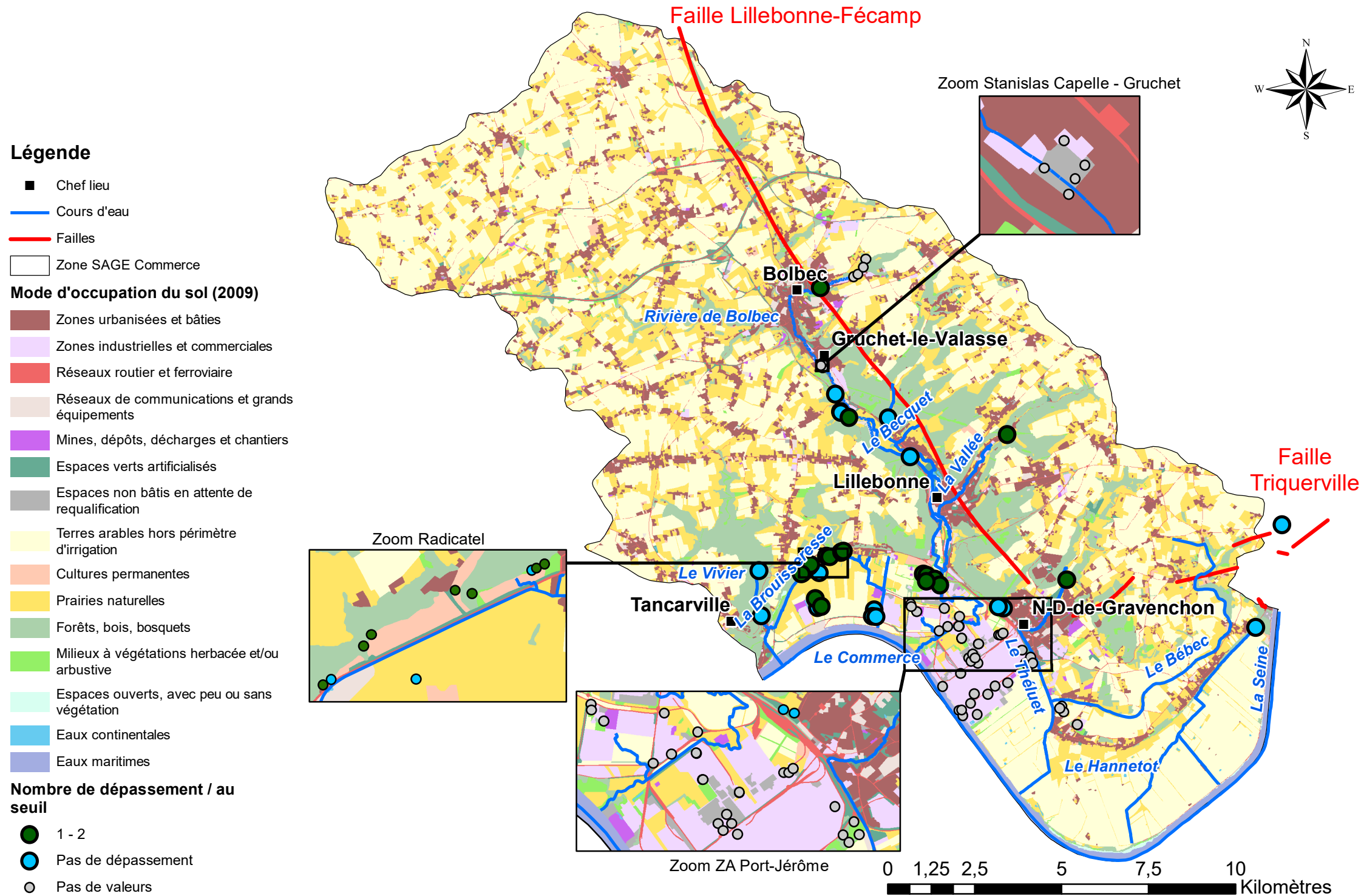
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



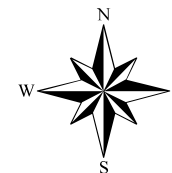
Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Paramètres dans les eaux souterraines



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 PBDE dans les eaux souterraines

Faille Lillebonne-Fécamp

Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Légende

- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

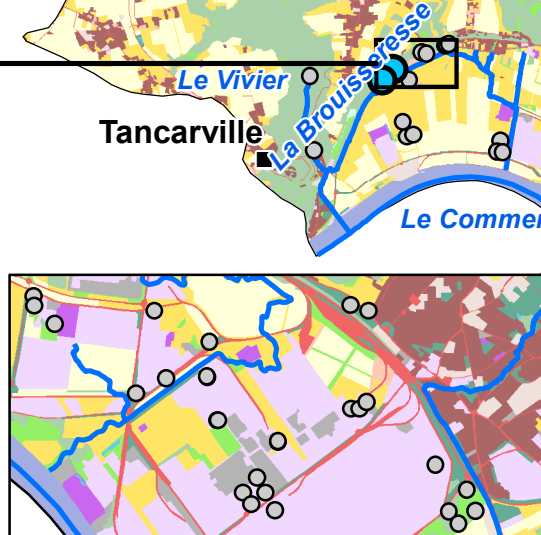
Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

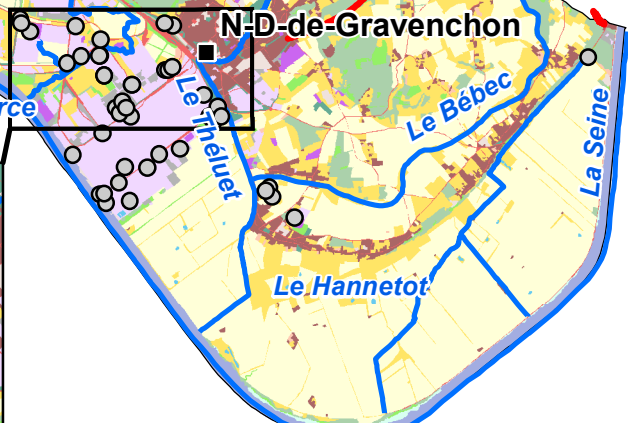
Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

Zoom Radicatel



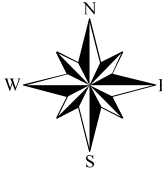
Zoom ZA Port-Jérôme



Faille Triquerville



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 PCB dans les eaux souterraines



Légende

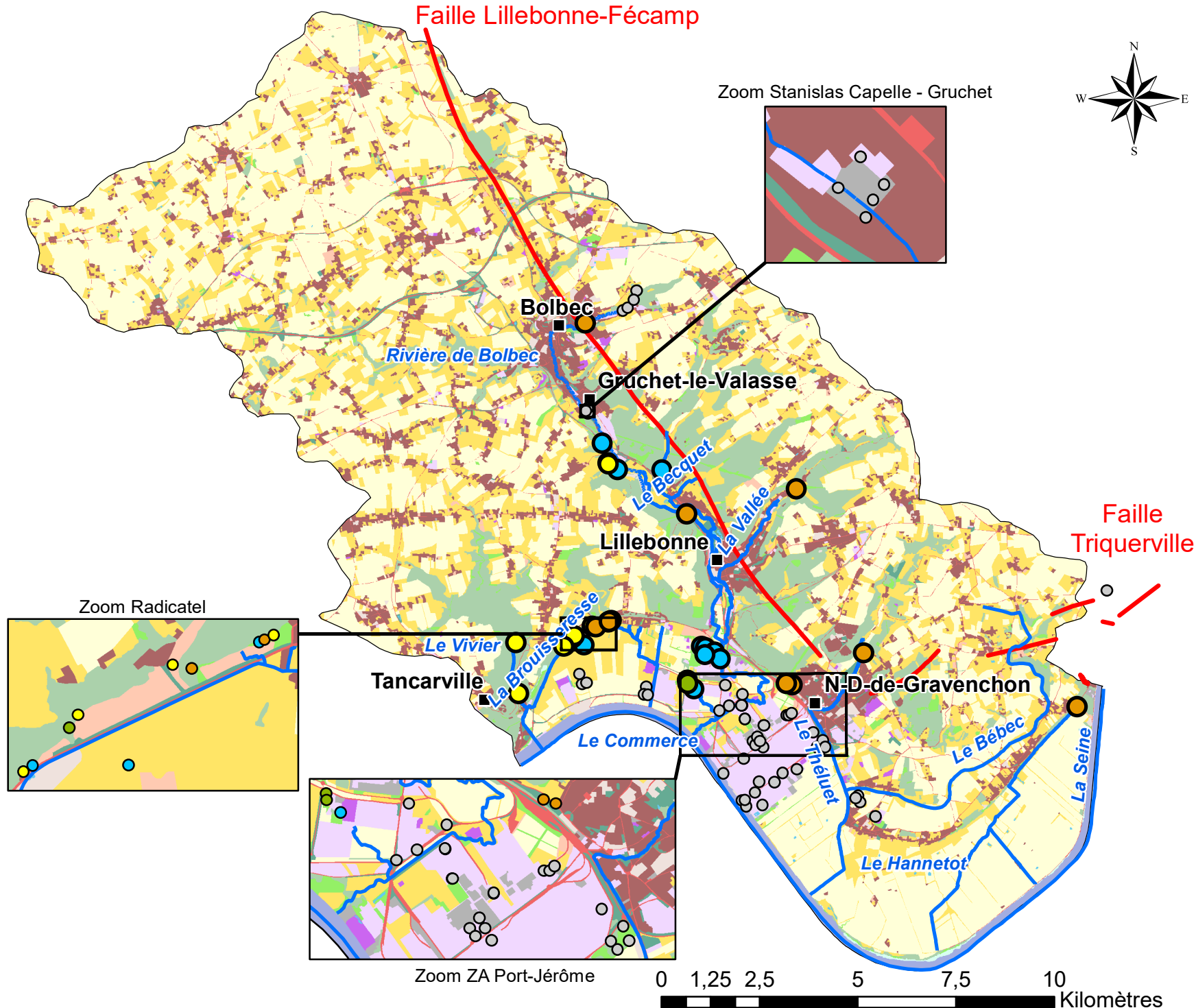
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 3 - 4
- 5 - 10
- 11 - 21
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Pesticides dans les eaux souterraines

Légende

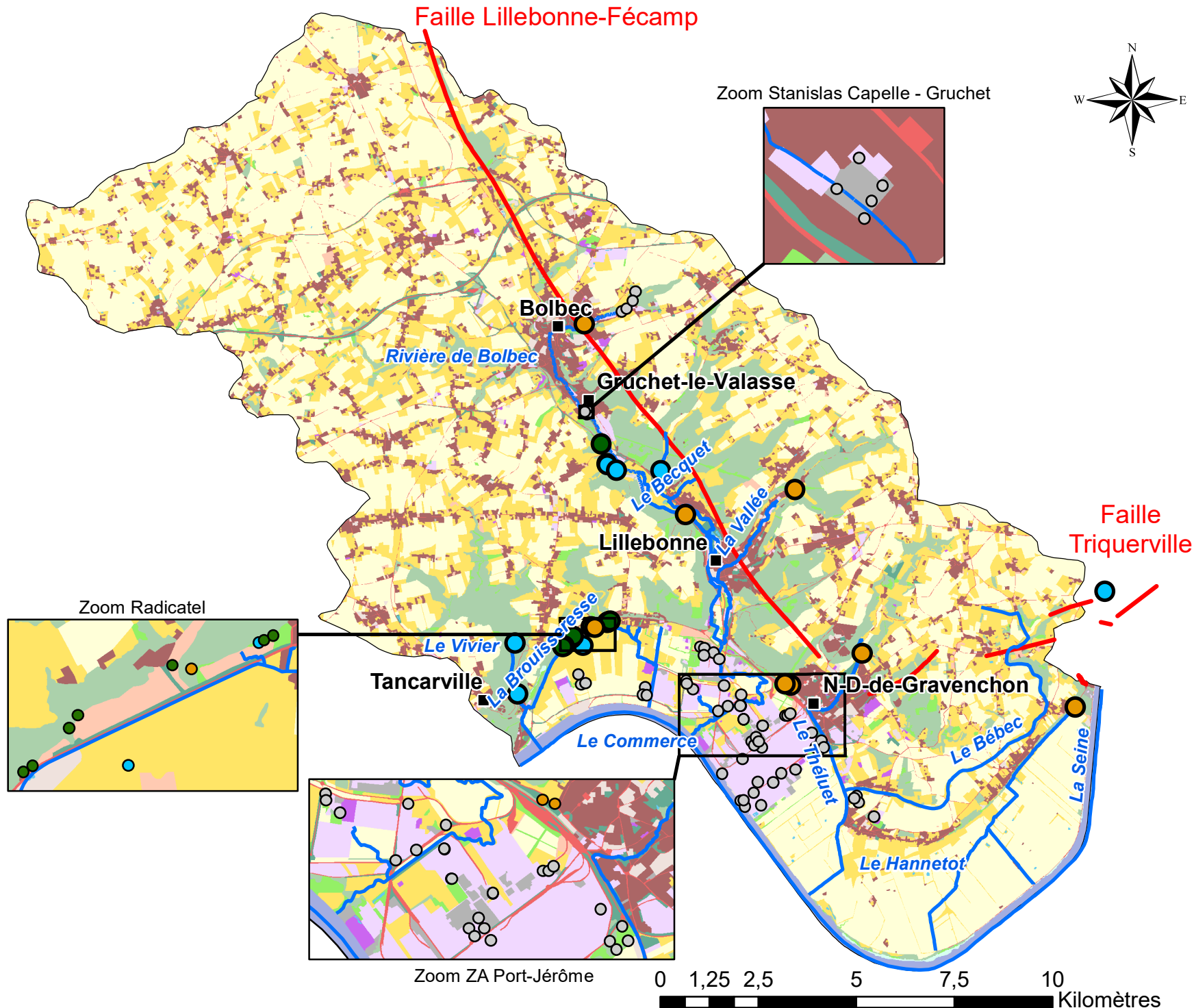
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

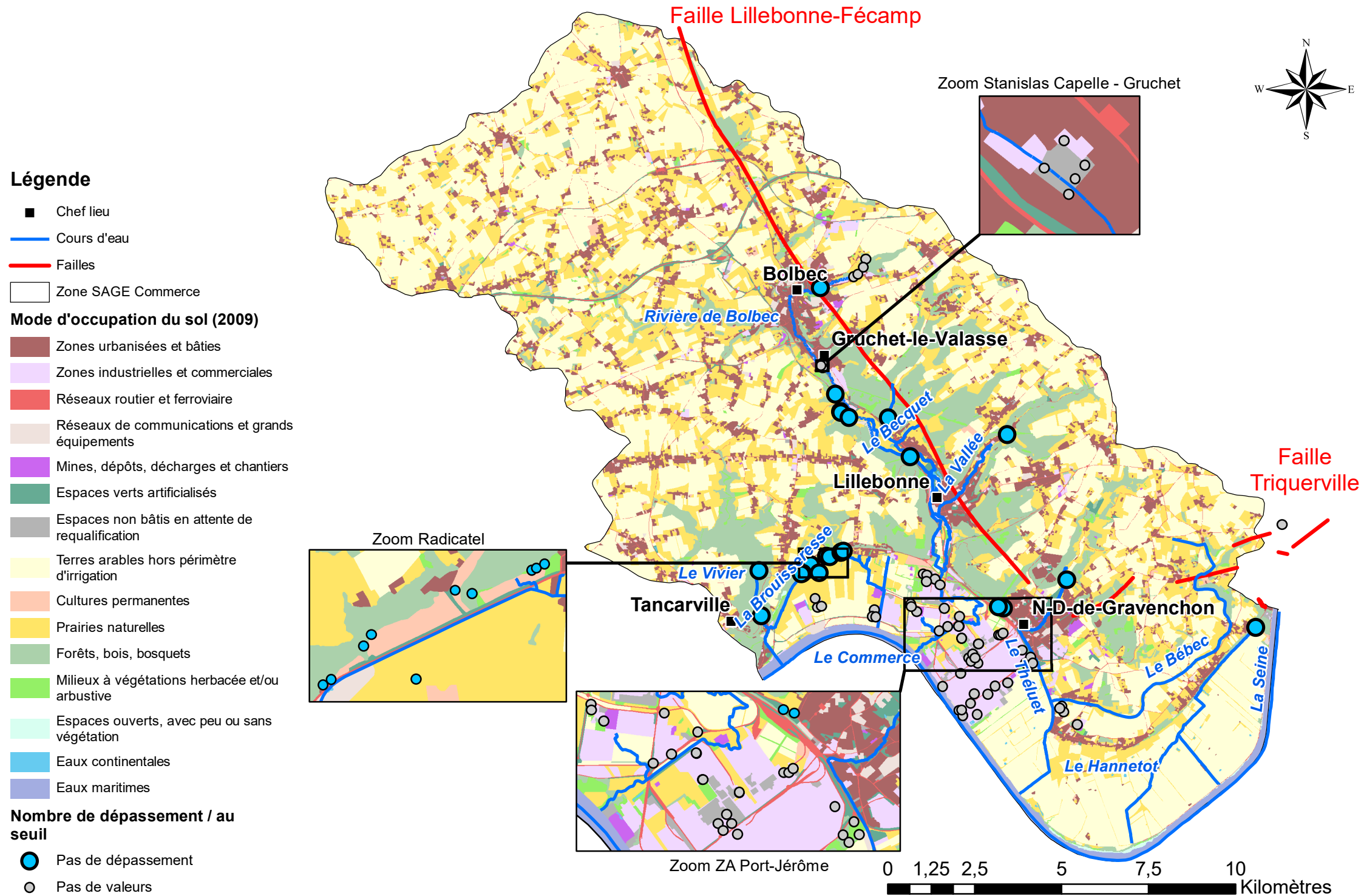
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

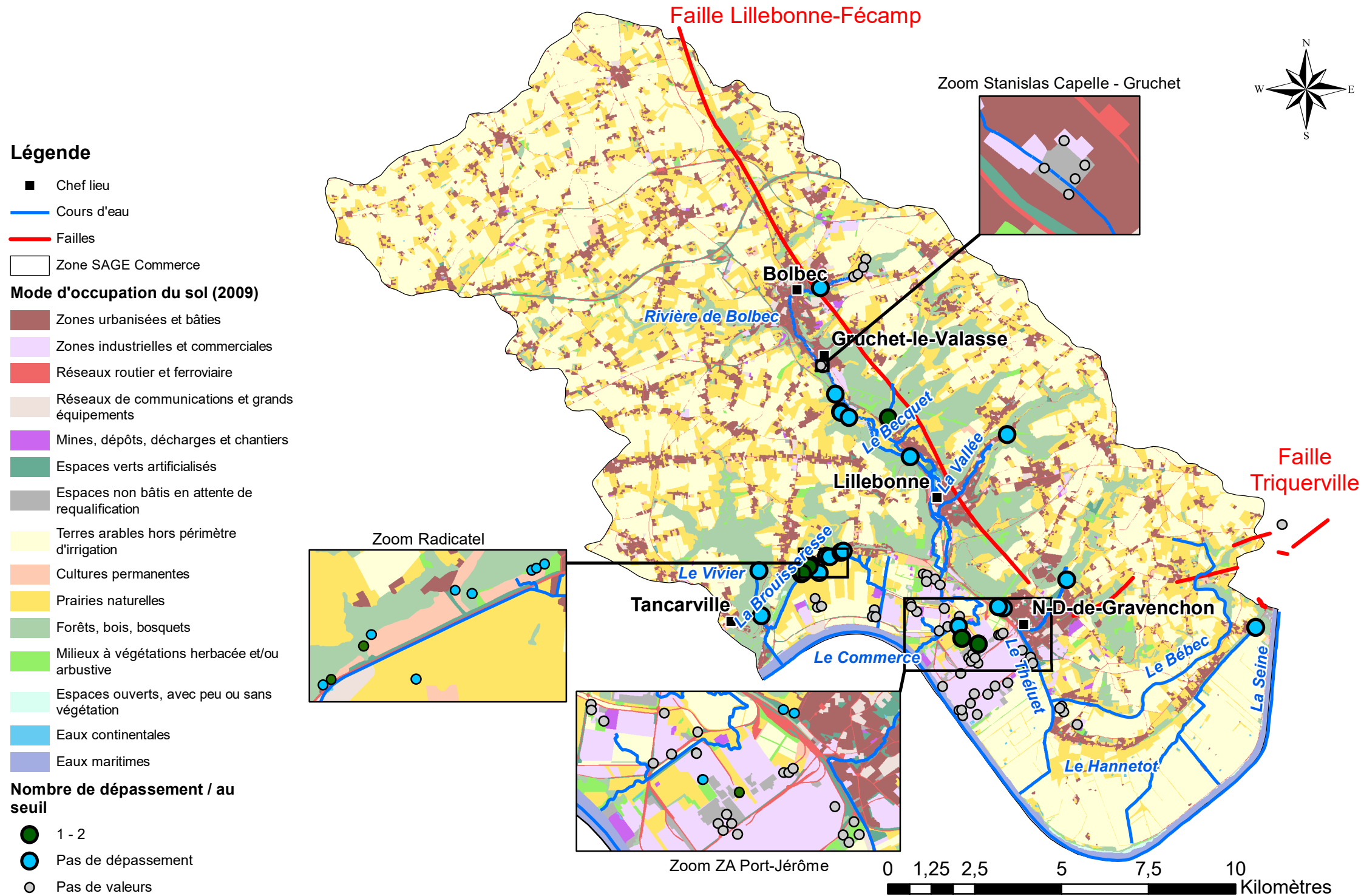
- 1 - 2
- 11 - 21
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



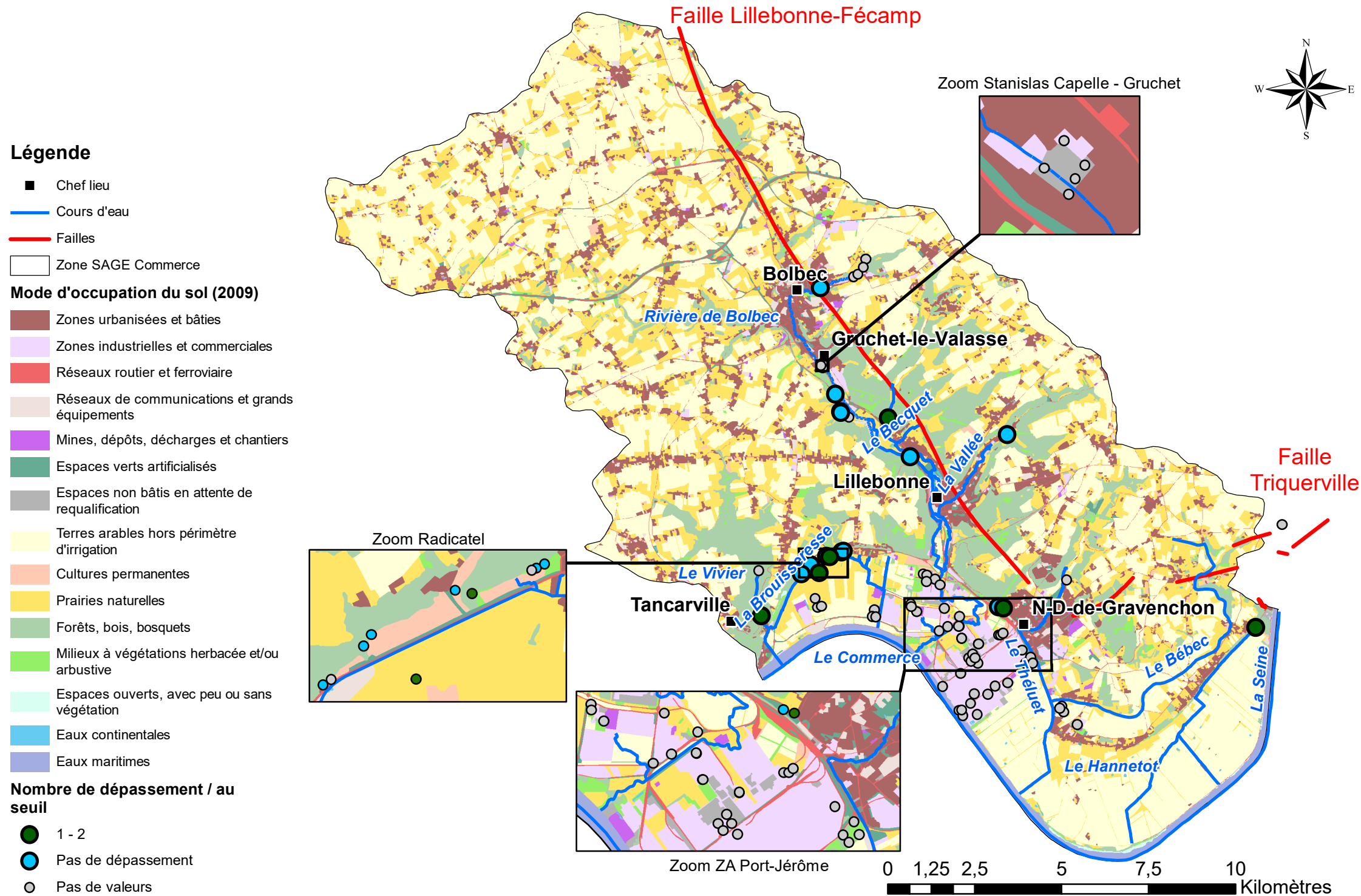
Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Pharmacie dans les eaux souterraines



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Phenols dans les eaux souterraines



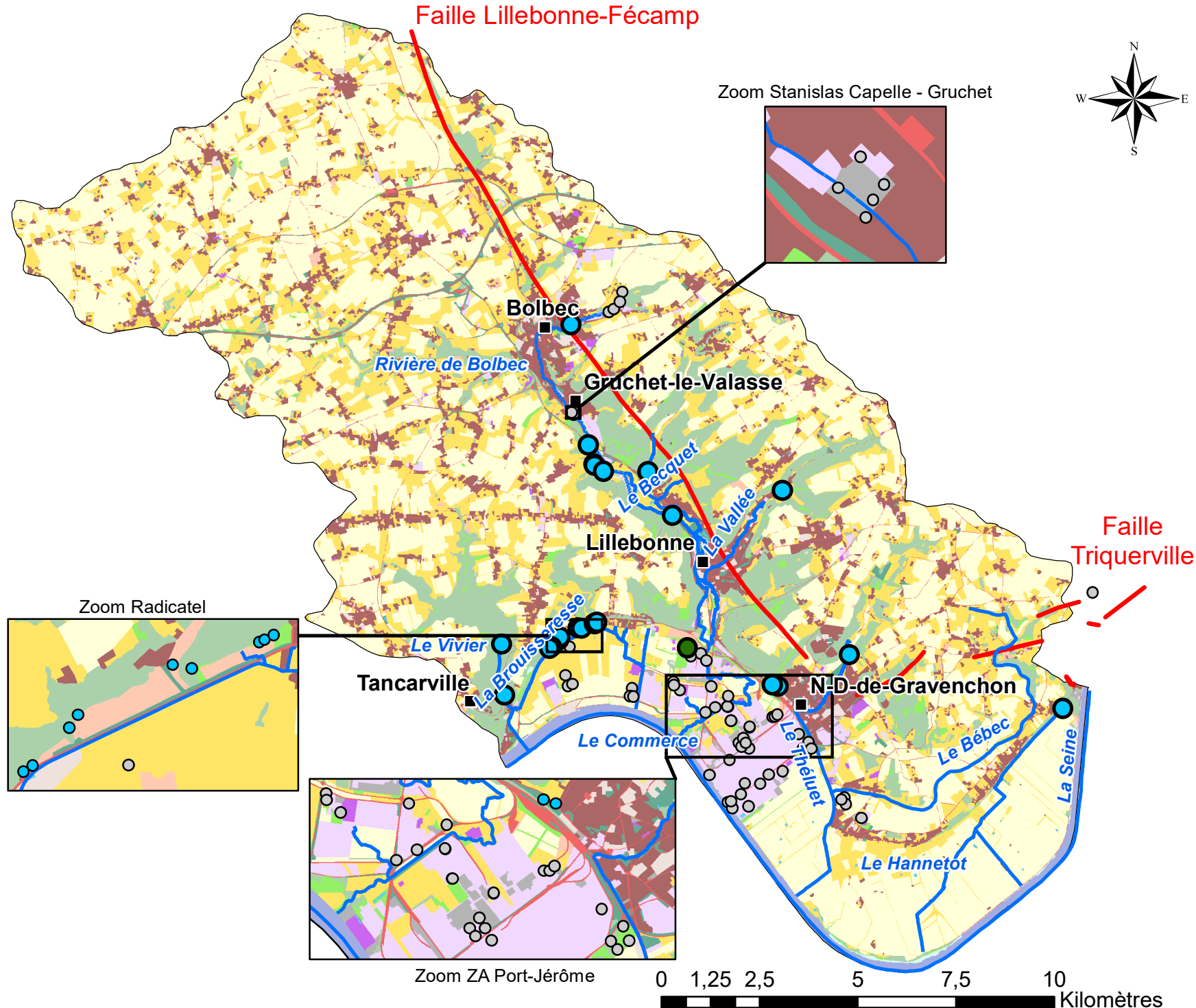
Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Radioactifs dans les eaux souterraines



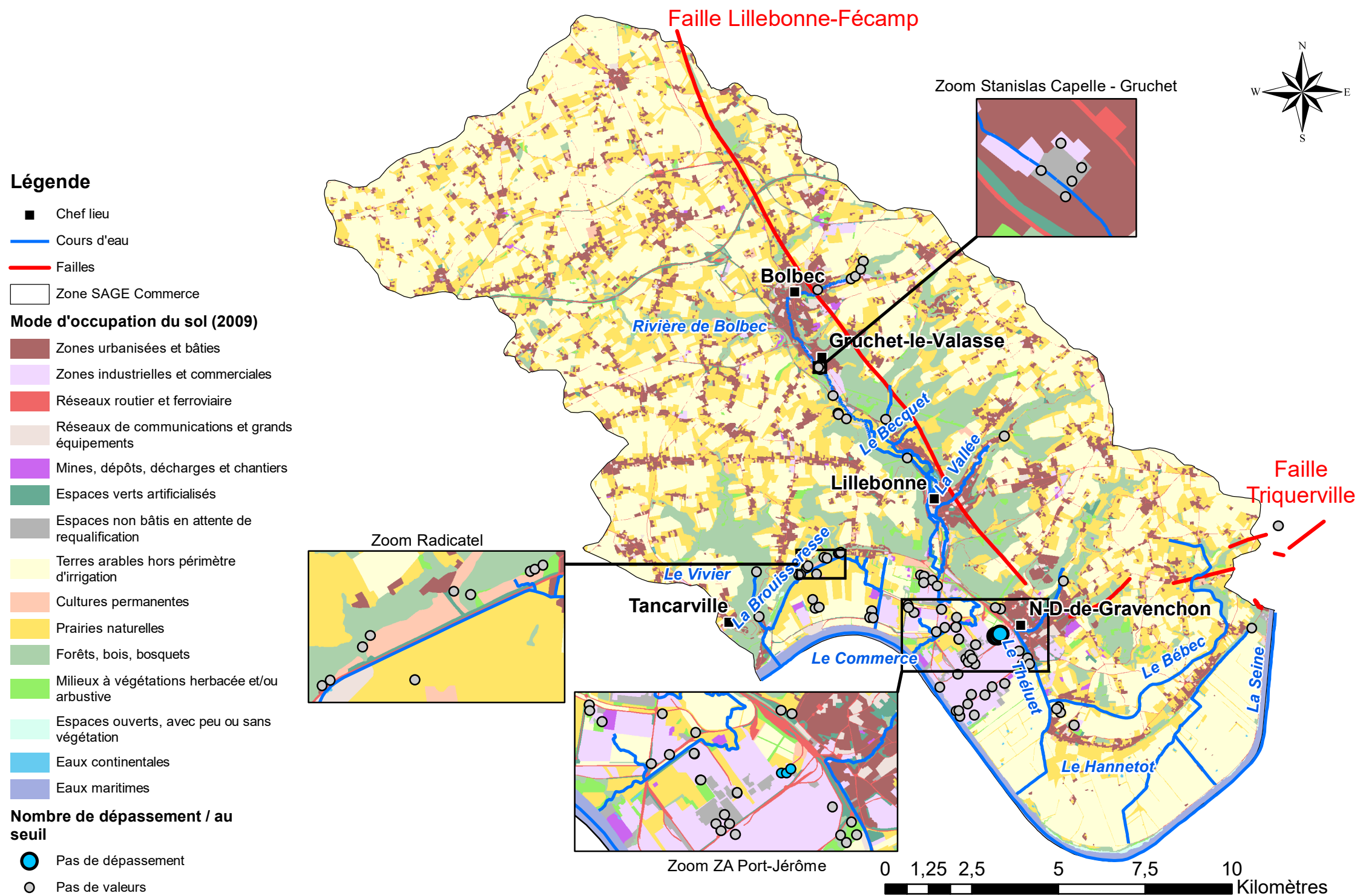
Valeur médiane A_Carboxy dans les eaux souterraines

Légende

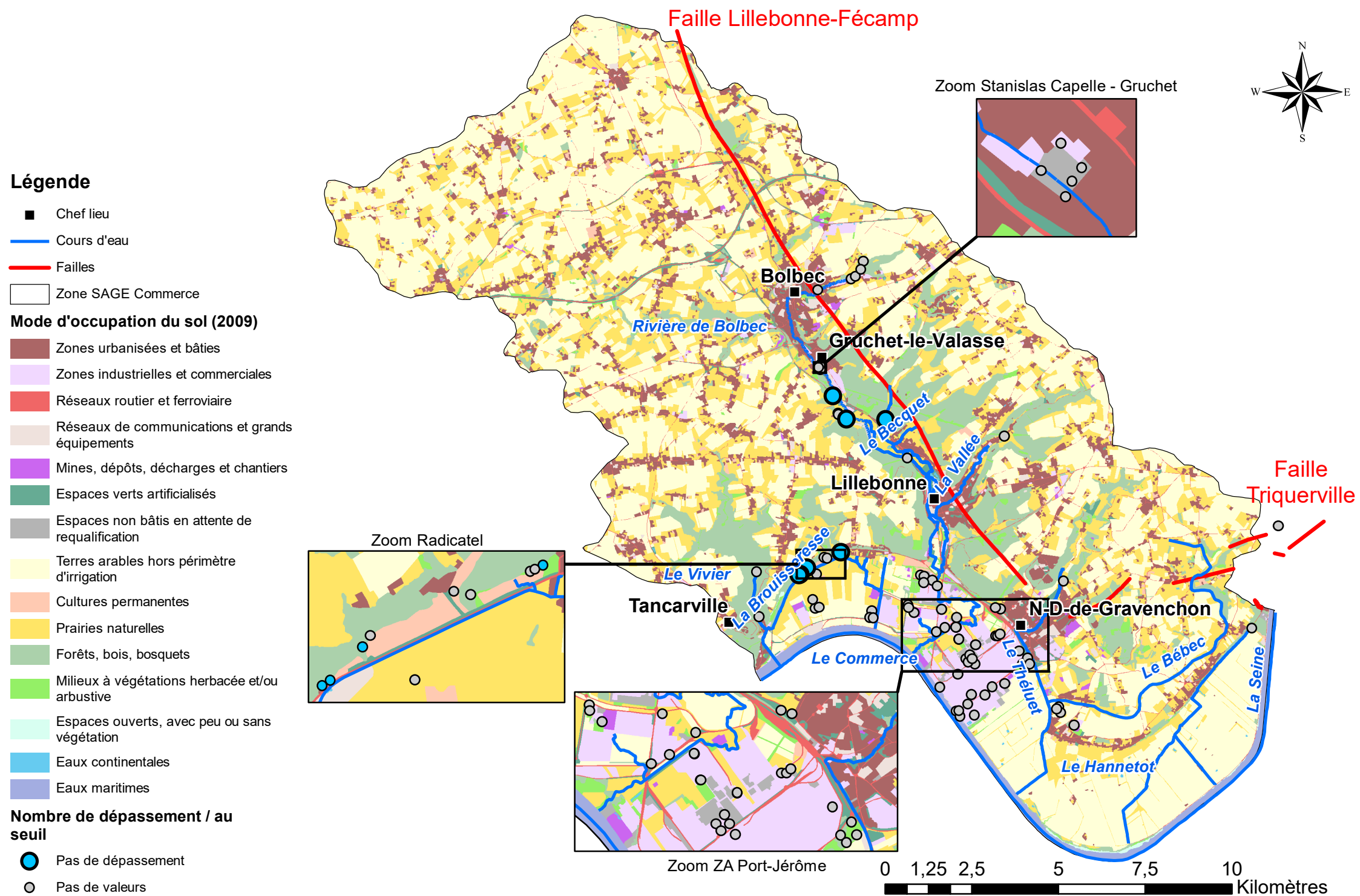
- Chef lieu
 - Cours d'eau
 - Failles
 - Zone SAGE Commerce
- Mode d'occupation du sol (2009)**
- Zones urbanisées et bâties
 - Zones industrielles et commerciales
 - Réseaux routier et ferroviaire
 - Réseaux de communications et grands équipements
 - Mines, dépôts, décharges et chantiers
 - Espaces verts artificialisés
 - Espaces non bâtis en attente de requalification
 - Terres arables hors périmètre d'irrigation
 - Cultures permanentes
 - Prairies naturelles
 - Forêts, bois, bosquets
 - Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
 - Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
 - Eaux continentales
 - Eaux maritimes
- Nombre de dépassement / au seuil**
- 1 - 2
 - Pas de dépassement
 - Pas de valeurs



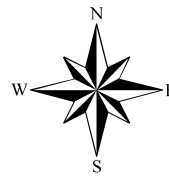
Valeur médiane Alcools dans les eaux souterraines



Valeur médiane Chloroalcan dans les eaux souterraines



Valeur médiane COHV dans les eaux souterraines



Légende

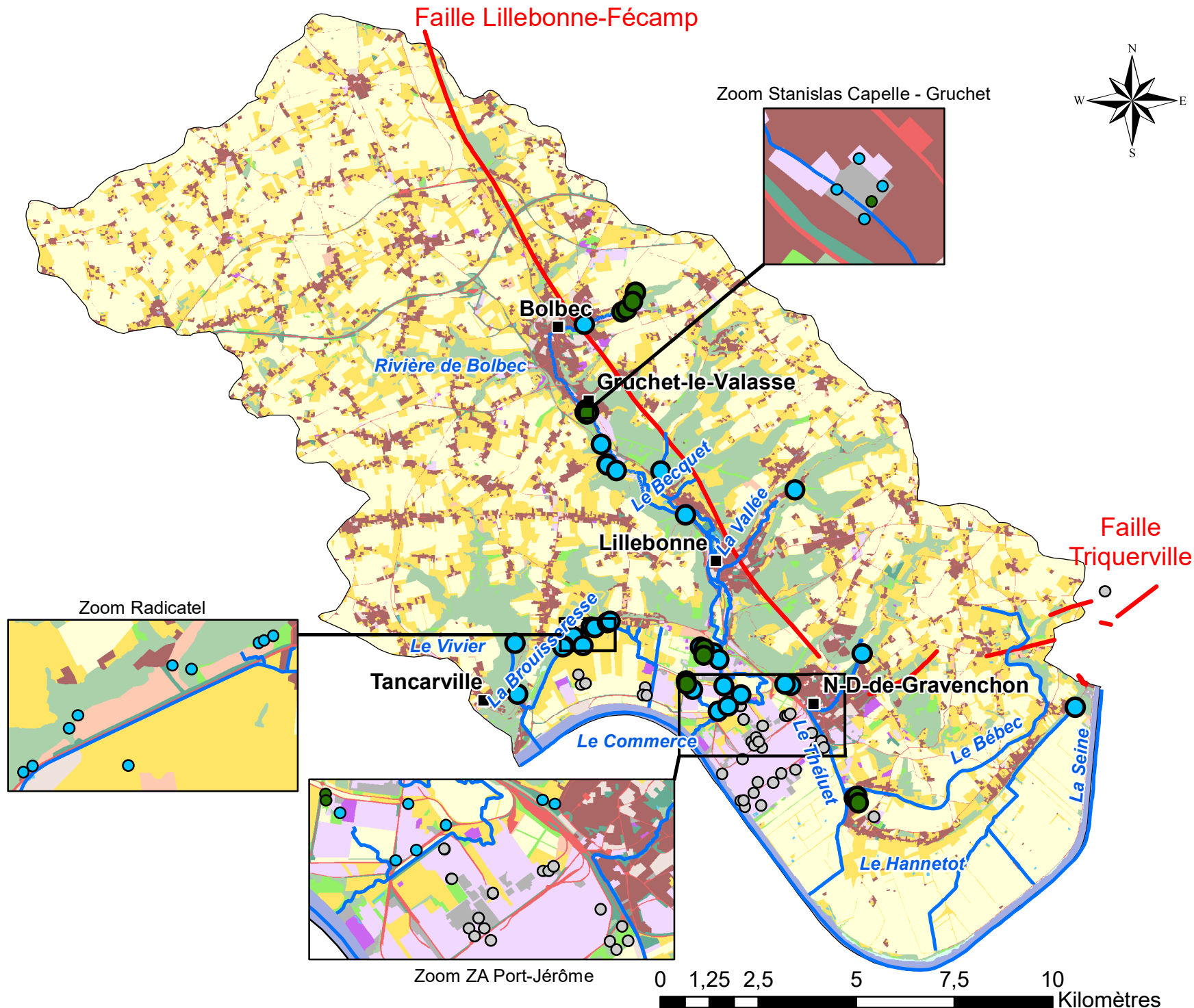
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

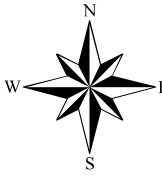
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane E_minéraux dans les eaux souterraines



Légende

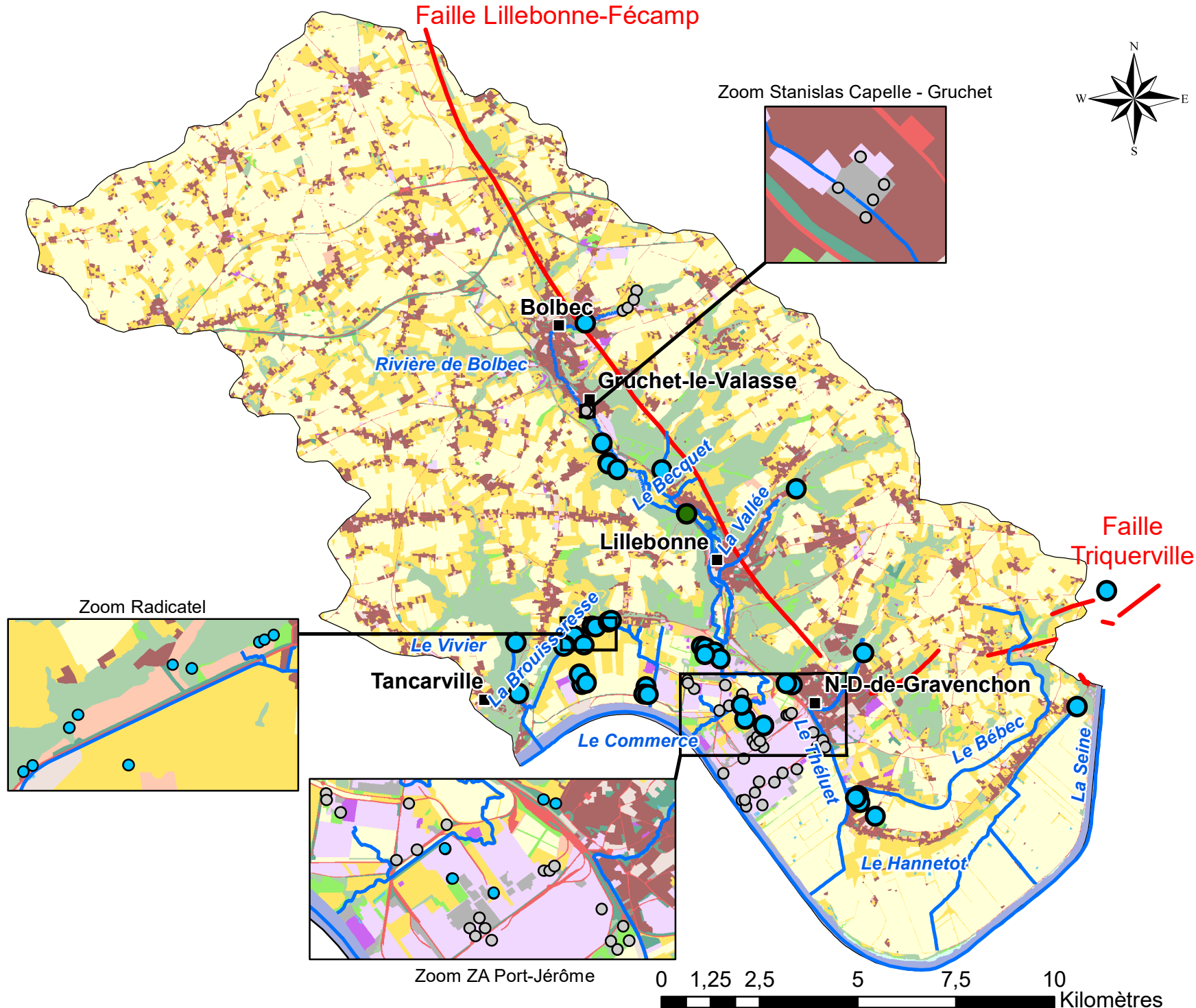
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane Hydrocarbu dans les eaux souterraines

Légende

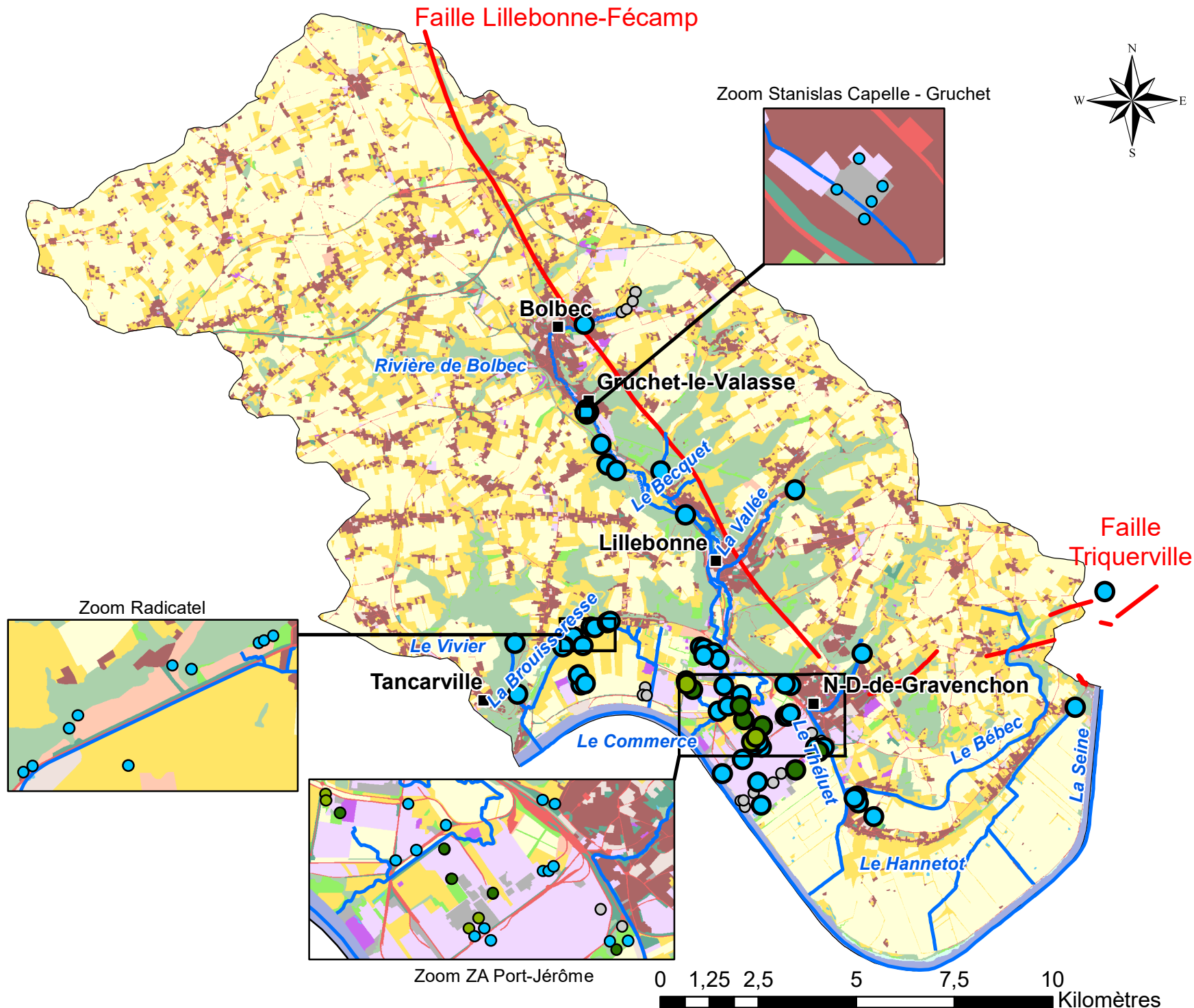
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

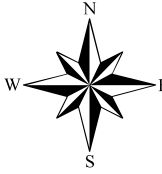
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

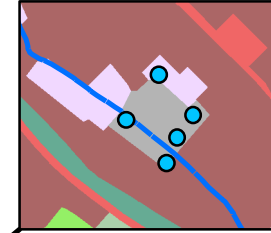
- 1 - 2
- 3 - 4
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



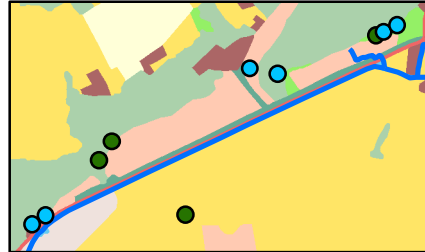
Valeur médiane Indices dans les eaux souterraines



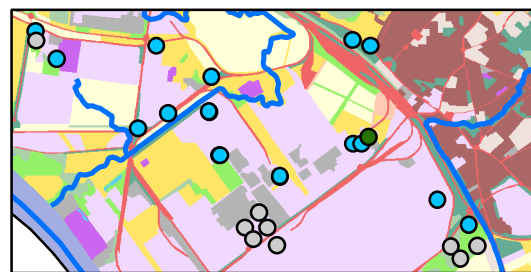
Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Zoom Radicatel

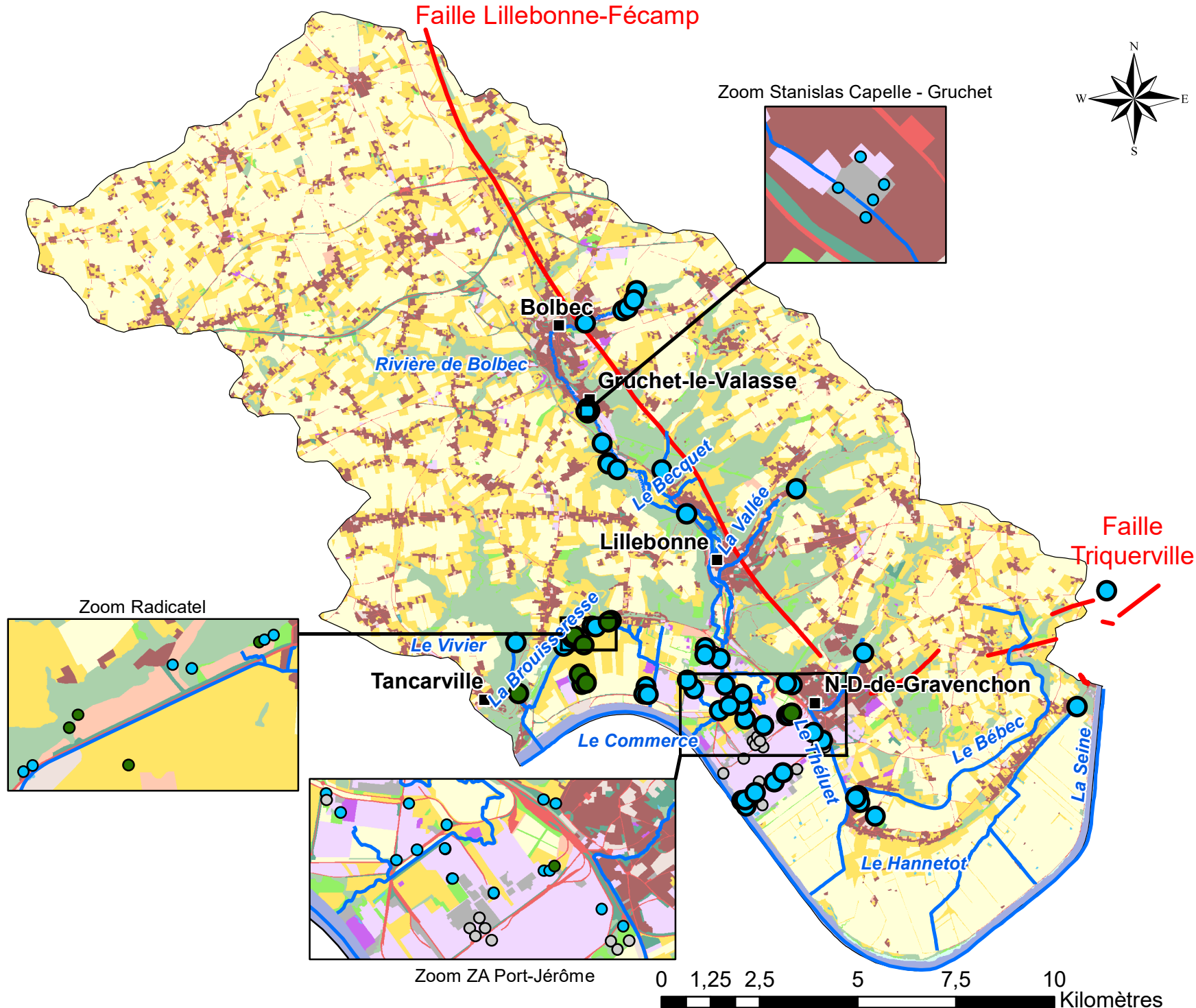


Zoom ZA Port-Jérôme

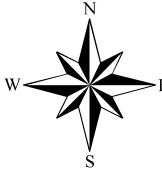


Légende

- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce
- Mode d'occupation du sol (2009)**
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes
- Nombre de dépassement / au seuil**
- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane Metaux dans les eaux souterraines



Légende

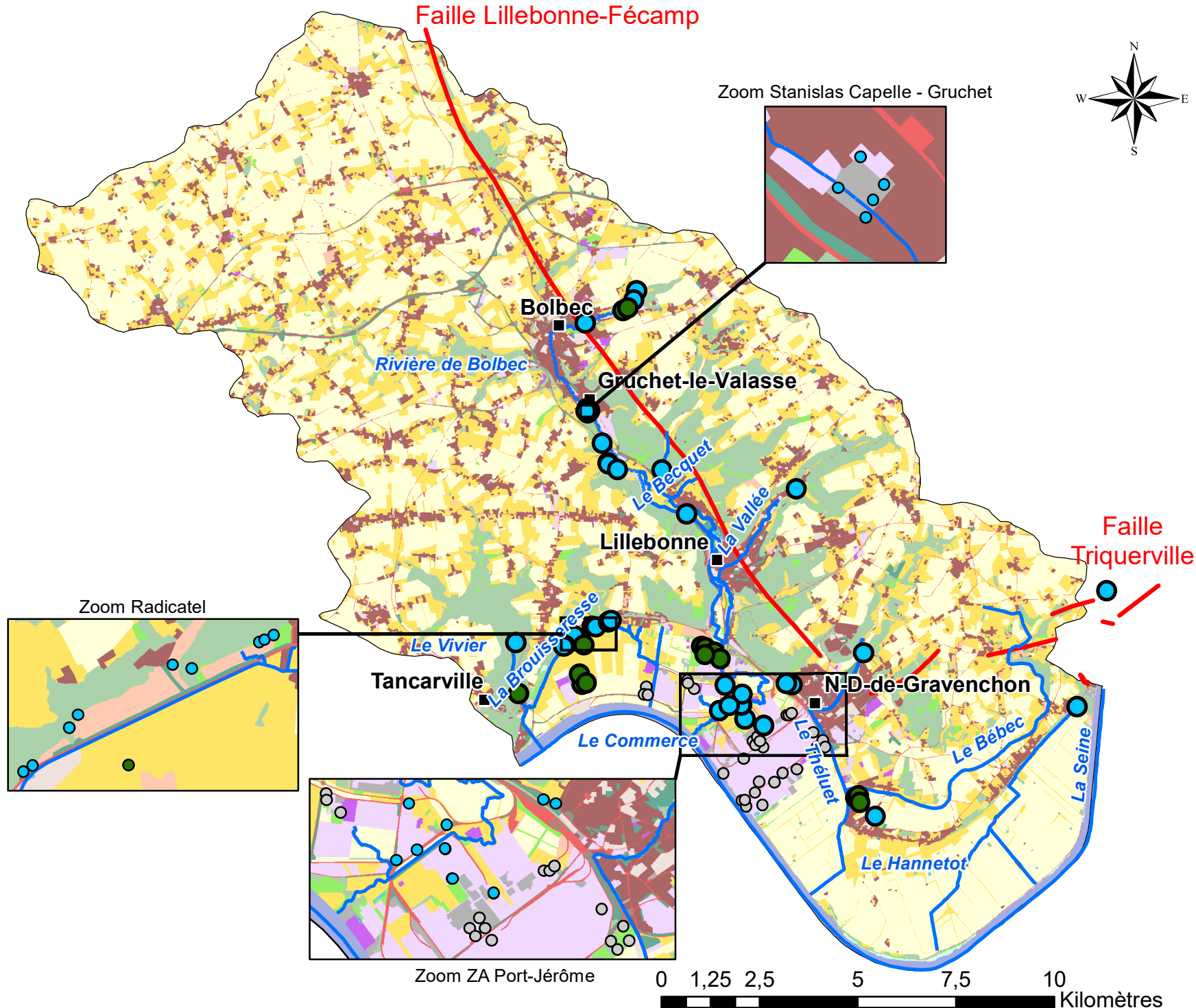
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

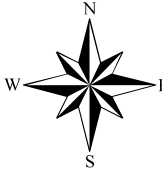
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane Paramètres dans les eaux souterraines



Légende

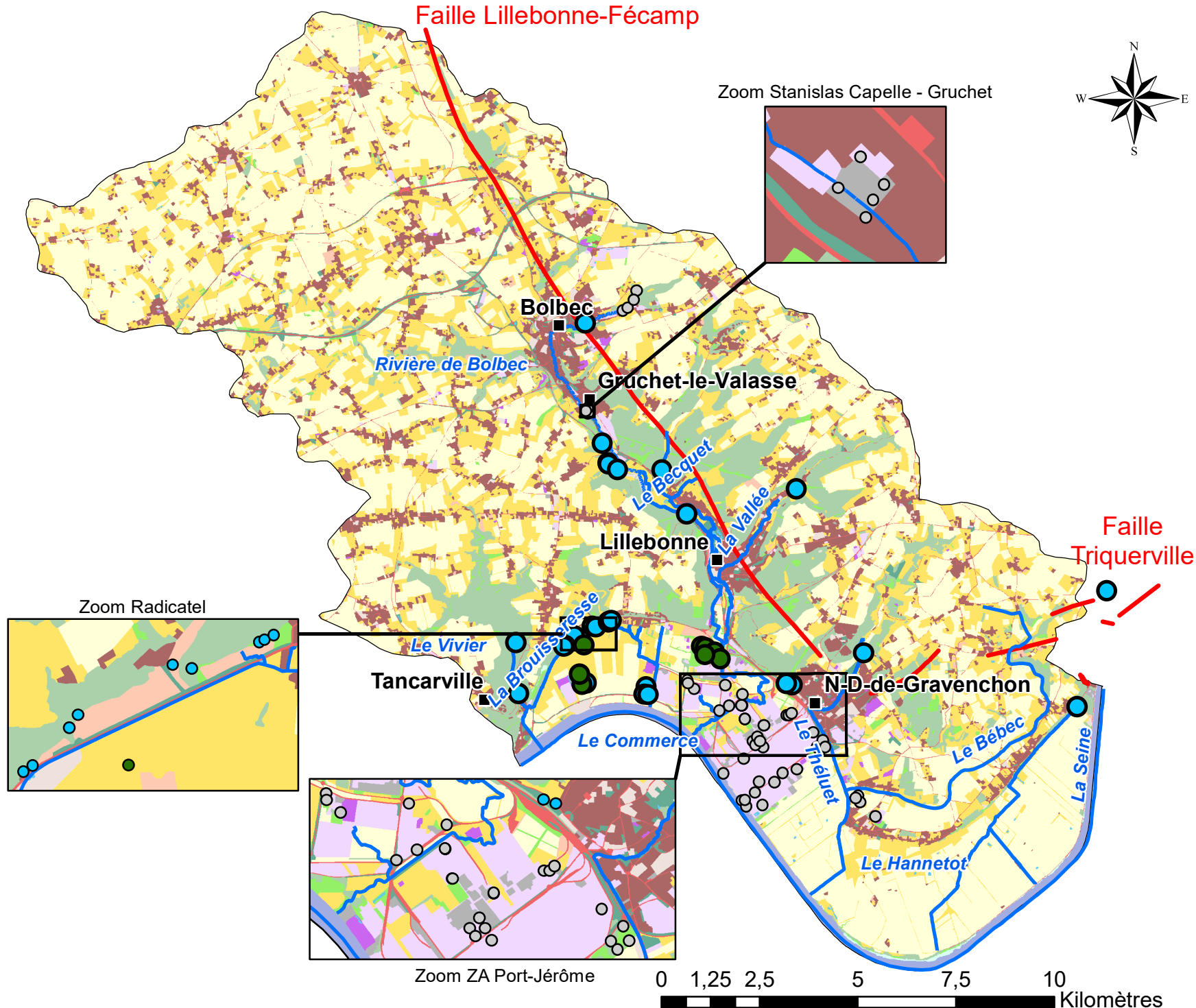
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

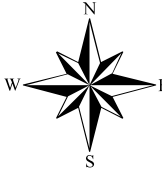
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

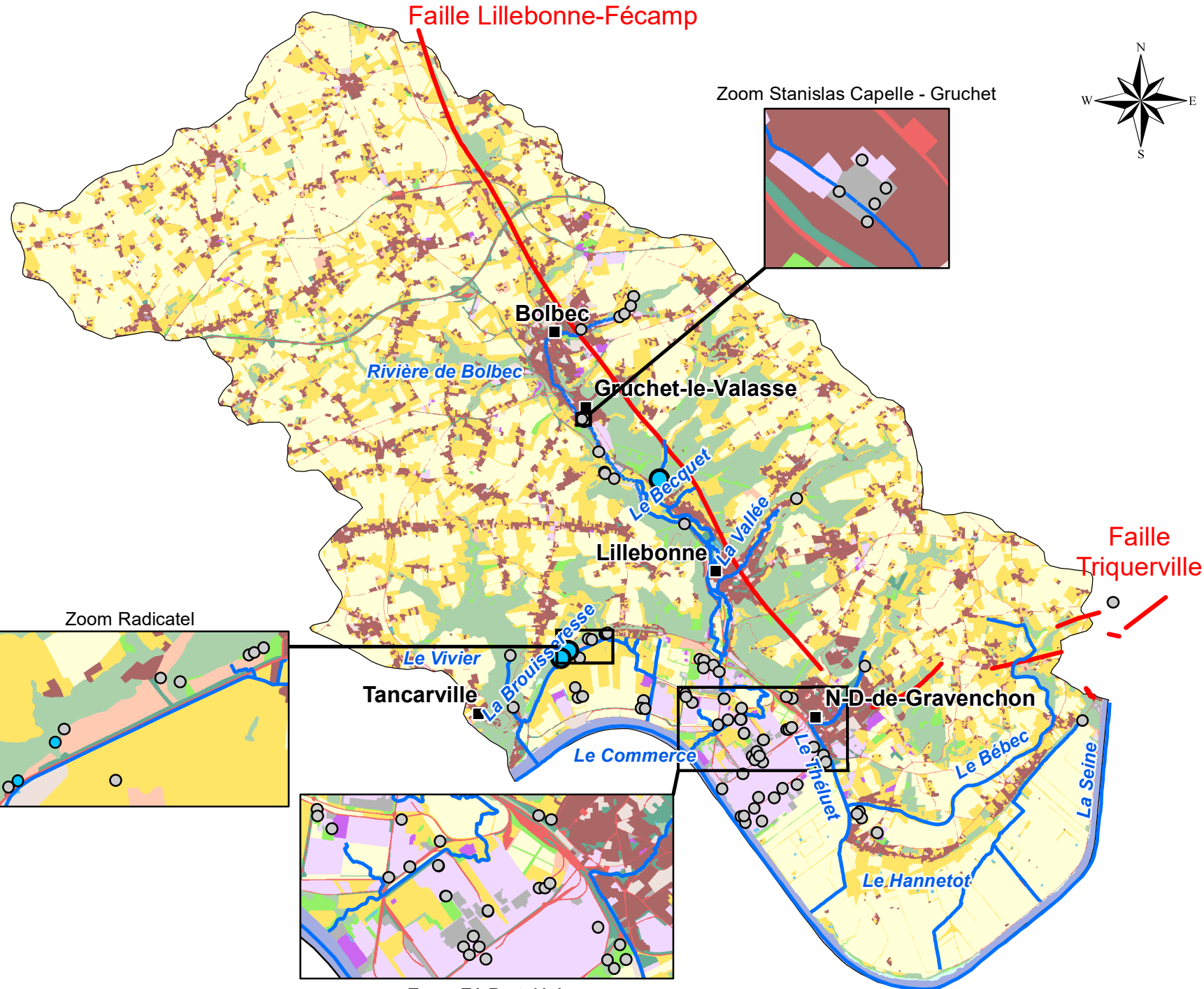
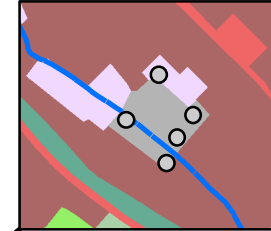
- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane PBDE dans les eaux souterraines

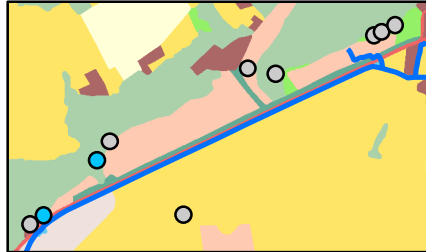


Zoom Stanislas Capelle - Gruchet

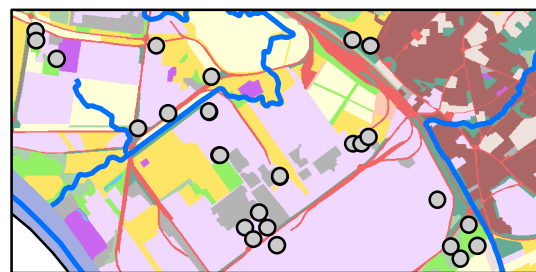


Faille Triquerville

Zoom Radicatel



Zoom ZA Port-Jérôme



Légende

- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

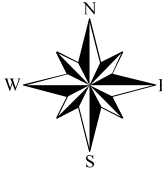
Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

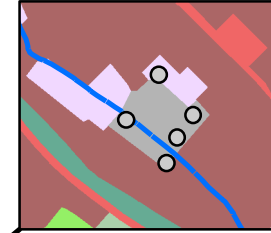
Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

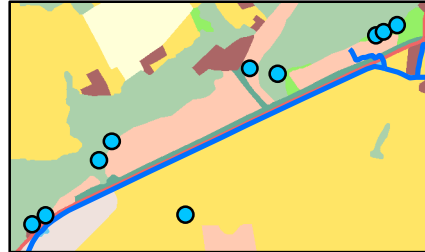
Valeur médiane PCB dans les eaux souterraines



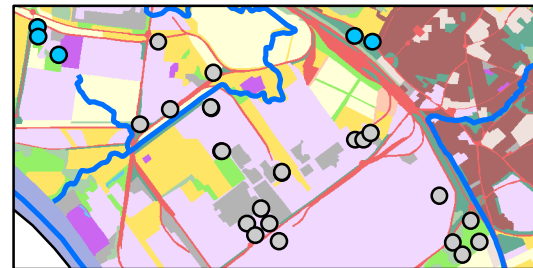
Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Zoom Radicatel

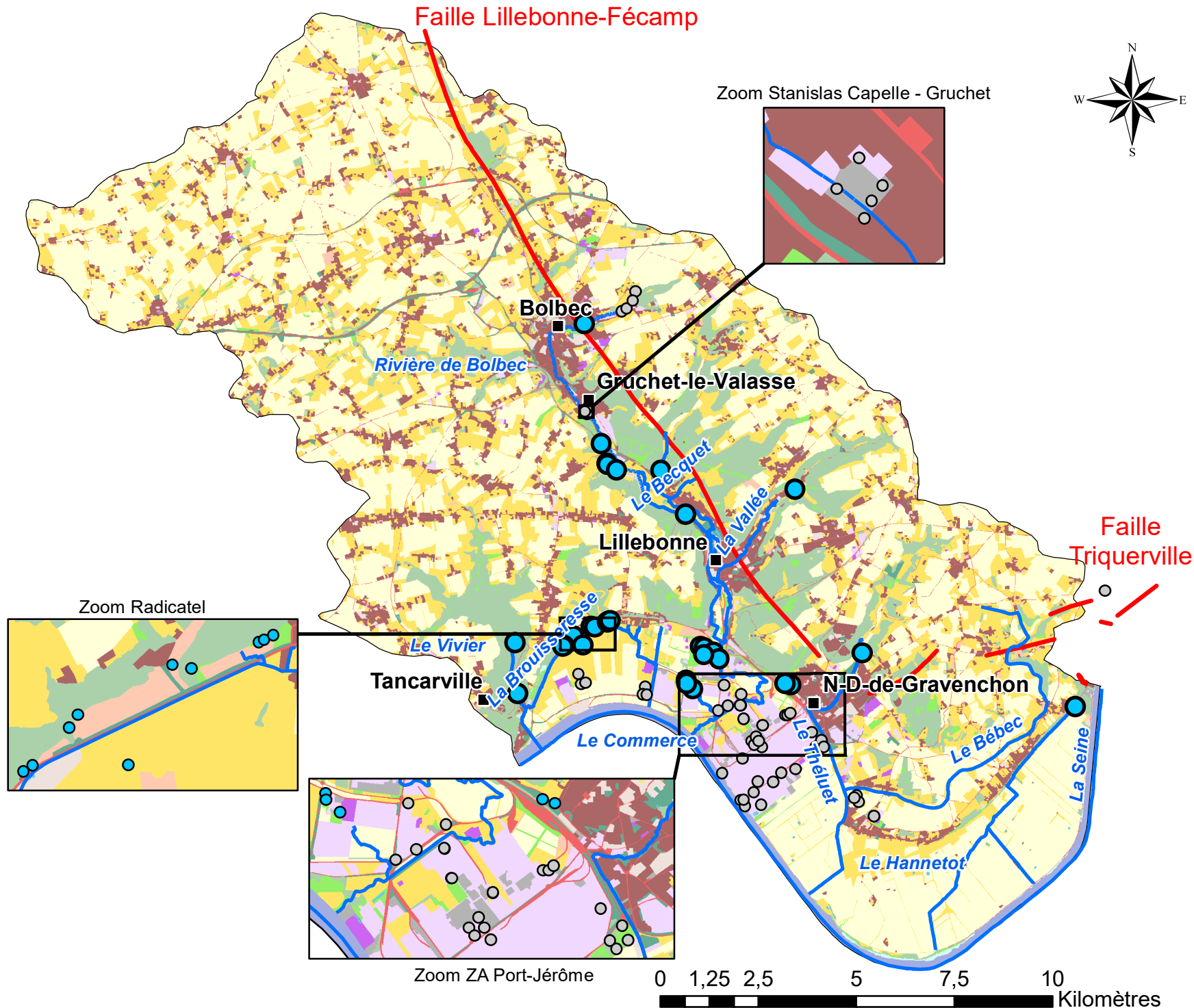


Zoom ZA Port-Jérôme



Faille Triquerville

Faille Lillebonne-Fécamp



Légende

- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

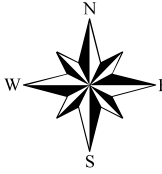
Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

Valeur médiane Pesticides dans les eaux souterraines



Légende

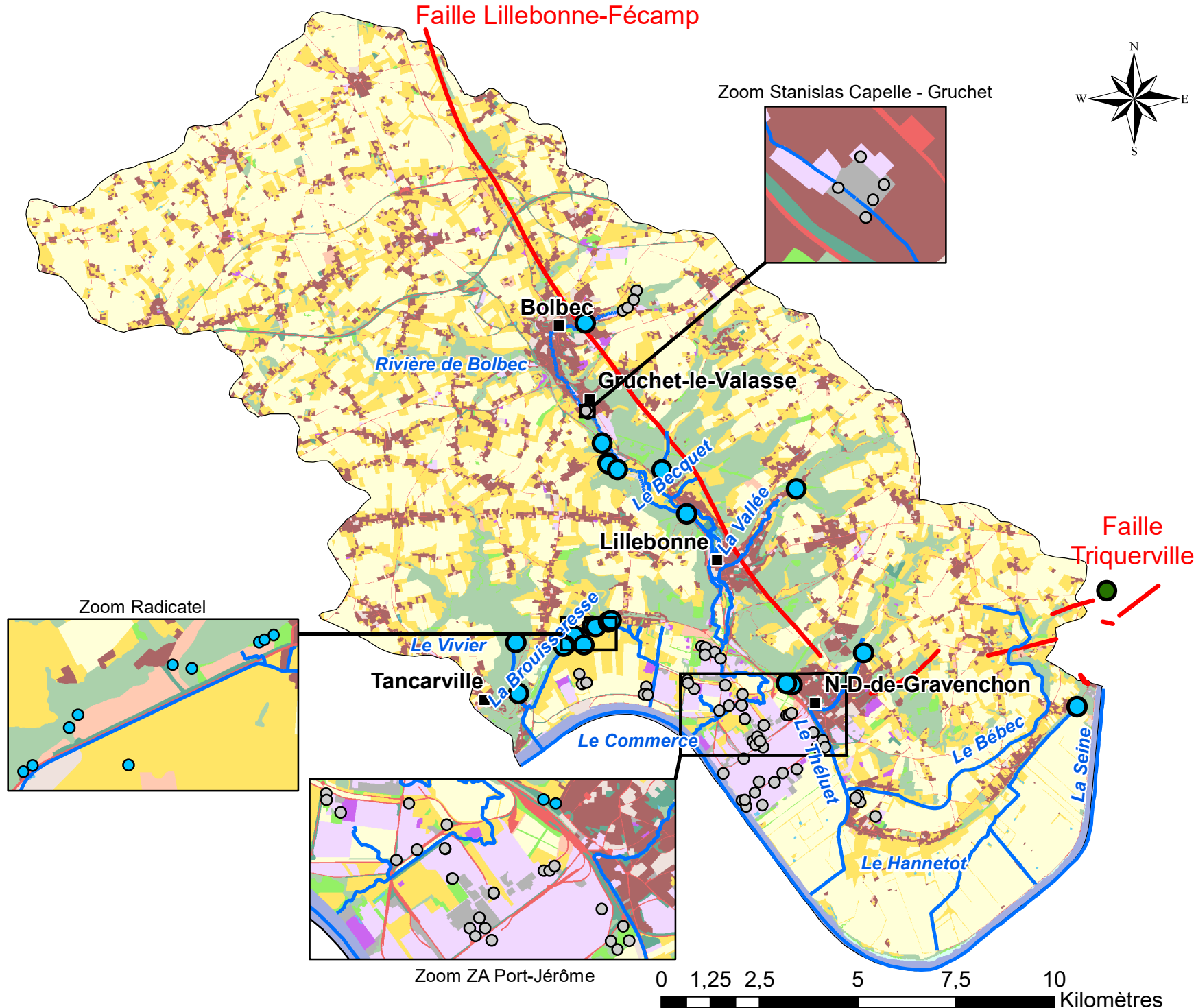
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

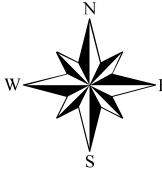
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

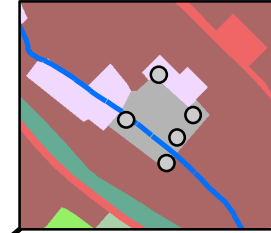
- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



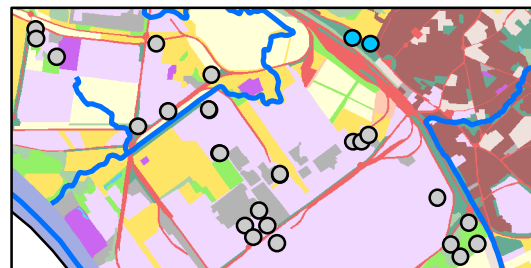
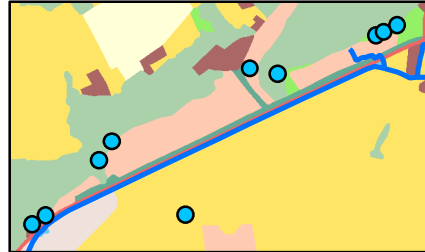
Valeur médiane Pharmacie dans les eaux souterraines



Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Zoom Radicatel



Zoom ZA Port-Jérôme



Faille Triquerville

Tancarville

Le Vivier

La Brousses

Le Commerce

Le Commerce

Le Jhéruet

Le Hannetot

La Seine

Le Bébec

N-D-de-Gravenchon

Lillebonne

Gruchet-le-Valasse

Bolbec

Rivière de Bolbec

Le Becquet

La Vallée

Faille Lillebonne-Fécamp

Légende

- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

Valeur médiane Phenols dans les eaux souterraines

Légende

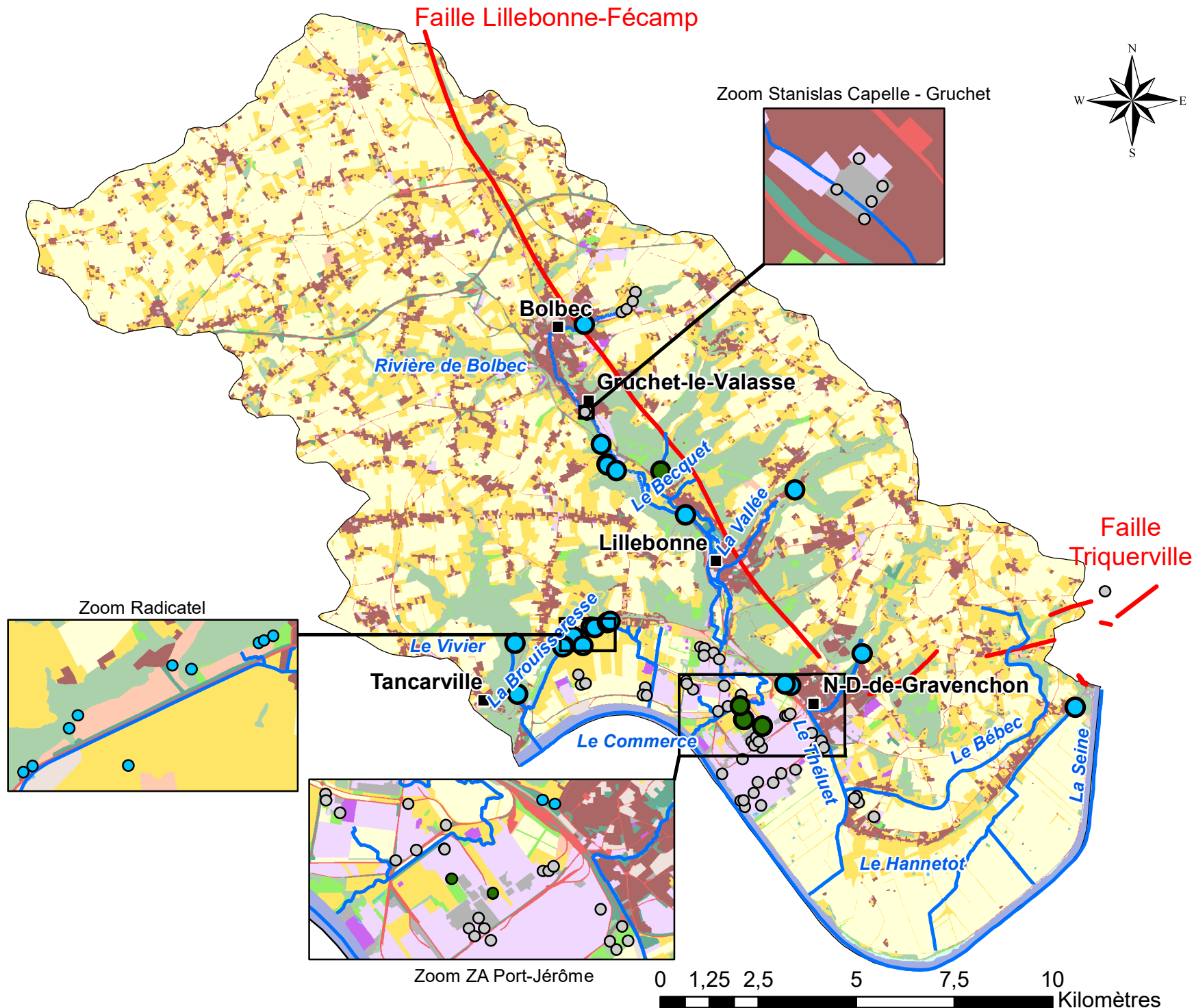
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

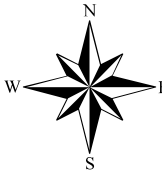
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

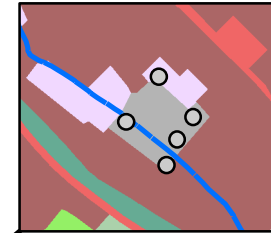
- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane Radioactifs dans les eaux souterraines



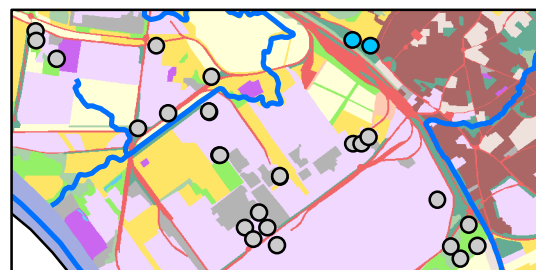
Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Zoom Radicatel



Zoom ZA Port-Jérôme



Faille Triquerville



Légende

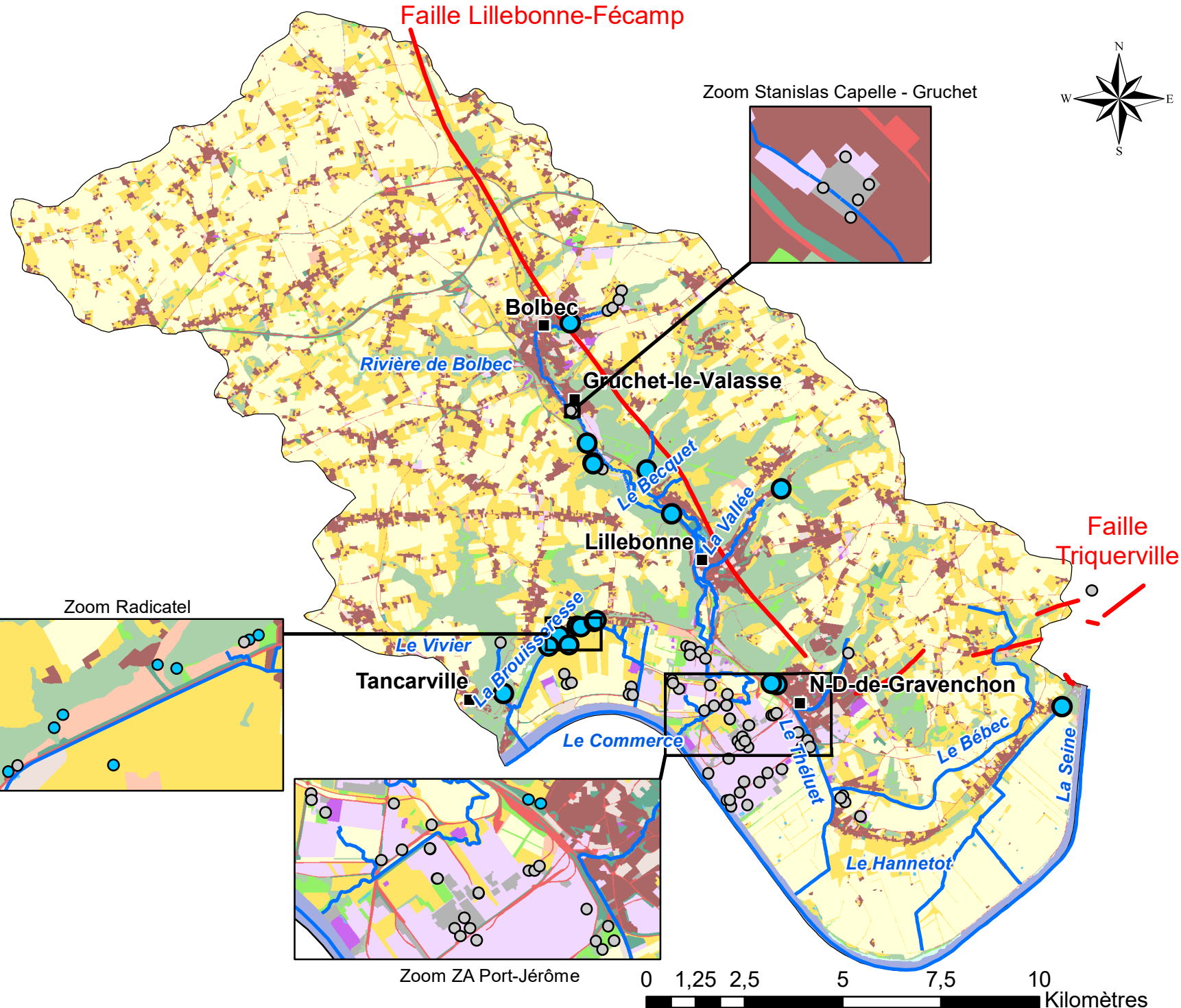
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



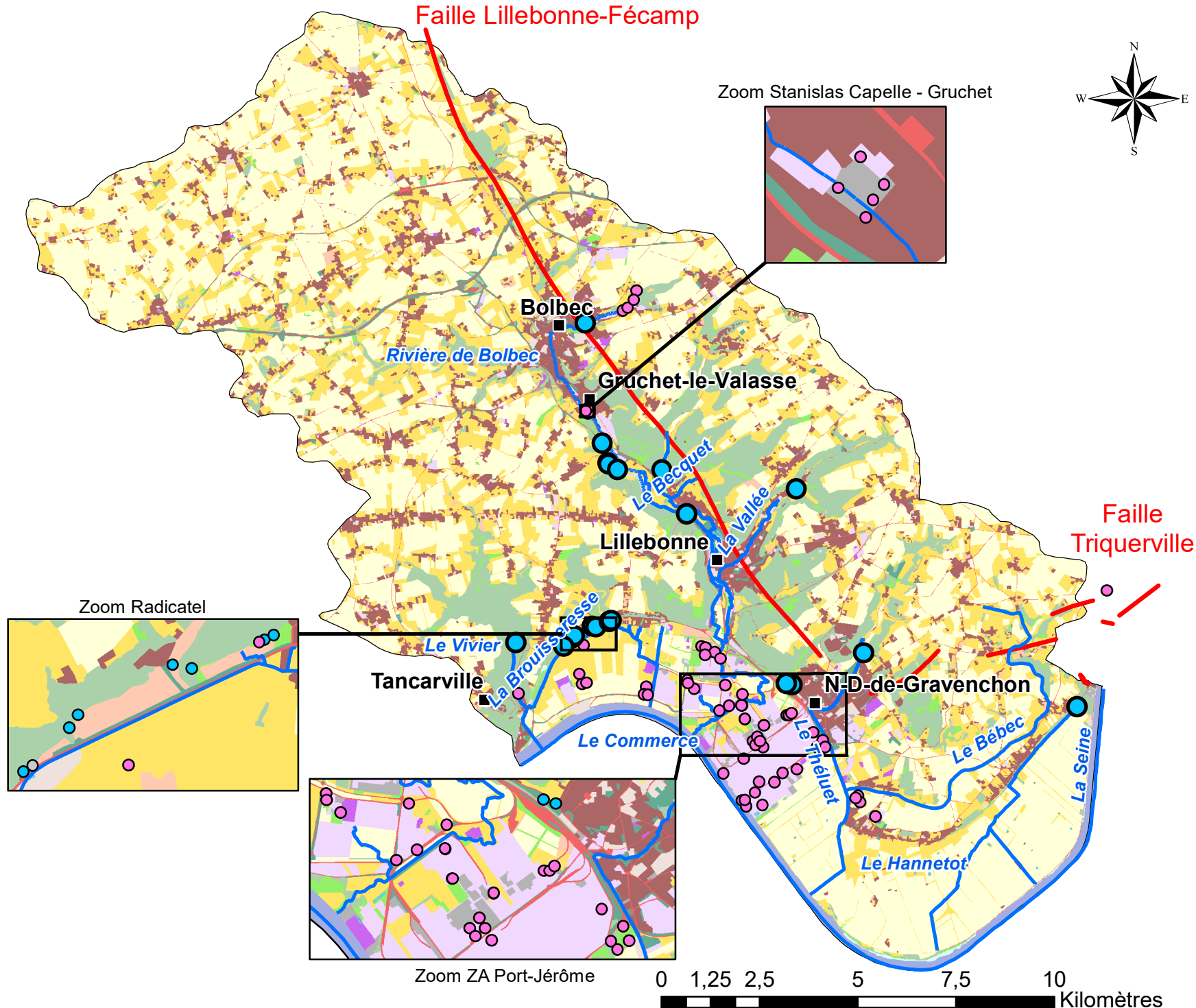
c) Analyse pour les Eaux Superficielles (ESU)

- Dernière mesure
- Maximum connu
- Percentile 90
- Médiane

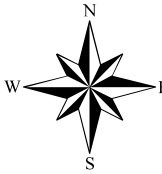
Dernière mesure A_Carboxy dans les eaux souterraines

Légende

- Chef lieu
 - Cours d'eau
 - Failles
 - Zone SAGE Commerce
- Mode d'occupation du sol (2009)**
- Zones urbanisées et bâties
 - Zones industrielles et commerciales
 - Réseaux routier et ferroviaire
 - Réseaux de communications et grands équipements
 - Mines, dépôts, décharges et chantiers
 - Espaces verts artificialisés
 - Espaces non bâtis en attente de requalification
 - Terres arables hors périmètre d'irrigation
 - Cultures permanentes
 - Prairies naturelles
 - Forêts, bois, bosquets
 - Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
 - Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
 - Eaux continentales
 - Eaux maritimes
- Nombre de dépassement / au seuil**
- Pas de dépassement
 - Pas de données pour 2016 et 2017
 - Pas de valeurs



Dernière mesure Alcools dans les eaux souterraines



Légende

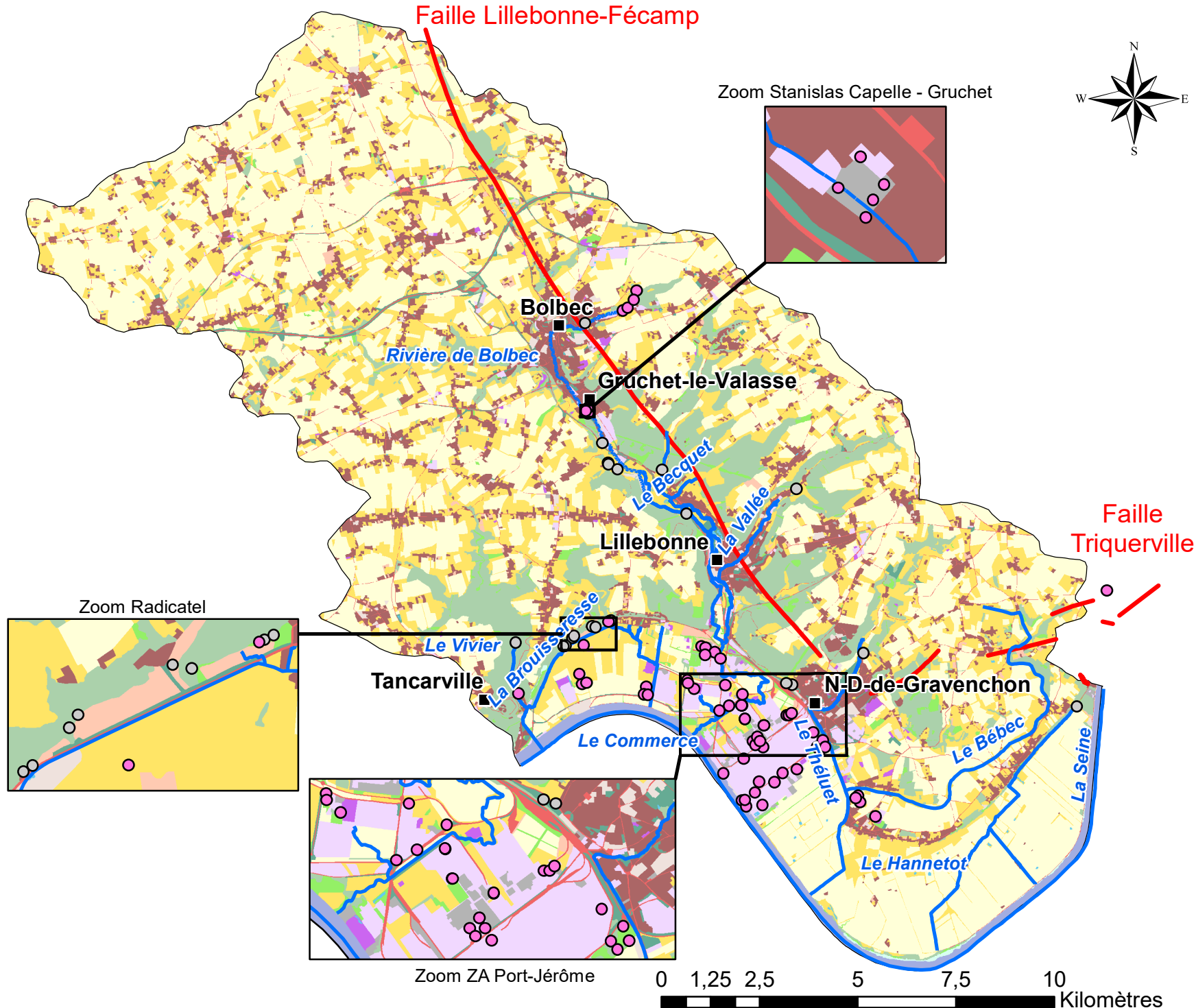
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

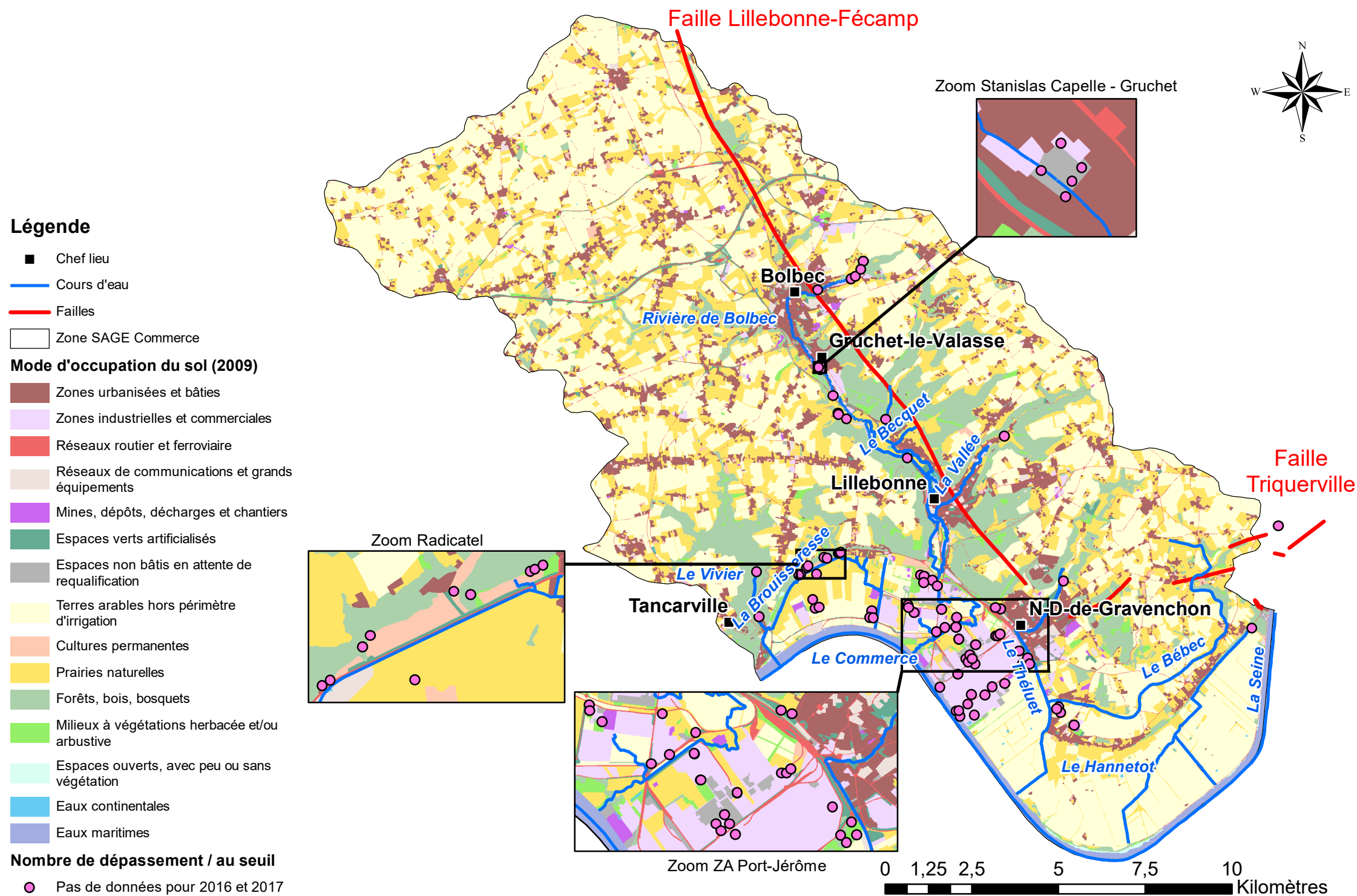
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

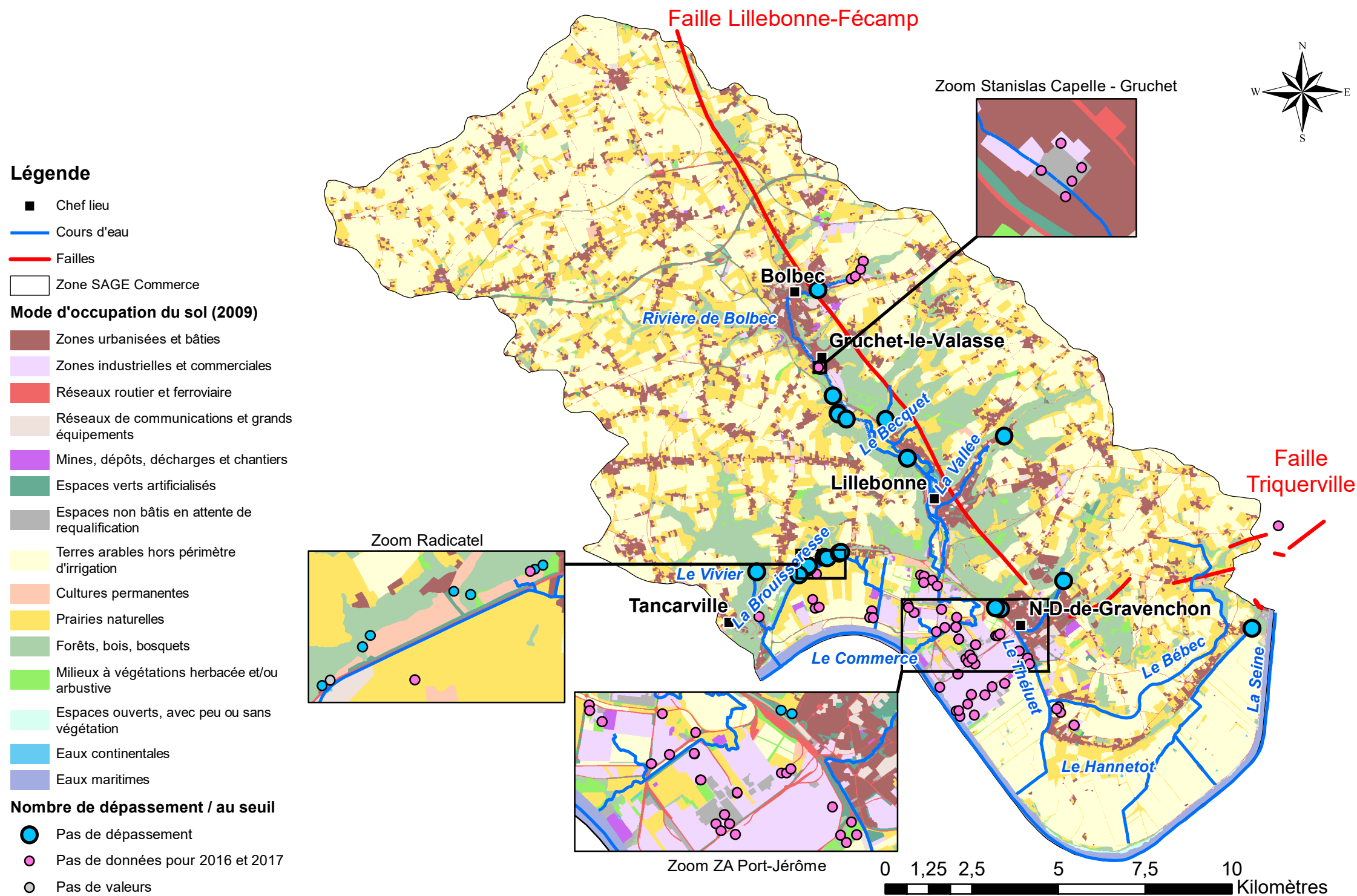
- Pas de données pour 2016 et 2017
- Pas de valeurs



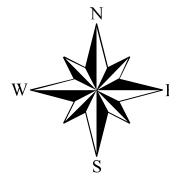
Dernière mesure Chloroalcan dans les eaux souterraines



Dernière mesure COHV dans les eaux souterraines



Dernière mesure E_minéraux dans les eaux souterraines



Légende

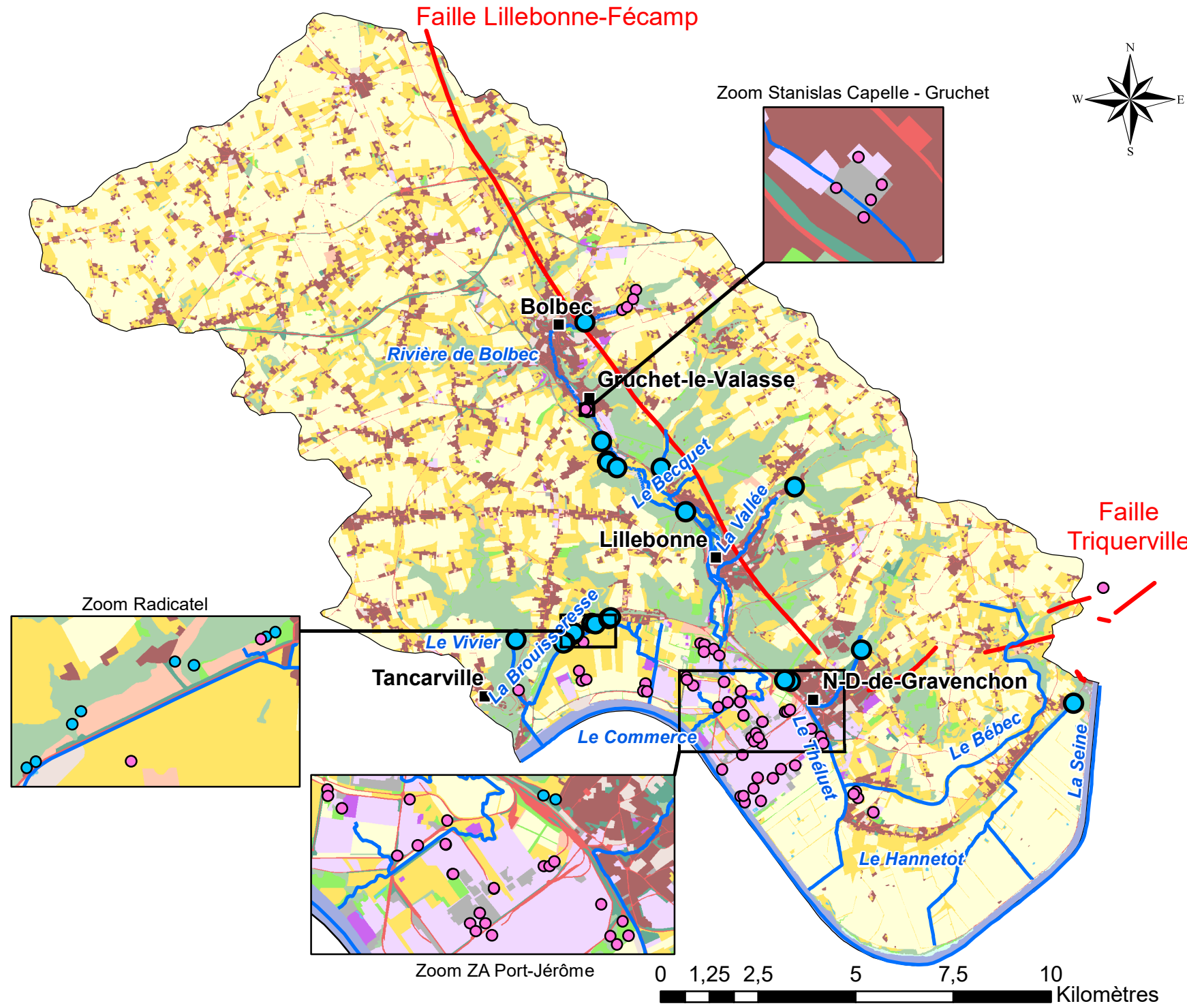
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

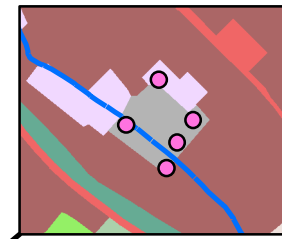
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

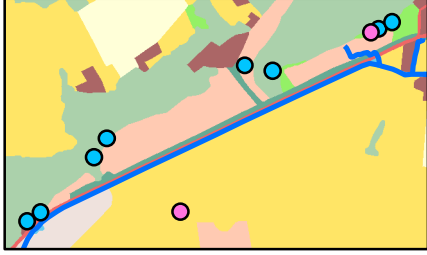
- Pas de dépassement
- Pas de données pour 2016 et 2017



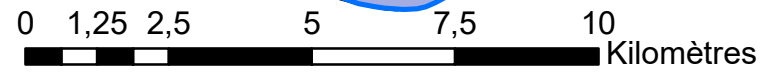
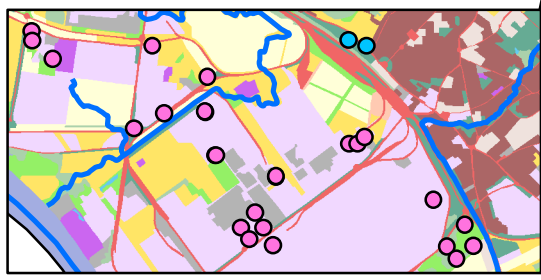
Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



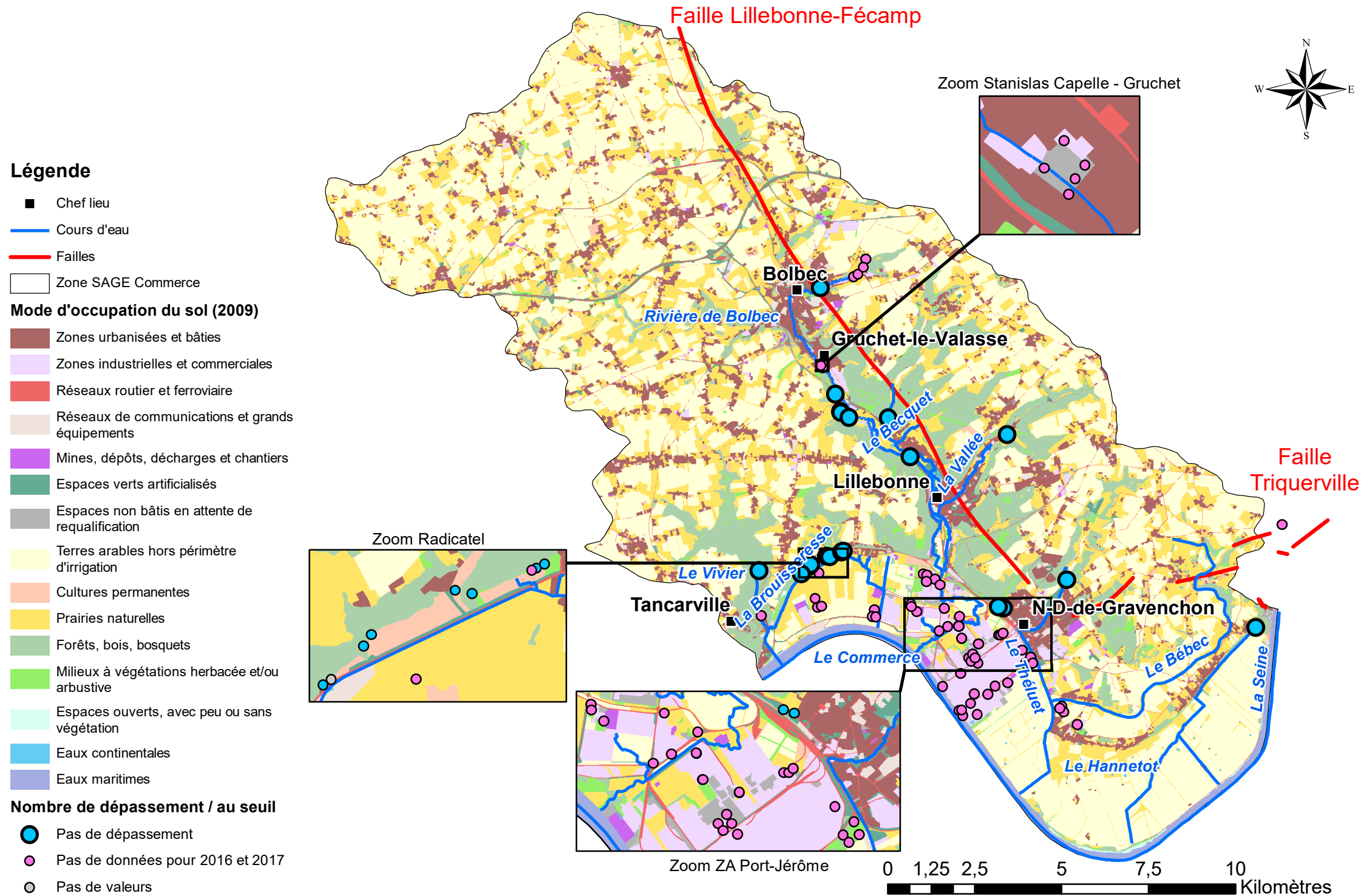
Zoom Radicatel



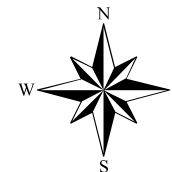
Zoom ZA Port-Jérôme



Dernière mesure Hydrocarbu dans les eaux souterraines



Dernière mesure Indices dans les eaux souterraines



Légende

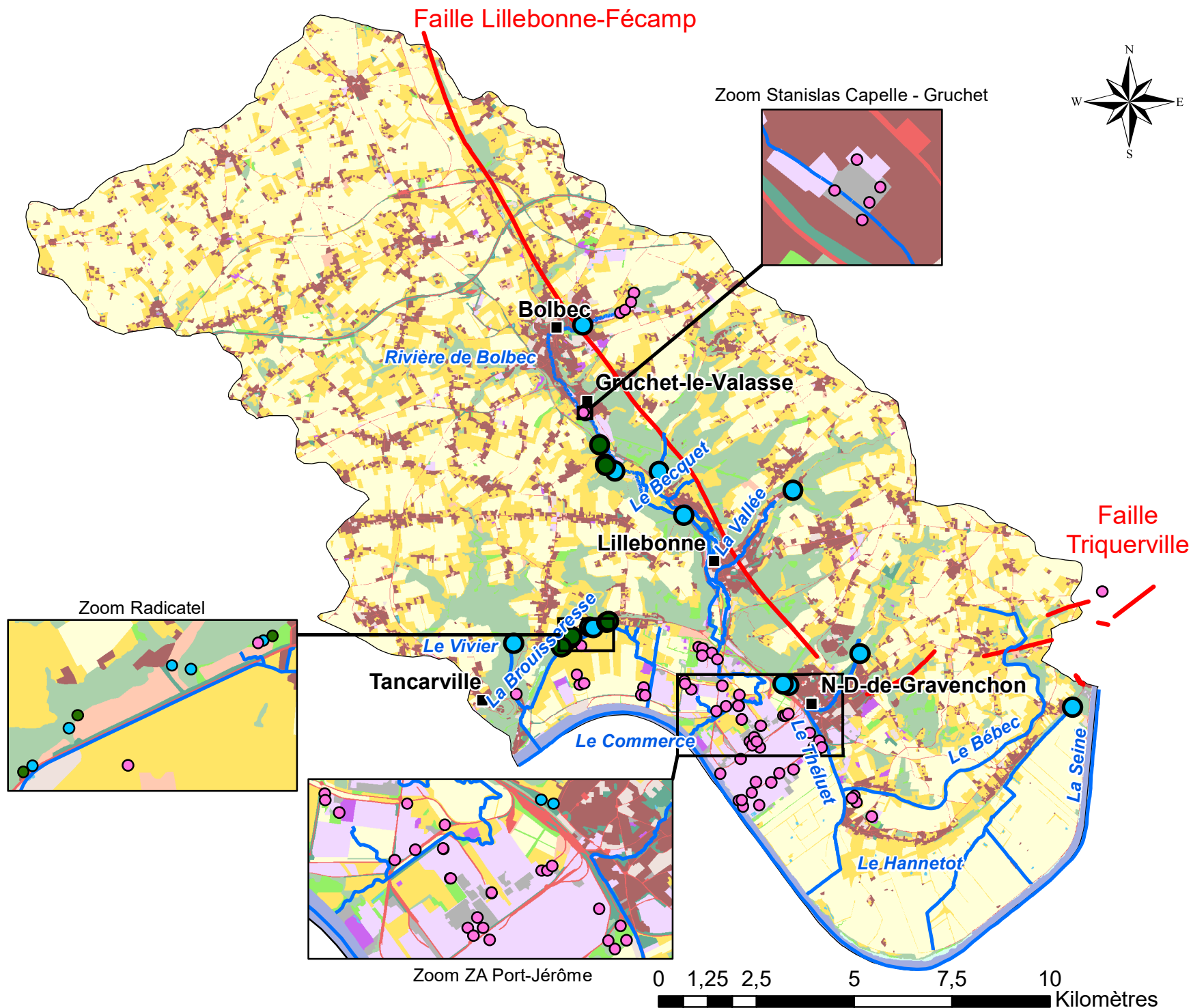
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

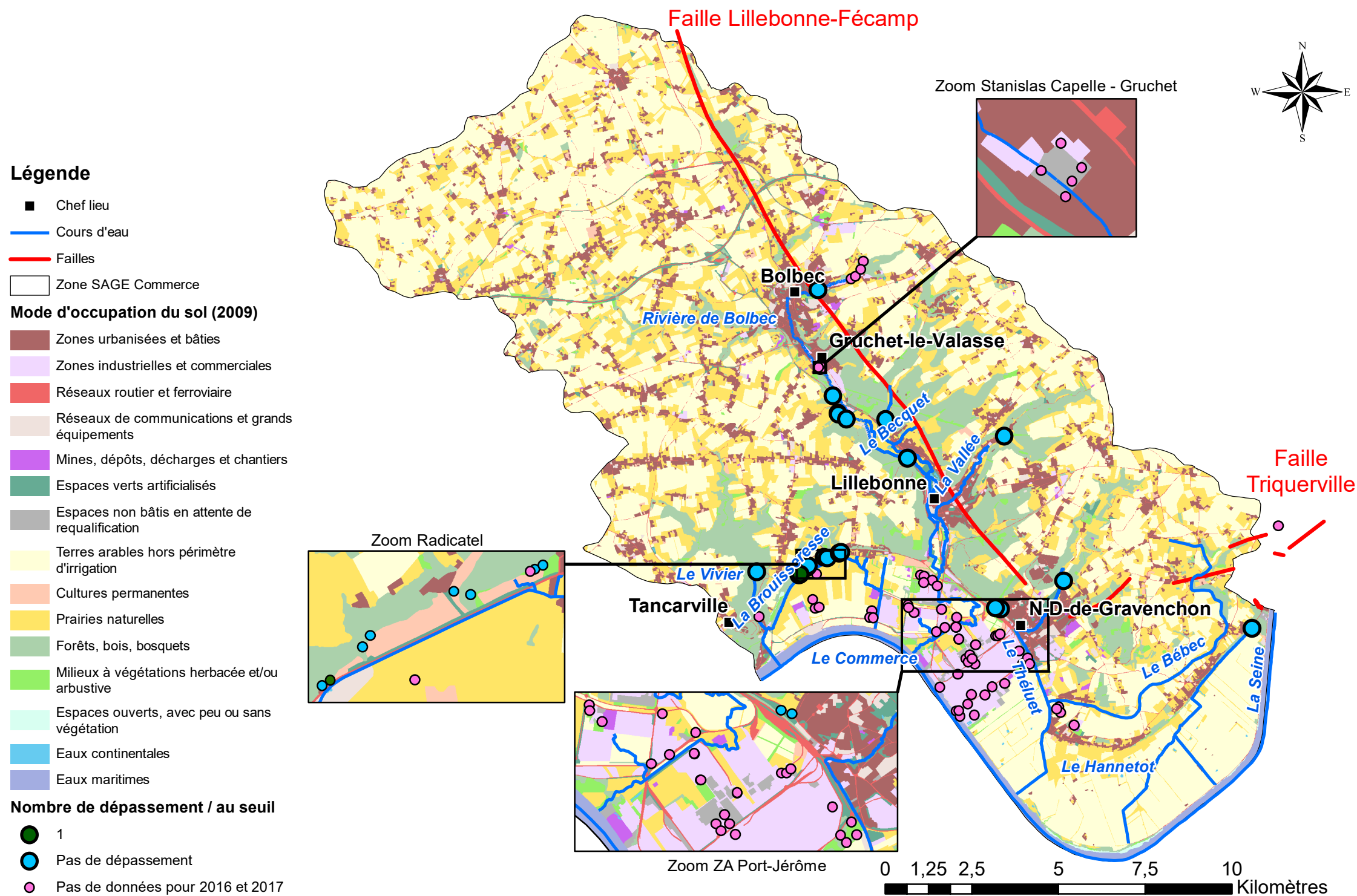
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

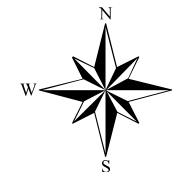
- 1
- Pas de dépassement
- Pas de données pour 2016 et 2017



Dernière mesure Metaux dans les eaux souterraines



Dernière mesure Parametres dans les eaux souterraines



Légende

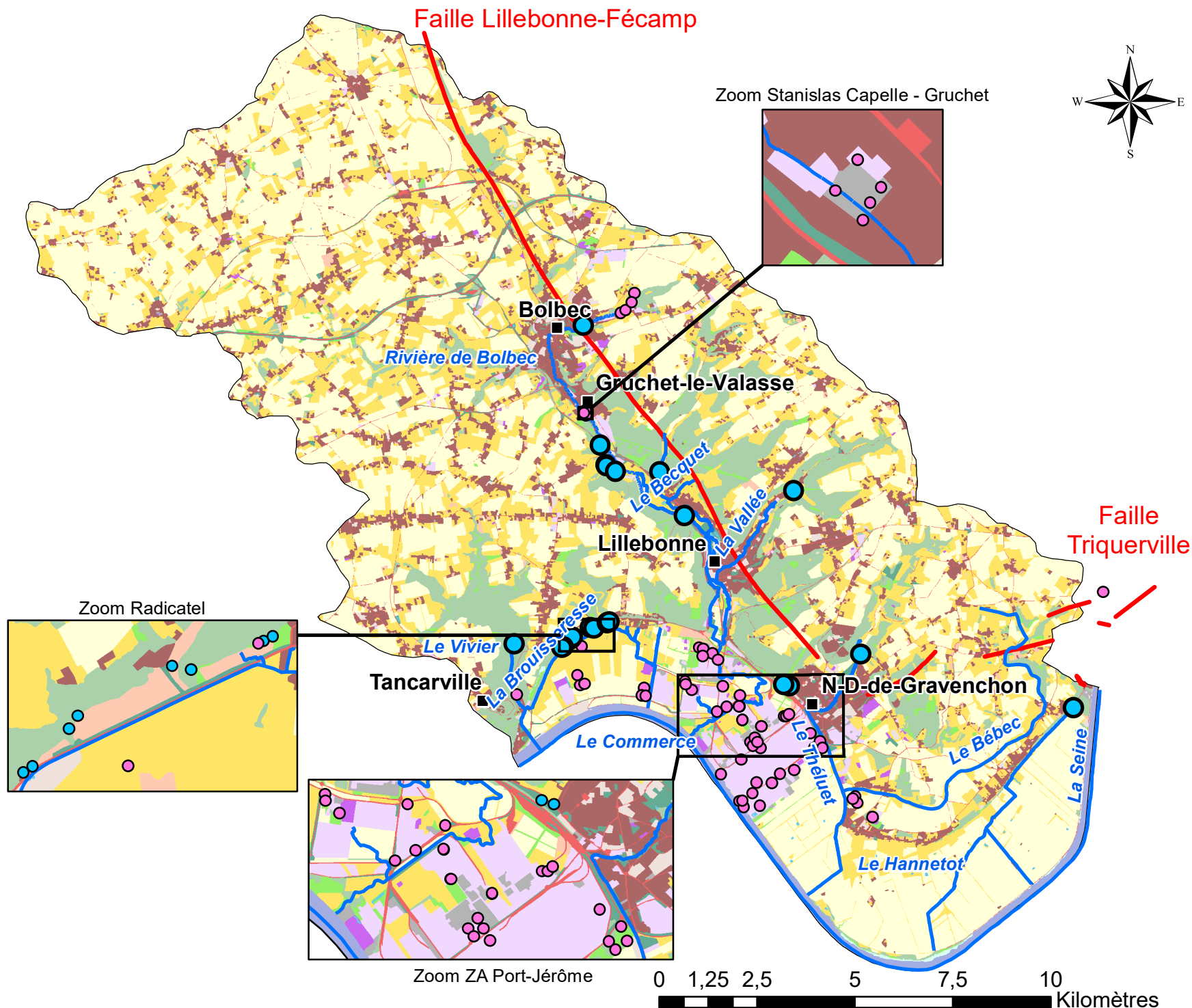
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

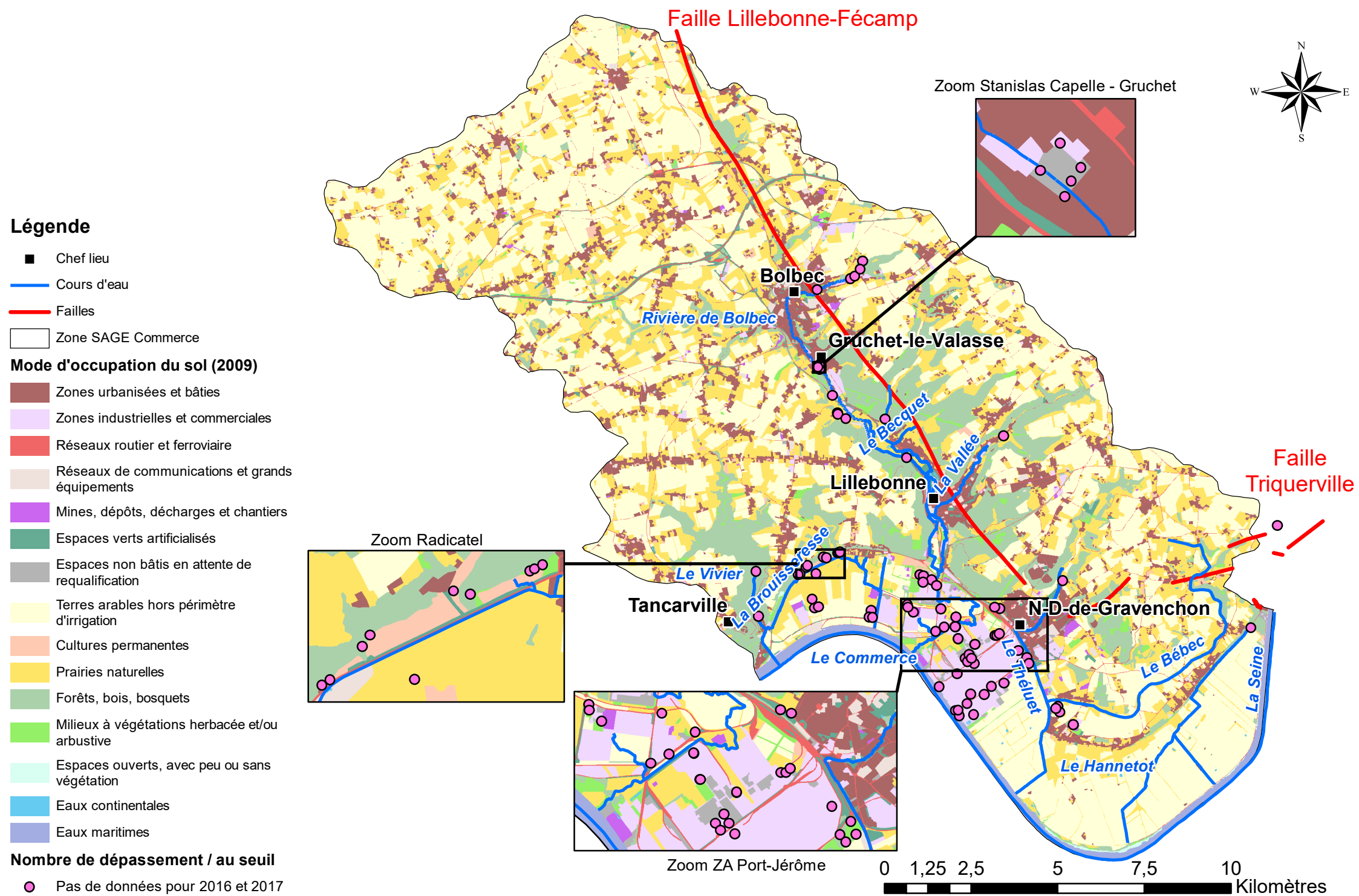
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

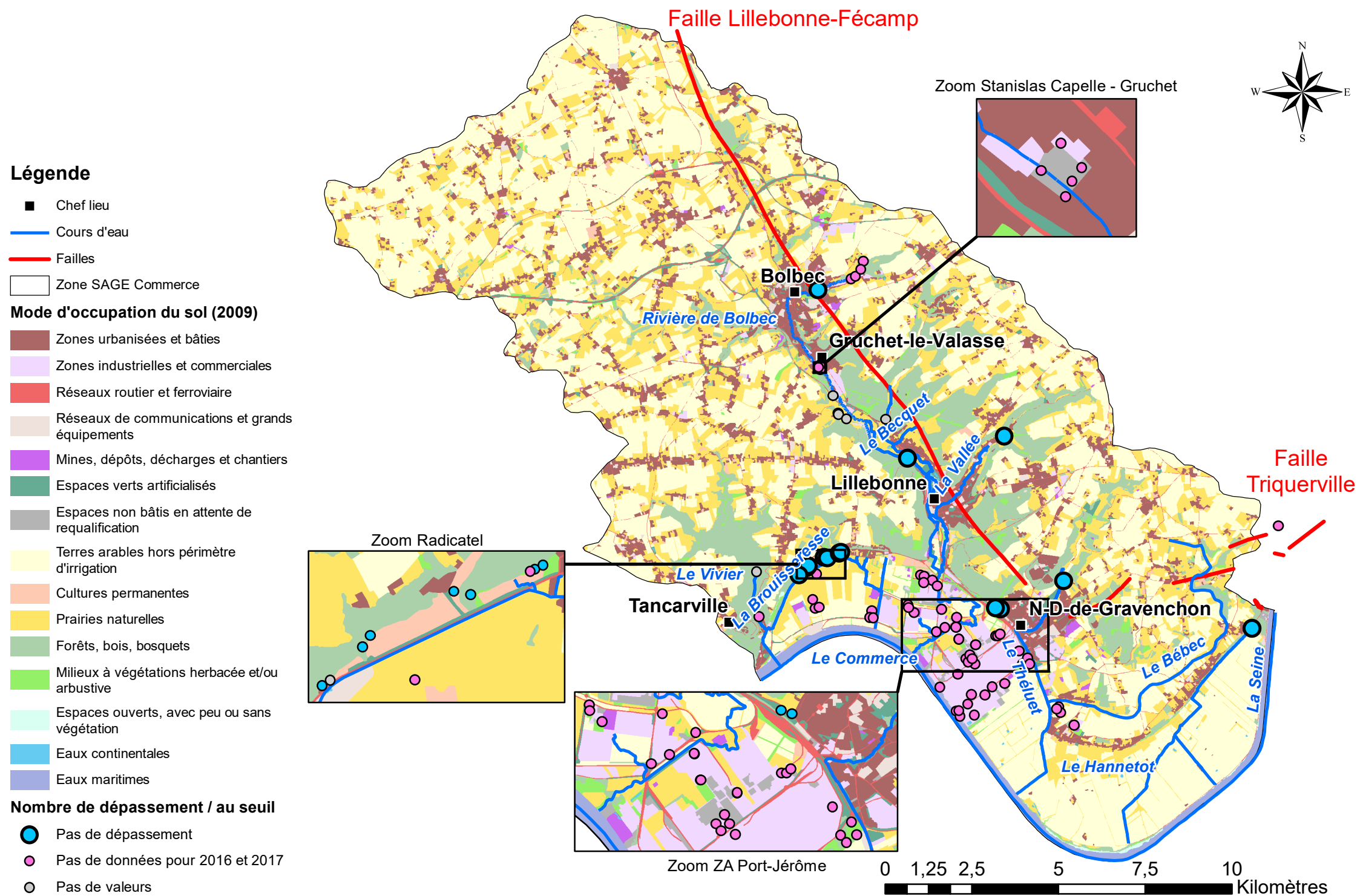
- Pas de dépassement
- Pas de données pour 2016 et 2017



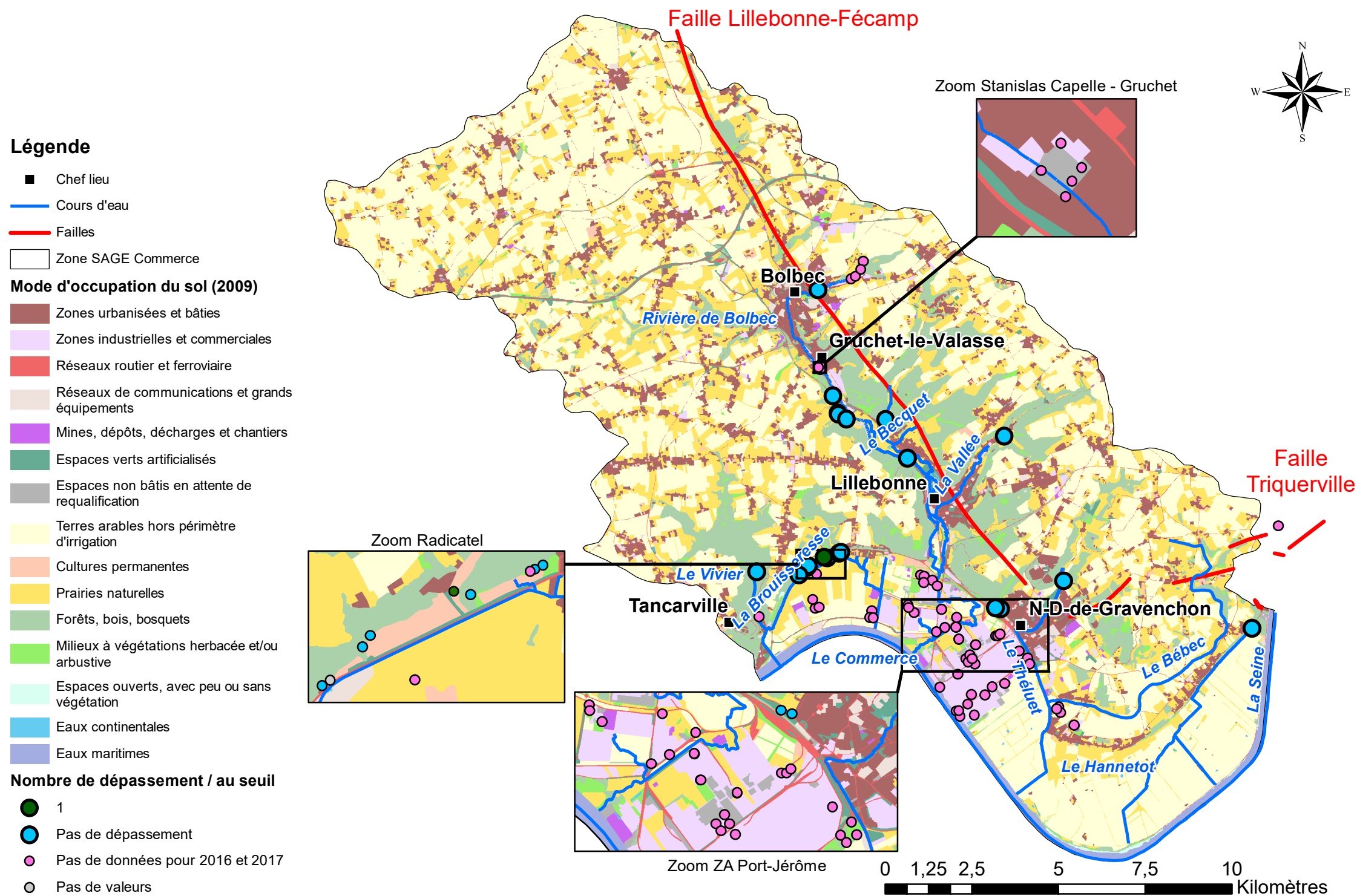
Dernière mesure PBDE dans les eaux souterraines



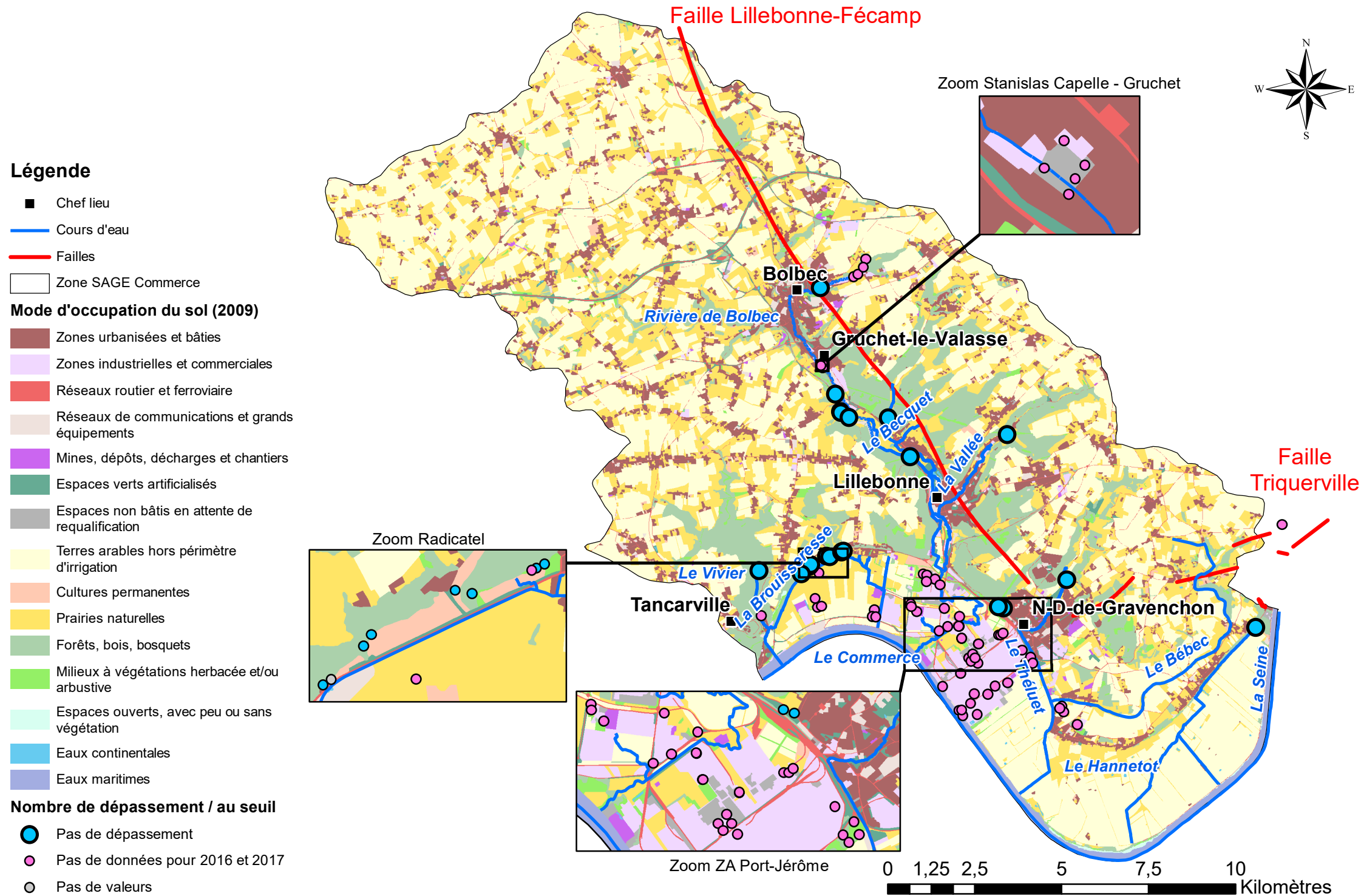
Dernière mesure PCB dans les eaux souterraines



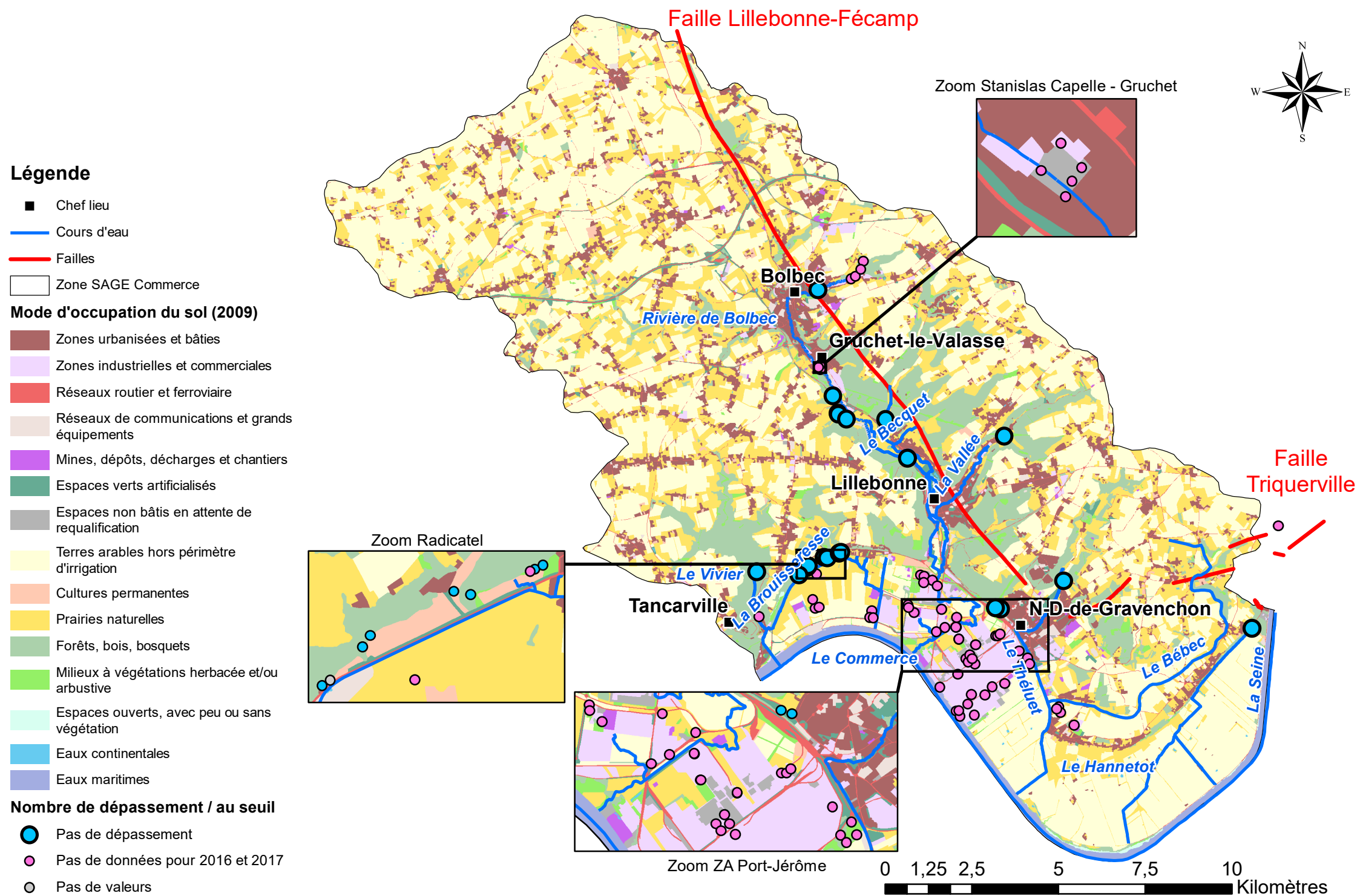
Dernière mesure Pesticides dans les eaux souterraines



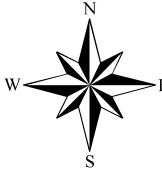
Dernière mesure Pharmacie dans les eaux souterraines



Dernière mesure Phenols dans les eaux souterraines

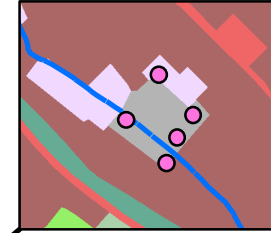


Dernière mesure Radioactifs dans les eaux souterraines



Faille Lillebonne-Fécamp

Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Légende

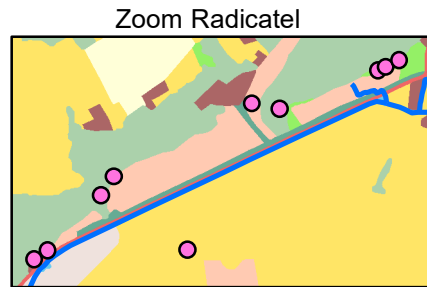
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

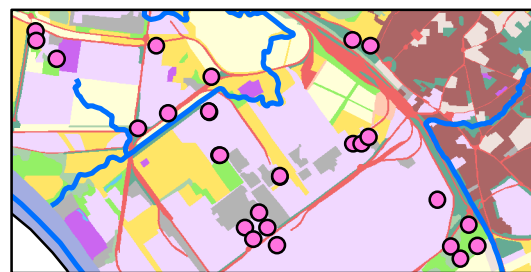
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

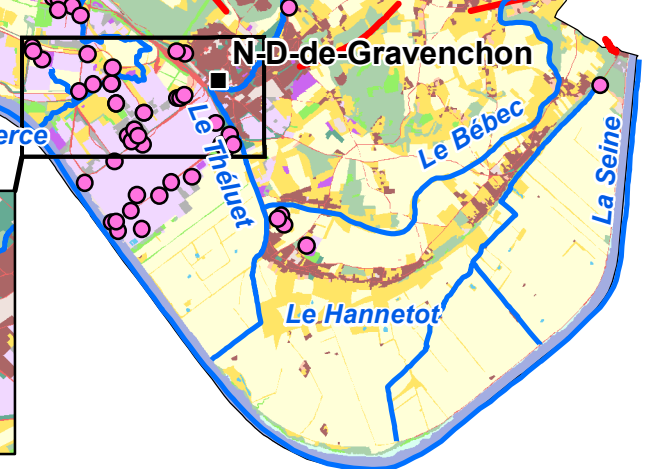
- Pas de données pour 2016 et 2017



Zoom Radicatel

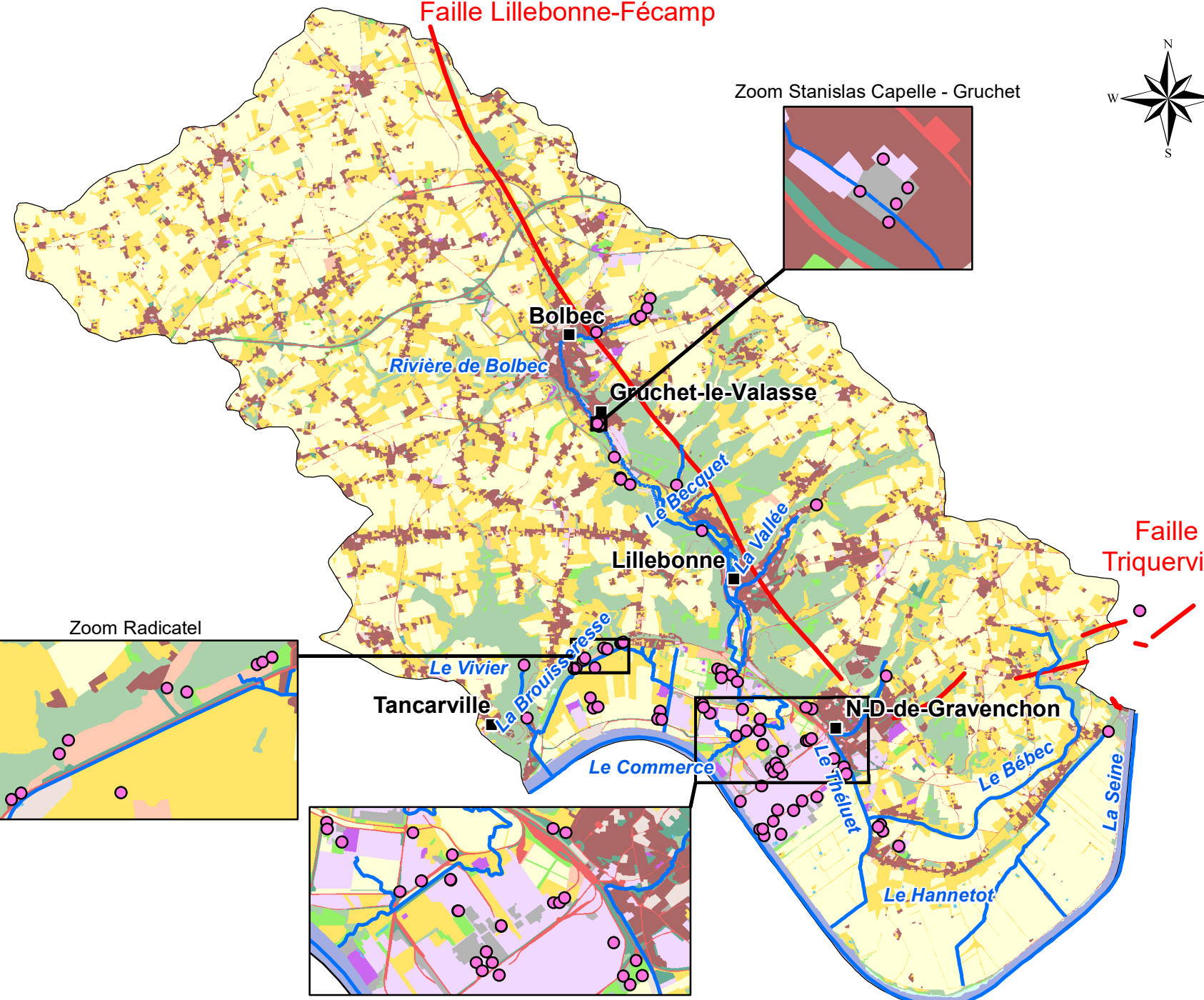


Zoom ZA Port-Jérôme



N-D-de-Gravenchon

Faille Triquerville



Valeur maximale A_Carboxy dans les eaux souterraines

Légende

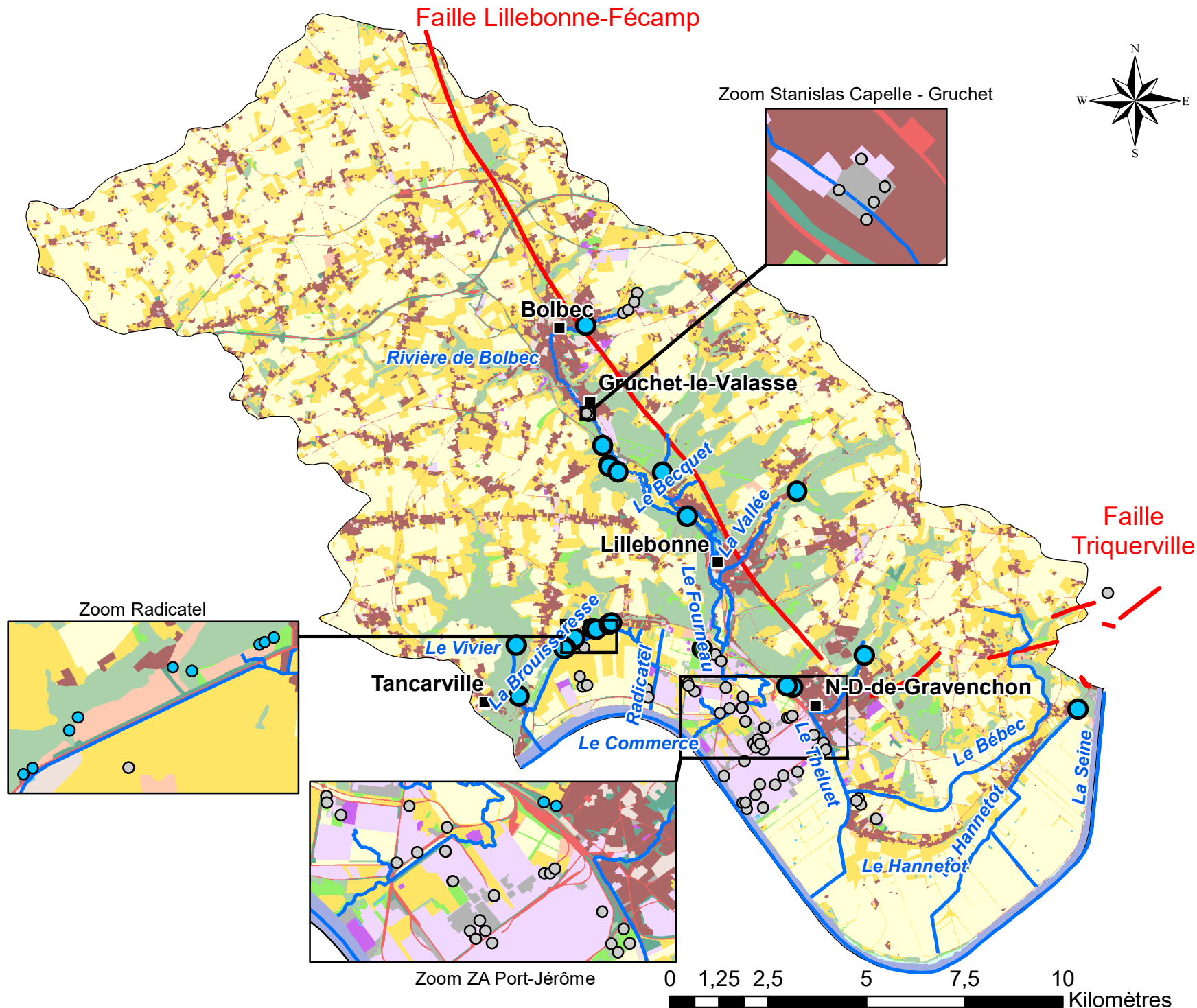
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

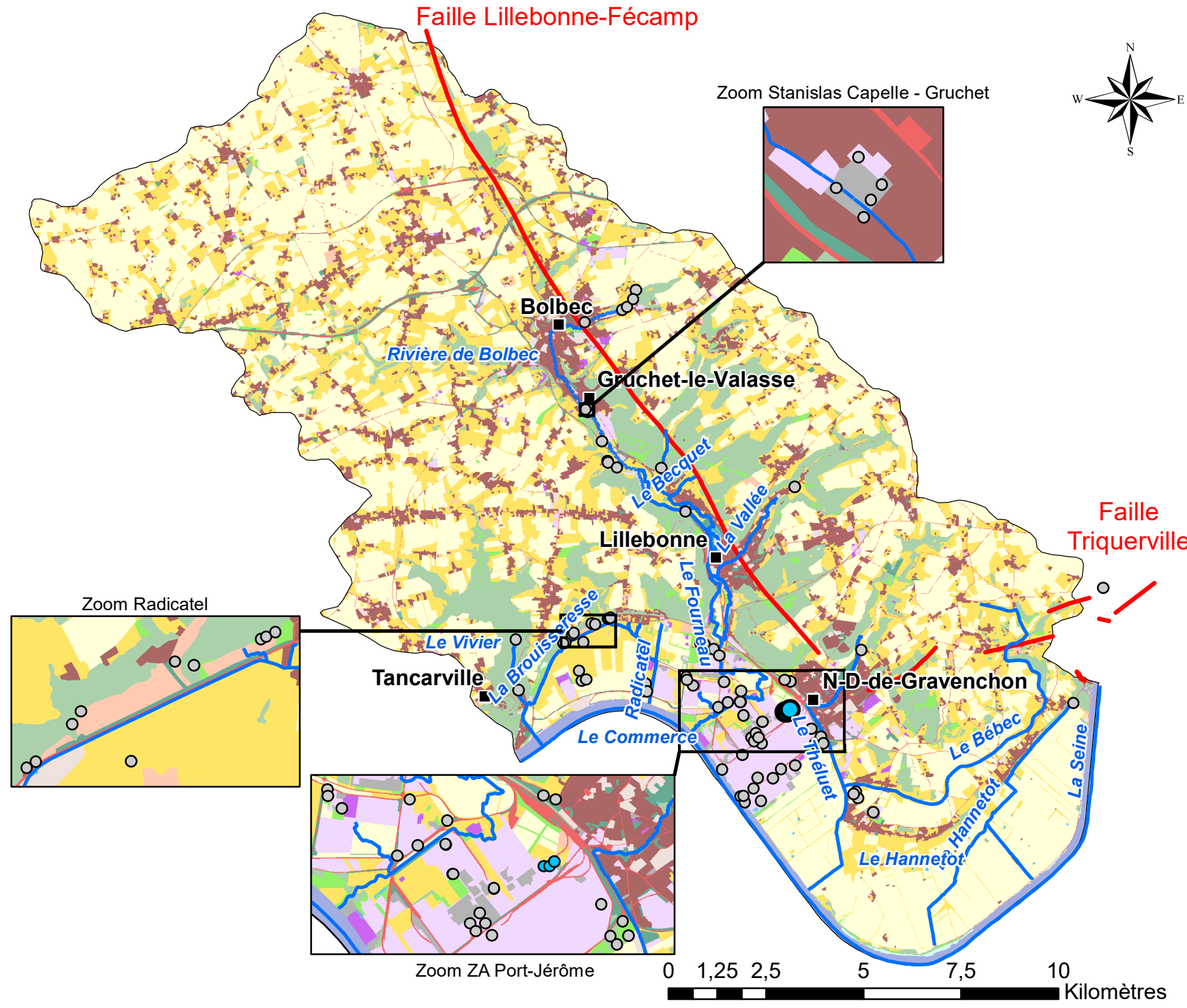


Valeur maximale Alcools dans les eaux souterraines



Légende

- Chef lieu
 - Cours d'eau
 - Failles
 - Zone SAGE Commerce
- Mode d'occupation du sol (2009)**
- Zones urbanisées et bâties
 - Zones industrielles et commerciales
 - Réseaux routier et ferroviaire
 - Réseaux de communications et grands équipements
 - Mines, dépôts, décharges et chantiers
 - Espaces verts artificialisés
 - Espaces non bâtis en attente de requalification
 - Terres arables hors périmètre d'irrigation
 - Cultures permanentes
 - Prairies naturelles
 - Forêts, bois, bosquets
 - Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
 - Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
 - Eaux continentales
 - Eaux maritimes
- Nombre de dépassement / au seuil**
- Pas de dépassement
 - Pas de valeurs



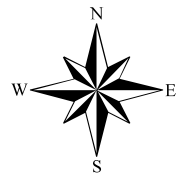
Zoom Stanislas Capelle - Gruchet

Zoom Radicatel

Zoom ZA Port-Jérôme

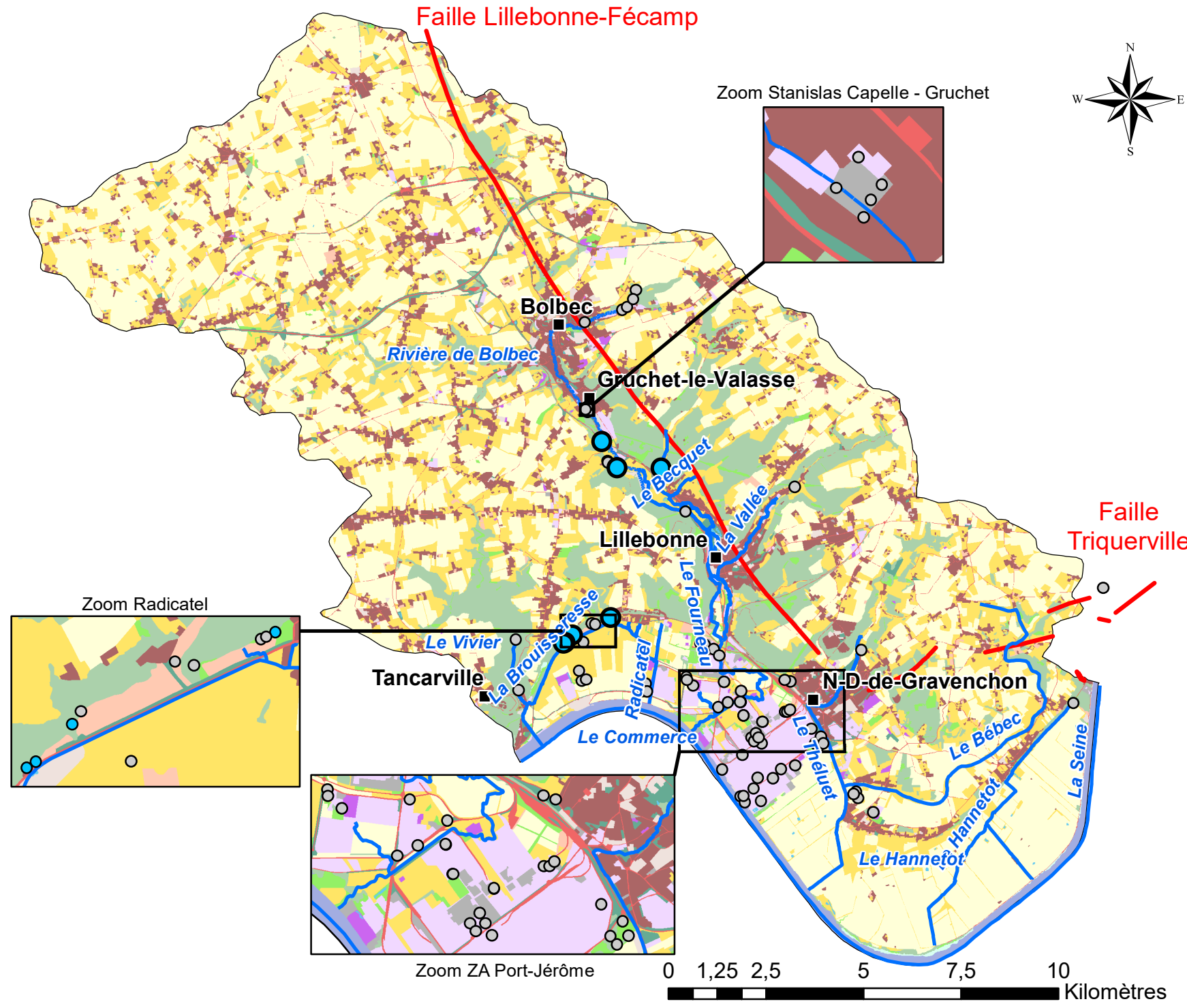
0 1,25 2,5 5 7,5 10 Kilomètres

Valeur maximale Chloroalcan dans les eaux souterraines



Légende

- Chef lieu
 - Cours d'eau
 - Failles
 - Zone SAGE Commerce
- Mode d'occupation du sol (2009)**
- Zones urbanisées et bâties
 - Zones industrielles et commerciales
 - Réseaux routier et ferroviaire
 - Réseaux de communications et grands équipements
 - Mines, dépôts, décharges et chantiers
 - Espaces verts artificialisés
 - Espaces non bâtis en attente de requalification
 - Terres arables hors périmètre d'irrigation
 - Cultures permanentes
 - Prairies naturelles
 - Forêts, bois, bosquets
 - Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
 - Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
 - Eaux continentales
 - Eaux maritimes
- Nombre de dépassement / au seuil**
- Pas de dépassement
 - Pas de valeurs



Valeur maximale COHV dans les eaux souterraines

Légende

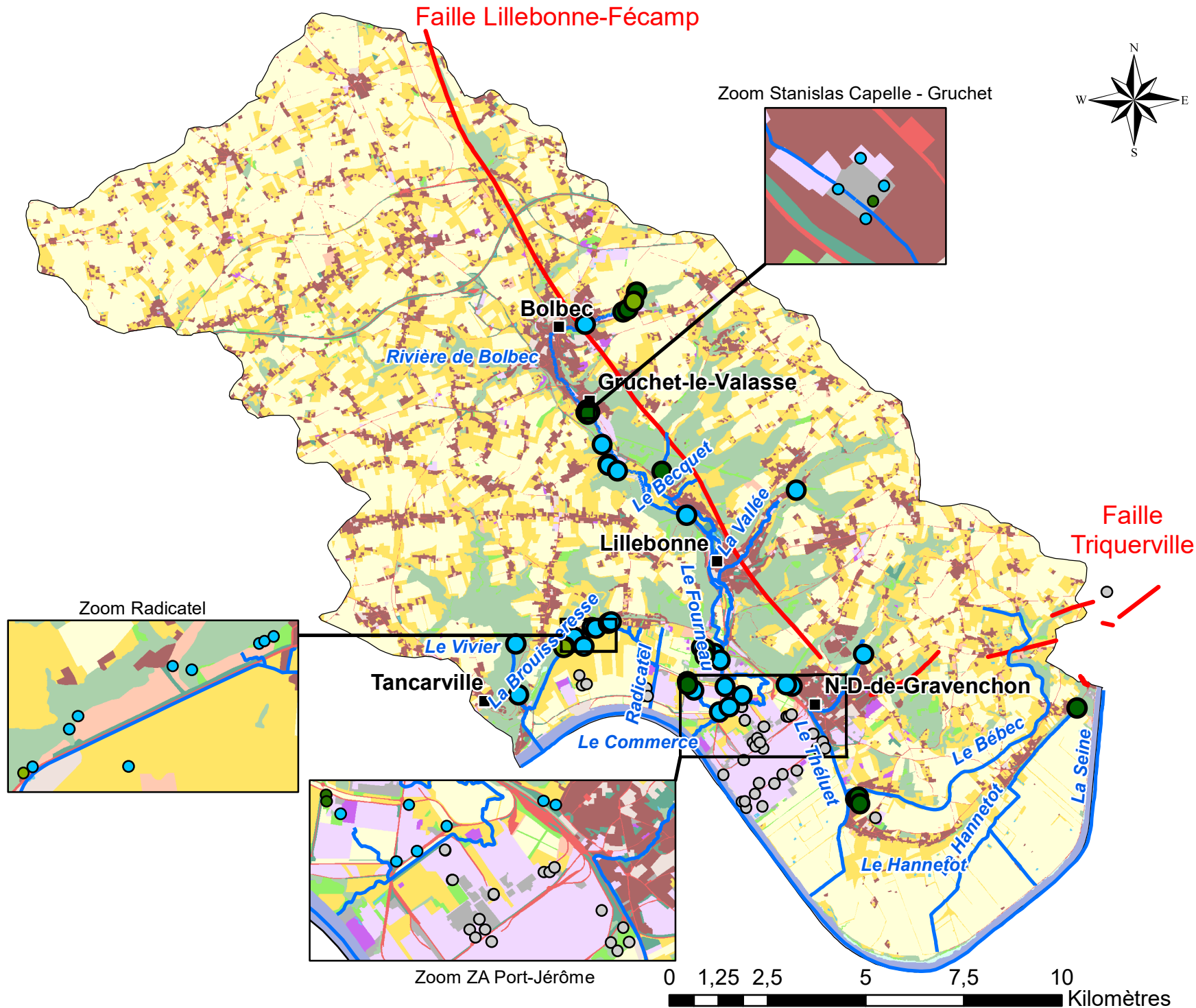
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieus à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

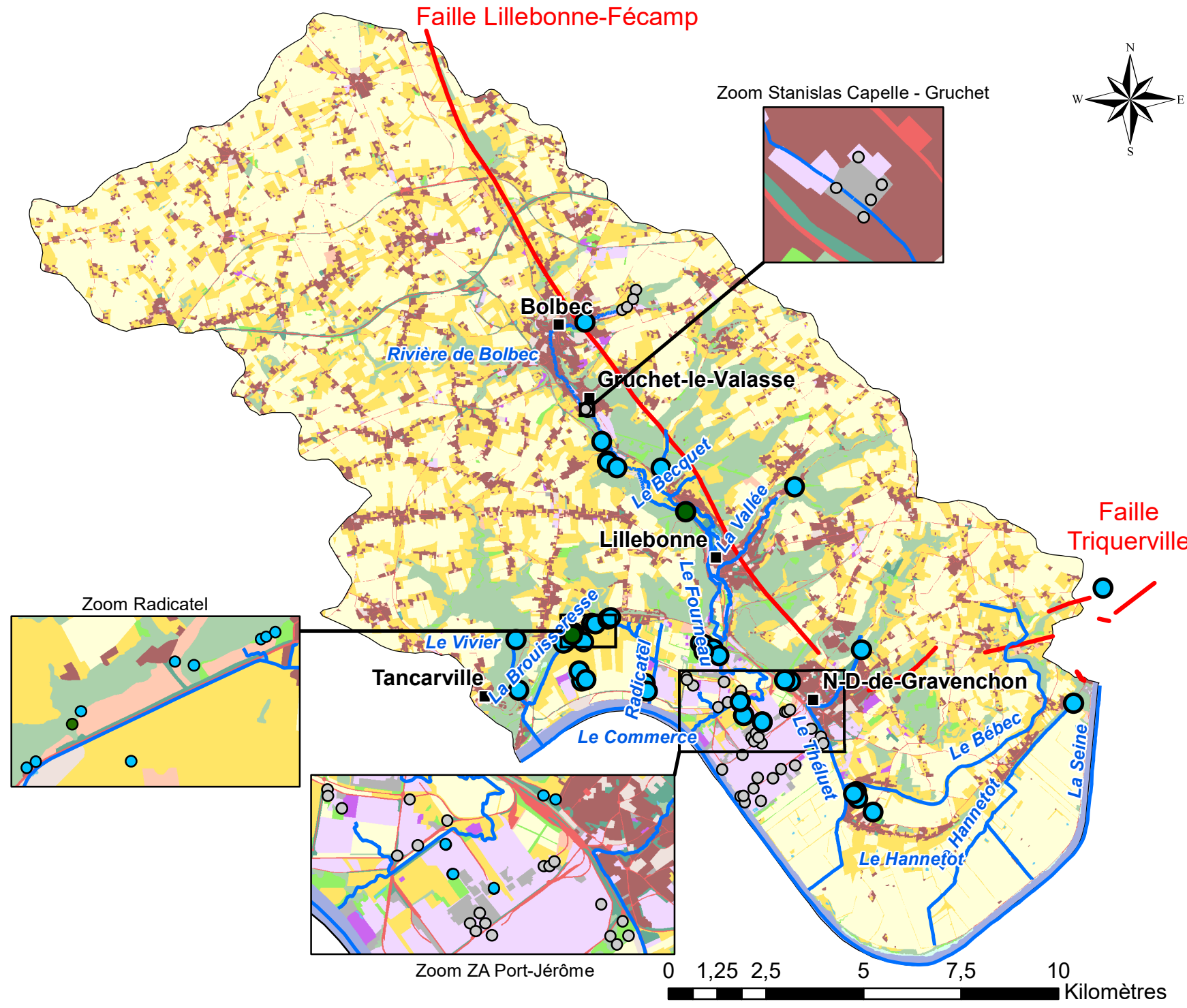


Valeur maximale E_mineraux dans les eaux souterraines

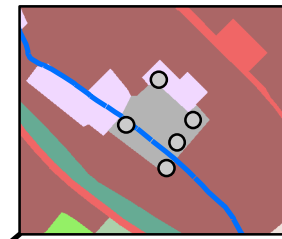


Légende

- Chef lieu
 - Cours d'eau
 - Failles
 - Zone SAGE Commerce
- Mode d'occupation du sol (2009)**
- Zones urbanisées et bâties
 - Zones industrielles et commerciales
 - Réseaux routier et ferroviaire
 - Réseaux de communications et grands équipements
 - Mines, dépôts, décharges et chantiers
 - Espaces verts artificialisés
 - Espaces non bâtis en attente de requalification
 - Terres arables hors périmètre d'irrigation
 - Cultures permanentes
 - Prairies naturelles
 - Forêts, bois, bosquets
 - Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
 - Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
 - Eaux continentales
 - Eaux maritimes
- Nombre de dépassement / au seuil**
- 1 - 2
 - Pas de dépassement
 - Pas de valeurs



Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



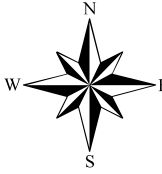
Zoom Radicatel



Zoom ZA Port-Jérôme



Valeur maximale Hydrocarbu dans les eaux souterraines



Légende

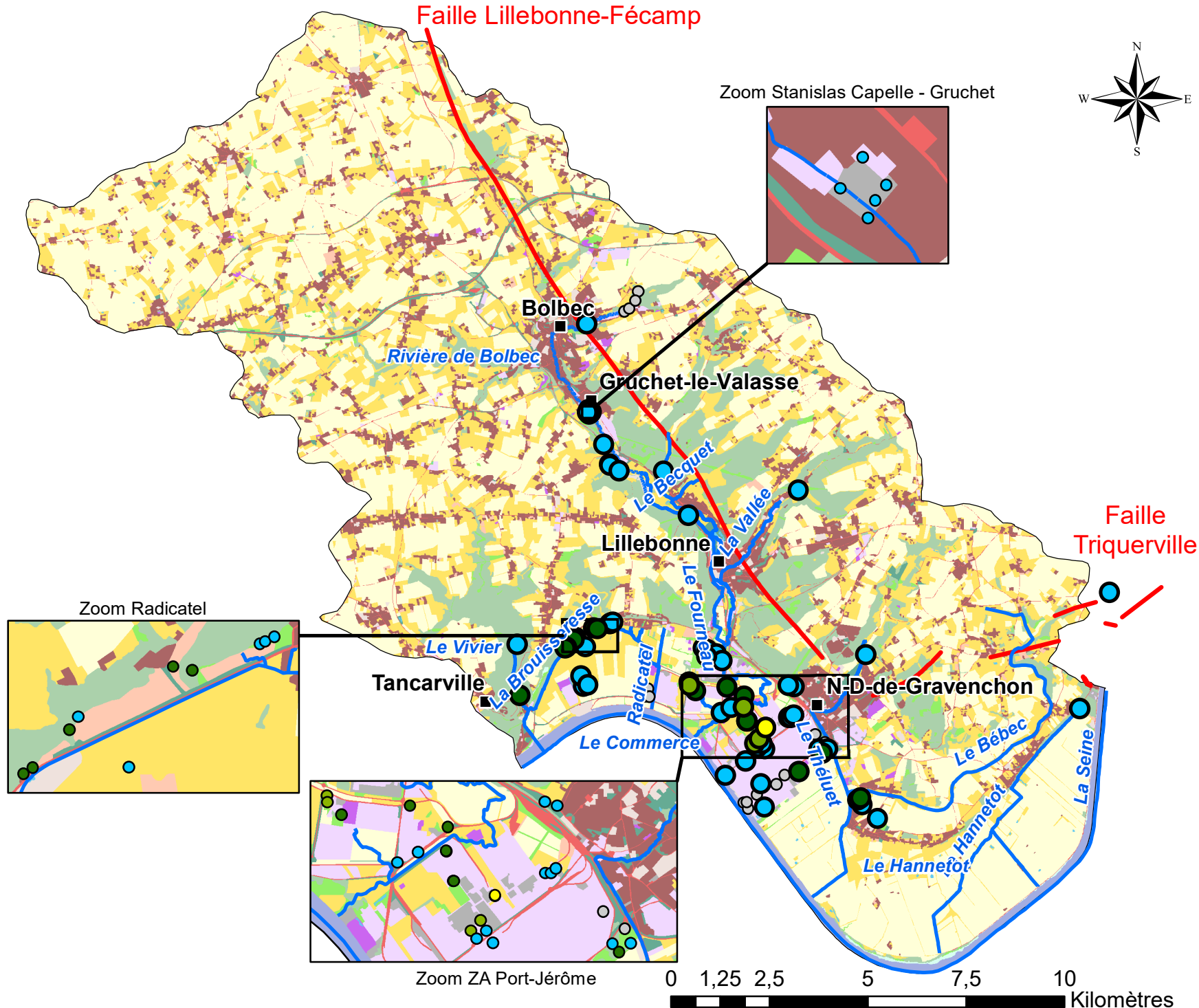
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- 5 - 6
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur maximale Indices dans les eaux souterraines

Légende

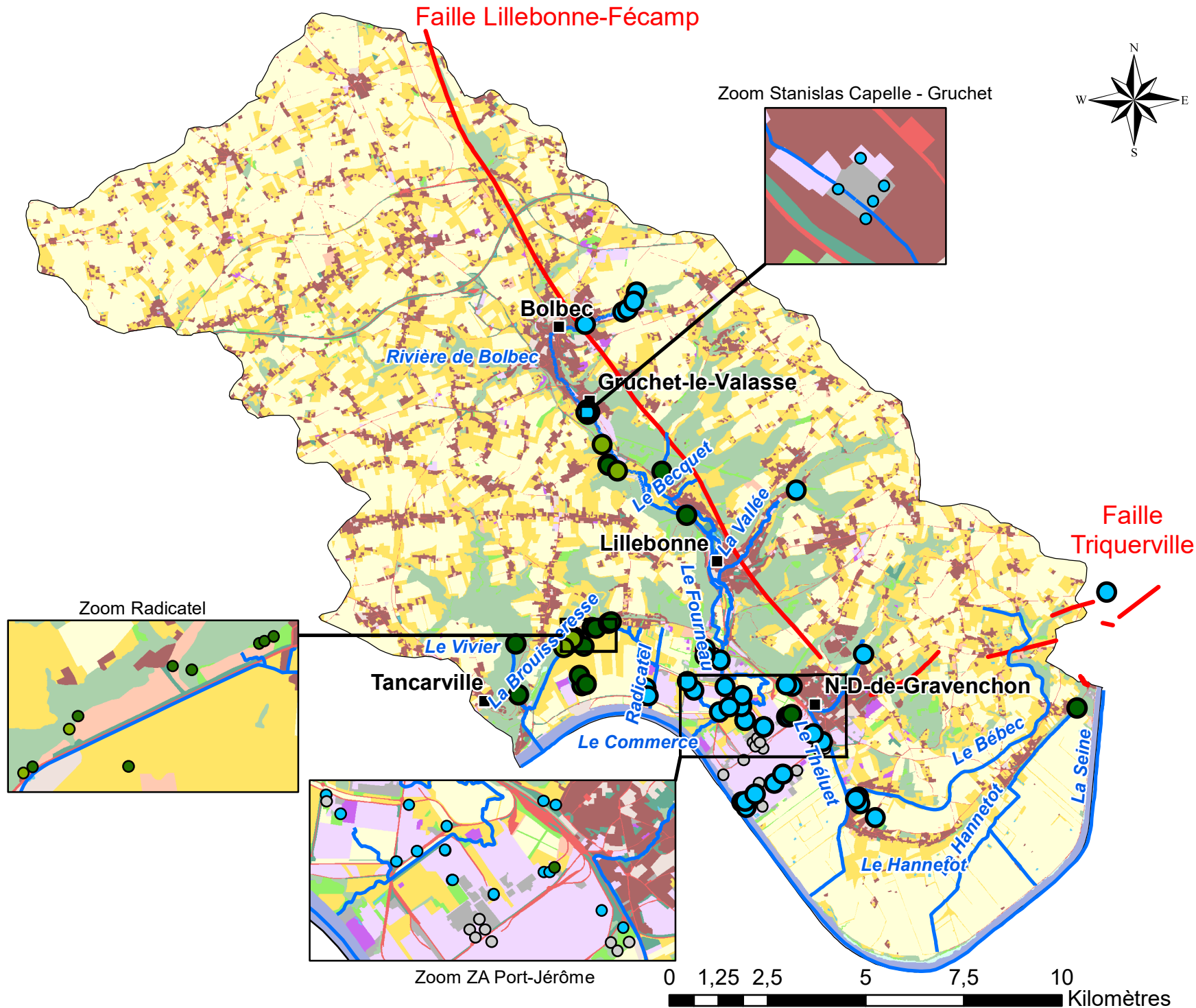
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

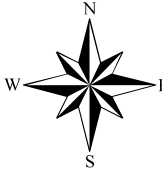
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieus à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur maximale Metaux dans les eaux souterraines



Légende

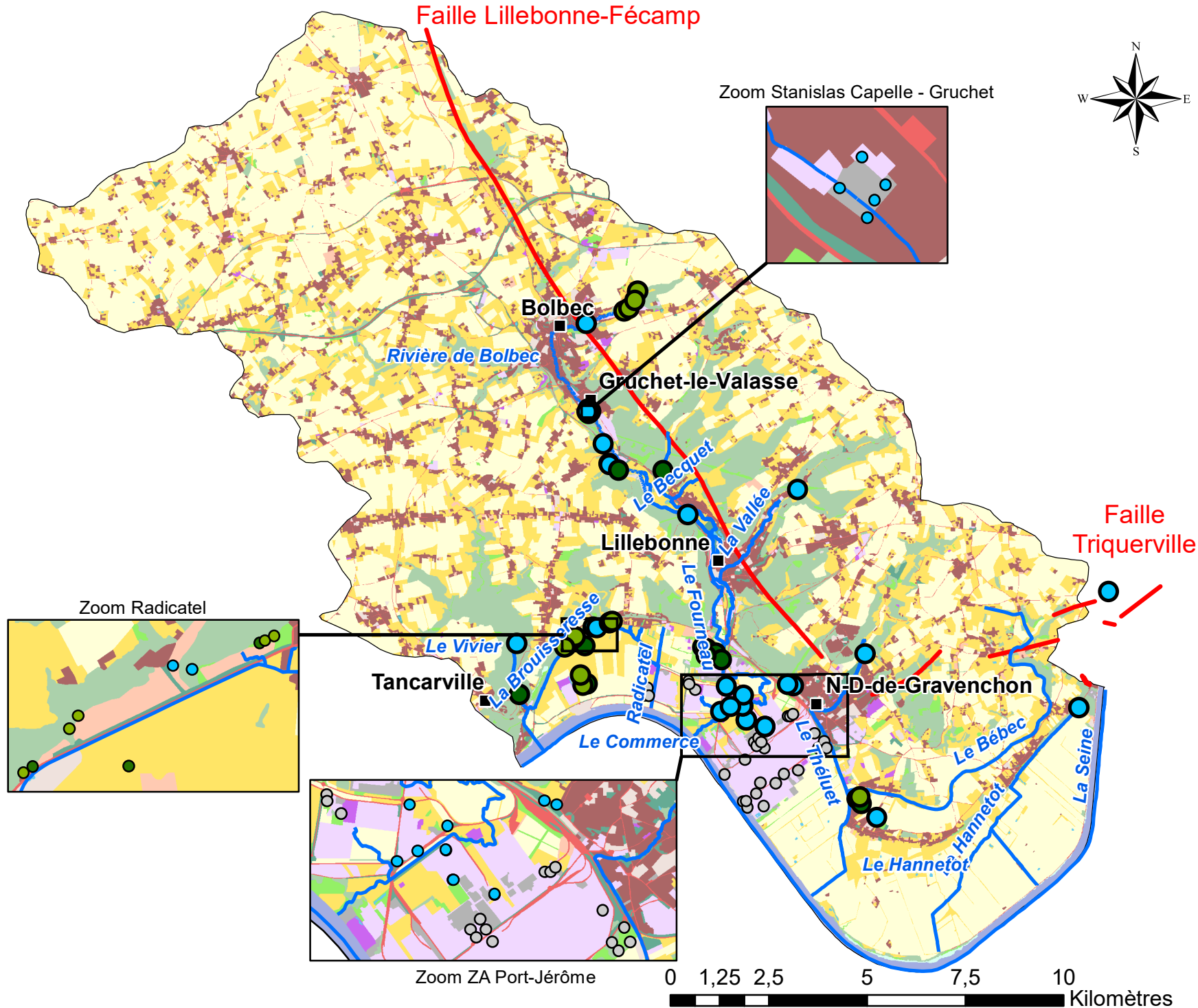
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur maximale Paramètres dans les eaux souterraines

Légende

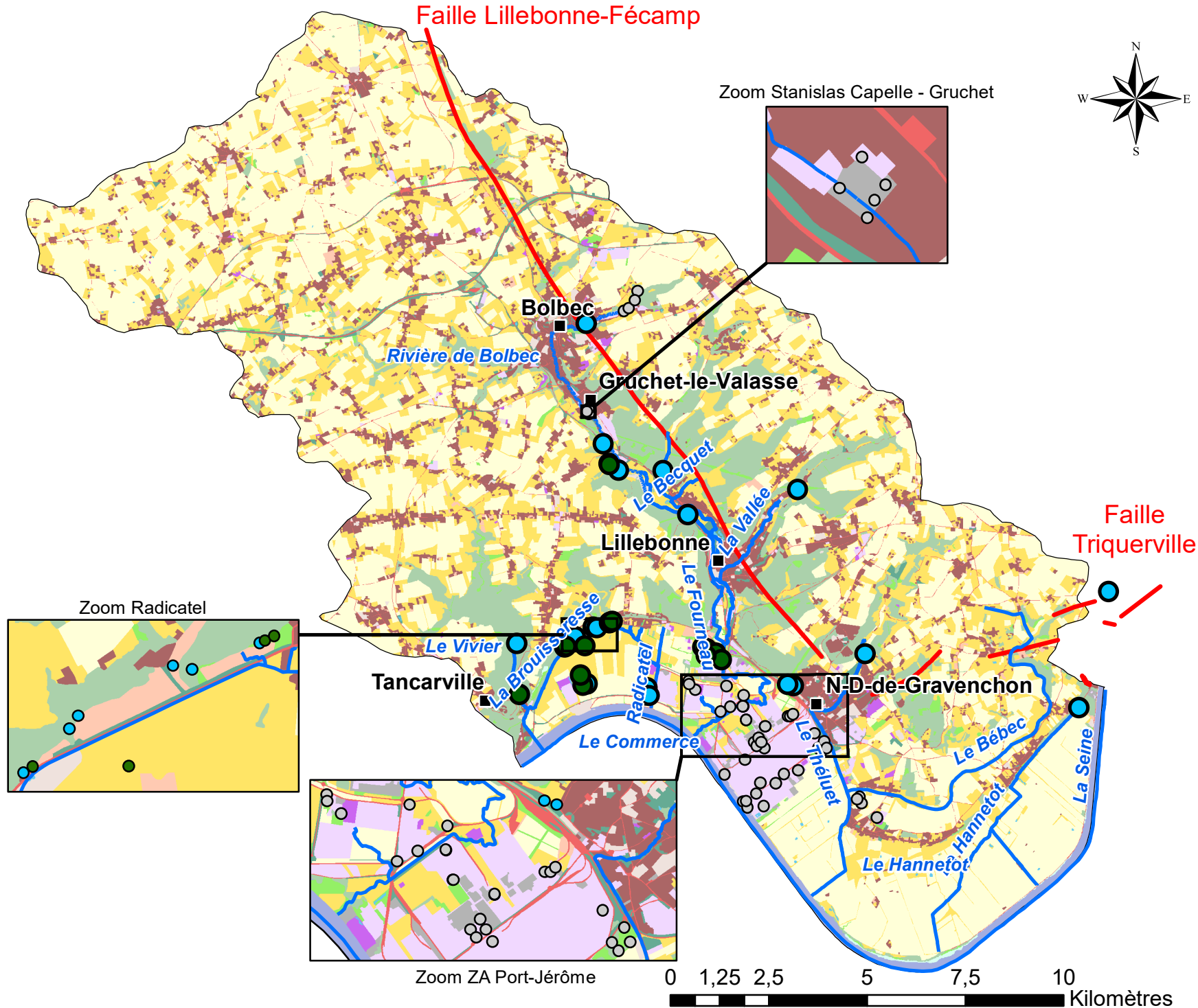
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieus à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

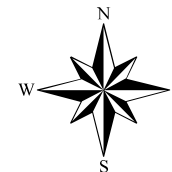
Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

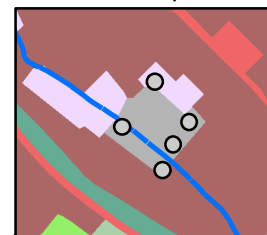


Valeur maximale PBDE dans les eaux souterraines

Faille Lillebonne-Fécamp



Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Légende

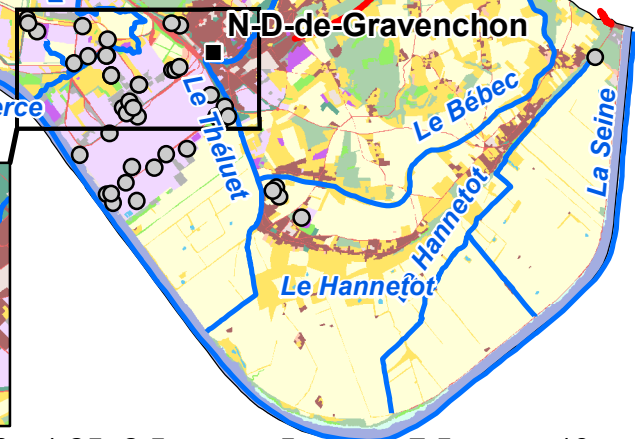
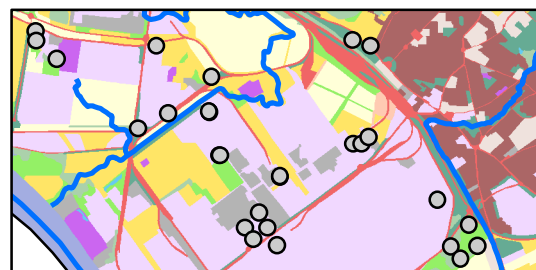
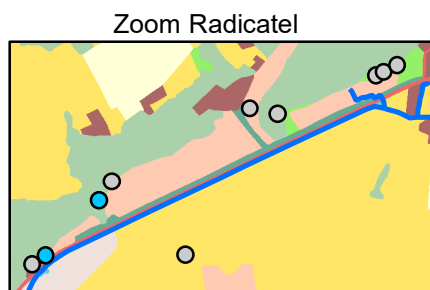
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

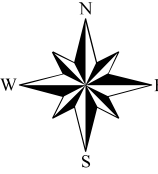


Faille Triquerville

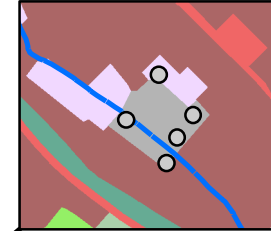


Valeur maximale PCB dans les eaux souterraines

Faille Lillebonne-Fécamp



Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Légende

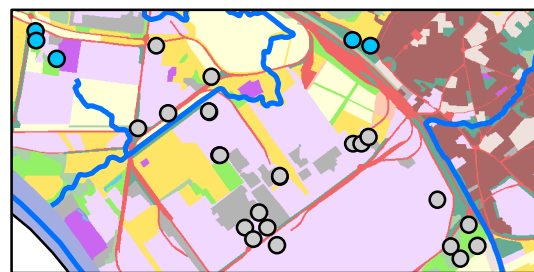
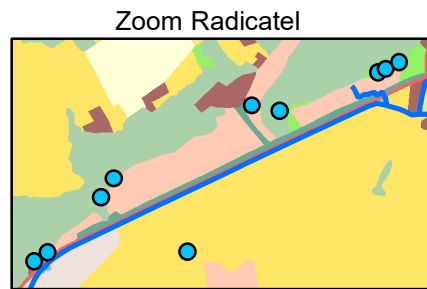
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

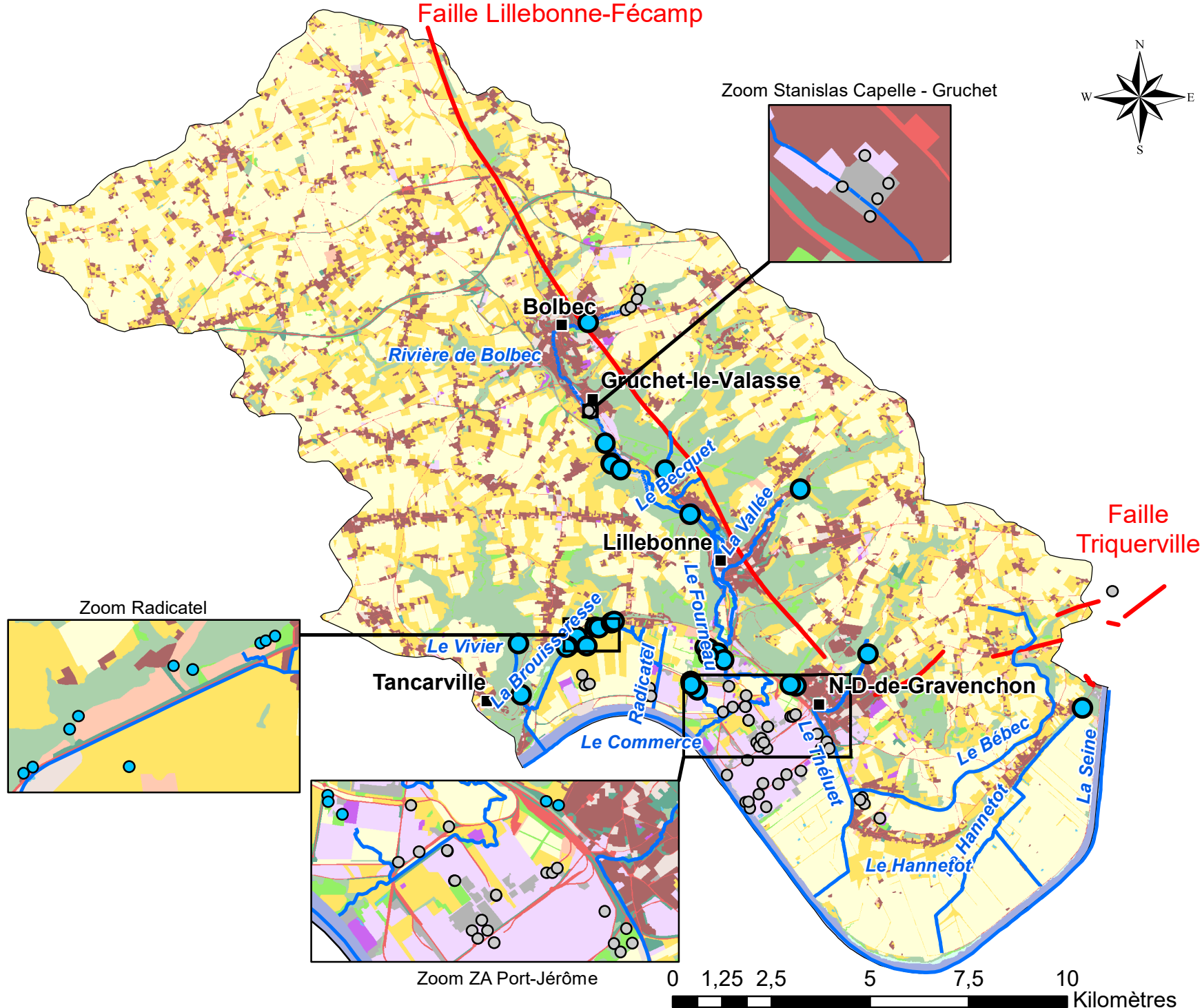
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



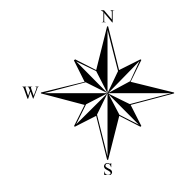
Zoom ZA Port-Jérôme



Faille Triquerville



Valeur maximale Pesticides dans les eaux souterraines



Légende

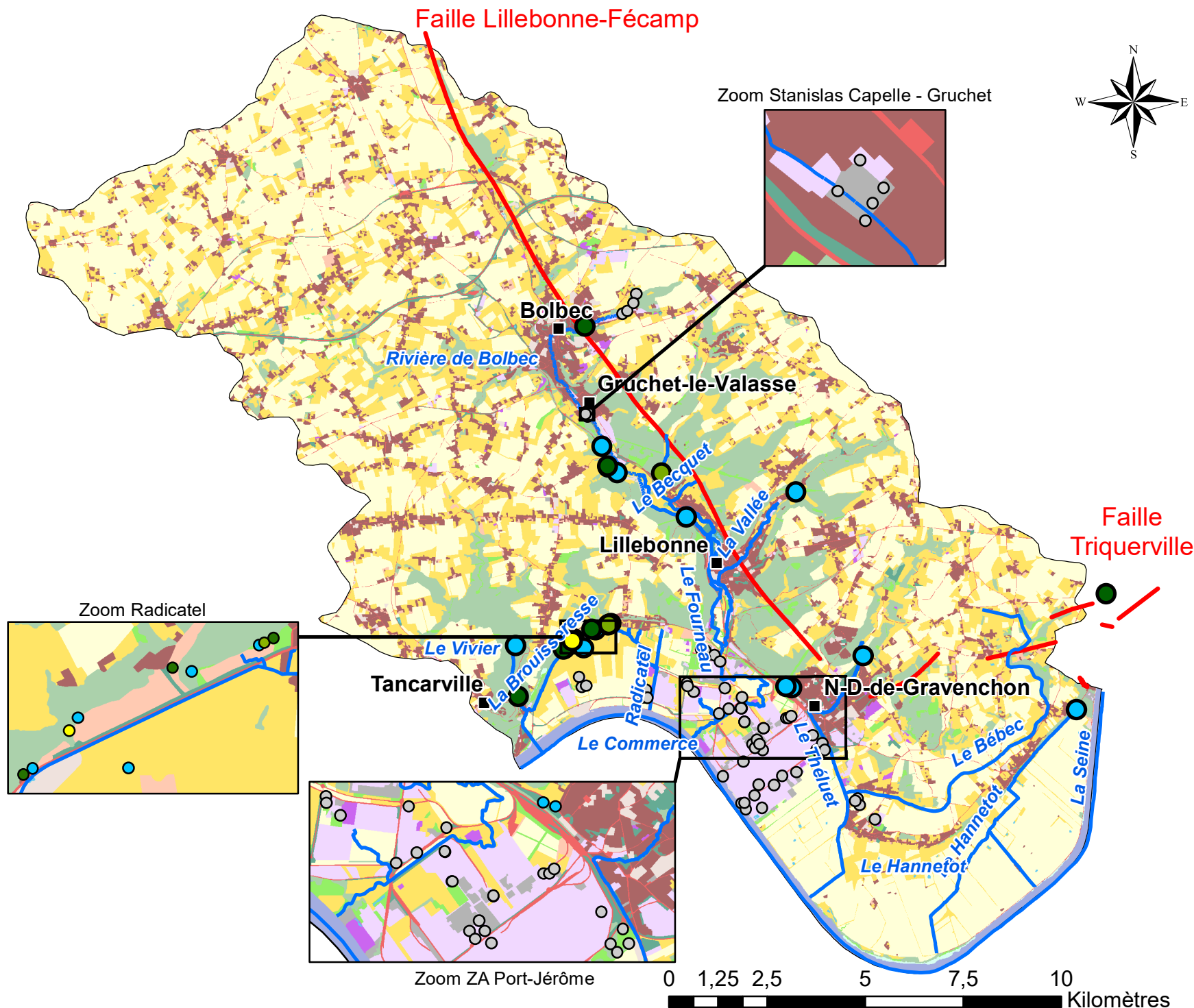
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

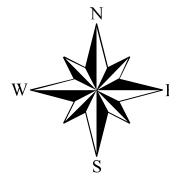
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- 5 - 6
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur maximale Pharmacie dans les eaux souterraines



Légende

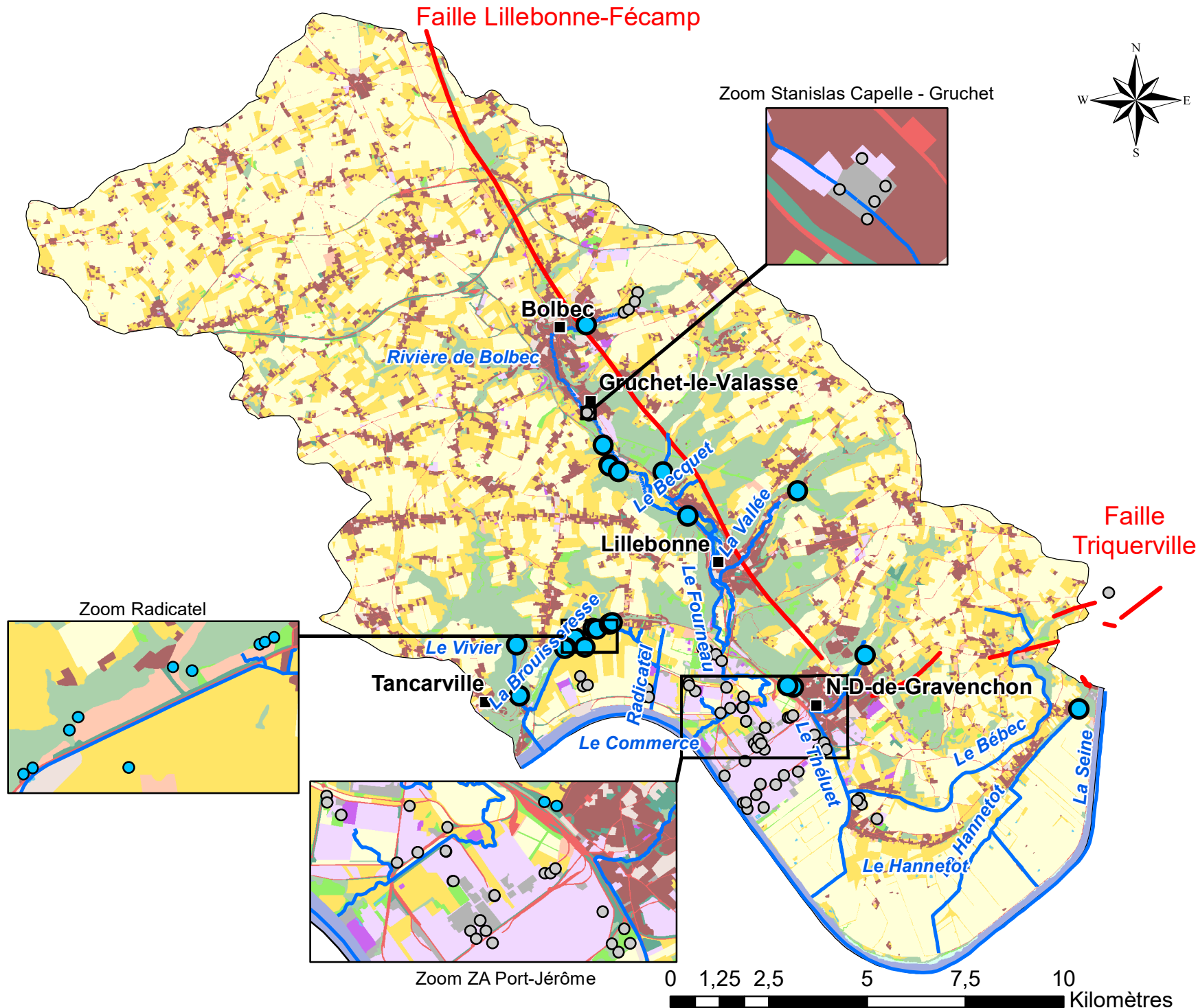
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

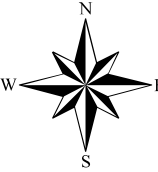
Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

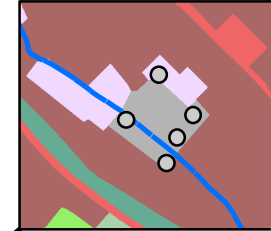


Valeur maximale Phenols dans les eaux souterraines

Faille Lillebonne-Fécamp



Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Légende

- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

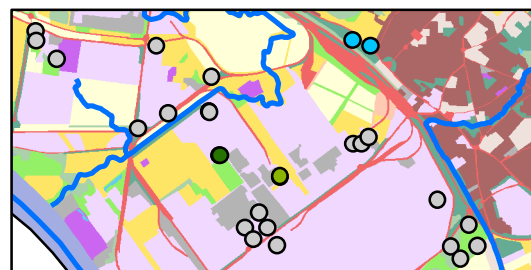
Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieus à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

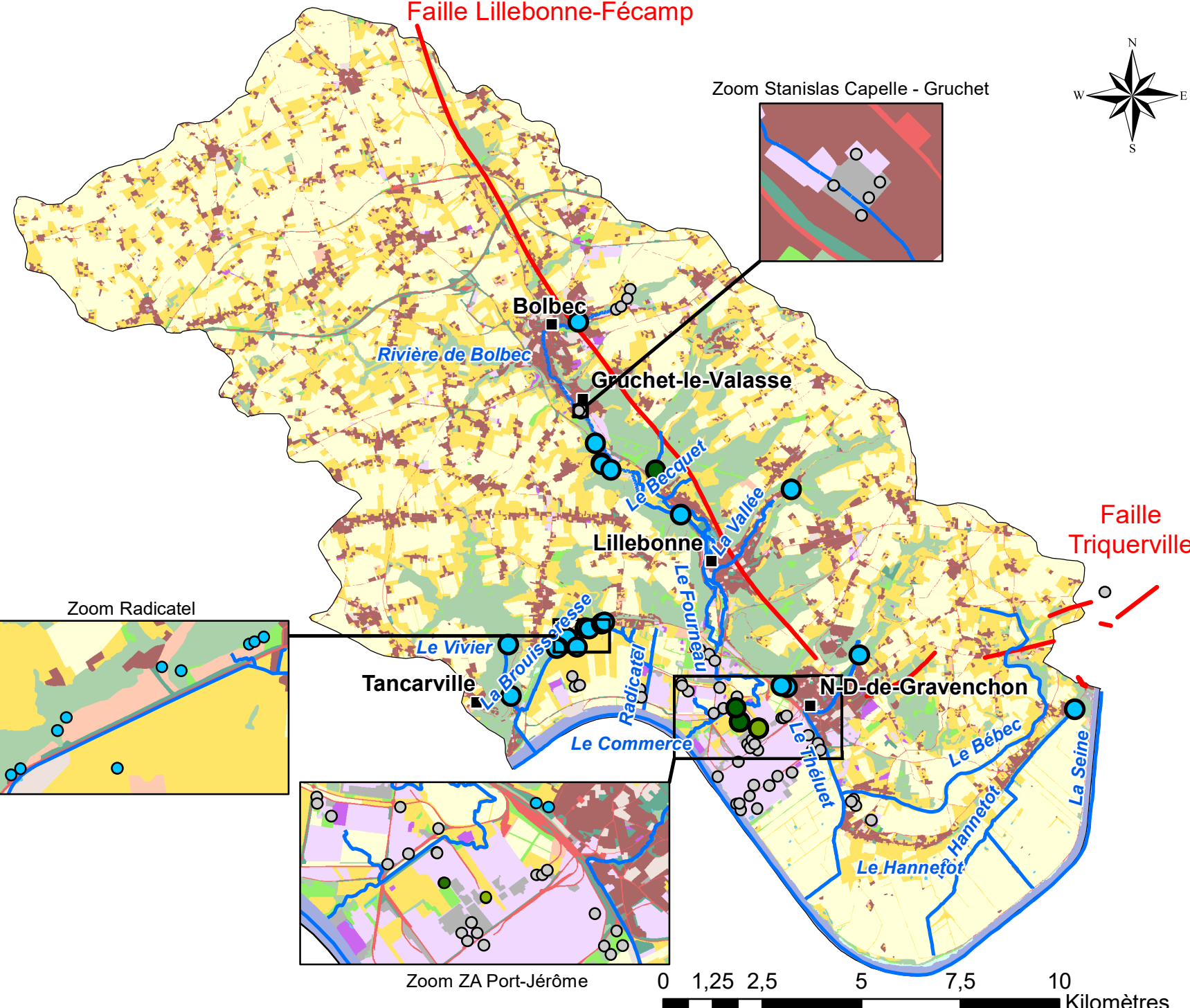
Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

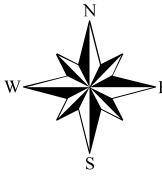
Zoom Radicatel



Zoom ZA Port-Jérôme



Valeur maximale Radioactifs dans les eaux souterraines



Légende

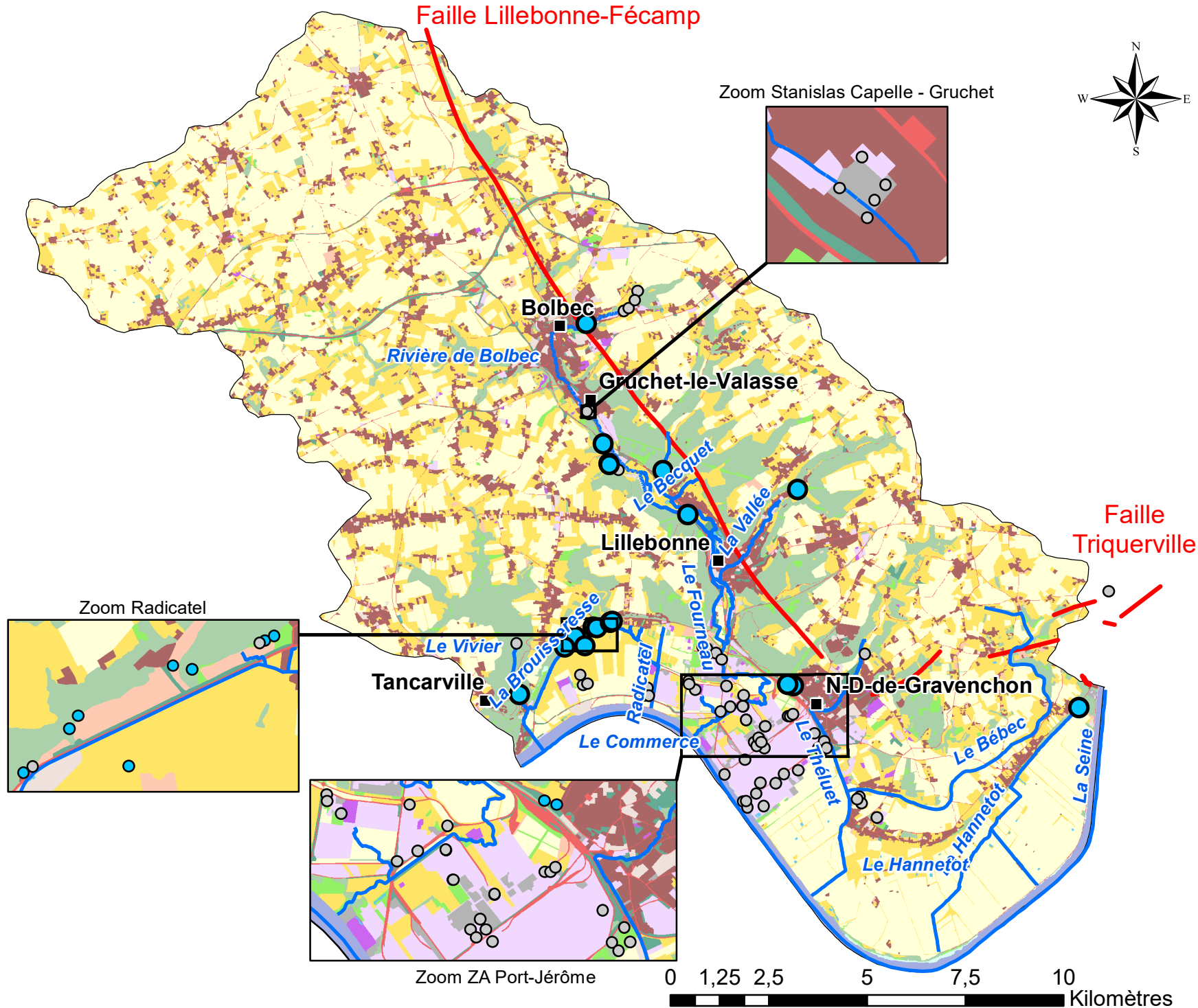
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

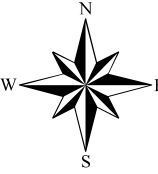
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 A_Carboxy dans les eaux souterraines

Faille Lillebonne-Fécamp

Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Légende

- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

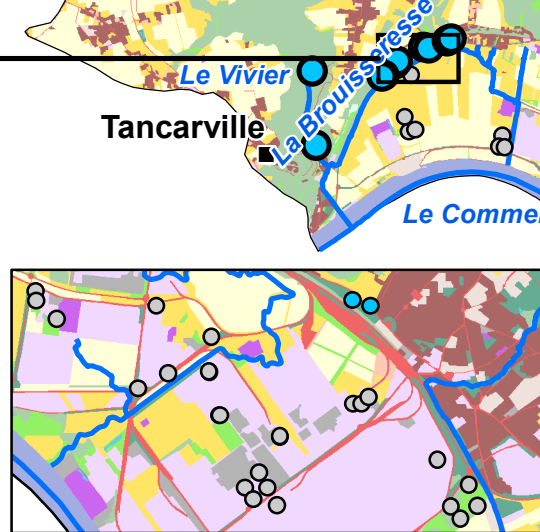
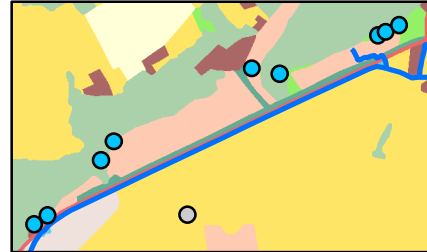
Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

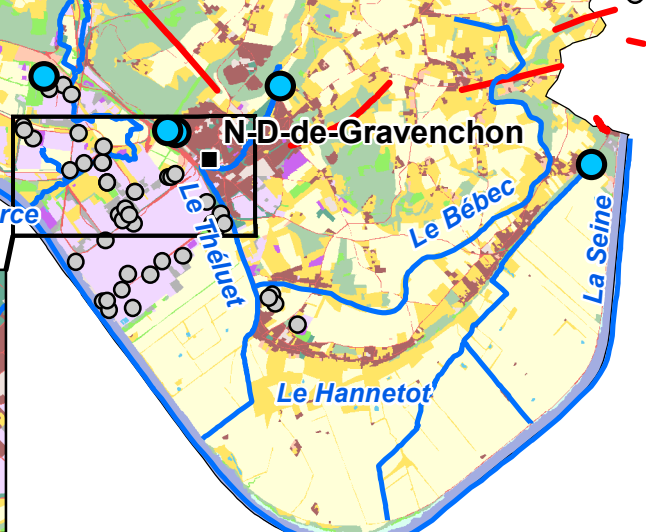
Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

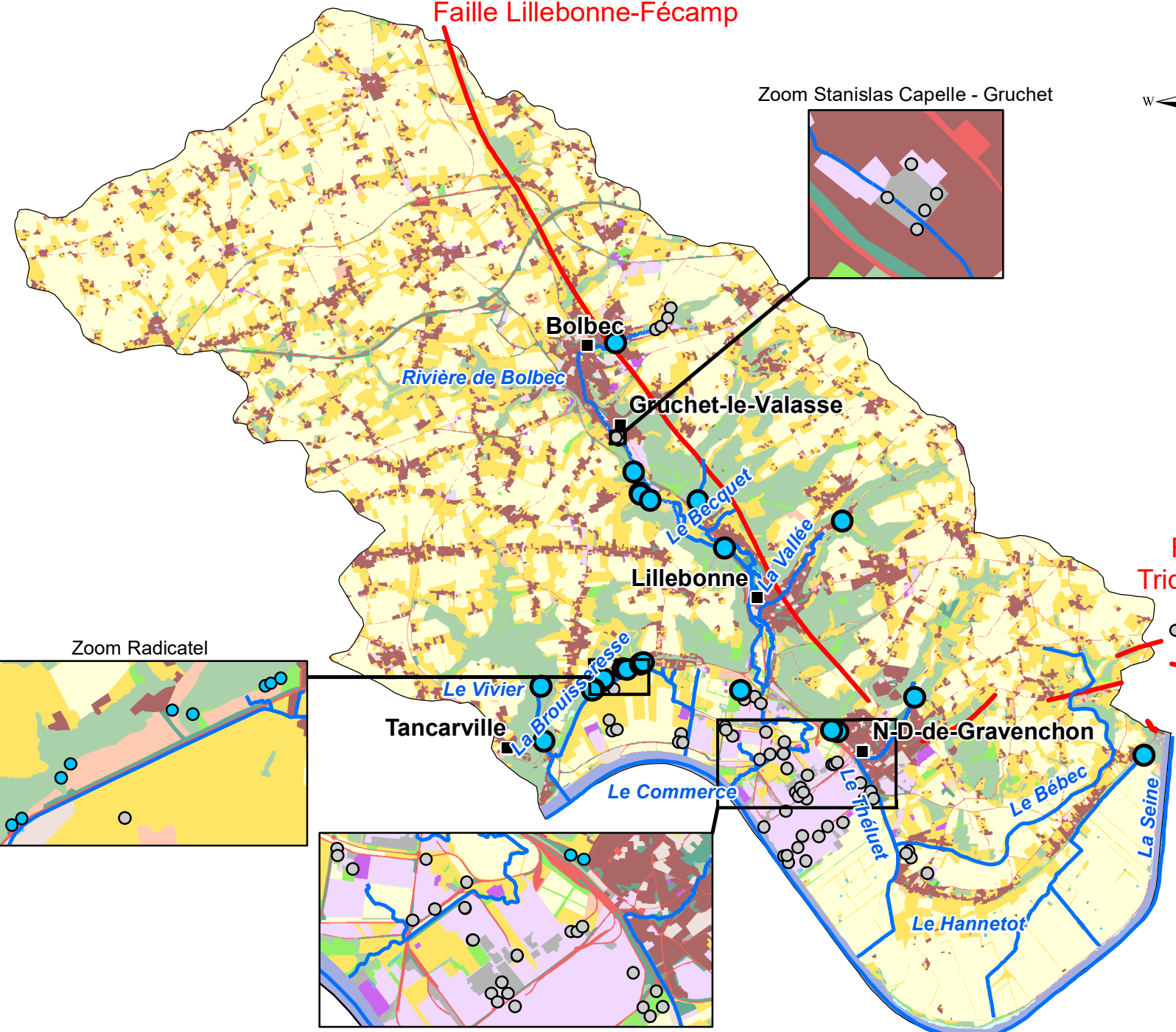
Zoom Radicatel



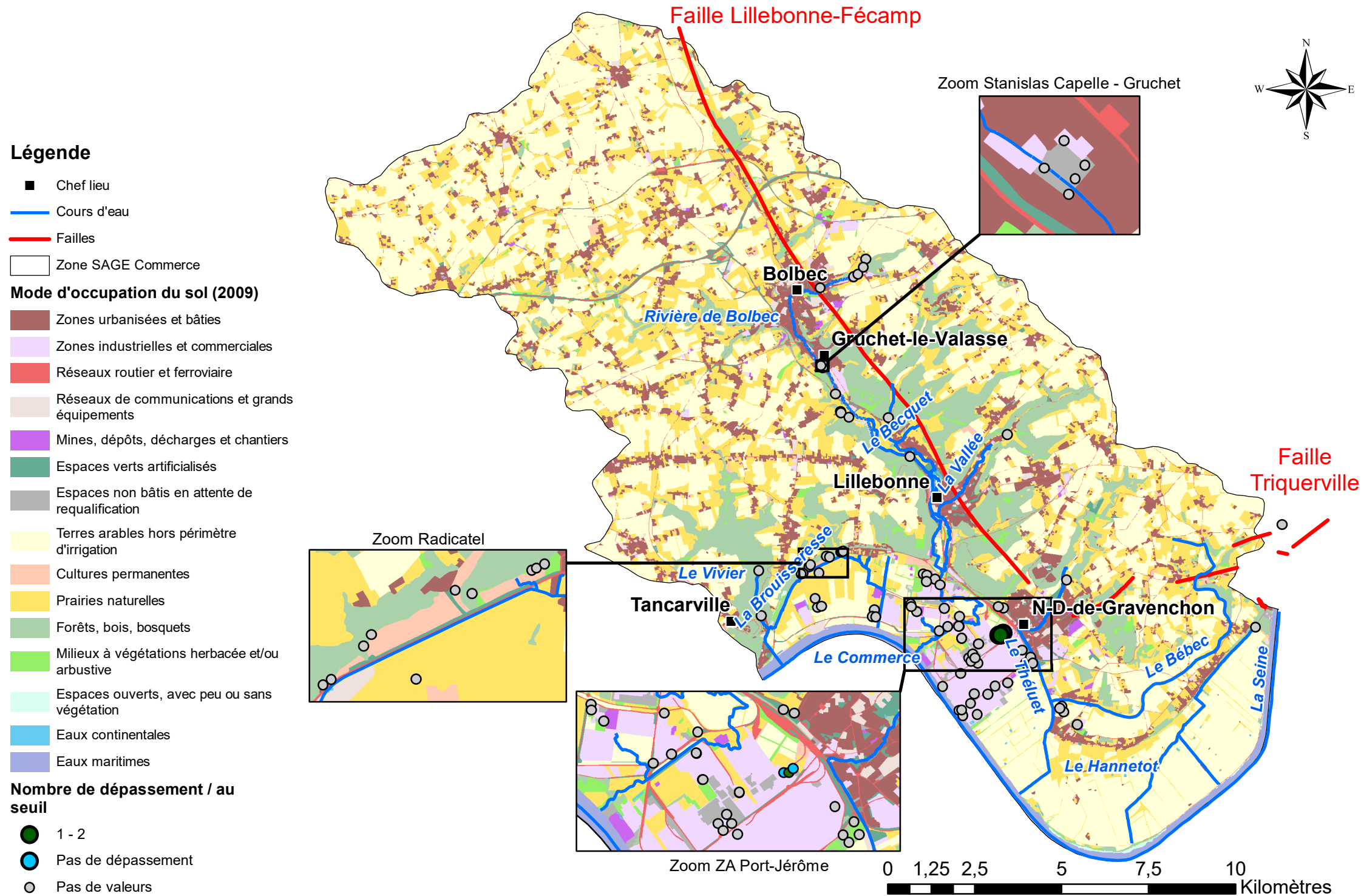
Zoom ZA Port-Jérôme



Faille Triquerville

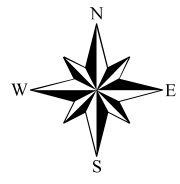


Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Alcools dans les eaux souterraines

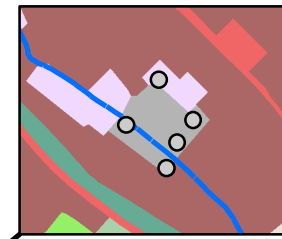


Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Chloroalcan dans les eaux souterraines

Faille Lillebonne-Fécamp



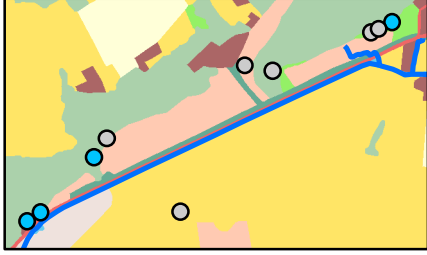
Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



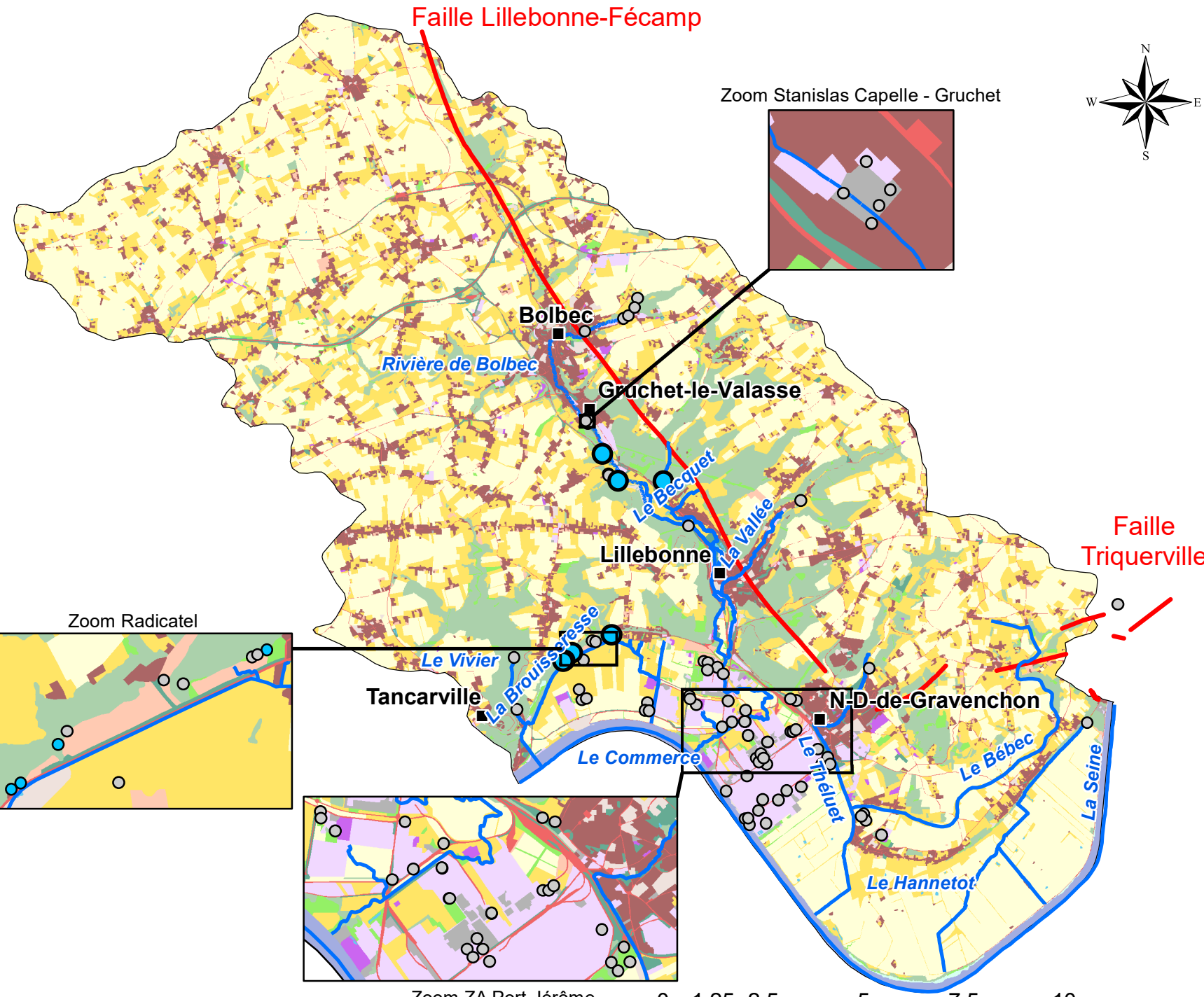
Légende

- Chef lieu
 - Cours d'eau
 - Failles
 - Zone SAGE Commerce
- Mode d'occupation du sol (2009)**
- Zones urbanisées et bâties
 - Zones industrielles et commerciales
 - Réseaux routier et ferroviaire
 - Réseaux de communications et grands équipements
 - Mines, dépôts, décharges et chantiers
 - Espaces verts artificialisés
 - Espaces non bâtis en attente de requalification
 - Terres arables hors périmètre d'irrigation
 - Cultures permanentes
 - Prairies naturelles
 - Forêts, bois, bosquets
 - Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
 - Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
 - Eaux continentales
 - Eaux maritimes
- Nombre de dépassement / au seuil**
- Pas de dépassement
 - Pas de valeurs

Zoom Radicatel



Zoom ZA Port-Jérôme



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 COHV dans les eaux souterraines

Légende

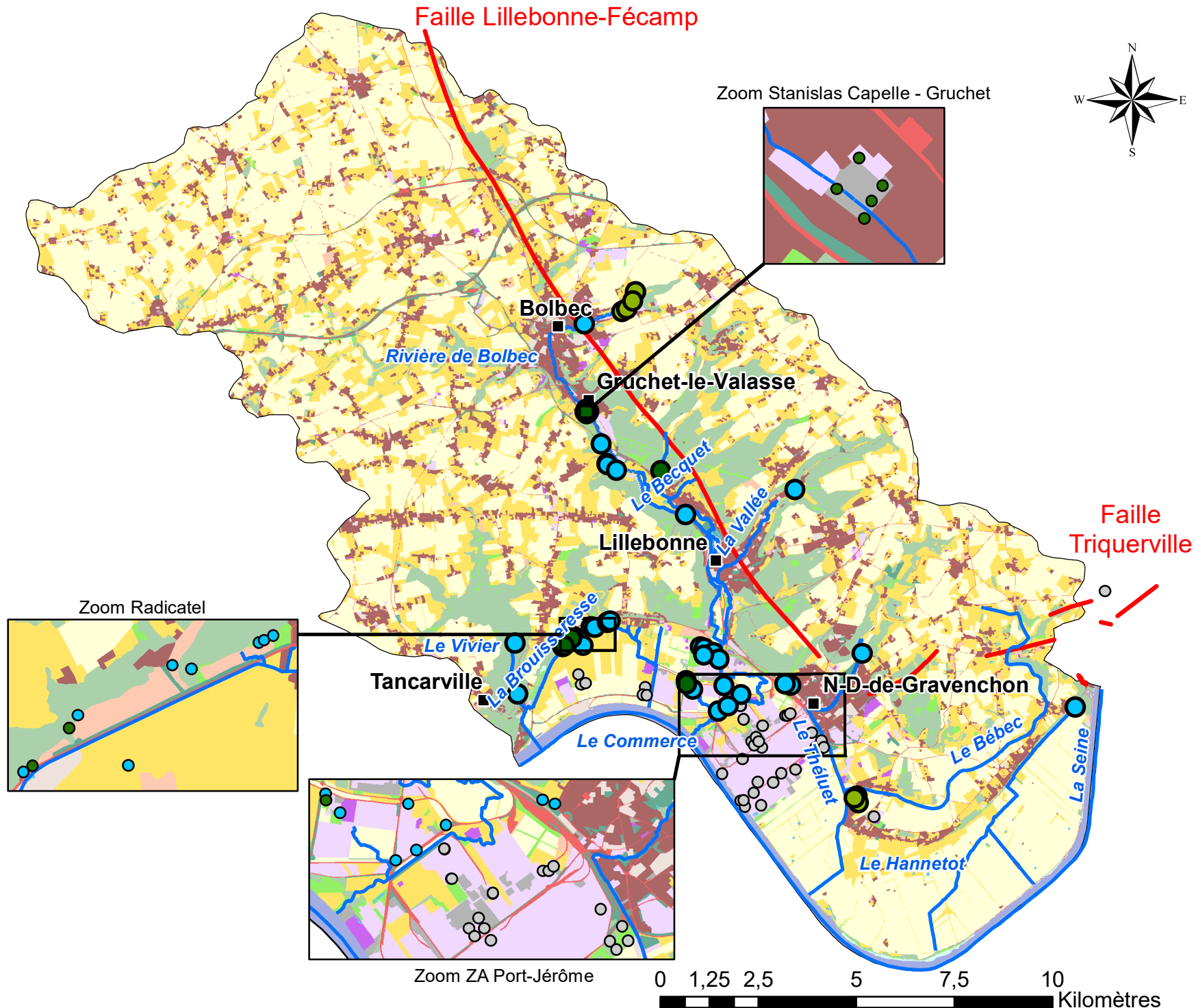
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

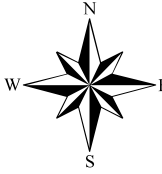
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 E_minéraux dans les eaux souterraines



Légende

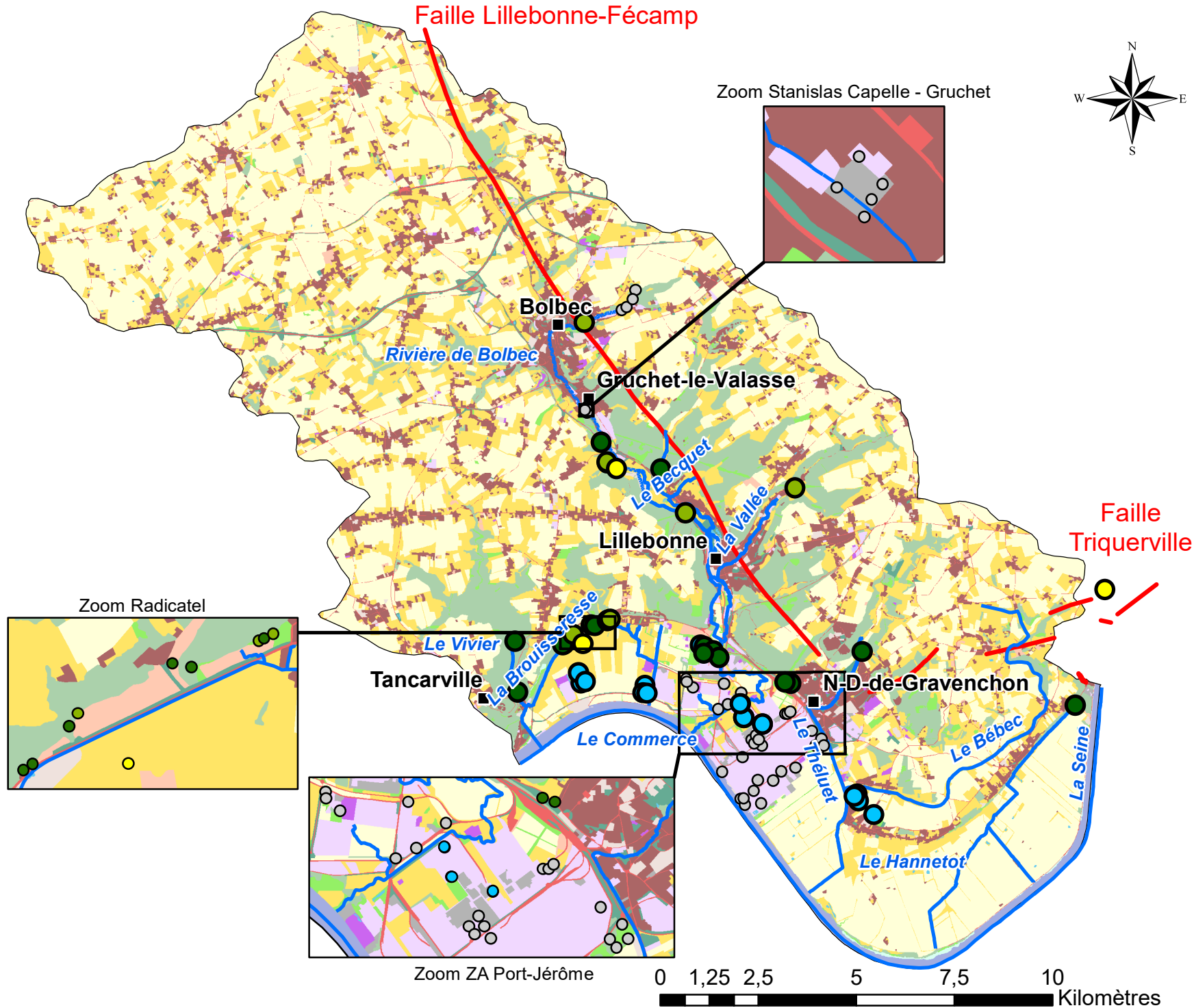
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- 5 - 10
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Hydrocarbu dans les eaux souterraines



Légende

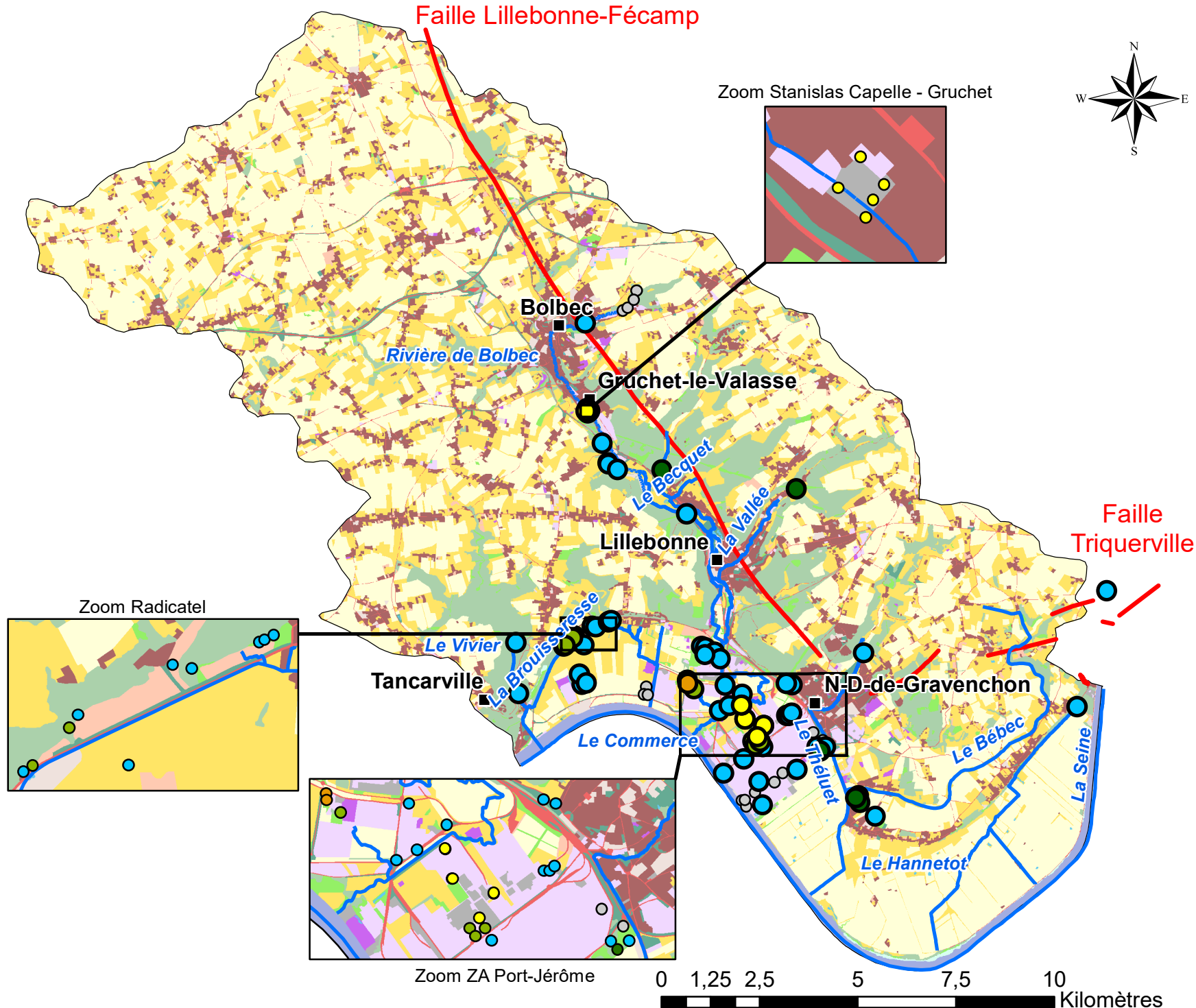
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- 5 - 10
- 11 - 21
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Indices dans les eaux souterraines

Légende

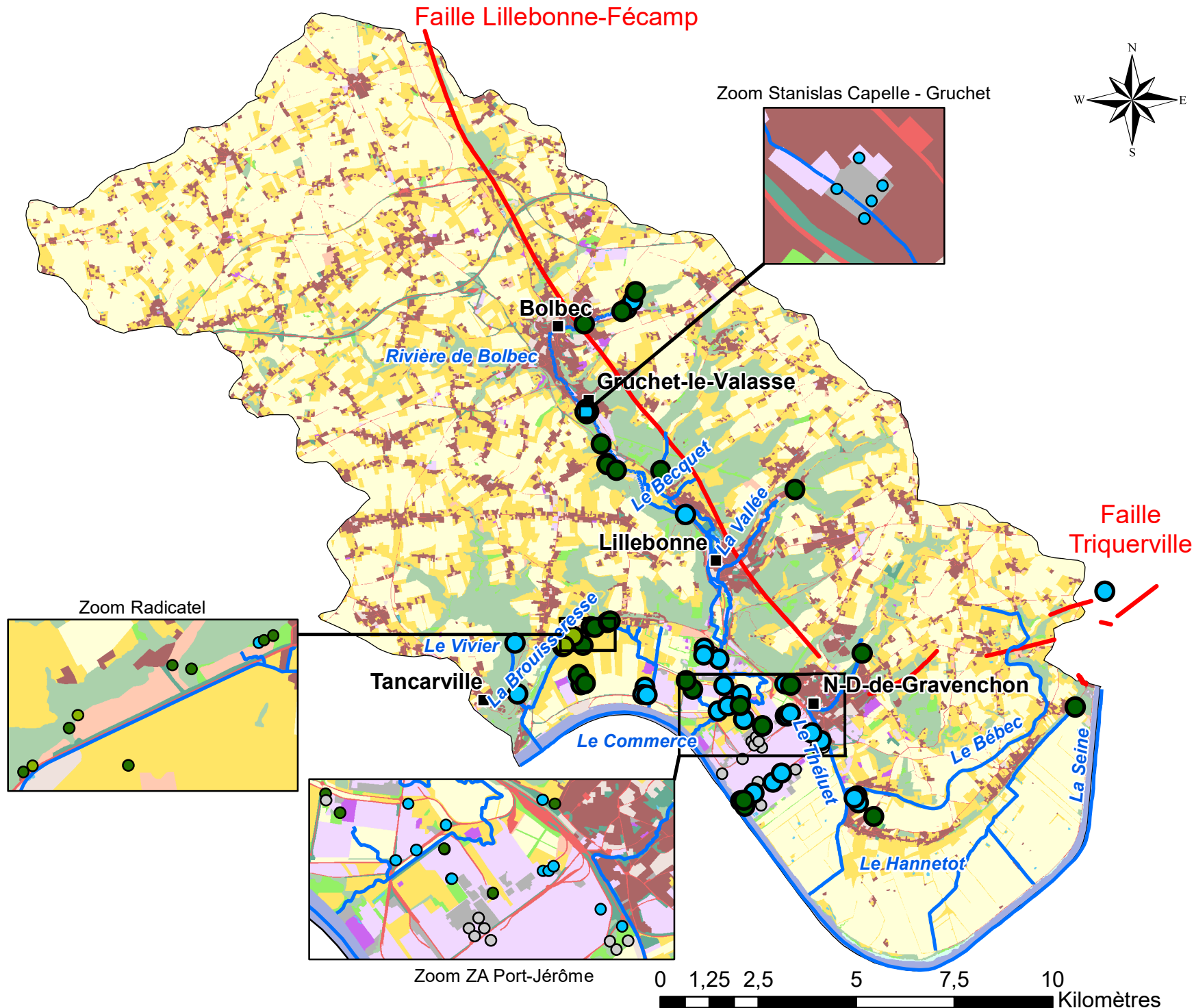
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieus à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Métaux dans les eaux souterraines

Légende

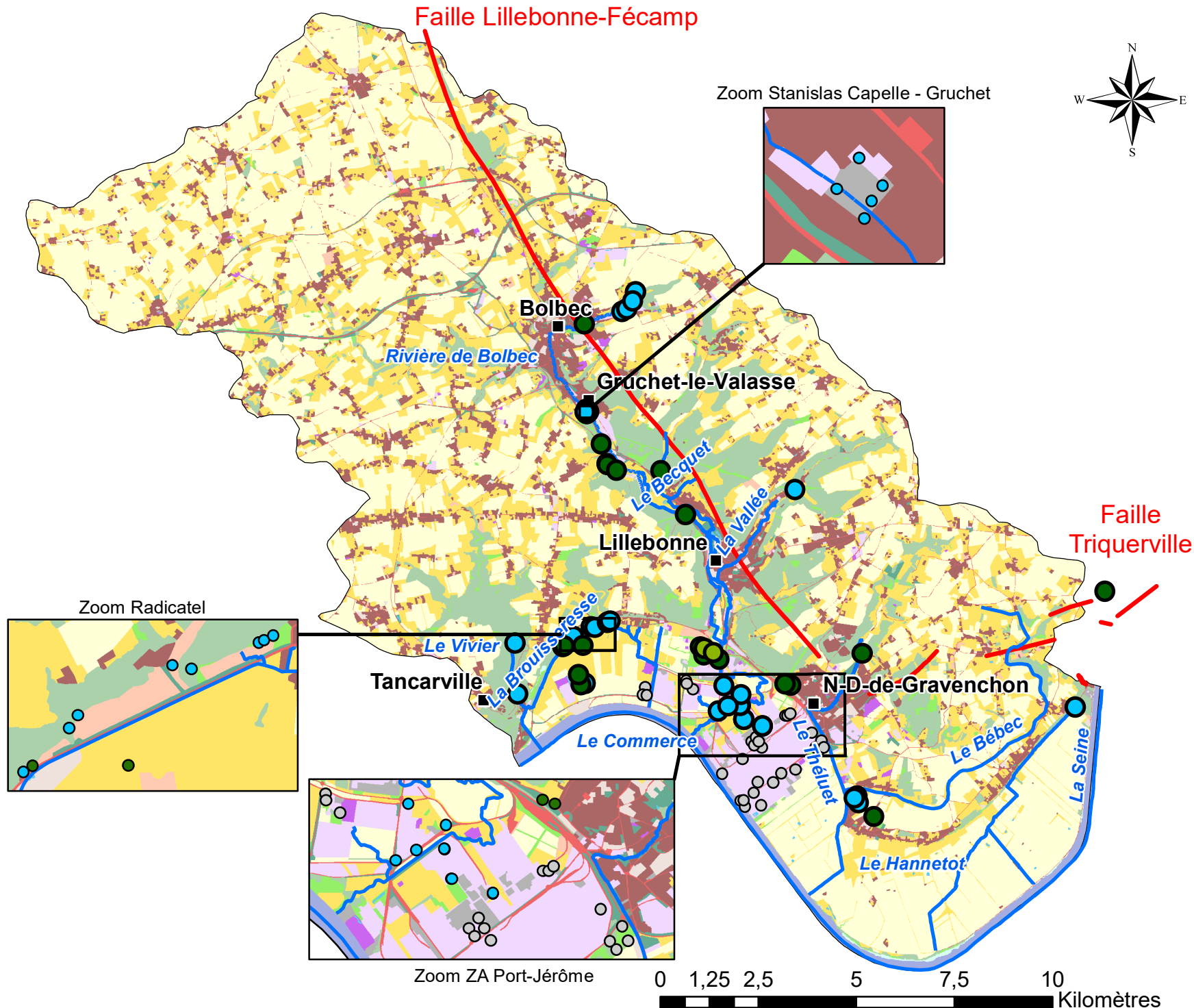
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

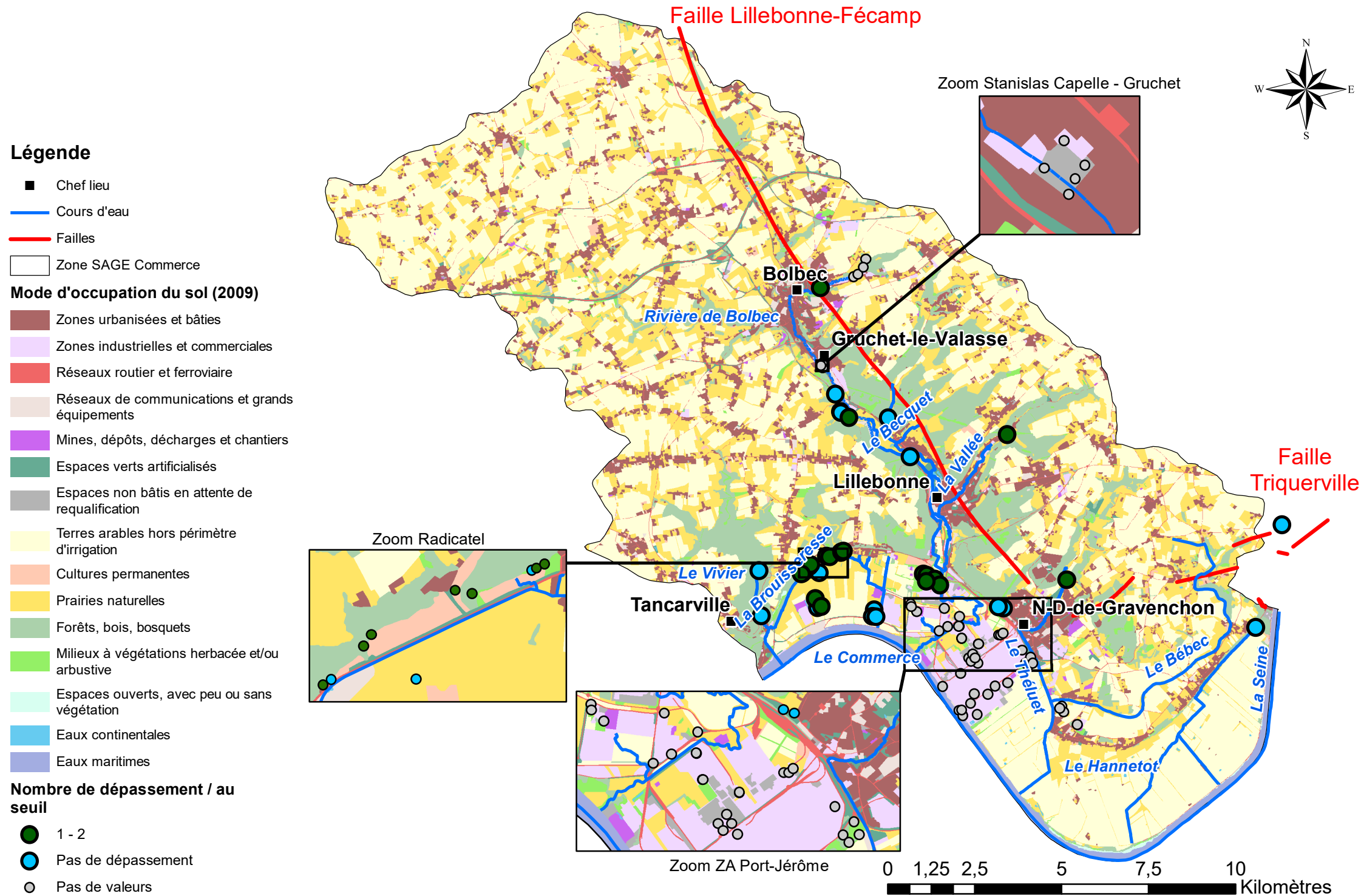
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieus à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- 3 - 4
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

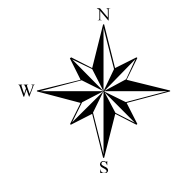


Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Parametres dans les eaux souterraines

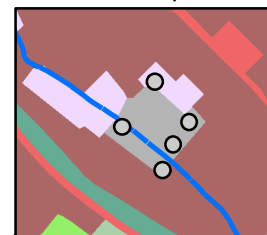


Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 PBDE dans les eaux souterraines

Faille Lillebonne-Fécamp



Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Légende

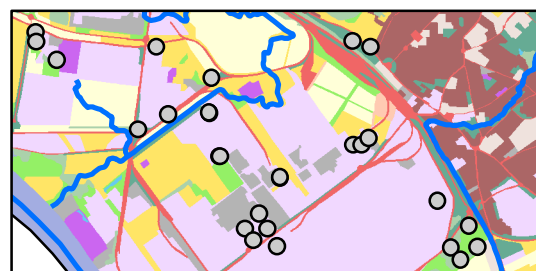
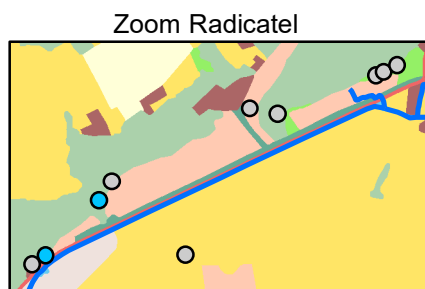
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Tancarville

La Brousses

Le Commerce

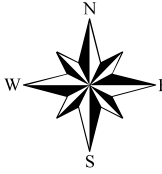
N-D-de-Gravenchon

Le Hannebot

Faille Triquerville



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 PCB dans les eaux souterraines



Légende

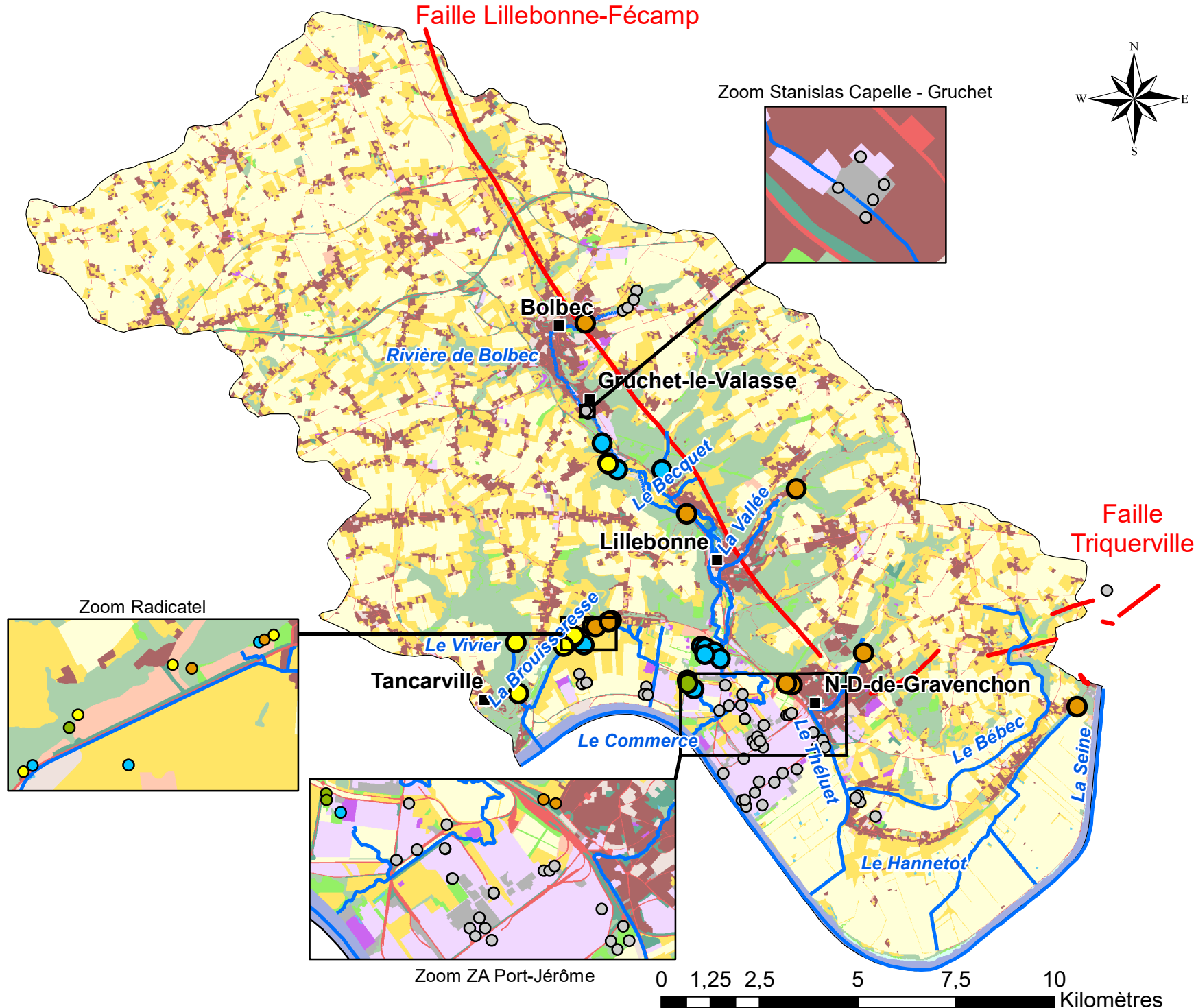
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 3 - 4
- 5 - 10
- 11 - 21
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Pesticides dans les eaux souterraines

Légende

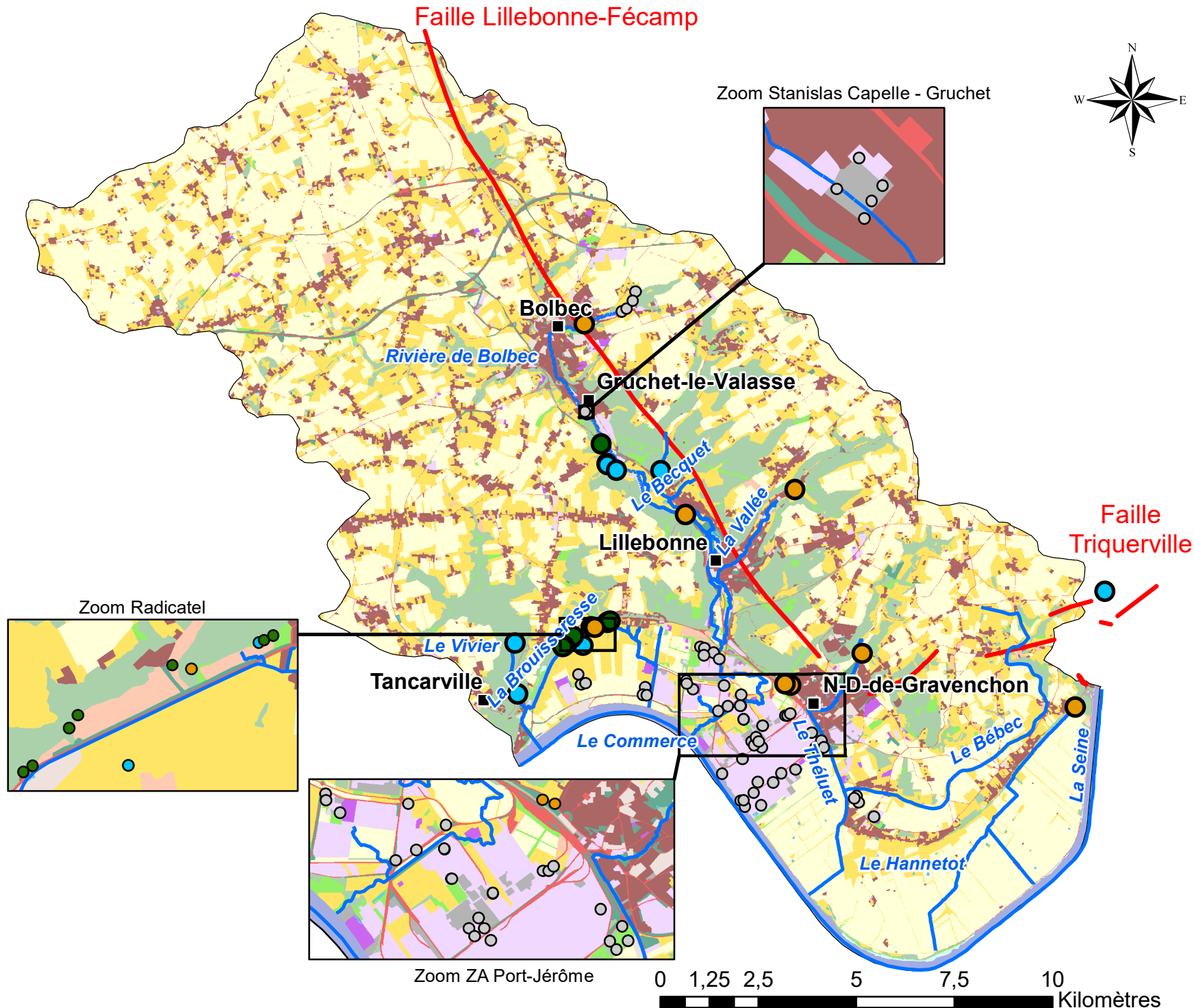
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

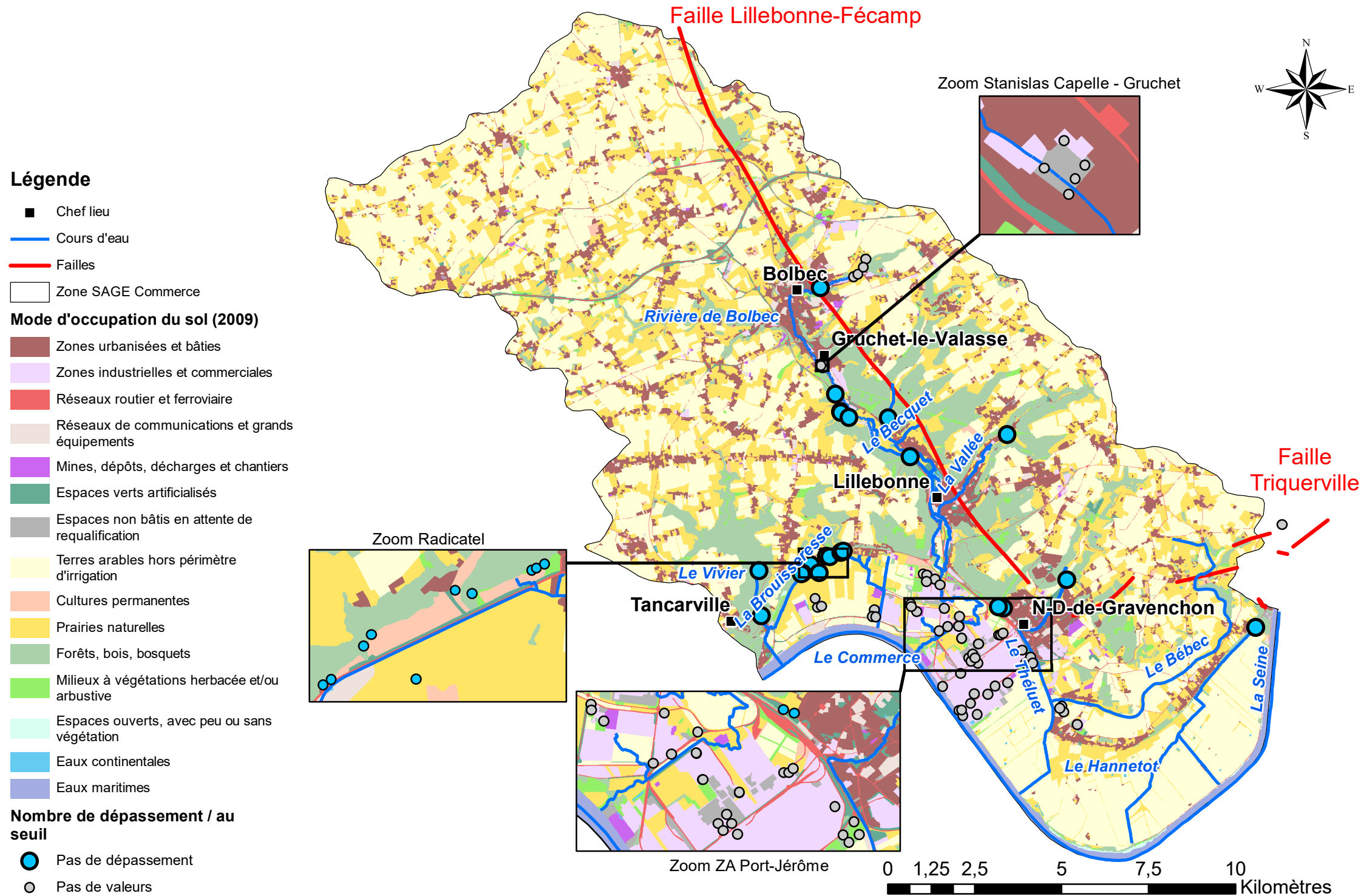
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

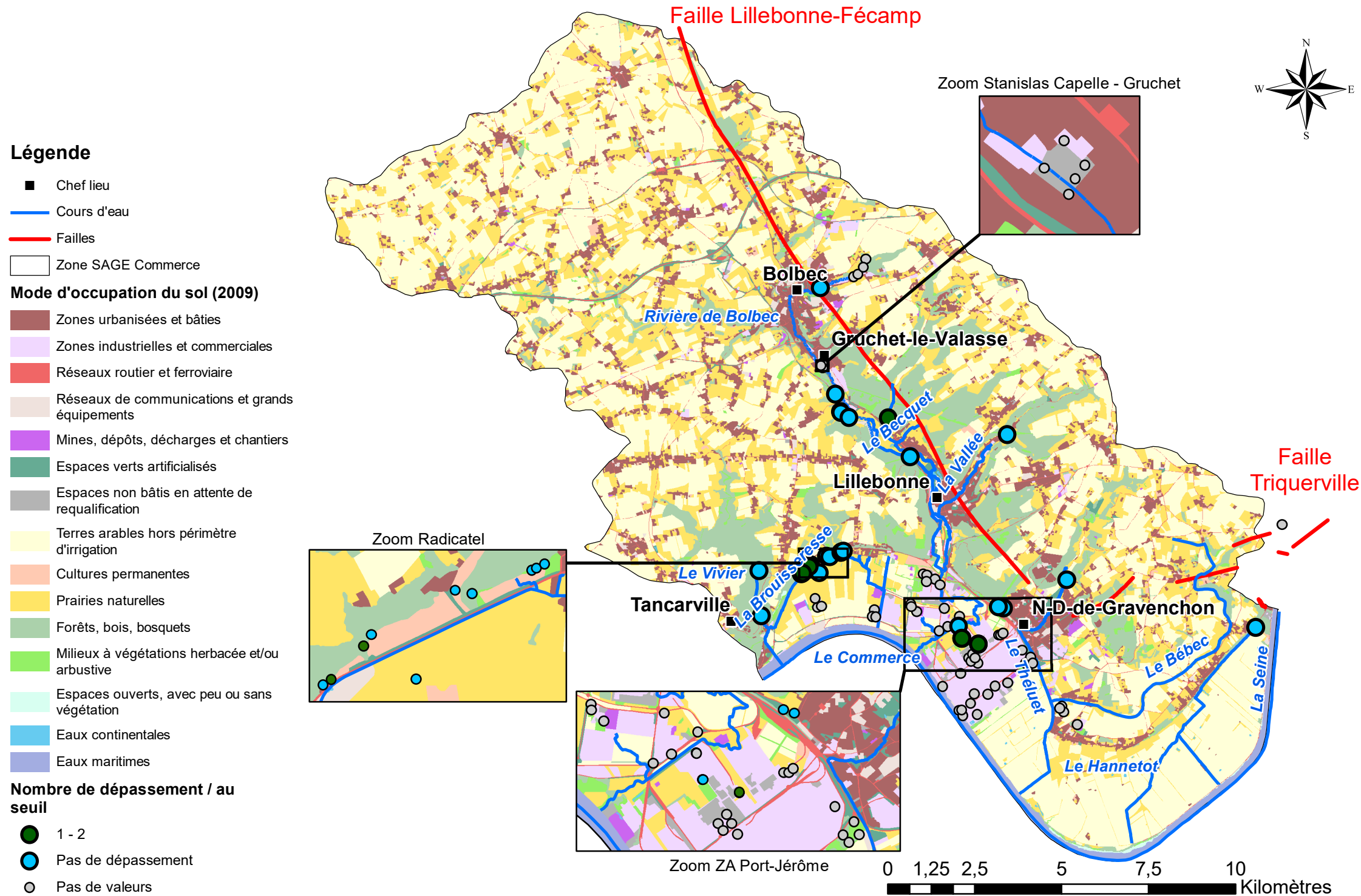
- 1 - 2
- 11 - 21
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



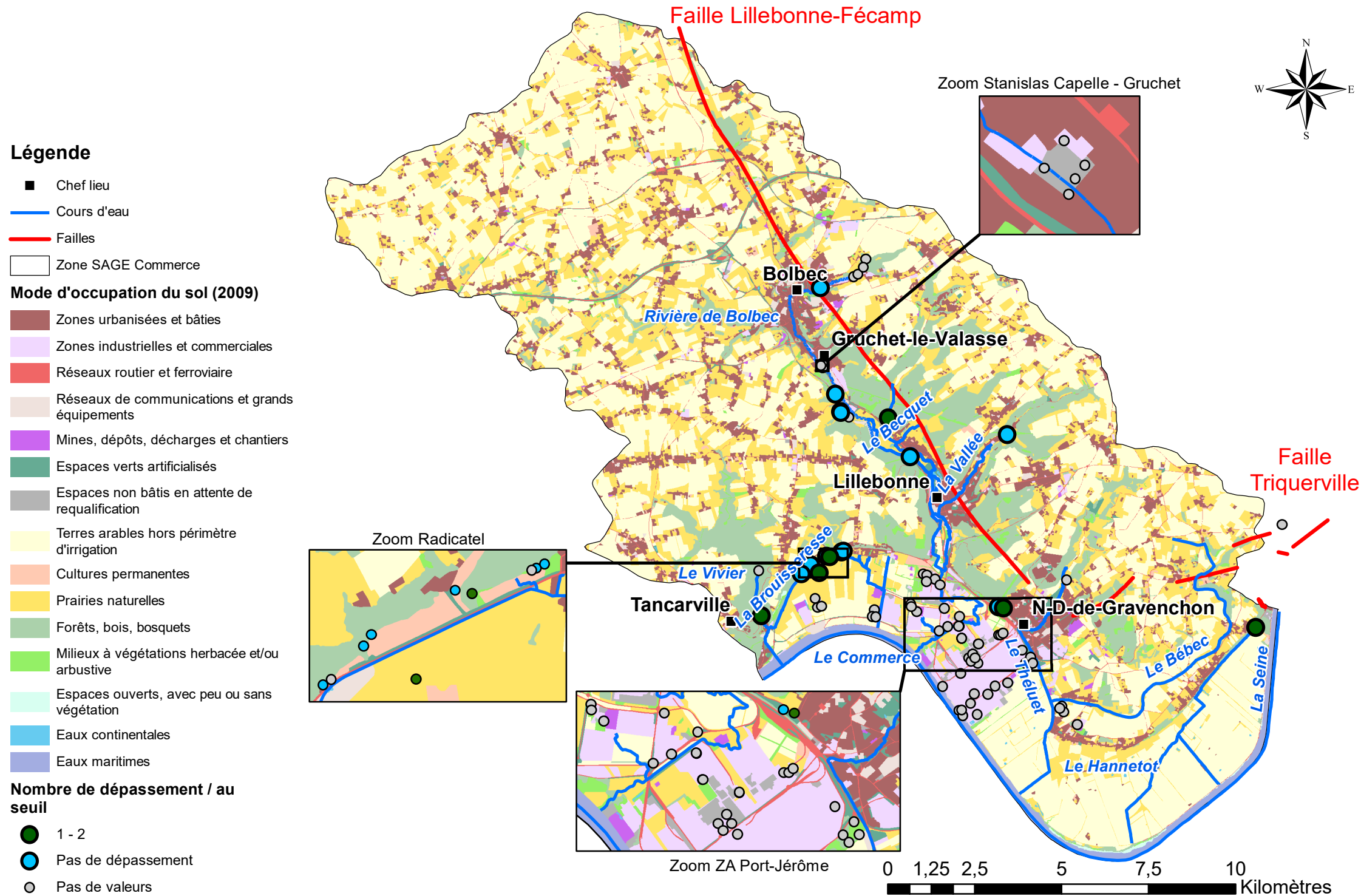
Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Pharmacie dans les eaux souterraines



Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Phenols dans les eaux souterraines



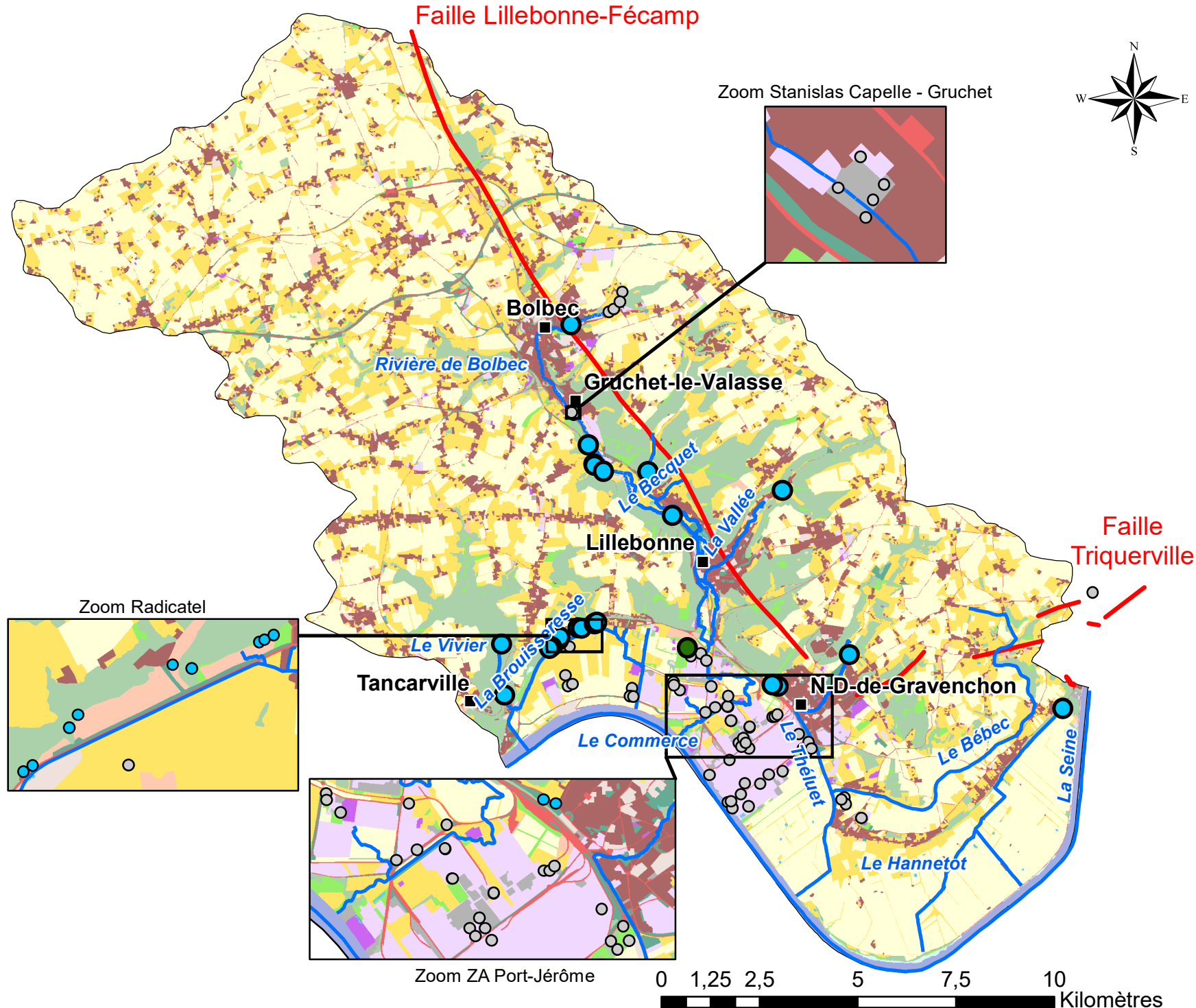
Valeurs médiane dépassant la moyenne des percentiles 90 Radioactifs dans les eaux souterraines



Valeur médiane A_Carboxy dans les eaux souterraines

Légende

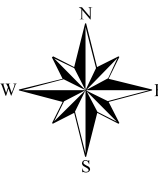
- Chef lieu
 - Cours d'eau
 - Failles
 - Zone SAGE Commerce
- Mode d'occupation du sol (2009)**
- Zones urbanisées et bâties
 - Zones industrielles et commerciales
 - Réseaux routier et ferroviaire
 - Réseaux de communications et grands équipements
 - Mines, dépôts, décharges et chantiers
 - Espaces verts artificialisés
 - Espaces non bâtis en attente de requalification
 - Terres arables hors périmètre d'irrigation
 - Cultures permanentes
 - Prairies naturelles
 - Forêts, bois, bosquets
 - Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
 - Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
 - Eaux continentales
 - Eaux maritimes
- Nombre de dépassement / au seuil**
- 1 - 2
 - Pas de dépassement
 - Pas de valeurs



Valeur médiane Alcools dans les eaux souterraines

Faille Lillebonne-Fécamp

Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Légende

- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

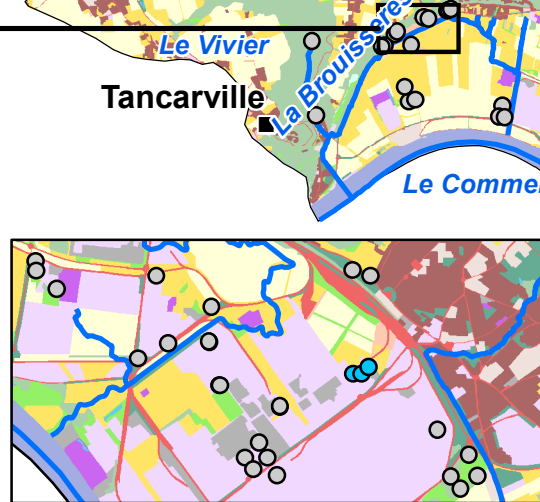
Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

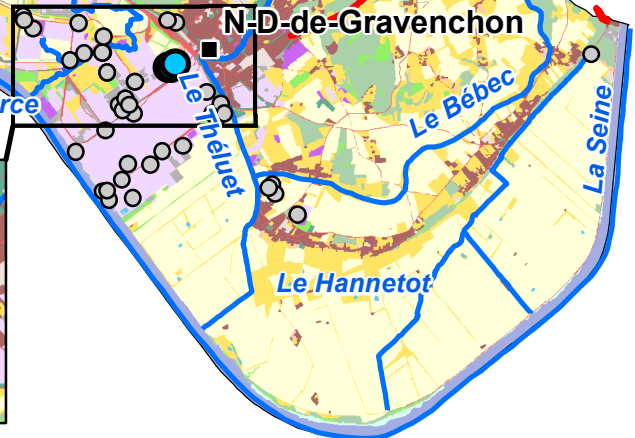
Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

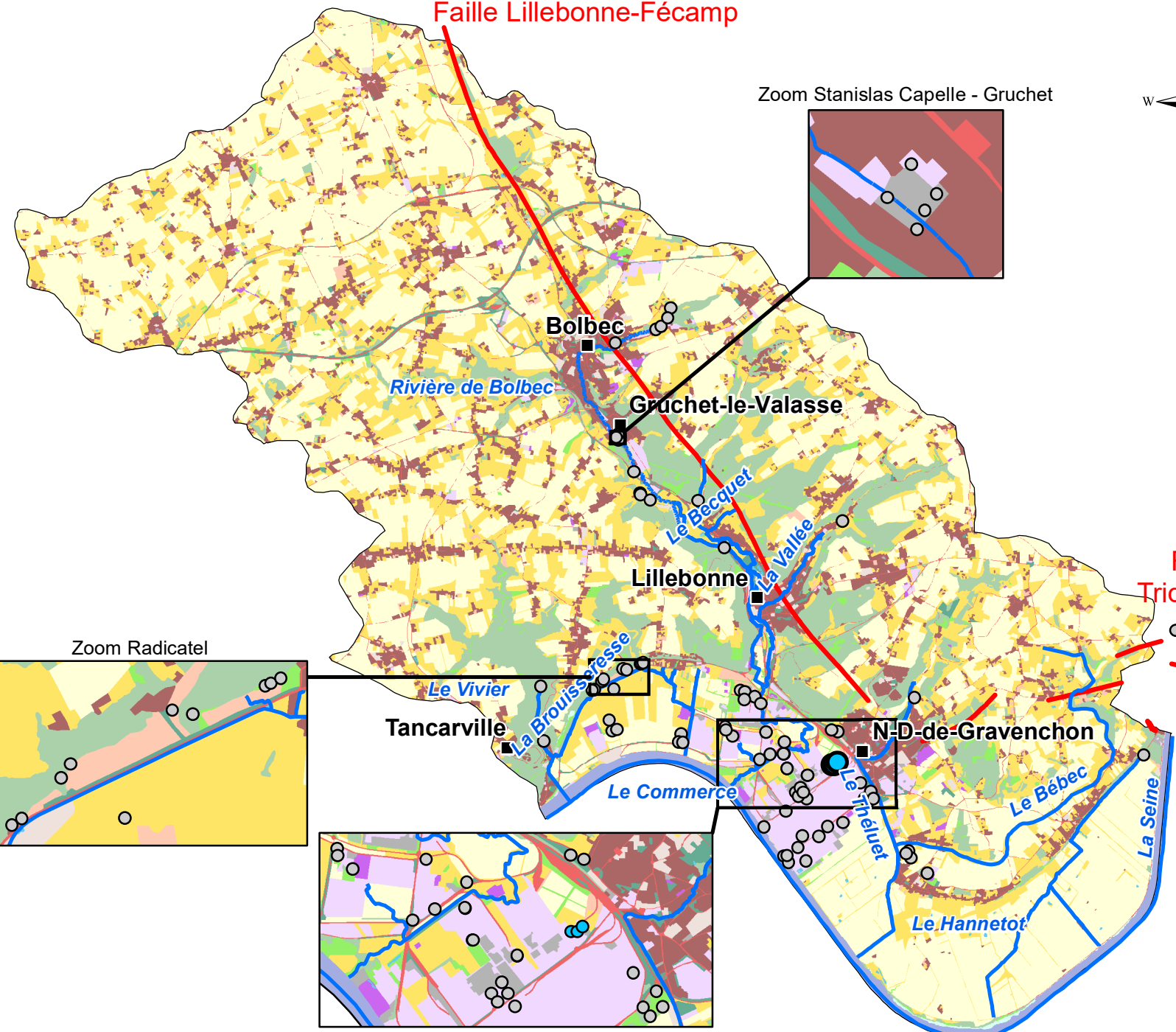
Zoom Radicatel



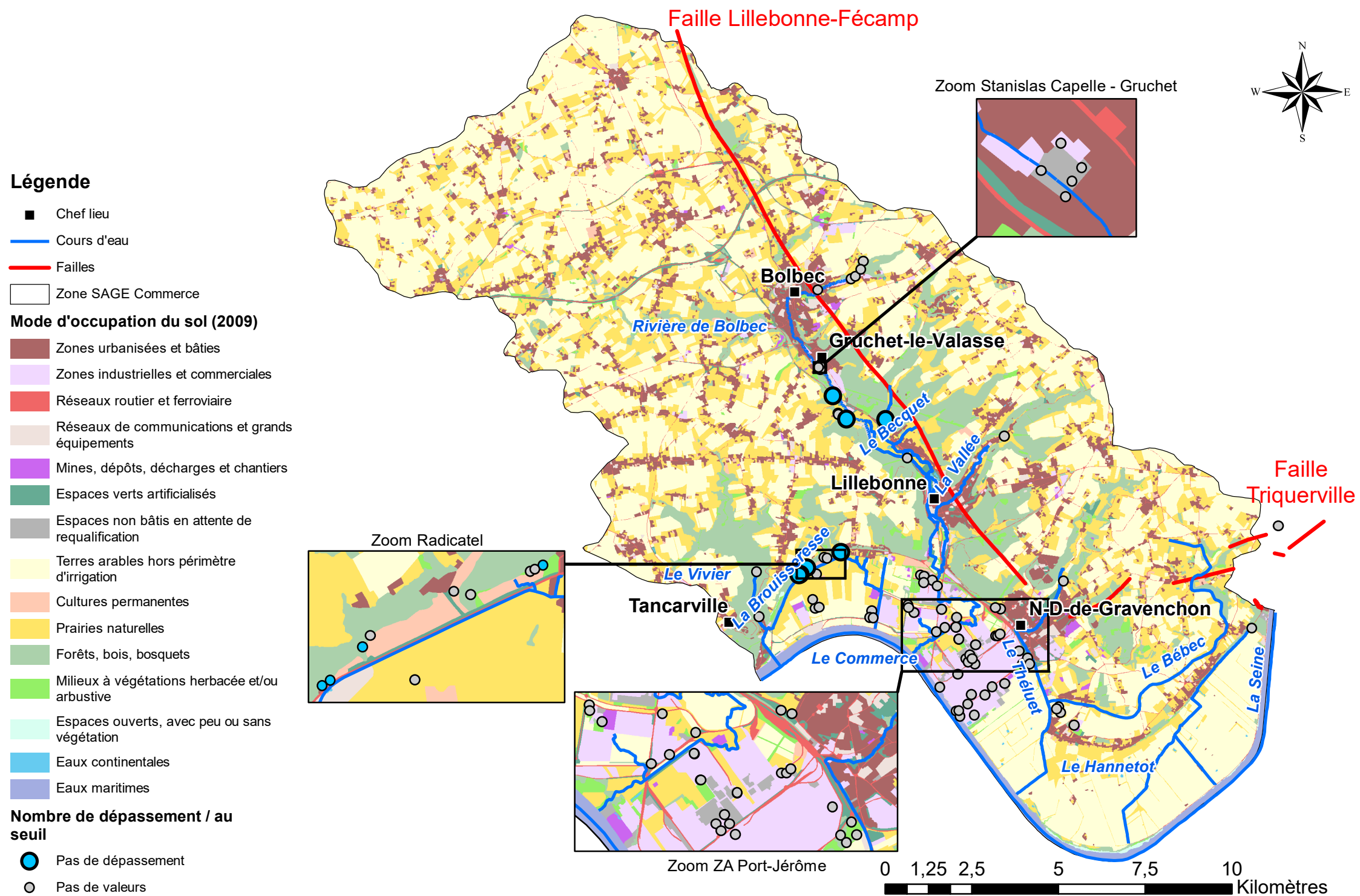
Zoom ZA Port-Jérôme



Faille Triquerville



Valeur médiane Chloroalcan dans les eaux souterraines



Valeur médiane COHV dans les eaux souterraines

Légende

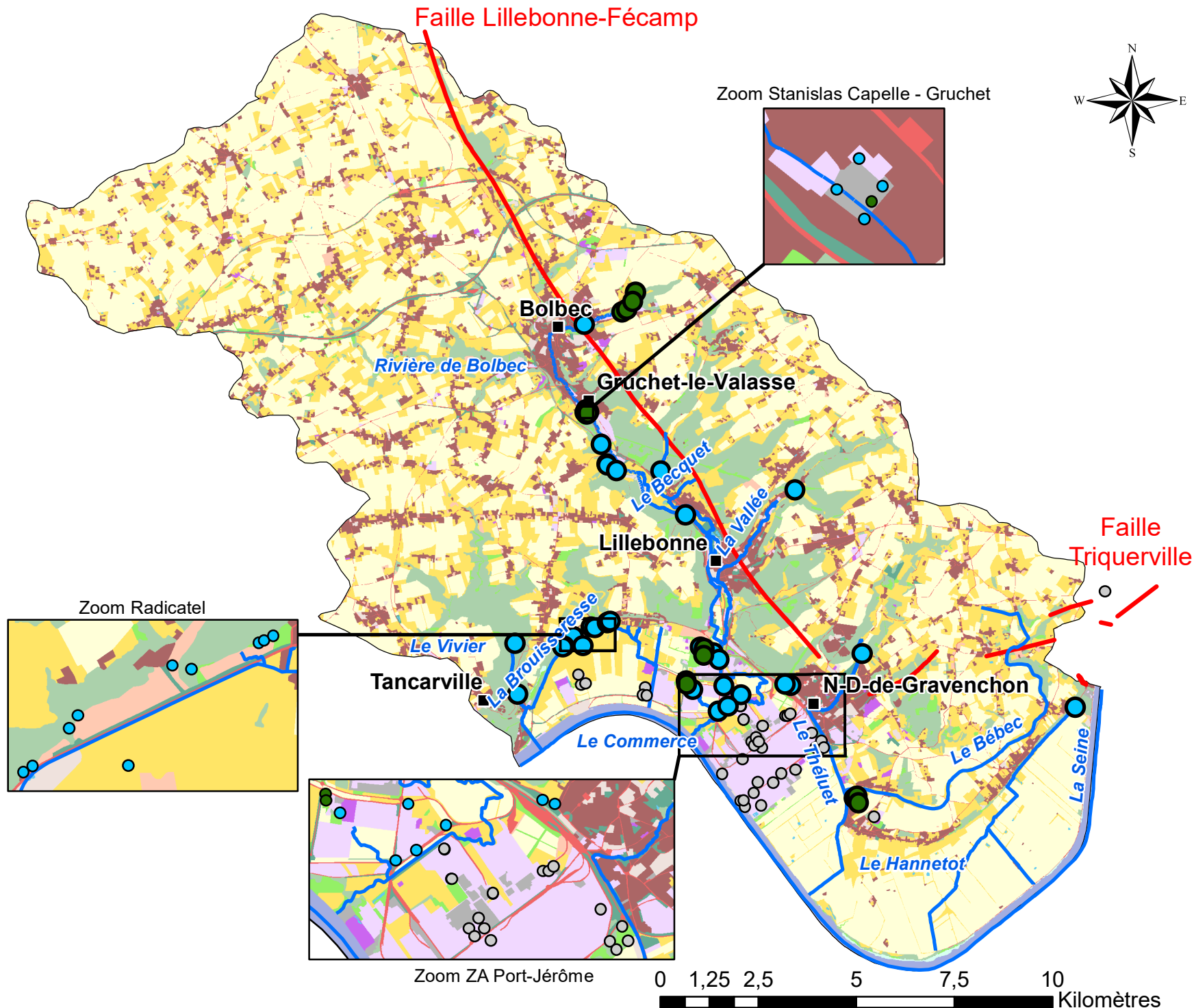
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

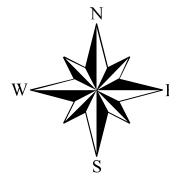
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane E_minéraux dans les eaux souterraines



Légende

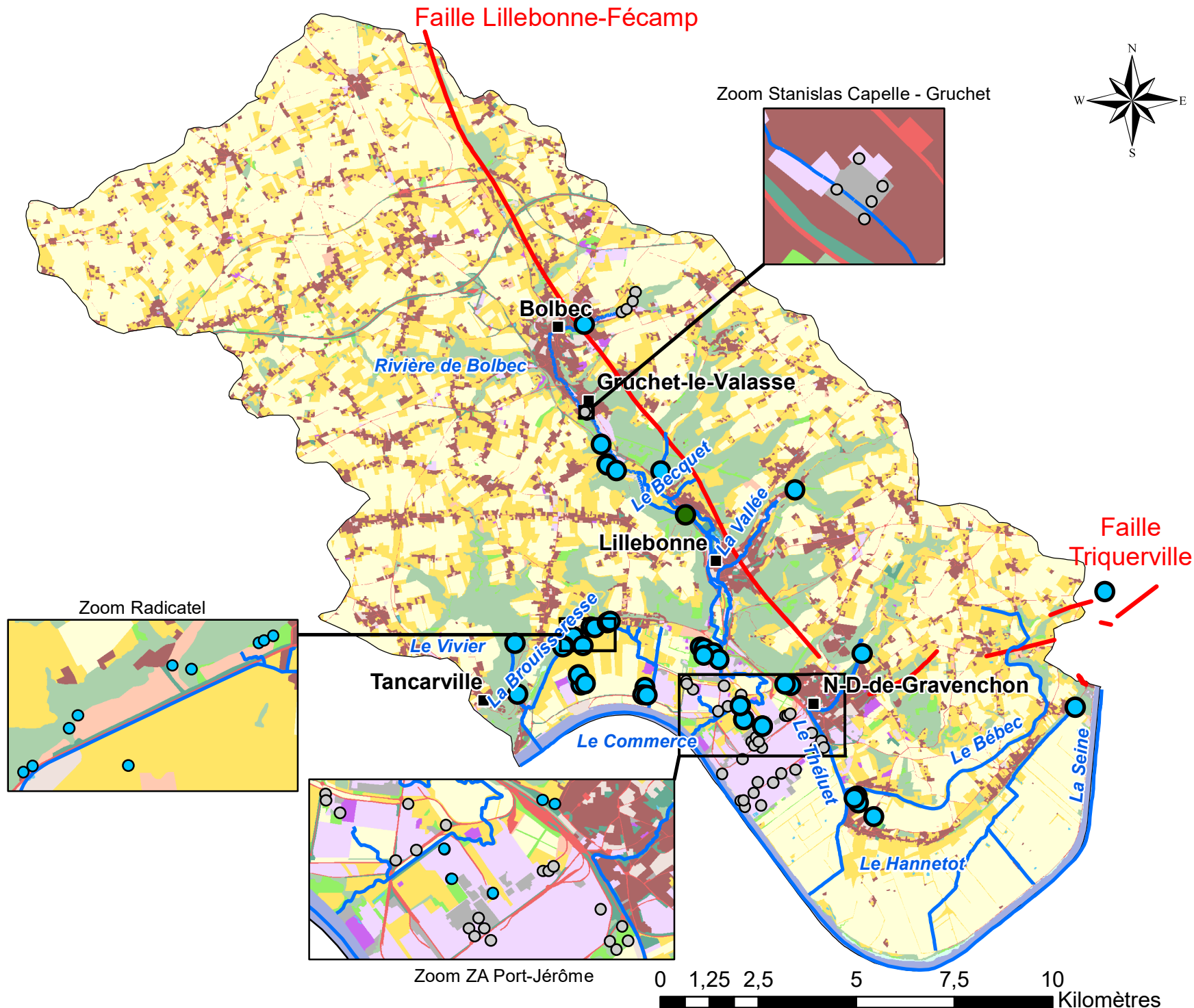
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

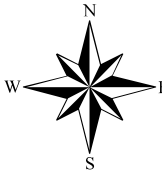
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane Hydrocarbu dans les eaux souterraines



Légende

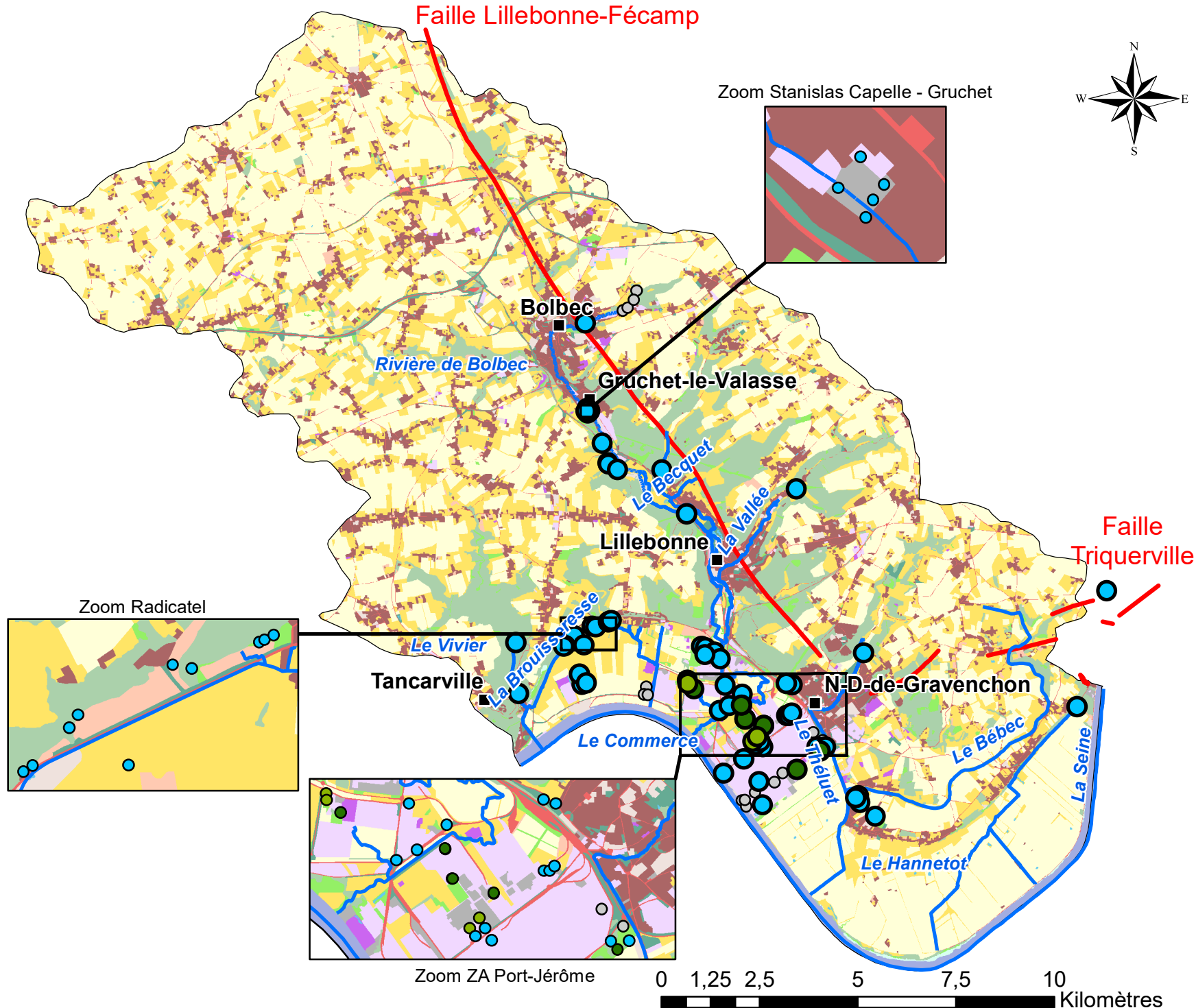
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

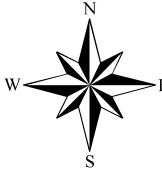
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

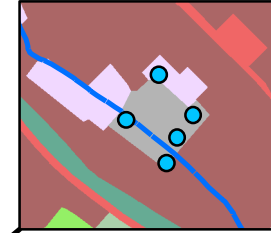
- 1 - 2
- 3 - 4
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



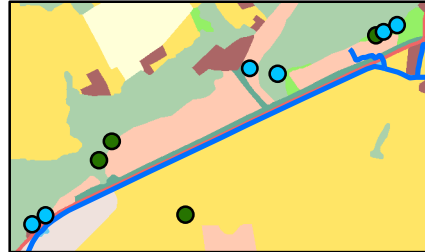
Valeur médiane Indices dans les eaux souterraines



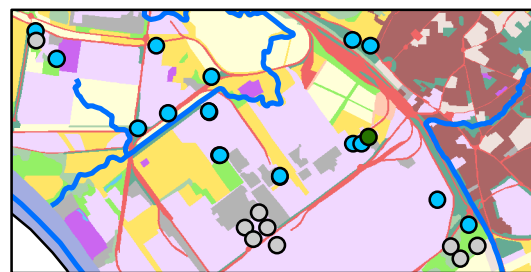
Zoom Stanislas Capelle - Gruchet



Zoom Radicatel



Zoom ZA Port-Jérôme



Légende

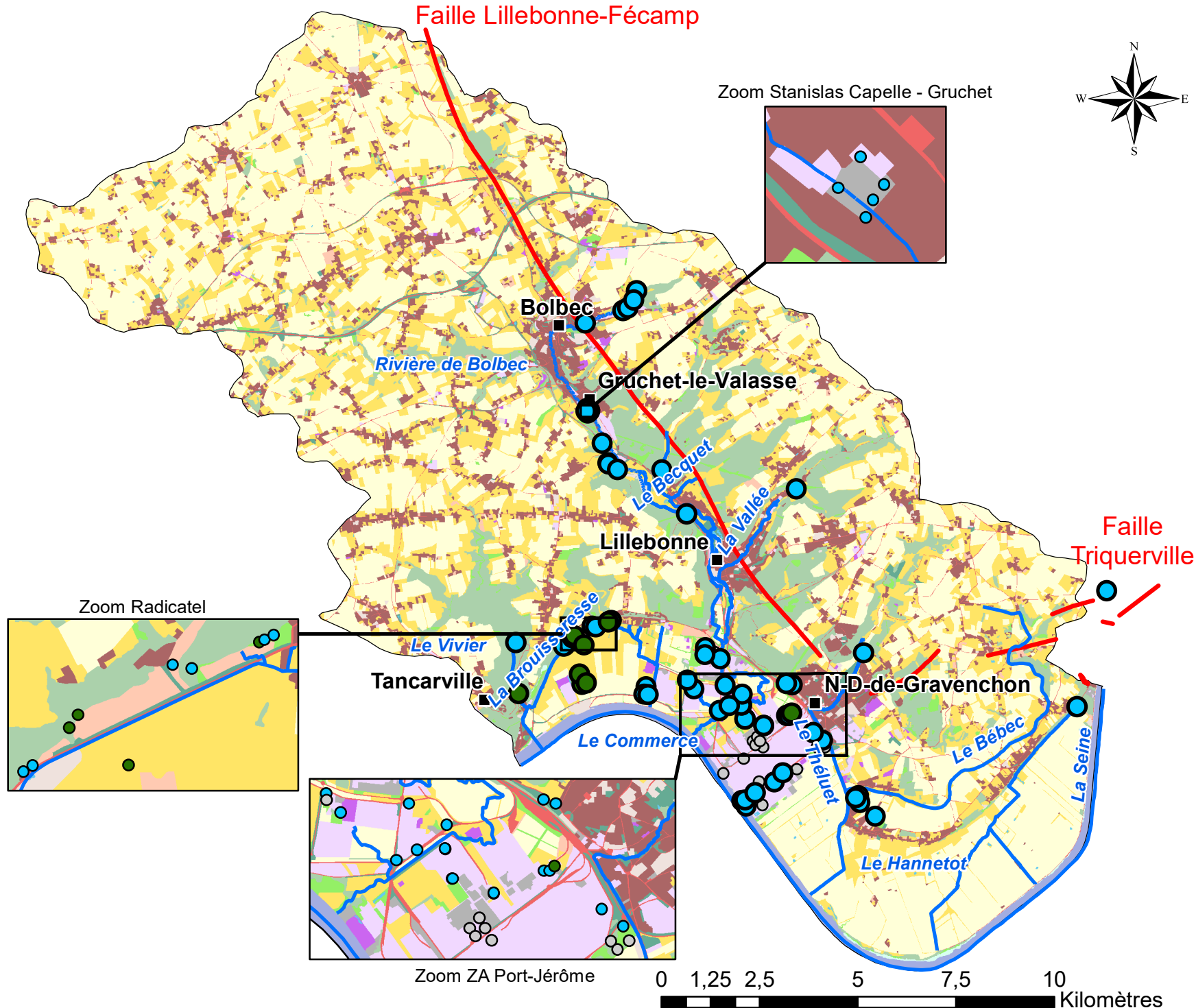
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

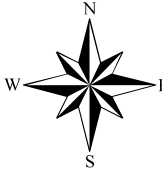
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane Metaux dans les eaux souterraines



Légende

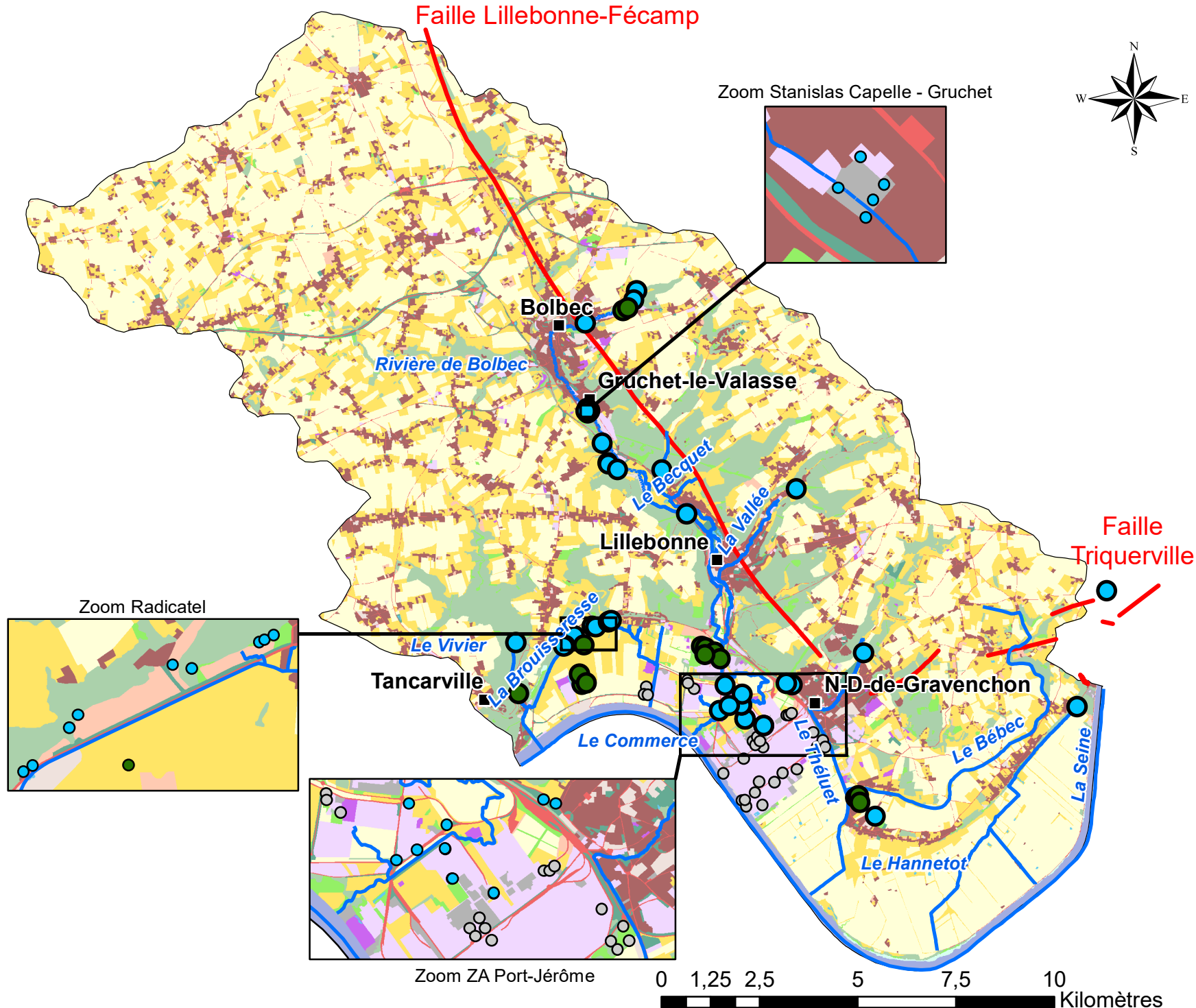
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

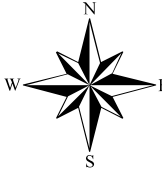
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane Paramètres dans les eaux souterraines



Légende

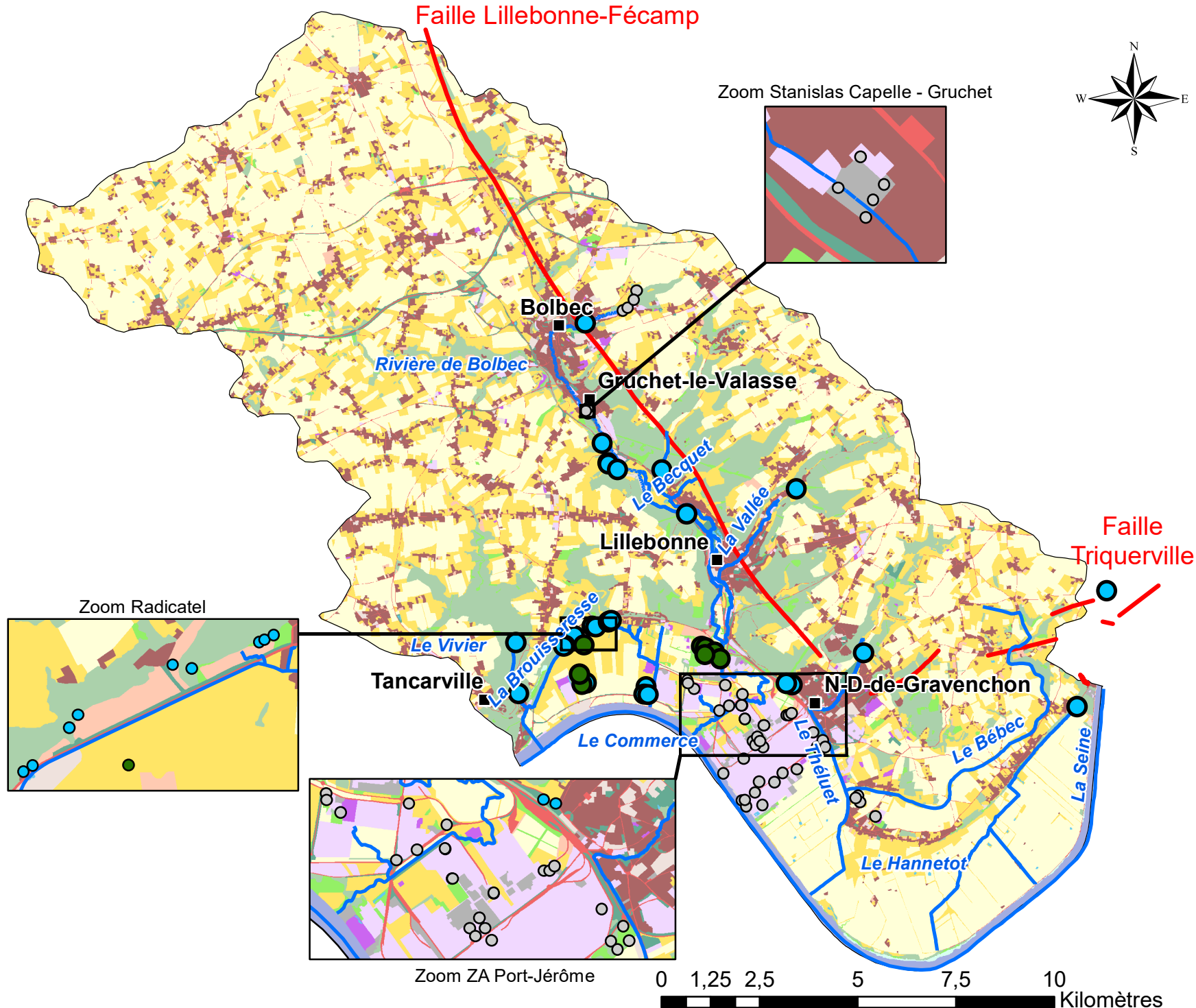
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

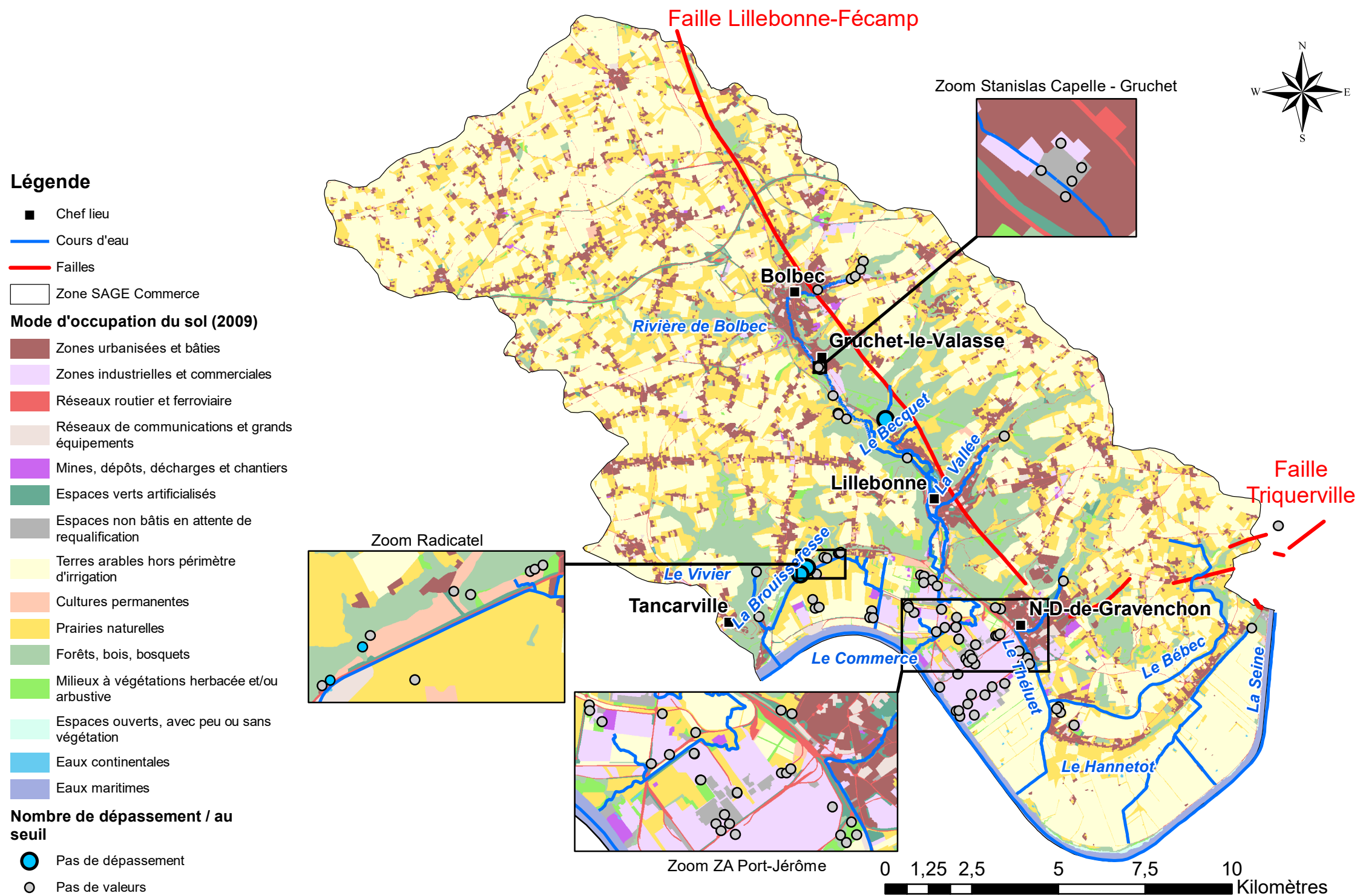
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

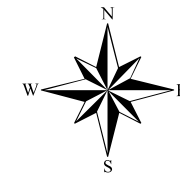
- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane PBDE dans les eaux souterraines



Valeur médiane PCB dans les eaux souterraines



Légende

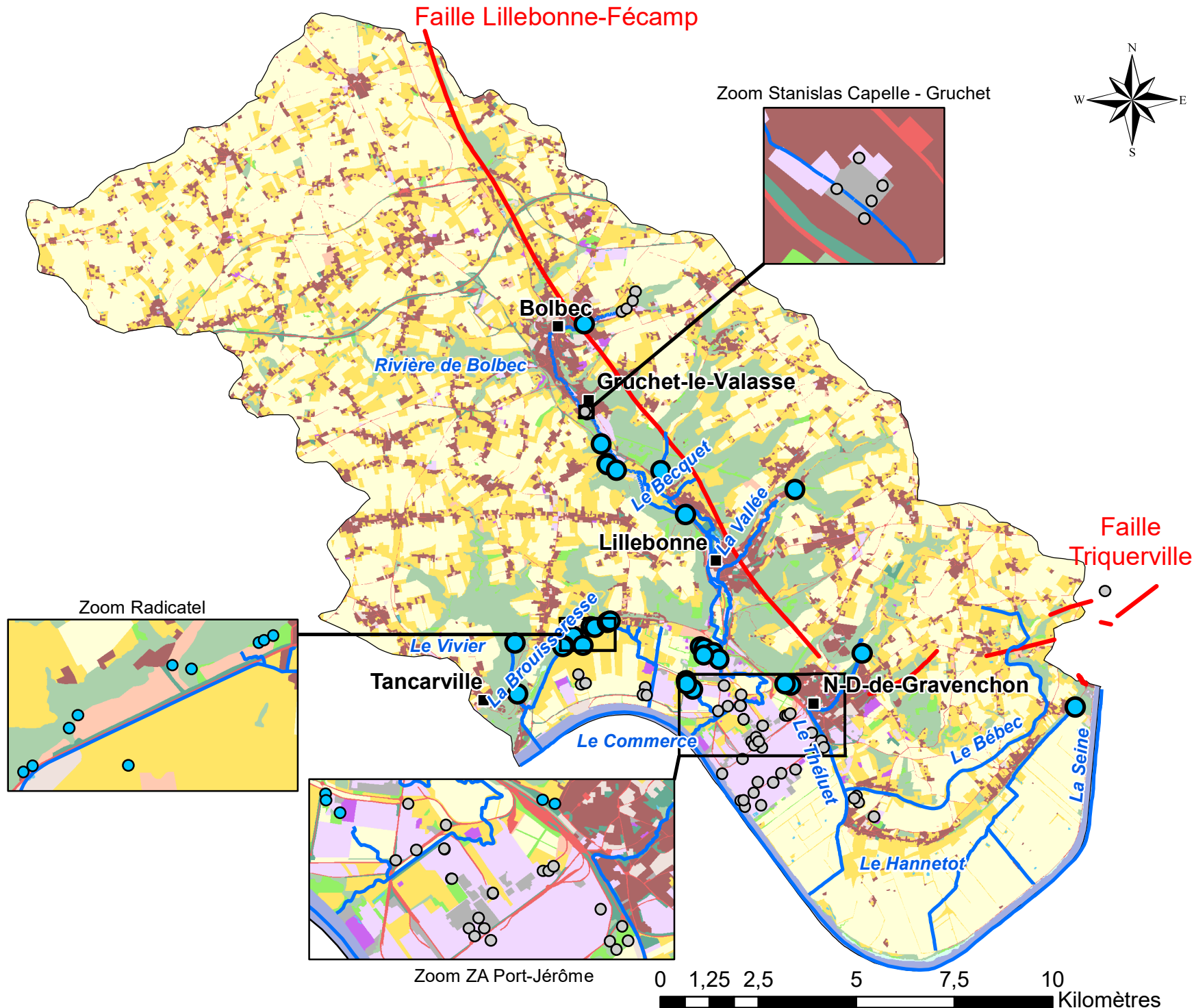
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

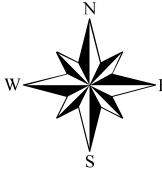
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane Pesticides dans les eaux souterraines



Légende

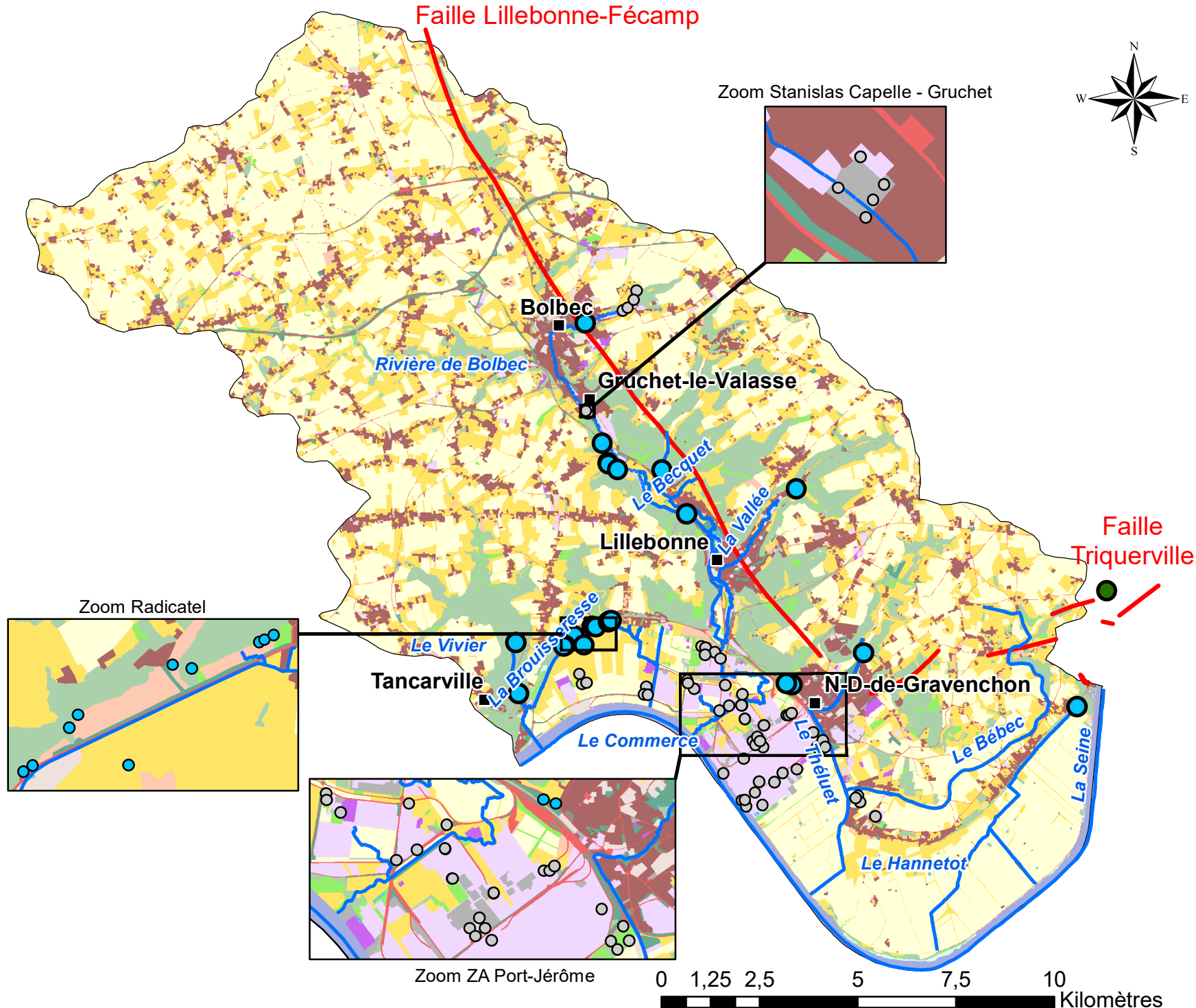
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

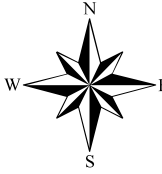
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

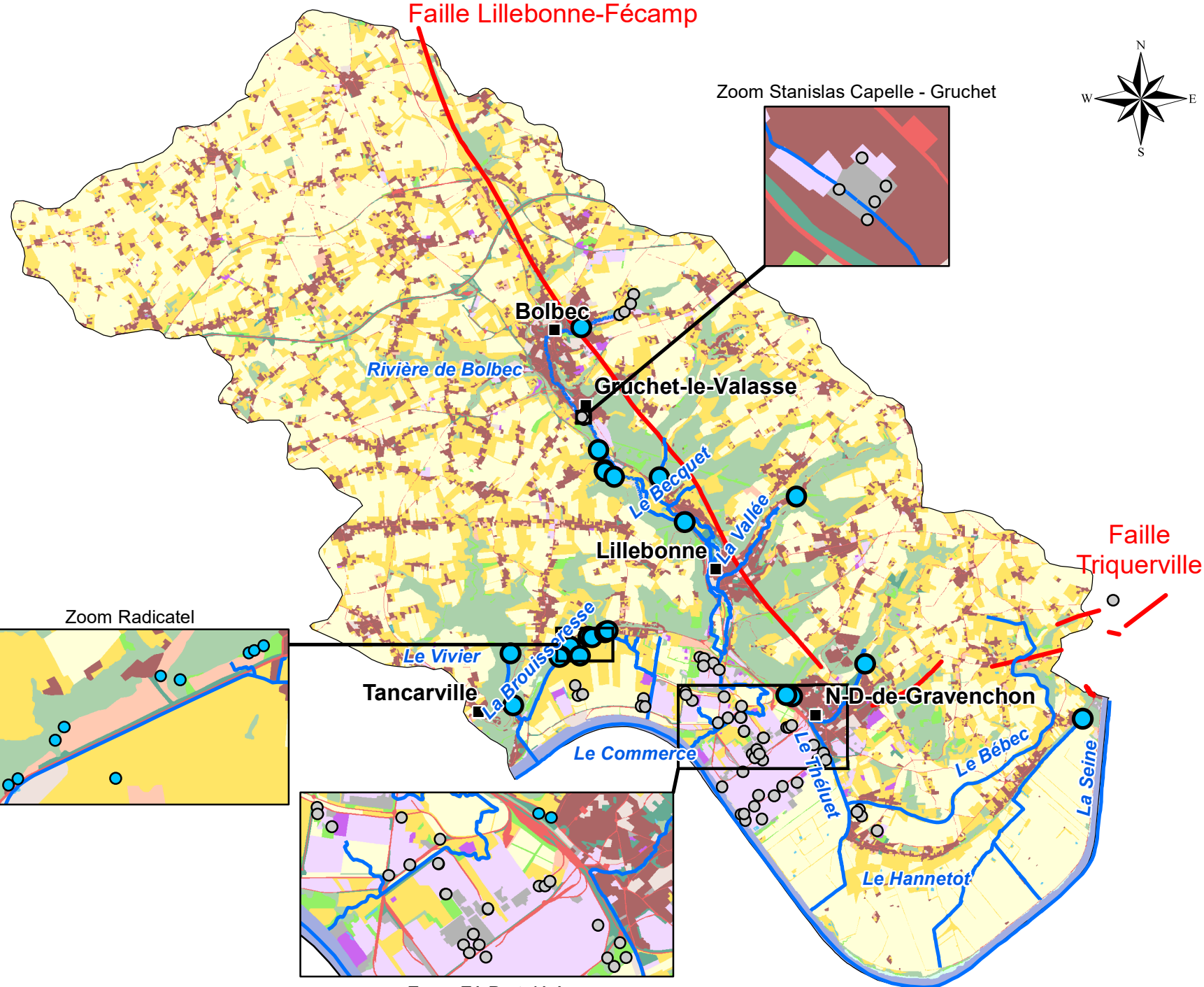
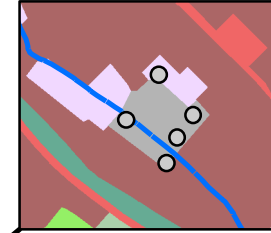
- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane Pharmacie dans les eaux souterraines

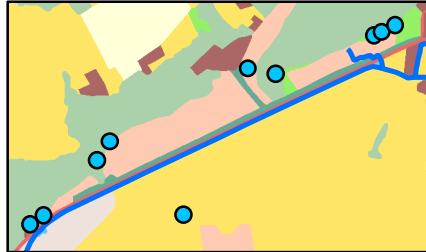


Zoom Stanislas Capelle - Gruchet

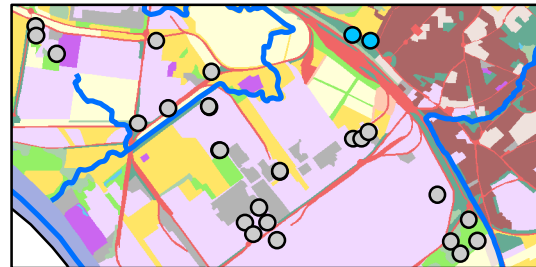


Faille Triquerville

Zoom Radicatel



Zoom ZA Port-Jérôme



Légende

- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs

Valeur médiane Phenols dans les eaux souterraines

Légende

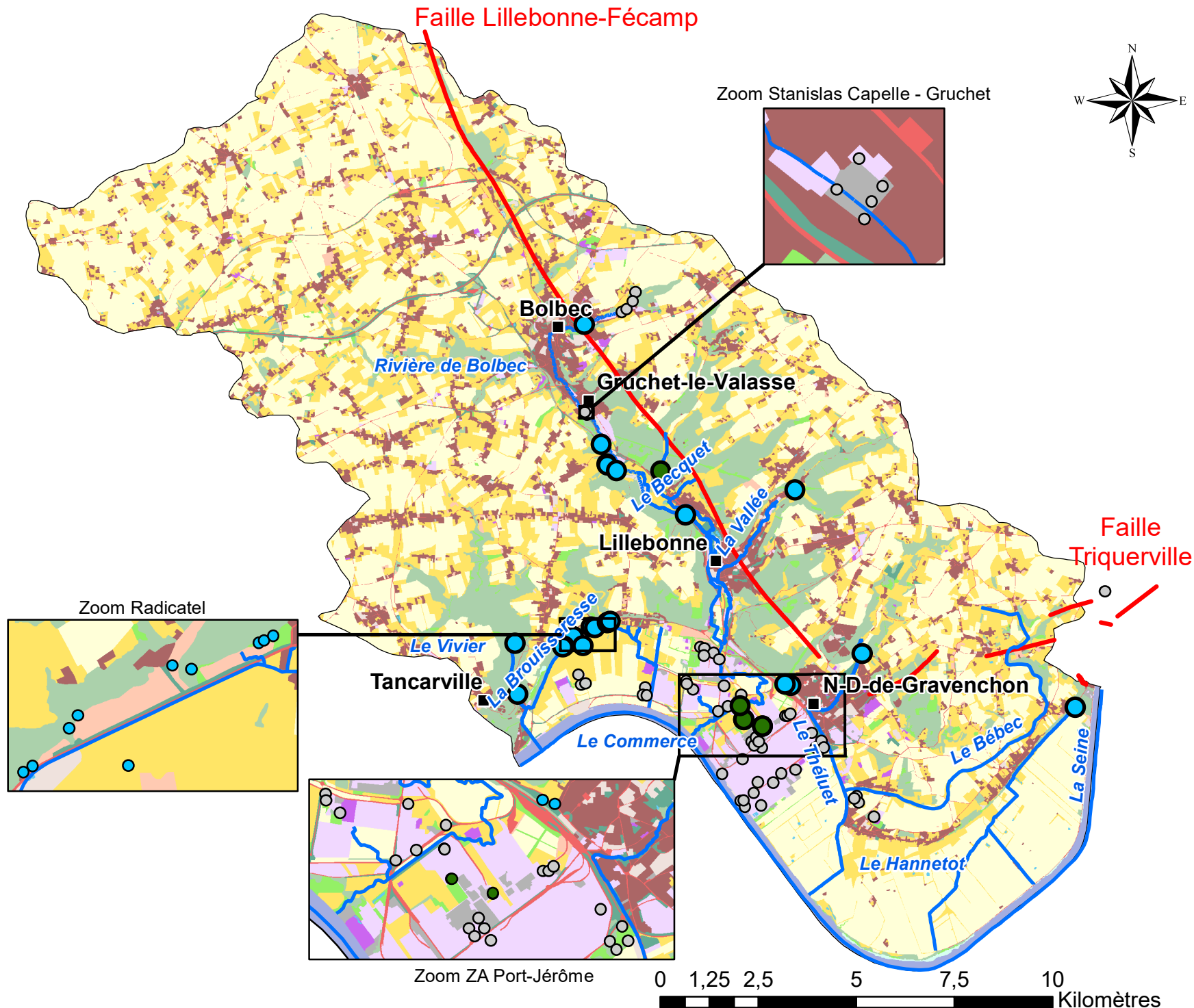
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

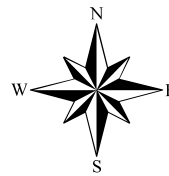
- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- 1 - 2
- Pas de dépassement
- Pas de valeurs



Valeur médiane Radioactifs dans les eaux souterraines



Légende

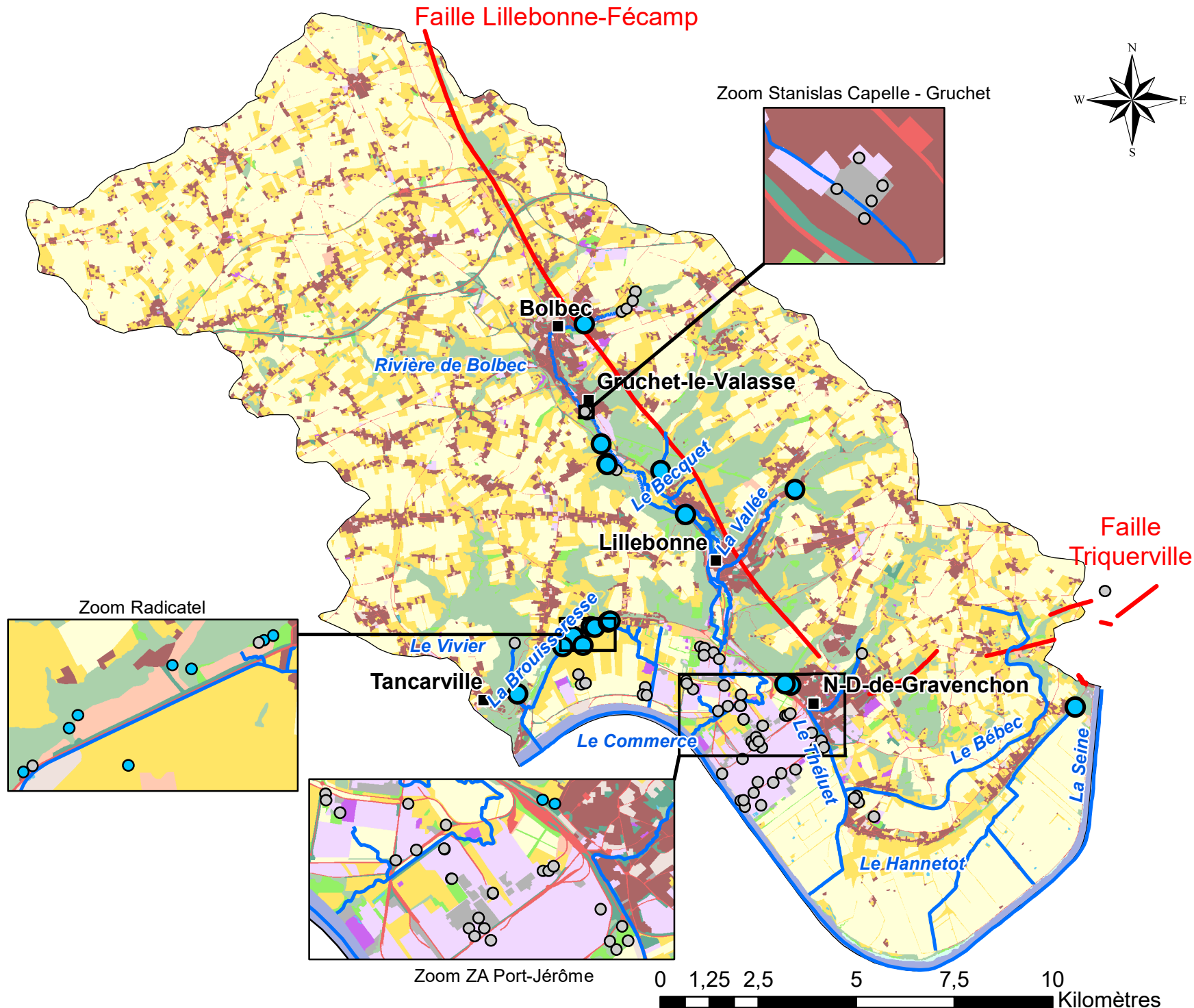
- Chef lieu
- Cours d'eau
- Failles
- Zone SAGE Commerce

Mode d'occupation du sol (2009)

- Zones urbanisées et bâties
- Zones industrielles et commerciales
- Réseaux routier et ferroviaire
- Réseaux de communications et grands équipements
- Mines, dépôts, décharges et chantiers
- Espaces verts artificialisés
- Espaces non bâtis en attente de requalification
- Terres arables hors périmètre d'irrigation
- Cultures permanentes
- Prairies naturelles
- Forêts, bois, bosquets
- Milieux à végétations herbacée et/ou arbustive
- Espaces ouverts, avec peu ou sans végétation
- Eaux continentales
- Eaux maritimes

Nombre de dépassement / au seuil

- Pas de dépassement
- Pas de valeurs





Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Normandie
Parc de la Vatine
14 Route de Houpeville
76130 – Mont-Saint-Aignan – France
Tél. : 02.35.60.12.00