

Etude sur le potentiel de développement de l'énergie solaire et géothermique en Basse-Normandie



I. L'ENERGIE SOLAIRE, CONTEXTE	1
II. ETAT DES LIEUX DES INSTALLATIONS EN BASSE-NORMANDIE	10
III. RESSOURCES DISPONIBLES	14
IV. POTENTIELS SOLAIRE	16
V. SCENARIOS DE DEVELOPPEMENT DU SOLAIRE EN BASSE-NORMANDIE	26
VI. L'ENERGIE GEOTHERMIQUE, CONTEXTE	34
VII. POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES PAC	42

Il est important de signaler que ces documents constituent un état des lieux et une base de réflexion permettant de débiter les travaux des instances d'élaboration du SRCAE. Toutefois, ils ne préjugent en rien des conclusions qui ressortiront des travaux de ces instances. Ils représentent des documents de travail et n'ont aucune valeur réglementaire.



62A rue Gambetta,
50200 COUTANCES
Tel : 02.33.19.00.10



54 rue de Paradis,
75010 PARIS
Tel : 01.47.70.47.21

I. L'énergie solaire, contexte

Le soleil est à l'origine de la quasi-totalité des énergies terrestres : il permet la vie sur terre (biomasse, et énergies fossiles après une longue période de stockage), apporte chaleur et lumière (énergie solaire), participe au cycle de l'eau (hydraulique), crée des phénomènes atmosphériques (éolien)... Chaque année, le soleil fournit 15000 fois plus d'énergie que la consommation marchande de la population mondiale. Dans l'absolu, il suffirait de savoir utiliser une proportion infime de cette énergie pour subvenir à nos consommations énergétiques. Dans la pratique, différentes problématiques se posent pour son exploitation (techniques, économiques, paysagères ...).

1. LES PANNEAUX SOLAIRES THERMIQUES

1.1 Principe

Le principe d'un capteur solaire thermique consiste à capter le rayonnement solaire et à redistribuer l'énergie reçue à un fluide caloporteur par le biais d'un circulateur. Le fluide peut être de l'eau, un liquide antigel ou même de l'air.

1.2 Les technologies existantes

Les capteurs vitrés :

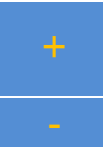
Le capteur solaire à plan vitré est composé d'une plaque et de tubes métalliques en cuivre qui constituent l'absorbeur. L'absorbeur reçoit le rayonnement solaire et s'échauffe. Scellé dans un coffre rigide, sa partie supérieure vitrée laisse pénétrer la chaleur et la retient comme dans une serre. À l'intérieur des tubes métalliques, un liquide caloporteur s'échauffe et se dirige vers un ballon de stockage. De là, l'eau est redistribuée dans les circuits d'eau sanitaire et/ou de chauffage. A ce jour, les capteurs à plans vitrés représentent la plus grande part du marché des capteurs solaires thermiques, en particulier pour les installations servant uniquement à l'eau chaude sanitaire.

On distingue principalement 3 types de capteurs vitrés :

- **Les capteurs plans autovidangeables** : les plus fiables, parce qu'ils sont soumis à des variations de températures moins importantes que les capteurs sous pression.
- **Les capteurs plans sous pression à circulation forcée** dans lequel circule un liquide caloporteur spécifique, anti-corrosion et anti-gel.
- **Les capteurs plans à circulation d'air** pour le chauffage direct de l'air ambiant.

Les capteurs à circulation de liquide sont plus communément utilisés pour le chauffage de l'eau chaude des résidences et le chauffage des bâtiments. Les capteurs à air sont utilisés pour le chauffage de l'air de ventilation et pour le séchage des récoltes.

Quand ils sont "intégrés" ou "incorporés" en toiture, les capteurs solaires à plan vitré assurent également une fonction de couverture du bâtiment.

	- Facile à mettre en œuvre
	- Meilleure intégration en toiture
	- Moins cher que les capteurs sous vide
	- Température de chauffe : 50 à 80 °
	- Rendement plus faible en hiver

Les capteurs sous vide :

Ces capteurs sont constitués d'une série de tubes de verre mis sous vide dans lesquels passe un second tube collecteur de chaleur (l'absorbeur). Le tube en verre est recouvert d'un réflecteur qui concentre le rayonnement solaire vers l'absorbeur afin d'optimiser le coefficient d'absorption du capteur.

+	- Température de chauffe au-delà de 100 °C-120° C - Bon rendement l'hiver (efficacité même par ensoleillement diffus) - Peu sensible à une exposition imparfaite
-	- Plus cher à l'achat que les capteurs plans vitrés

1.3 Les applications

Les installations solaires thermiques sont réparties en 3 catégories :

Le chauffe eau solaire individuel (CESI) : Il permet de produire de l'eau chaude sanitaire d'un logement. L'installation nécessite de 2 à 8m² de capteurs solaire pour couvrir de 40 à 80% des besoins le reste étant couvert par une énergie d'appoint. L'installation la plus courante en Basse-Normandie est réalisée avec 4 à 5m² de capteurs, un ballon de stockage de 300 litres et couvre environ 60% des besoins.

Investissement¹ : 1500€/m² de capteurs

Le chauffe eau collectif : Ce type d'installation est destiné à produire de l'eau chaude sanitaire dans des immeubles, l'hôtellerie ou des établissements de santé, grands consommateurs d'eau chaude tout au long de l'année. L'eau chaude est stockée dans un ballon de stockage équipé d'un système d'appoint qui garantit un approvisionnement continu.

Pour les projets de plus de 50m² il est nécessaire de souscrire à un contrat de Garantie de Résultats Solaires (GRS).

Investissement : 1000€/m² de capteurs pour des réalisations > 20m²

Le système solaire combiné (SSC) : Associé à un générateur de chaleur il vient en appoint de la production d'eau chaude sanitaire et de chauffage avec un taux de couverture des besoins de l'ordre de 25 à 30%.

Investissement¹ : 1200€/m² de capteurs

¹ Les informations sont issues de la base de données du Chèque éco-énergie Basse Normandie. Celles-ci ont été sélectionnées à partir de la date de création du dispositif jusqu'au 24/12/10. 338 dossiers de chauffe-eau solaire individuel et 53 de systèmes solaires combinés ont été traités pour réaliser ces estimations.

1.4 Les dispositifs d'aide

Les projets soutenus par le Fonds Chaleur se focalisent prioritairement sur les installations de chauffe-eau solaires collectifs (CESC) pour les secteurs suivants :

- ✓ le logement collectif et, par extension, tout hébergement permanent ou de longue durée avec des besoins similaires en eau chaude sanitaire (secteur hospitalier et sanitaire, structures d'accueil, maisons de retraite...) ;
- ✓ le tertiaire privé comprenant les hôtels et hôtels de plein air à usage non saisonnier (camping utilisés au delà des seuls mois de juillet et août), les piscines collectives, les restaurants, les cantines d'entreprises...
- ✓ les activités agricoles consommatrices d'eau chaude sanitaire (laiteries, fromageries...).

Les aides Fonds Chaleur sont octroyées « aux projets optimisés » dans la mesure où l'installation solaire thermique répond à un certain nombre de critères d'éligibilité, comme notamment la surface de capteurs minimum (25m² jusqu'au 01/10/2009, puis 50m² à compter de cette date), et la mise en place systématique d'une procédure de monitoring de l'installation pour la mesure des données de production solaire utile et de consommation d'appoint de l'installation.

Les nouvelles installations solaires thermiques éligibles concernent aussi bien les bâtiments neufs que les bâtiments existants. Il est donné la possibilité de réhabiliter des installations solaires thermiques de productions d'eau chaude sanitaire collectives antérieures à 1992.

2. LES PANNEAUX SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES

2.1 Principe

Les panneaux solaires photovoltaïques, appelés également photogénérateurs convertissent l'énergie solaire en énergie électrique. L'« effet photovoltaïque » est un phénomène physique à la base des systèmes modernes qui fut découvert par Becquerel en 1839. Le principe est très simple : un semi-conducteur génère un courant continu lorsqu'il est exposé à un flux de photons (lumière).

La technologie de la production d'électricité du photovoltaïque raccordée au réseau est aujourd'hui techniquement maîtrisée. Les modules photovoltaïques ont obtenu toutes les validations techniques nécessaires et leur durabilité est prouvée. En effet, les modules actuels affichent une durée de vie proche de 30 ans et une garantie de capacité de production de 20 à 25 ans. Si l'on prend l'exemple des panneaux photovoltaïques intégrés à un bâtiment, la durée de vie garantie est bien plus longue que celle d'un grand nombre de composants du bâtiment.

2.2 Les technologies en silicium les plus répandues

Le marché du solaire photovoltaïque repose à l'heure actuelle sur des technologies à base de silicium que sont le cristallin et l'amorphe. La principale différence entre ces deux produits dans les procédés de fabrication.

L'offre importante des produits, les rendements élevés (11 à 20%) ainsi qu'une longue durée de vie (+ 30 ans) explique la domination des modules cristallins sur le marché du solaire photovoltaïque (90% de parts de marché). Leur utilisation se fait majoritairement pour les fenêtres, façades ainsi que les toitures lorsque l'espace est limité.

Il existe deux types de modules cristallins :

- **Le silicium monocristallin** est un matériau quasiment pur qui se présente sous forme d'un cristal de silice unique de grande dimension. Avec des rendements allant de **15% à 19%**, le silicium monocristallin est actuellement la technologie la plus efficace sur le marché. Cependant, il demeure moins utilisé que le silicium polycristallin.

+	- Excellent rendement (le meilleur sur le marché)
-	- Coût (+ cher que le polycristallin) - Baisse du rendement par temps nuageux

- **Le silicium polycristallin** est obtenu en refondant les chutes de silicium, après découpe des panneaux monocristallin. Il se compose de plusieurs cristaux juxtaposés. Technologie la plus répandue et moins chère que le silicium monocristallin, elle présente un rendement de **11 à 15%**. L'écart moyen de rendement entre le mono et le polycristallin est de 4%.

+	- Coût - Bon rendement
-	- Baisse du rendement par temps nuageux

Le silicium amorphe présente quant à lui des atouts pouvant en faire un relais de croissance pour le photovoltaïque. Il est produit par pulvérisation cathodique de silicium. Son rendement est de **6 à 9%**. C'est aujourd'hui une des filières les plus économiques. Ces modules présentent également l'avantage de garder un bon niveau de production en rayonnement diffus (faible luminosité, temps couvert, ombre...) et lorsque la température est élevée. Ils sont particulièrement adaptés aux endroits où la surface à couvrir est importante (toitures, bâtiments industriels).

2.3 Les technologies de nouvelle génération

Les modules «couches minces» représentent actuellement moins de 10% du marché photovoltaïque mondial et pourraient être amenés à se développer de façon importante dans les années à venir. Ils sont créés par le dépôt d'une couche mince de semi-conducteurs sur une surface homogène et lisse (verre, métal... ou même plastique flexible!). Leur rendement varie de 6 à 11 % et reste inférieur à celui des cellules cristallines. Cependant leur fabrication exige moins de semi-conducteurs, d'où un plus faible coût au mètre carré.

Rapporté au kWc, les coûts sont pourtant équivalents pour les deux types de systèmes. Les produits en couches minces sont particulièrement adaptés aux endroits où la surface à couvrir est importante.

- **Le Silicium cristallin** dit couche mince repose sur le principe de déposer une couche mince de silicium polycristallin sur divers substrats de silicium métallurgique peu purifié, quartz, céramique ou métal.
- **Les cellules CdTe** (Tellurure de Cadmium) sont généralement utilisées pour les centrales au sol. Elles possèdent l'un des coûts du watt crête le plus bas du marché.
- **Les cellules CIGS** (Diselénure de cuivre et d'Indium) ont vu leur utilisation se répandre ces dernières années sur les panneaux souples. Sous une lumière diffuse (temps nuageux ou exposition à l'ombre), les cellules CIGS présentent également une meilleure efficacité que la technologie silicium, comme la plupart des couches minces. Leur rendement atteint les 12% mais ces panneaux sont encore un peu onéreux et leur fiabilité n'a pas été démontrée sur le très long terme.

+	- Fabrication économique - Projection possible sur matériaux souples (Stores) - Bonnes performances par temps couvert (meilleure productivité au Watt crête)
-	- Perte de rendement durant les six premiers mois (silicium amorphe) - Rendement faible - Utilisation de matériaux potentiellement dangereux pour l'environnement (Indium, Sélénium etc.)

La recherche sur le photovoltaïque se penche actuellement sur des cellules organiques (plastiques) pouvant être moléculaires, en polymères ou hybrides. Plusieurs industriels développent ces cellules notamment en Allemagne et aux Etats-Unis.

D'autres cellules sont au stade de l'expérimentation, comme les cellules à pigment photosensible (cellules de Grätzel) dont les rendements demeurent relativement faibles. Enfin une dernière technologie, celle des cellules multi-jonctions (composées d'Arséniure de Gallium-AsGa) est pour l'instant exclusivement réservée aux applications spatiales. Ces cellules possèdent un haut rendement et un coût très élevé.

La technologie de la production d'électricité du photovoltaïque raccordé au réseau et intégré au bâti est aujourd'hui techniquement maîtrisée. Les modules photovoltaïques ont obtenu toutes les validations techniques nécessaires et leur durabilité n'est plus un problème – les premières installations ont désormais plus de vingt ans. La durabilité du matériel en soit (les modules) et la garantie de capacité de production (20 à 25 ans) sont tels que les panneaux photovoltaïques, lorsqu'ils sont intégrés à un bâtiment, disposent souvent d'une durée de vie garantie plus longue qu'un grand nombre de composants du bâtiment.

Tableau récapitulatif :

Technologie de cellule	Rendement	Surface photovoltaïque pour 1 kWc	Prix sortie usine €/Wc
Monocristallin	15 à 19%	7 à 8m ²	1 à 2€/Wc
Polycristallin	11 à 15%	9 à 11m ²	
Amorphe	6 à 9%	16 à 20m ²	1 à 1,5 €/Wc
Autre semi-conducteurs			
Silicium couche mince	12 à 16%		1 à 1,5 €/Wc
CdTe (Tellure de Cadmium)	7 à 10%	10 à 11m ²	1 à 1,2 €/Wc
CIGS (Diselénure de cuivre et d'Indium)	10 à 12%	11 à 13m ²	0,9 à 1,1 €/Wc

Suivant les informations issues de la base de données du Chèque éco-énergie Basse Normandie les coûts d'une installation pour un particulier sont les suivants :

	Installation solaire photovoltaïque monocristalline	Installation solaire photovoltaïque polycristalline
Puissance moyenne d'une installation (kWc)	2,66	2,76
Coût moyen d'une installation €TTC	21 300	20 000
Ratio moyen d'une installation (€ TTC/Wc)	8,01	7,24

Ces estimations ont été réalisées à partir d'une sélection de 800 dossiers qui vont de la date de création du dispositif Chèque éco-énergie Basse Normandie jusqu'au 28/05/10.

2.4 Dispositifs d'aides et tarif de rachat

Depuis début 2010, plusieurs décisions ont visé à maîtriser le développement de la filière et mettre un terme à la spéculation et aux effets d'aubaines dans le domaine. La suspension de l'obligation d'achat de Décembre 2010 à Mars 2011 a abouti à la publication de l'arrêté du 4 Mars 2011 qui a instauré de nouveaux tarifs de rachats privilégiant les installations intégrées au bâti pour la période du 10/03/2011 au 30/06/2011. Une actualisation des tarifs en fonction des demandes de raccordement enregistrées sera effectuée tous les trimestres.

Sur la période du 1/07/2001 au 30/09/2011 les tarifs ont baissés de 7,5% pour les demandes de raccordement ≤ 9kWc et de 9,5% pour les demandes de raccordement comprises entre 9 et 100kWc par rapport au trimestre précédent.

Tarifs d'achat du 1/07/2011 au 30/09/2011 :

Résidentiel	Intégration au bâti	[0-9kWc]	42,55 c€/kWh
		[9-36kWc]	37,23 c€/kWh
	Intégration simplifiée au bâti	[0-36kWc]	27,46 c€/kWh
		[36-100kWc]	26,09 c€/kWh
Enseignement ou santé	Intégration au bâti	[0-9kWc]	36,74 c€/kWh
		[9-36kWc]	36,74 c€/kWh
	Intégration simplifiée au bâti	[0-36 kWc]	27,46 c€/kWh
		[36-100 kWc]	26,09 c€/kWh
Autres bâtiments	Intégration au bâti	[0-9kWc]	31,85 c€/kWh
		[0-36kWc]	27,46 c€/kWh
	Intégration simplifiée au bâti	[36-100kWc]	26,09 c€/kWh
Tout type d'installation	-	[0-12MW]	11,688 c€/kWh

3. LE SOLAIRE THERMODYNAMIQUE

Ces centrales solaires thermodynamique ou à concentration sont utilisés dans des centrales solaires de grandes échelles avec des puissances d'installations pouvant atteindre des centaines de Mégawatts. L'objectif de ces centrales est de concentrer le rayonnement solaire pour chauffer à haute température un fluide caloporteur qui alimente un cycle thermodynamique pour produire de l'électricité.

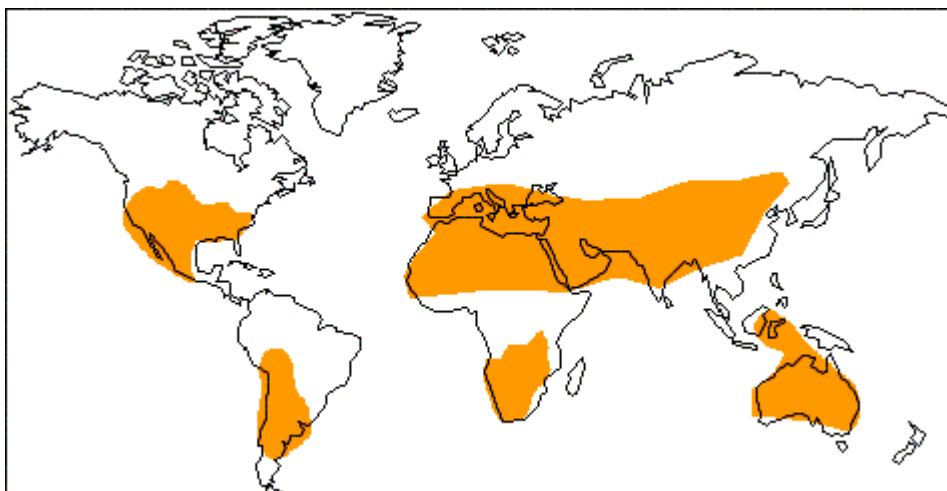
Le principe consiste à diminuer fortement la surface de réception pour maintenir, en proportion, ces pertes à un niveau raisonnable. C'est ce que l'on fait en disposant devant le récepteur une optique qui concentre le rayonnement capté sur une surface bien supérieure. On caractérise la performance du système par le chiffre de sa "concentration" qui est le rapport de la surface de collecte sur la surface du capteur.

Il existe 3 familles de capteurs solaires à concentration:

- Les paraboles à foyer mobile
- Les capteurs cylindro-paraboliques à foyer linéaire
- Les centrales à tour

Pour chaque système, la partie diffuse du rayonnement solaire n'est pas collectée par les dispositifs à concentration. La ressource est le rayonnement solaire direct, ce qui représente entre 50 et 90% de la totalité du rayonnement solaire.

Les zones les plus favorables à l'utilisation de l'énergie solaire concentrée sont représentées sur la carte suivante et correspondent aux zones géographiques où le rayonnement direct est important.



Source : Stine et Geyer, 2001

La région Basse-Normandie n'est donc pas concernée par ce type de centrale solaire. En Europe, la première centrale se situera en Espagne à proximité de la ville de Séville. Le projet utilisera la technologie de centrale solaire à tour avec une puissance installée de 11MW pour une production attendue de 23GWh d'électricité.

4. RÉGLEMENTATION EN VIGUEUR

Une installation de panneaux solaires participe à l'aspect architectural du bâti et peut avoir un impact sur les paysages environnants et notamment dans le cas des installations au sol. Elle nécessite une déclaration préalable ou un permis de construire à demander en mairie. L'obtention de cette autorisation est un préalable à toute installation quelle que soit sa taille.

3.1 Cas d'un bâtiment existant

Si le bâtiment existe, une déclaration préalable est nécessaire sur la base du formulaire cerfa N°13404*01. Cette déclaration doit être accompagnée des éléments suivants :

- Le plan de situation du terrain
- Le plan de masse de la construction
- Les plans des toitures ou façades concernées par l'installation solaire
- Une représentation de l'aspect extérieur de la construction
- Un document graphique permettant d'apprécier l'insertion de l'installation solaire dans son environnement
- Une photographie permettant de situer le terrain dans l'environnement proche
- Une photographie permettant de situer le terrain dans le paysage lointain

3.2 Cas d'un bâtiment neuf

Pour le cas d'un bâtiment neuf, l'installation doit être déclarée via le formulaire cerfa N°13406*01². Les panneaux solaires deviennent alors un élément de composition architecturale dont il faut tenir compte dans le permis de construire. L'installation envisagée doit apparaître sur les plans d'architecte avec son positionnement et ses dimensions exactes et respecter les dispositions du PLU.

Dans certains secteurs, des règlements plus contraignants (Secteur Sauvegardé, ZPPAUP etc.) peuvent limiter ou interdire l'implantation de panneaux solaires. D'autres informations complémentaires peuvent être requises selon les cas :

- Une notice d'impact paysagère
- Une description précise des matériaux utilisés (couleur, texture, etc.)
- Les modalités d'exécution des travaux

3.3 Cas d'une installation au sol

Les principaux textes de loi en vigueur concernant les centrales photovoltaïques au sol sont :

- Le Décret du 6 décembre 2000 fixant les limites de puissance des installations pouvant bénéficier de l'obligation d'achat
- Décret du 7 septembre 2000 consolidé au 6 septembre 2007, relatif à l'autorisation d'exploiter les installations de production d'électricité

² S'il s'agit de l'aménagement d'un lotissement ou de la construction de plusieurs lots, il faut utiliser le cerfa N°13409*01.

- Loi du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité
- le Décret du 27 mars 2003 et du 4 mars 2009 modifiant le décret du 10 mai 2001 relatif aux conditions d'achat de l'électricité produite par des producteurs bénéficiant de l'obligation
- Loi du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique
- Décret du 23 avril 2008 relatif aux prescriptions techniques générales de conception et de fonctionnement pour le raccordement d'installations de production aux réseaux publics d'électricité
- Code de l'Urbanisme et notamment le décret du 19 novembre 2009 et la circulaire du 18 décembre 2009
- Code de l'Environnement, (et décret du 19 novembre 2009) en particulier dans le cas des centrales au sol
- l'Arrêté du 31 août 2010 fixant les conditions d'achat de l'électricité produite par les installations utilisant l'énergie radiative du soleil

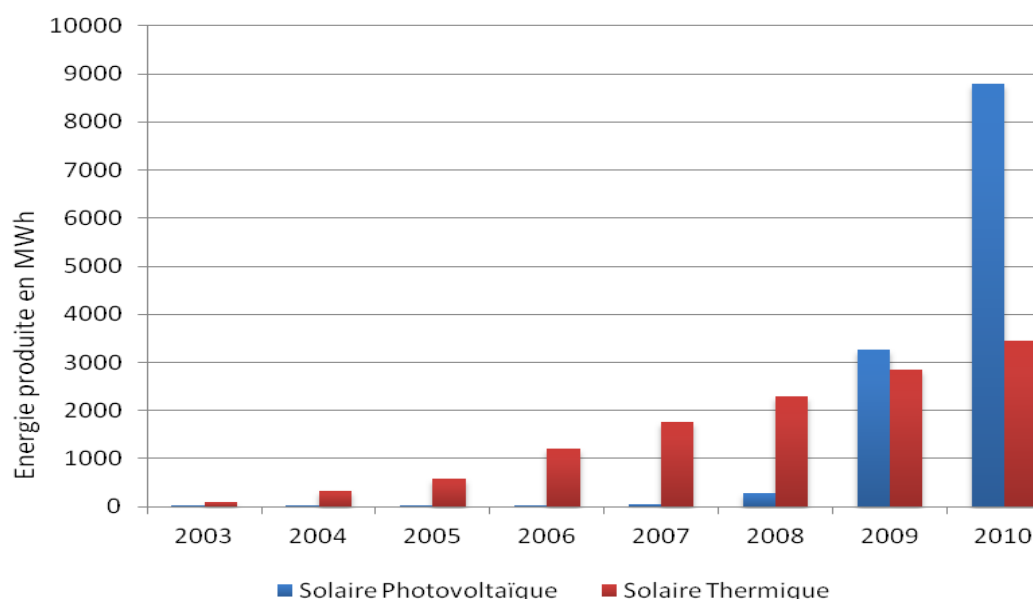
3.4 Dispositions en matière d'Urbanisme et d'Environnement

Puissance crête (p)	Hauteur par rapport au sol (h)	Obligation réglementaire
p < 3kWc	h ≤ 1,80m	dispensées de toute formalité (sauf dans les secteurs sauvegardés dont le périmètre a été délimité, dans un site classé, dans les réserves naturelles, dans les espaces ayant vocation à être classés dans le cœur d'un futur parc national et à l'intérieur du cœur des parcs nationaux, où il faut une déclaration préalable).
p < 3kWc	h > 1,80m	déclaration préalable (sauf dans les secteurs sauvegardés dont le périmètre a été délimité et dans un site classé, où il faut un permis de construire)
3kWc ≤ p ≤ 250 kWc	-	déclaration préalable (sauf dans les secteurs sauvegardés dont le périmètre a été délimité et dans un site classé, où il faut un permis de construire)
p > 250kWc	-	enquête publique et étude d'impact

II. Etat des lieux des installations en Basse-Normandie

Les données de ce bilan des installations solaires thermiques et photovoltaïques sont issues de l'observatoire des Energies Renouvelables de Basse-Normandie. Basé sur des données recueillies par Biomasse Normandie auprès de différents organismes (ADEME, Région, DDE, Espaces Info-Energie).

Remarque : concernant les données 2010, celles-ci n'ont pas été encore validées par la région Basse-Normandie. Elles sont fournies à titre indicatif par l'observatoire des énergies renouvelables de Basse-Normandie.



Graphique 1 : Productions cumulées par type d'installations solaires

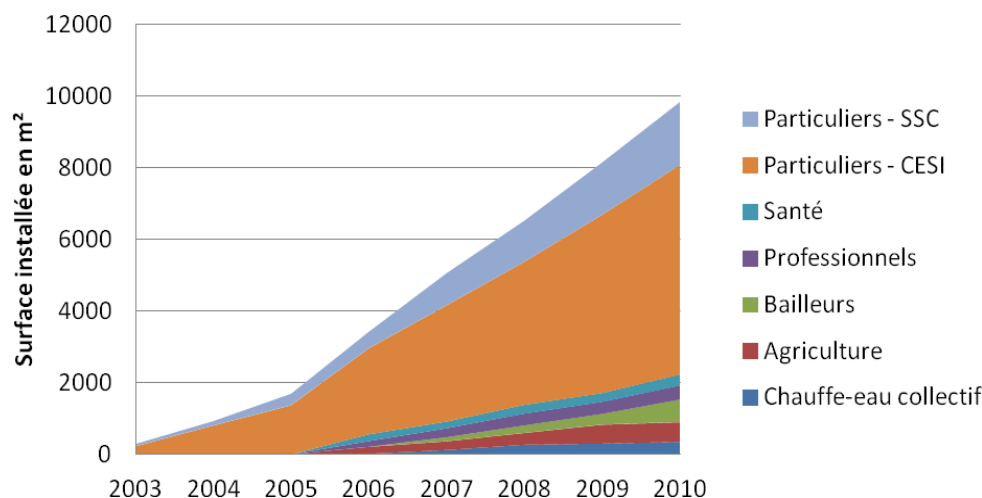
(Source : Observatoire des EnR Basse-Normandie).

L'évolution de la production solaire en fonction du type d'énergie produite (thermique ou électrique) montre que le solaire thermique a eu un essor plus précoce que le photovoltaïque. Depuis 2006, le développement du solaire thermique en région est linéaire avec un rythme d'environ 200 installations par an.

Le solaire photovoltaïque a connu un réel développement de la filière qu'à partir de 2008. Cette croissance du marché correspond à l'augmentation des tarifs d'achat de l'électricité photovoltaïque amorcée en 2006. Depuis la progression est de type exponentiel.

1. LE SOLAIRE THERMIQUE

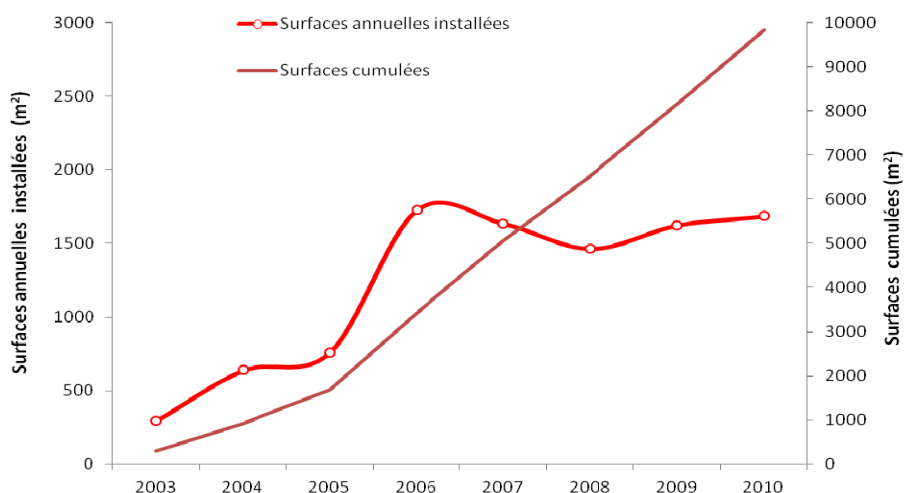
Graphique 2 :
Evolution des surfaces de panneaux solaires thermiques installés en Basse-Normandie (Source : Observatoire des EnR Basse-Normandie)



La filière solaire thermique poursuit une croissance régulière avec le développement des chauffe-eau solaires individuels (CESI) qui bénéficient depuis 2003 d'aides à l'installation incitatives pour le particulier. La conjonction de diverses campagnes de communication menées sur le sujet, et de l'accompagnement dynamique des acteurs sur le terrain, avec notamment des groupements d'achats menés dès cette période, a conduit à inscrire cette technologie dans le paysage Normand avec succès.

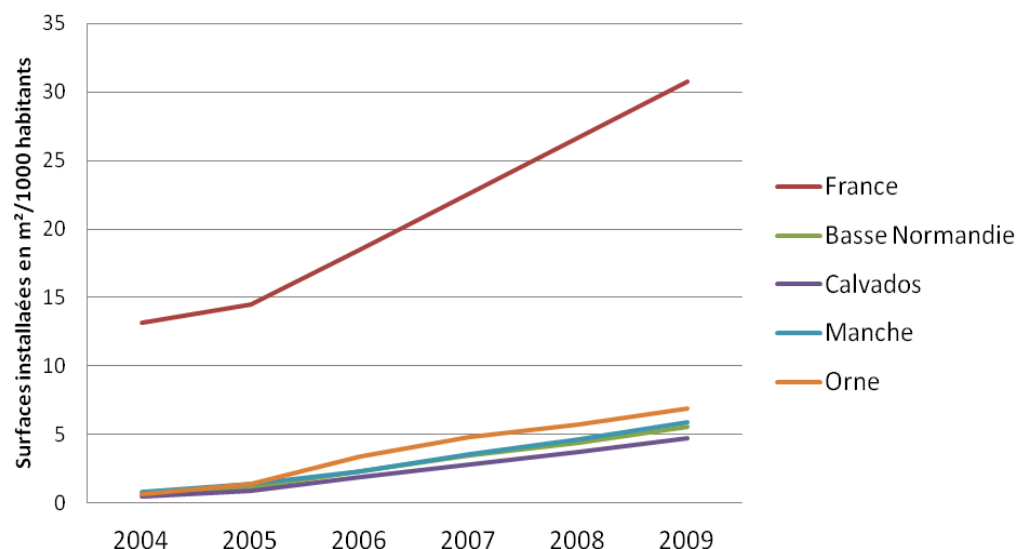
Depuis 2006, le développement des systèmes solaires collectifs ainsi que l'installation de systèmes professionnels ont conduit à réduire progressivement la part de CESI particulier dans le panel des installations recensées. La part d'installations chez les particuliers demeure néanmoins aujourd'hui très majoritaire : avec 60% de la surface totale de panneaux solaires thermiques installés pour une valeur de 5 000 m², la majorité des panneaux solaires thermiques en Basse-Normandie bénéficient aux particuliers et sont raccordés à un chauffe-eau.

Graphique 3 : Evolution du marché solaire thermique en Basse-Normandie entre 2003 et 2009. (Source : Observatoire des EnR Basse-Normandie)



En Basse-Normandie, 80% de la surface totale de panneaux solaires thermiques a été installée entre 2006 et 2009. Sur cette même période, on observe un tassement de la croissance du marché par rapport à la période précédente. L'augmentation des surfaces installées est, ainsi, linéaire depuis 2006 et varie d'environ 20% par an. Concernant le marché des particuliers, les tendances observées sont identiques. 72% des 5 000 m² installés l'ont été de 2006 à 2009 à un rythme moyen de 18% par an.

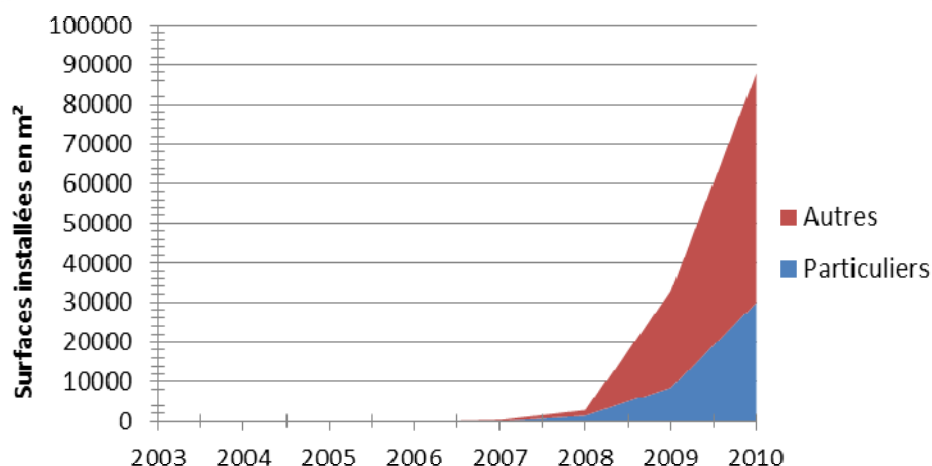
Graphique 4 :
évolution des
installations
solaire
thermiques en
Basse Normandie.
(Source :
Observatoire des
EnR Basse-
Normandie).



Malgré une croissance régulière de la filière thermique, la région Basse-Normandie a accumulé un retard important dans son développement par rapport à l'évolution nationale. A noter que la France est à l'échelle Européenne un Pays où le développement du solaire thermique peut être qualifié de modéré. En comparaison, l'Allemagne dispose de 5 fois plus de surfaces installées par habitant.

2. LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Graphique 5 :
évolution des
surfaces de
panneaux solaires
photovoltaïques
installés cumulés en
Basse-Normandie
(Source :
Observatoire des
EnR Basse-
Normandie).

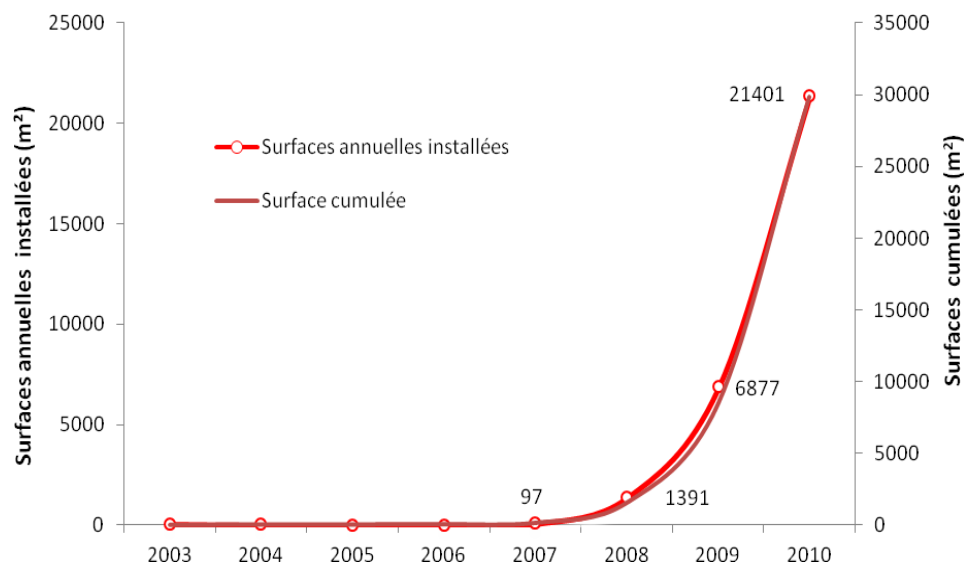


Evolution du tarif d'achat de l'électricité solaire de 2002 à 2009 :

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Intégré bâti	15,25	14,793	14,529	14,125	55	55,964	57,1873	60,1759
Parc au sol	15,25	14,793	14,529	14,125	30	30,526	31,193	32,823

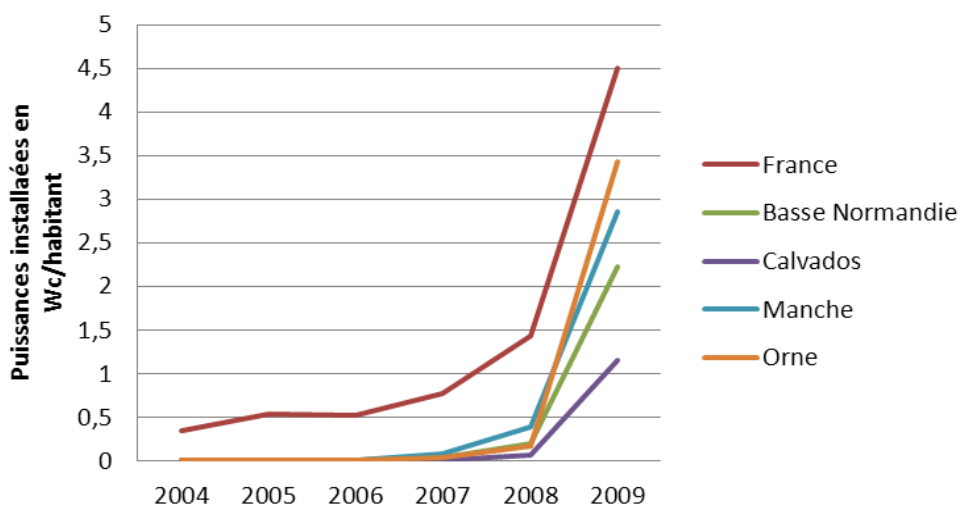
Contrairement à la filière thermique, le solaire photovoltaïque s'est développé à partir de 2008. Cette croissance coïncide avec l'évolution des tarifs d'achats en France jusqu'en 2009. Le développement spectaculaire de la filière a concerné l'ensemble des marchés : particuliers, entreprises, collectivités. En 2010, les surfaces installées chez les particuliers représentaient 34% des surfaces installées.

Graphique 6 :
évolution du
marché solaire
photovoltaïque en
Basse Normandie
(Source :
Observatoire des
EnR Basse-
Normandie).



Il est à noter que les années 2009 et 2010 ont été marquées par une croissance moyenne d'environ 300% des installations solaires photovoltaïques raccordées en région Basse-Normandie.

Graphique 7 :
évolution des
installations
solaires
photovoltaïques
en Basse-
Normandie
(Source :
Observatoire des
EnR Basse-
Normandie)

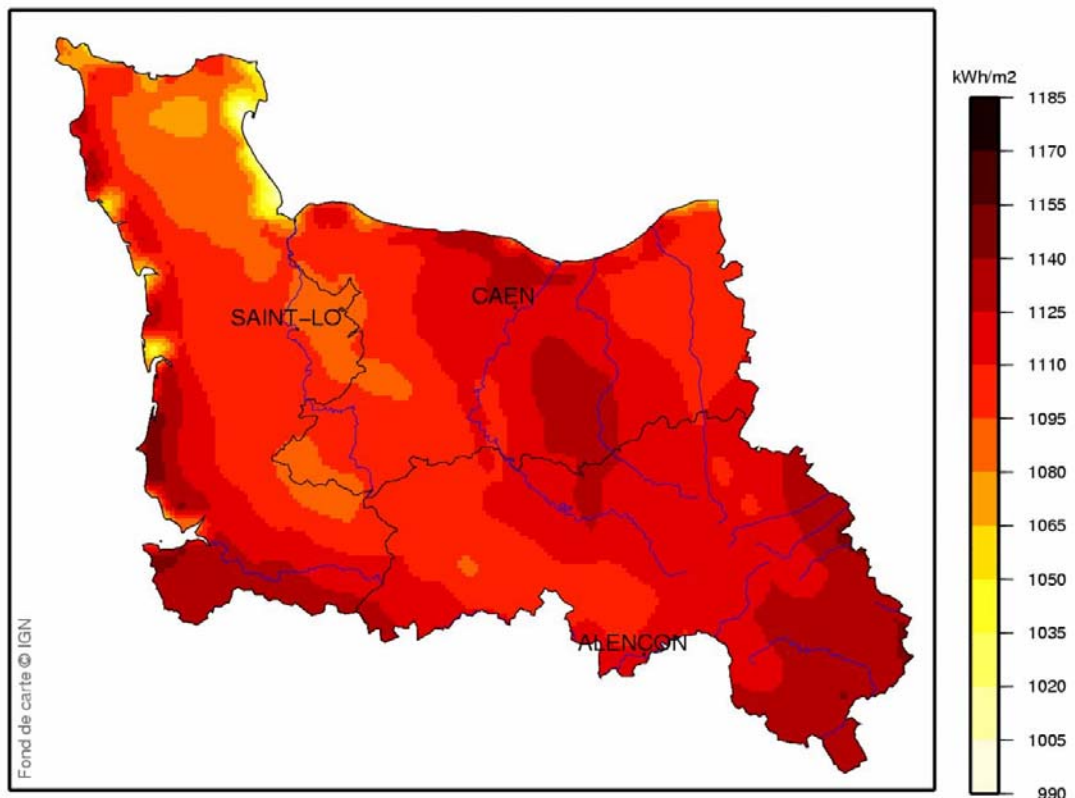


Parmi les 3 départements Bas Normands, le Calvados est celui où le développement du solaire photovoltaïque est le plus faible. Sur l'ensemble de la région Basse-Normandie, le rythme d'installation suit la tendance nationale, en restant nettement inférieur en terme de puissance installée par habitant.

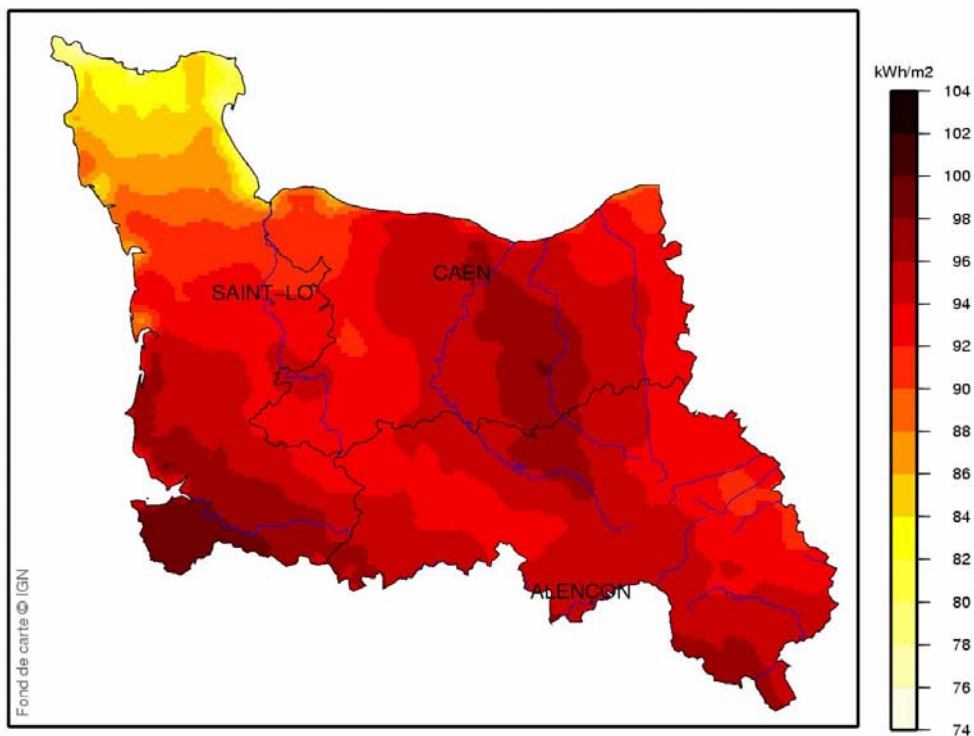
III. Ressources disponibles

A l'échelle nationale, la Basse-Normandie ne fait pas partie des Régions disposant des plus forts taux d'ensoleillement mais l'irradiation solaire permet tout de même suivant les technologies actuelles une production d'environ 900 kWh/kWc installé (production moyennée)

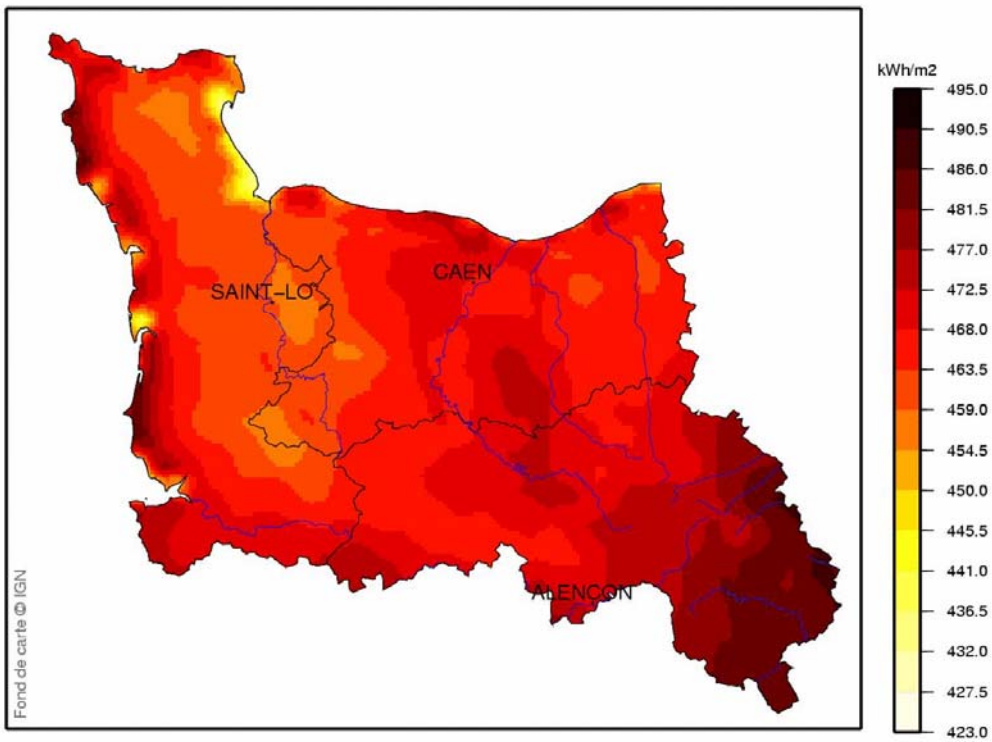
En Basse-Normandie l'énergie solaire annuelle reçue sur un plan horizontal est en moyenne de 3100 Wh/m².jour. Les données d'ensoleillement en Région mettent en évidence l'homogénéité des ressources disponibles sur le territoire. Seules quelques disparités locales apparaissent en été sans pour autant induire des différences significatives pour l'utilisation de cette énergie.



Carte 1 : Ensoleillement moyen annuel en Basse-Normandie en kWh/m²



Carte 2 : Ensoleillement moyen cumulé pour les mois de décembre à février en kWh/m²



Carte 3 : Ensoleillement moyen cumulé pour les mois de juin à août en kWh/m²

IV. Potentiels solaire

L'établissement d'un gisement potentiel de développement de l'énergie solaire nécessite le croisement de plusieurs éléments d'informations :

- Des données quantifiées sur les ressources disponibles (cf. cartes d'ensoleillement),
- Une estimation des surfaces disponibles pour l'accueil des installations,
- Un état des lieux des contraintes et restrictions diverses limitant les installations.

La méthodologie employée dans le cadre de cette étude a consisté à établir une cartographie des contraintes et des disponibilités puis de croiser ces informations afin d'obtenir les surfaces théoriquement exploitables.

1. MÉTHODOLOGIE

Les schémas suivants détaillent les différents champs d'analyse et le cheminement méthodologique employé pour l'estimation des potentiels solaire :

Schéma 1 : méthodologie employée pour l'estimation du potentiel solaire sur bâti

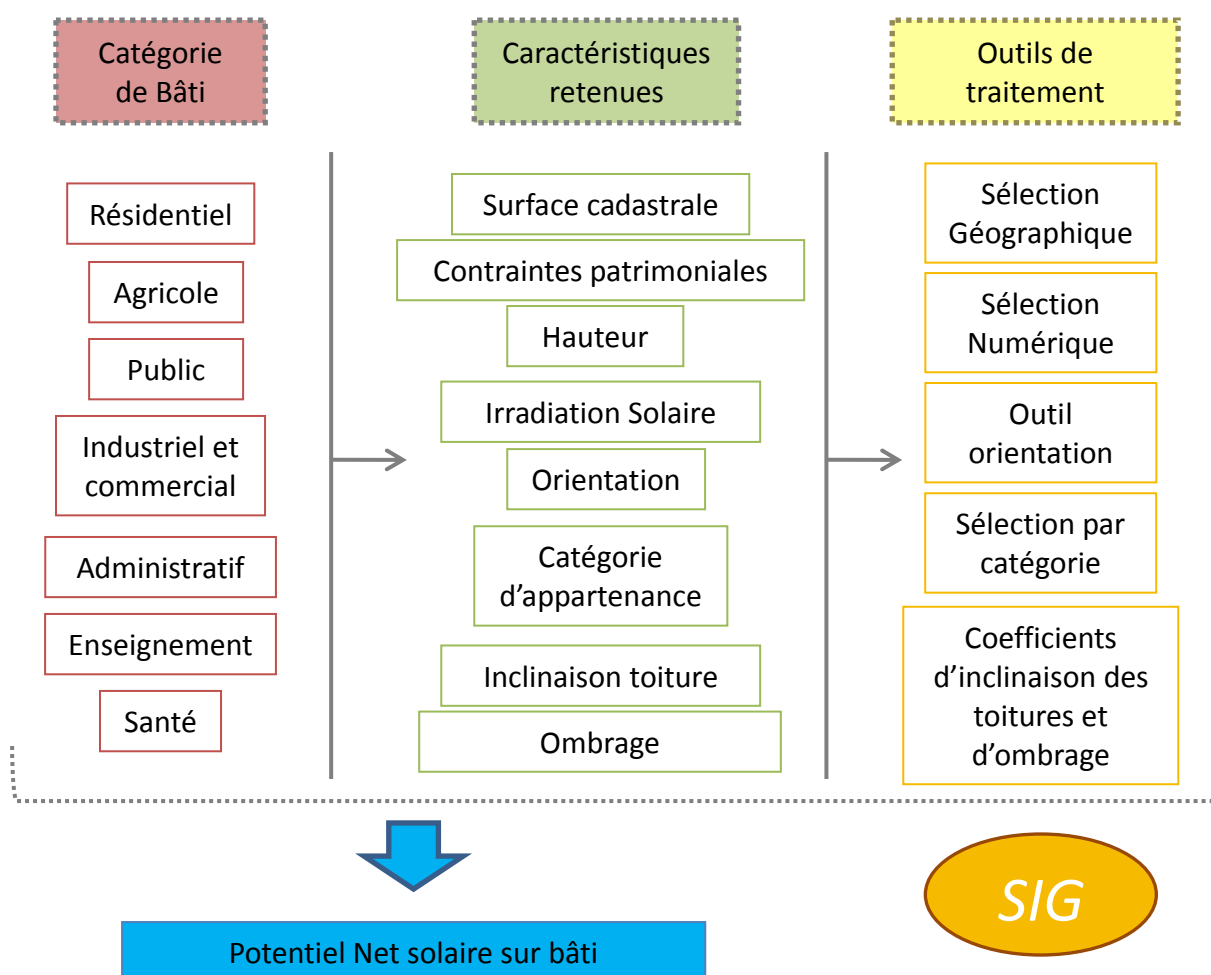
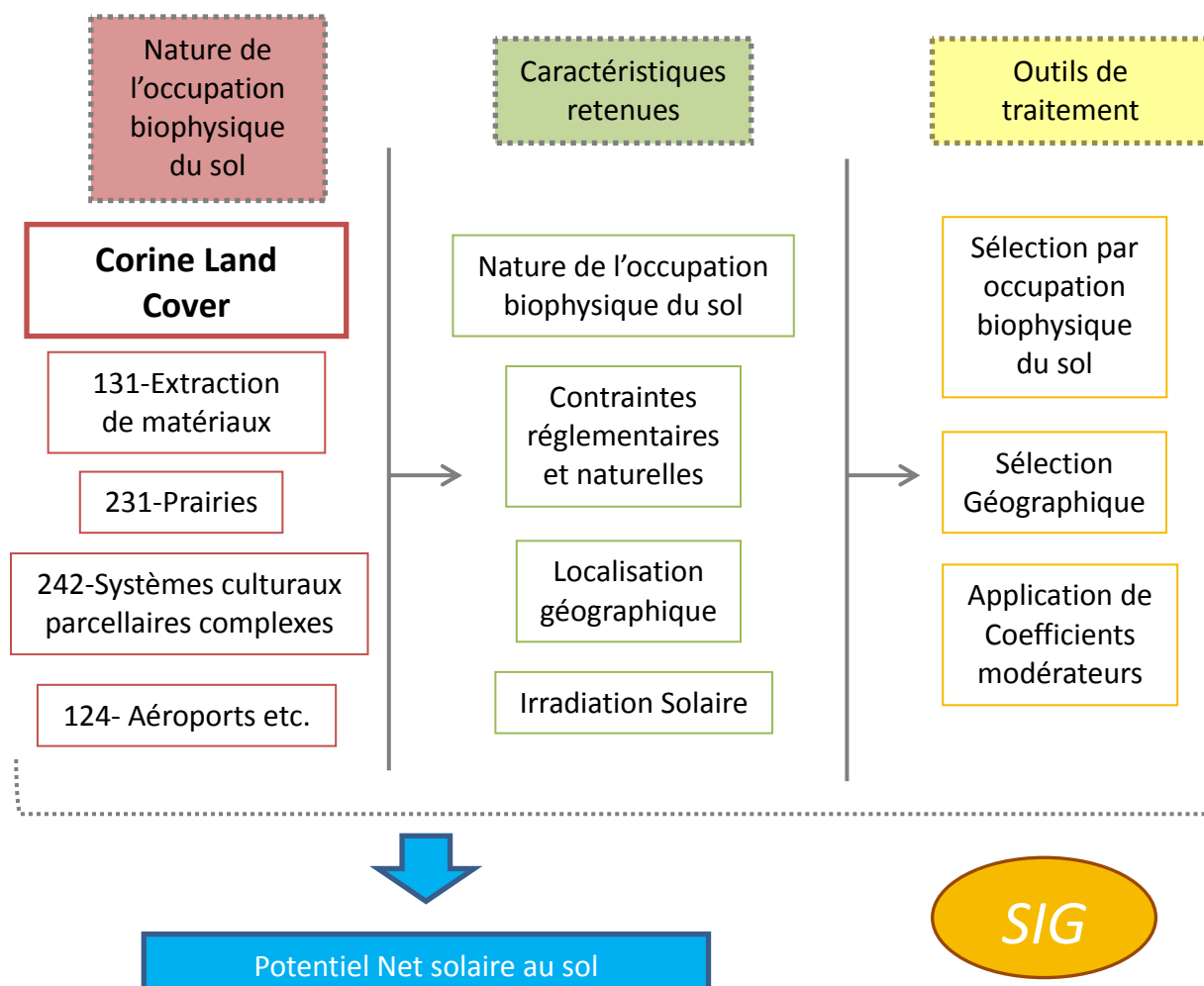


Schéma 2 : méthodologie employée pour l'estimation du potentiel solaire au sol



2. CONTRAINTES

Concernant le potentiel solaire sur bâti, l'analyse des contraintes vise à identifier les différentes zones protégées au titre patrimonial, et répartir les surfaces de toitures disponibles selon quatre niveaux d'enjeu vis-à-vis de l'implantation de panneaux solaires :

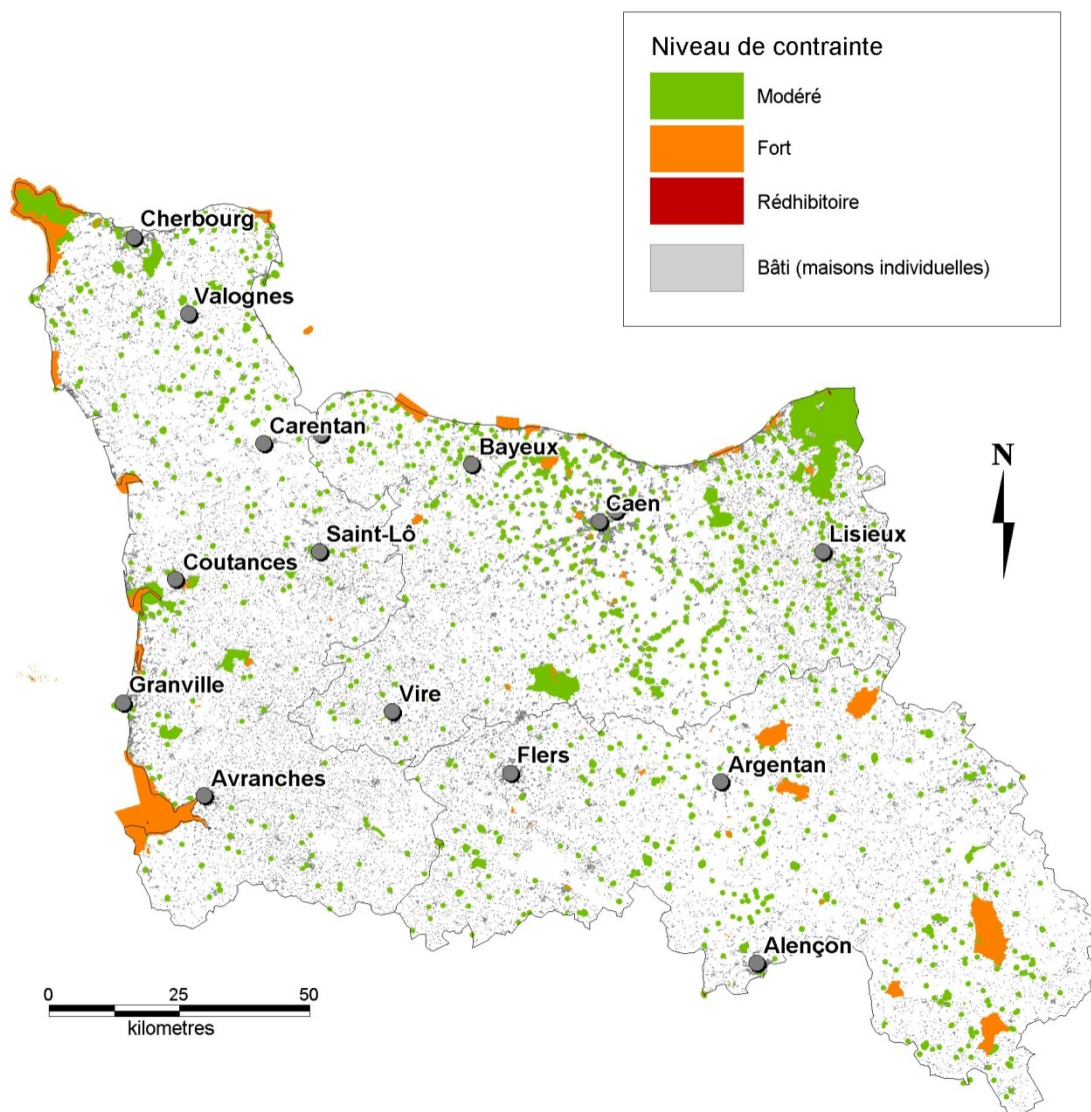
- Un niveau d'enjeu rédhibitoire où l'implantation de panneaux solaires est interdite ou impossible,
- Un niveau d'enjeu fort où l'implantation de panneaux solaires est difficile,
- Un niveau d'enjeu modéré où l'implantation de panneaux solaires doit être réalisée avec précaution,
- Les zones où il n'y a pas de contraintes patrimoniales.

Concernant les centrales au sol, la méthode consiste à :

- Définir un coefficient modérateur suivant le type d'occupation du sol,
- Appliquer un écrêtage selon la sensibilité de la zone suivant des enjeux modéré à rédhibitoire (à l'identique de la démarche appliquée au solaire sur bâti)

2.1 Contraintes concernant le bâti

Niveau d'enjeu	Type de protection	Définition	Procédures	Principes à respecter pour l'implantation de capteurs
Rédhibitoire	Secteurs Sauvegardés	« secteur présentant un caractère historique, esthétique ou de nature à justifier la conservation, la restauration et la mise en valeur de tout ou partie d'un ensemble d'immeubles »	L'architecte des bâtiments de France est obligatoirement consulté par l'autorité compétente pour délivrer l'autorisation (en général le maire). Il émet un avis conforme (c.-à-d. auquel ladite autorité doit se conformer) quelque soit l'autorisation (DTEPC ou PC).	L'installation de panneaux solaires dans un secteur sauvegardé est impossible excepté si les capteurs ne sont pas visibles depuis l'espace public
Fort	ZPPAUP	Les Zones de Protection du Patrimoine Architectural, Urbain et Paysager sont instaurées autour d'éléments remarquables et pittoresques classés ou non et qui doivent être protégés ou mis en valeur pour des motifs d'ordre esthétique, historique ou culturel.	L'Architecte des Bâtiments de France vérifie la conformité de chaque projet avec les dispositions de la ZPPAUP. Toute modification d'aspect doit recevoir son accord.	L'implantation de panneaux solaires à au sein d'une ZPPAUP est très difficile . Au mieux les modules ne devront pas être visibles depuis le domaine public ou alors ils présenteront une similitude maximale avec le matériau de couverture Le positionnement des modules en façade principale est strictement interdit.
	Sites Classés	Un site classé est un site à caractère artistique, historique, scientifique légendaire ou pittoresque, dont la préservation ou la conservation présentent un intérêt général.	Toute modification de l'état des lieux est soumise à autorisation spéciale, soit du ministre chargé de l'environnement après avis de la commission départementale de la nature des sites et des paysages (CDNPS) et, si le ministre le juge utile, de la commission supérieure des sites ; soit du préfet pour les travaux de moindre importance. L'avis conforme de l'architecte des bâtiments de France est requis dans ce dernier cas.	Il semble très difficile d'implanter des panneaux solaires sur un bâtiment localisé dans un site classé, sauf si ces derniers sont parfaitement intégrés sur la toiture du bâti existant (couleur etc.)
Modéré	Périmètres Monuments Historiques	Au sens de la loi du 31 décembre 1913, un monument historique peut-être « toute œuvre d'art d'un intérêt historique, quelles qu'en soient les dimensions, qu'il s'agisse d'un immeuble ou d'un objet mobilier »	L'avis de l'architecte des bâtiments de France est requis ; il s'agit d'un avis conforme dans le cas d'une covisibilité entre l'installation et le monument historique ou d'un avis simple s'il n'y a pas de covisibilité.	L'implantation de panneaux solaires en toiture est possible dans le périmètre de 500 m de rayon autour d'un édifice protégé, sous réserve d'étudier précisément les perceptions de l'installation depuis les édifices et d'effectuer un examen des covisibilités de l'édifice et de l'installation depuis différents points de vue remarquables.
	Sites Inscrits	Il s'agit de sites inscrits à l'inventaire des sites présentant un intérêt général du point de vue artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque. Un site inscrit peut être naturel ou bâti. Il est susceptible d'être transformé à terme en site classé (notamment les sites naturels) ou en ZPPAUP (principalement les sites bâtis).	L'architecte des bâtiments de France émet sur le projet un avis simple . Si l'intérêt du site est menacé, l'Architecte des Bâtiments de France peut suggérer au ministre de recourir à des mesures d'urgence ou de lancer des procédures de classement s'il estime qu'une intervention menace la cohérence du site.	L'implantation de panneaux solaires est possible dans un site inscrit, sous réserve d'étudier leur intégration en toiture (couleur etc.).

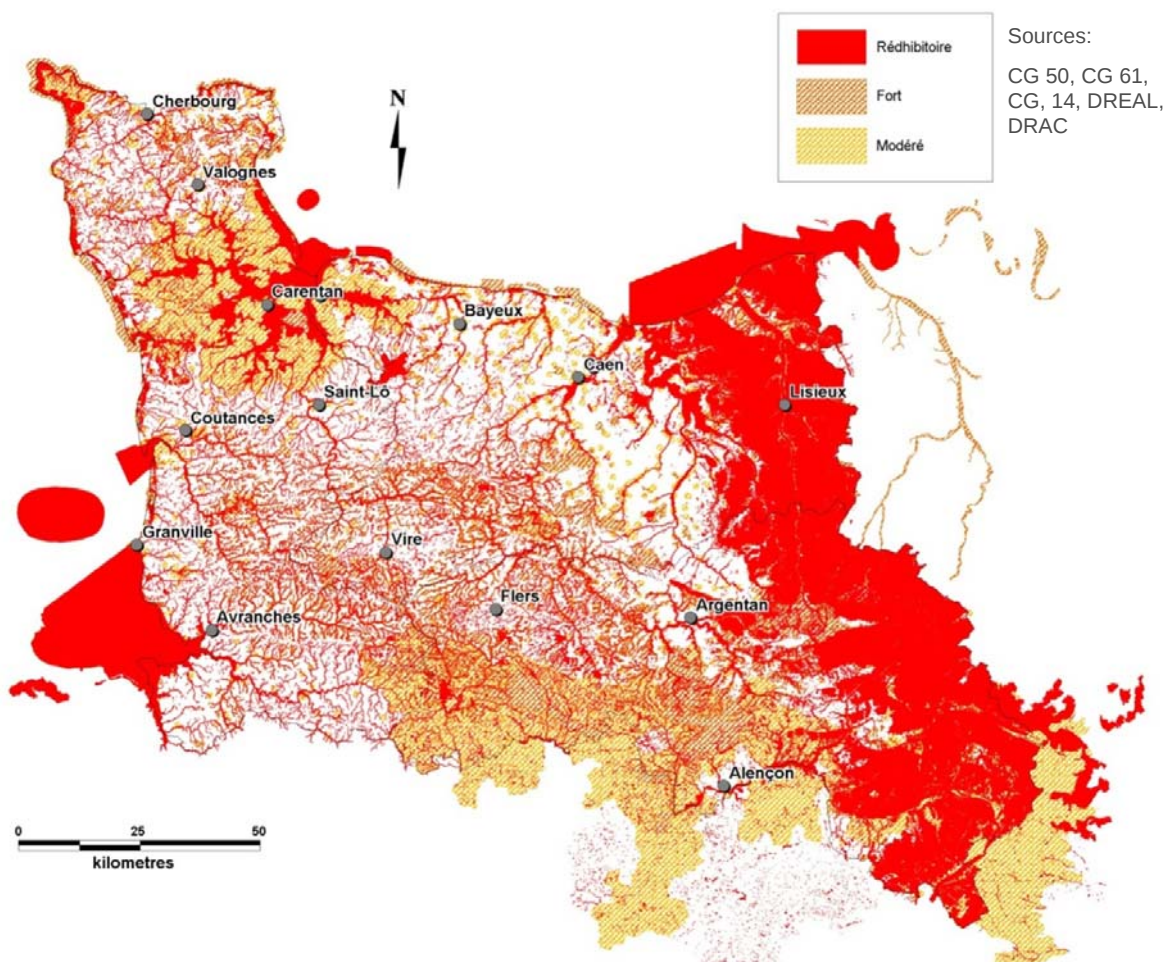


Carte 4 : contraintes pour l'installation de panneaux solaires sur bâti

Niveau	Enjeu
Rédhibitoire	Secteurs Sauvegardés
Fort	Sites classés
	ZPPAUP
Modéré	Périmètres monuments historiques
	Sites inscrits

2.2 Contraintes pour les centrales au sol

Niveau d'enjeu	Type de protection	Enjeux	Principes à respecter pour l'implantation de capteurs
Réhibitoire	APPB (Arrêté de Protection du Biotope)	Les enjeux sont la préservation de biotope (entendu au sens écologique d'habitat) tels que dunes, landes, pelouses, mares, ... nécessaires à la survie d'espèces protégées en application des articles R211-1 et R211-2 du code de l'environnement, et plus généralement l'interdiction des actions pouvant porter atteinte à l'équilibre biologique des milieux.	L'implantation de panneaux solaires est à proscrire au sein d'une zone soumise à un APPB.
	Réserve Naturelle Réserve Naturelle Régionale	Les enjeux limitativement énumérés par la loi sont : - la préservation d'espèces animales ou végétales et d'habitats en voie de disparition sur tout ou partie du territoire national, - la reconstitution des populations animales ou végétales ou de leurs habitats, ...	L'implantation de panneaux solaires est à proscrire au sein d'une Réserve Naturelle
	Bande littorale des 100m	La bande des 100 mètres, instaurée par la loi du 3 Janvier 1986, vise à encadrer l'aménagement du littoral, de sorte à protéger les espaces remarquables et à les valoriser.	L'implantation de panneaux solaires est à proscrire au sein de la bande des 100 mètres instaurée par la loi <u>littoral</u> .
	ZICO (Zone d'importance communautaire pour les oiseaux sauvages)	Recensement des zones les plus favorables pour la conservation des oiseaux sauvages	L'implantation de panneaux solaires est à proscrire au sein d'une ZICO
	Zones Humides	L'objectif de la Convention de Ramsar est d'enrayer la tendance à la disparition des zones humides de favoriser leur conservation, ainsi que celle de leur flore et de leur faune et de promouvoir et favoriser leur utilisation rationnelle.	L'implantation de panneaux solaires est à proscrire au sein des Zones Humides
	Espaces Naturels Sensibles	« mettre en œuvre une politique de protection, de gestion et d'ouverture au public des Espaces Naturels Sensibles boisés ou non, afin de préserver la qualité des sites, des paysages, des milieux naturels et d'assurer la sauvegarde des habitats naturels »	L'implantation de panneaux solaires est à proscrire au sein des Espaces Naturels Sensibles (ENS)
	Forêt de Protection	Assurer la conservation des forêts reconnues nécessaires au maintien des terres, à la limitation des érosions et des envahissements des eaux et des sables ; Protéger les bois et forêts, quels que soient leurs propriétaires, situés à la périphérie des grandes agglomérations etc.	L'implantation de panneaux solaires est à proscrire au sein des forêts de protection
	Zone de débordement de Nappe	Prémunir de la fréquentation et des activités Anthropiques les zones à débordement de nappes	L'implantation de panneaux solaires est à proscrire au sein des zones à débordement de nappe
	Zones à Risques Naturels	Prémunir de la fréquentation et des activités Anthropiques les zones soumises à des risques naturels	L'implantation de panneaux solaires est à proscrire au sein des forêts de protection
	Zones Inondables	Prémunir de la fréquentation et des activités Anthropiques les zones inondables	L'implantation de panneaux solaires est à proscrire au sein des zones inondables
Fort	Sites Classés	Un site classé est un site à caractère artistique, historique, scientifique légendaire ou pittoresque, dont la préservation ou la conservation présentent un intérêt général.	L'implantation de panneaux solaires paraît très difficile au sein d'un site classé
	ZNIEFF Type 1 et 2	Dresser l'inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique et les préserver	L'implantation de panneaux solaires paraît très difficile au sein d'une ZNIEFF
	NATURA 2000	Le réseau Natura 2000 regroupe l'ensemble des espaces désignés en application des directives « Oiseaux » et « Habitats ». Natura 2000 cherche à concilier les exigences écologiques des habitats naturels et des espèces avec les activités économiques, sociales et culturelles qui s'exercent sur les territoires et avec les particularités régionales et locales : il s'agit donc de promouvoir une gestion concertée et assumée par tous les acteurs intervenant sur les espaces naturels.	L'implantation de panneaux solaires paraît très difficile au sein d'une zone Natura 2000
	Zones Spéciales de Conservation (ZSC)	L'enjeu consiste dans le maintien ou le rétablissement de ces sites de façon à arriver à un état de conservation favorable	L'implantation de panneaux solaires paraît très difficile au sein d'une ZSC
	Zones de Protection Spéciale (ZPS)	Les Zones de Protection Spéciale ont pour but de protéger les habitats permettant d'assurer la survie et la reproduction des oiseaux sauvages rares ou menacés, et les aires de mue, d'hivernage, de reproduction et des zones de relais de migration pour l'ensemble des espèces migratrices.	L'implantation de panneaux solaires paraît très difficile au sein d'une ZPS
Modéré	Sites Inscrits	Les sites inscrits à l'inventaire des sites présentent un intérêt général du point de vue artistique, historique, scientifique, légendaire ou pittoresque.	L'implantation de panneaux solaires est possible dans un site inscrit, sous réserve d'étudier leur intégration
	Parc Naturel Régional (PNR)	La mission des parcs est d'assurer un développement économique et social harmonieux de leurs territoires en s'appuyant sur le respect de l'environnement.	L'implantation de panneaux solaires au sol est possible au sein d'un PNR
	ZPPAUP	La ZPPAUP comporte un zonage et un règlement qui énonce des règles de protection générales ou particulières en matière d'architecture, de paysage et d'urbanisme : préservation des perspectives et des structures paysagères etc.	L'implantation de panneaux solaires au sol au sein d'une ZPPAUP est possible à condition que l'installation ne soit pas visible depuis la voie publique.



Carte 5 : Contraintes pour l'installation de panneaux solaires au sol

Pour l'installation de centrales photovoltaïques au sol les coefficients suivants sont définis en fonction du niveau d'enjeu d'une zone. Pour un espace donné, la superficie est multipliée par le coefficient correspondant. On obtient alors une estimation des surfaces potentielles suivant le type de protection.

Niveau d'enjeu	Coefficient appliqué aux surfaces
Rédhibitoire	0
Fort	0,3
Modéré	0,8
Hors contraintes	1

3. POTENTIELS NET

Les potentiels nets, présentés ci-après, correspondent aux surfaces disponibles hors-contraintes pour le solaire (thermique et photovoltaïque) sur bâti et pour les centrales photovoltaïques au sol. Les zones de contraintes réglementaires, techniques et patrimoniales sont déduites des gisements bruts à l'issu d'un traitement cartographique.

3.1 Les surfaces favorables à l'installation de panneaux solaires sur bâti

Les surfaces de toitures favorables à l'installation de panneaux solaires sont calculées à partir du traitement cartographique entre la couche bâti de la BD TOPO® et les différentes zones de contraintes.

Deux analyses complémentaires sont réalisées afin d'éliminer les surfaces présentant des contraintes techniques défavorables :

- Une analyse cartographique permettant de sélectionner les bâtiments présentant une orientation favorable. Seuls les bâtiments orientés de 45° de part et d'autre de l'axe Nord Sud ont été retenus.
- Une analyse des effets d'ombre portée des bâtiments proches. Par défaut, un coefficient a été appliqué par type de bâtiment : 0.85 pour les maisons, 1 pour les bâtiments agricoles, 0.8 pour les bâtiments sportifs et 0.9 pour le reste des bâtiments.

Type de bâti	Surfaces de toitures (m²)	surfaces orientées favorablement (m²)	Surfaces en zone modérée (m²)	Surfaces hors contraintes (m²)	dont toitures inclinées	dont toitures terrasse
Maison individuelle	87 513 013	26 218 541	4 920 409	20 913 929	93%	7%
Logement collectif, autres	16 140 014	6 084 278	2 870 972	2 891 633	51%	49%
Collectif, tertiaire	49 902 990	20 102 466	3 689 141	16 106 862	51%	49%
Salle des fêtes, médiathèque, bibliothèques	228 794	74 738	16 859	54 459	74%	26%
Enseignement	1 557 125	923 481	208 929	673 499	15%	85%
EHPAD, Hôpitaux	469 751	195 196	131 310	54 434	15%	85%
Salles de sports, piscines	1 140 947	331 115	129 603	187 752	74%	26%
Gares, Entrepôts publics	148 154	46 313	20 667	24 388	86%	14%
Mairies	482 587	144 836	43 535	97 880	93%	7%
services de l'état, territoriaux	452 859	187 849	80 375	99 775	74%	26%
Préfectures/sous pref.	13 481	5 793	5 395	398	93%	7%
Hypermarché, supermarchés	910 332	437 335	82 545	351 565	4%	96%
Industries	45 378 185	22 278 045	3 015 737	19 083 836	15%	85%
Petits bâtiments de commerces, PME, PMI Artisanat	640 056	240 963	56 332	184 631	41%	59%
Bâti agricole	2 398 768	750 112	107 560	641 136	86%	14%
Total	207 377 054	78 021 062	15 379 368	61 366 177	54%	46%

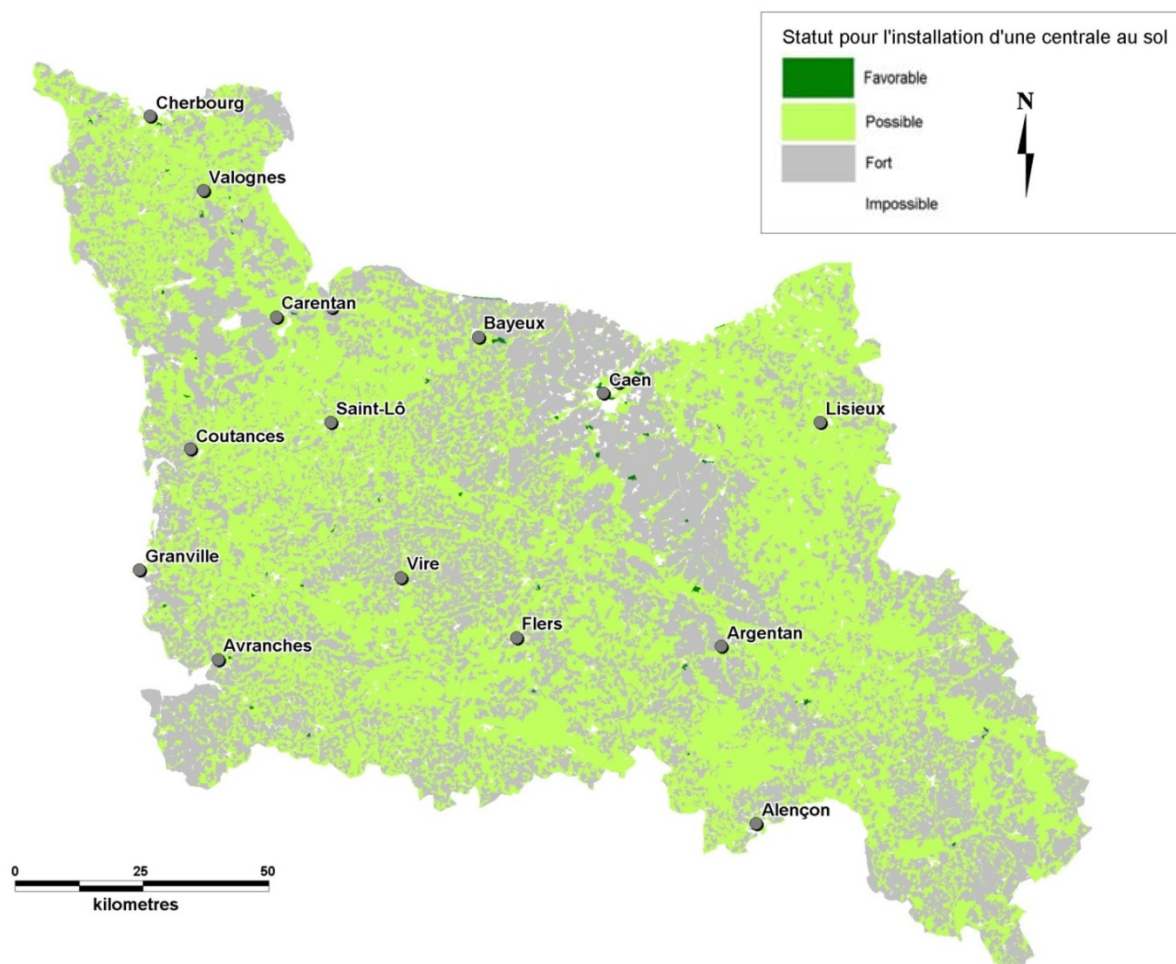
Le résultat de l'analyse met en évidence que 70% des surfaces de toitures de la Région Basse-Normandie sont situées en zone de contrainte (réglementaire, patrimoniale ou technique).

Le potentiel d'installation solaire photovoltaïque hors contraintes concerne 30% des surfaces totales des toitures bas normandes dont 54% sont inclinées et 46% en toitures terrasse. Les surfaces de toitures hors contraintes concernent plus particulièrement 3 types de bâti : les maisons individuelles (10% de la surface totale de toitures en région), les bâtiments collectifs et tertiaires (8%) ainsi que les Industries (9%).

3.2 Les surfaces favorables pour l'installation de centrales au sol

La carte ci-après est obtenue à partir d'une classification des types d'utilisation des sols de la Basse-Normandie issus de la base de données cartographique du Corine Land Cover suivant 4 critères :

- Les surfaces considérées comme potentiellement favorables à l'accueil de centrales au sol. Ont été intégrées à ce niveau les classes de sols suivantes :
 - 122-Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés
 - 131-Extraction de matériaux
 - 133-Chantiers
 - 332-Roches nues
- Les surfaces à enjeu modéré, où les installations sont considérées comme possibles :
 - 231- Prairies
 - 311-Forêts de feuillus
 - 312-Forêts de conifères
 - 313-Forêts mélangées
 - 321-Pelouses et pâturages naturels
 - 322-Landes et broussailles
 - 324-Forêt et végétation arbustive en mutation
 - 121-Zones industrielles et commerciales
 - 141-Espaces verts urbains
- Les surfaces à enjeu fort :
 - 211-Terres arables hors périmètres d'irrigation
 - 222-Vergers et petits fruits
 - 242-Systèmes cultureux et parcellaires complexes
 - 243-Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants
- Les surfaces incompatibles avec un projet de centrale au sol où une installation est considérée comme impossible :
 - 111-Tissu urbain continu
 - 112-Tissu urbain discontinu
 - 123-Zones portuaires
 - 124-Aéroports
 - 142-Équipements sportifs et de loisirs
 - 331-Plages, dunes et sable
 - 411-Marais intérieurs
 - 412-Tourbières
 - 421-Marais maritimes
 - 423-Zones intertidales
 - 511-Cours d'eau et voies d'eau
 - 512-Plans d'eau
 - 521-Lagunes littorales
 - 522-Estuaire
 - 523-Mers et océans



Carte 6 : classification des sols pour l'installation d'un projet de centrale au sol (Source: Corine Land Cover)

Cette classification des surfaces permet de délimiter l'étendue des zones potentiellement concernées par un projet de centrale au sol en fonction des enjeux propres à chaque type de sol en Basse-Normandie. Une deuxième analyse permet de définir les surfaces potentiellement favorables. Pour cela, un coefficient modérateur est attribué à chaque type d'occupation du sol suivant l'intérêt pour la mobilisation du sol à cet objet.

Type milieu	coefficient modérateur
Chantiers	0,8
Carrières	0,7
Extraction de matériaux	0,7
Roches nues	0,6
Forêt et végétation arbustive en mutation	0,5
Landes et broussailles	0,4
Pelouses et pâturages naturels	0,2
Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés	0,1
Prairies	0,05
Forêts de feuillus	0,05
Forêts de conifères	0,05
Forêts mélangées	0,05
Terres arables hors périmètres d'irrigation	0,05
Systèmes culturaux et parcellaires complexes	0,05
Vergers et petits fruits	0
Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	0

Le croisement des contraintes surfaciques (cf. carte 5) et des zones potentiellement aptes à recevoir un projet de centrale au sol (cf. carte 6) permet d'établir un classement définissant des zones d'accueil où l'installation d'une centrale solaire au sol est favorable.

Le tableau suivant donne les superficies calculées en multipliant les surfaces issues de la base de données Corine Land Cover par les coefficients modérateurs du tableau précédent et par les coefficients relatifs aux types de protection (cf p21). Les surfaces y sont classées par type de milieu, et on détaille les surfaces considérées disponibles en fonction de leur niveau d'enjeu.

Type milieu (excepté les milieux incompatibles)	Surface disponible hors contraintes (ha)	Surface disponible enjeu modéré (ha)	Surface disponible enjeu fort (ha)	Surface totales disponibles (ha)
Carrières	769	146	63	978
122-Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés	32	8	1	40
131-Extraction de matériaux	1 025	51	48	1 124
133-Chantiers	91	0	0	91
332-Roches nues	34	0	3	38
231- Prairies	29 242	5 121	665	35 028
311-Forêts de feuillus	3 251	204	491	3 945
312-Forêts de conifères	0	26	176	202
313-Forêts mélangées	416	18	66	500
321-Pelouses et pâturages naturels	29	0	1	29
322-Landes et broussailles	1 515	58	216	1 789
324-Forêt et végétation arbustive en mutation	2 587	78	600	3 265
211-Terres arables hors périmètres d'irrigation	15 481	3 136	264	18 881
222-Vergers et petits fruits	0	0	0	0
242-Systèmes cultureux et parcellaires complexes	4 354	1 849	117	6 320
243-Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	0	0	0	0
Total	58 826	10 696	2 710	72 231

Environ 72 000 ha de terres sont potentiellement disponibles suivant le résultat obtenu. Il s'agit en forte proportion de terrains naturels ou agricoles. Ce résultat est lié à l'importance des zones non urbanisées en Basse-Normandie et au caractère relativement préservé de cette Région par rapport à d'autres territoires en France.

La surface disponible, ainsi estimée représente 4,3% du territoire bas-normand. Sur la base de ce résultat et d'une emprise au sol moyenne de 40m²/kWc, on peut estimer à 1800 MWc la puissance brute potentiellement atteignable pour les centrales solaires photovoltaïques au sol.

Ce chiffre doit néanmoins être nuancé suivant les capacités techniques réelles du territoire à recevoir ce type d'installation. Les capacités réseau, les distances au poste de raccordement sont, par exemple, autant de paramètres qui contribueront à restreindre cette surface potentielle théorique.

V. Scénarios de développement du solaire en Basse-Normandie

L'établissement des surfaces potentiellement disponibles pour accueillir l'installation de panneaux solaires au sol ou sur bâti ne suffit pas à d'établir un potentiel de développement des filières solaire thermique et photovoltaïque à 2020.

Dans ce but, plusieurs scénarios du développement des filières sont proposés s'inscrivant en continuité des évolutions réelles préalablement constatées lors de l'état des lieux. Celles-ci tiennent compte également :

- des objectifs gouvernementaux de développement souhaités pour les filières, issus des réflexions du Grenelle de l'environnement,
- des perspectives présumées de développement des filières localement eu égard aux évolutions attendues du contexte économiques : coût de l'énergie, dispositifs de soutien existant, capacités d'investissement des porteurs de projet, évolution du coût des technologies, évolution des tarifs d'achat, dynamique de la construction...

1. OBJECTIFS GRENELLE

Dans le cadre du Grenelle de l'environnement, la Programmation Pluriannuelle (PPI) des Investissements 2009 a retenu concernant l'énergie solaire les objectifs suivants :

- Pour le solaire photovoltaïque :
 - 1100 MWc en 2012,
 - 5400MWc installés en 2020 (dont 4860 MWc en métropole).
- Pour le solaire thermique :
 - 185 ktep produits en 2012,
 - 927 ktep produits en 2020, soit une croissance de près de 30% par an par rapport à la situation en 2006.

A noter que les objectifs de la PPI issus du décret du 15 décembre 2009 ont été revus à la hausse. L'objectif inscrit dans le décret du 04 juillet 2006 donnait pour le solaire photovoltaïque des objectifs de 160 MWc installés en 2010 et 500 MWc installés en 2015.

1.1 OBJECTIFS RELATIFS AU SOLAIRE THERMIQUE

Le Grenelle Environnement a, pour la filière solaire thermique, fixé des objectifs pour les secteurs résidentiel collectif, tertiaire, industriel et agricole : produire à l'horizon 2020 110 000 tep/an (hors résidentiel individuel) soit un supplément de production de 100 000 tep/an par rapport à 2006.

En 2009, 51ktep étaient produits par les installations solaires thermiques en métropole 313 000m² de panneaux étaient installés soit une croissance de 16% par rapport aux installations de l'année 2008.

Si les chiffres des années 2006 à 2008 étaient conformes aux objectifs du PPI, les données des installations des 2 dernières années montrent une baisse conséquente de la croissance du marché qui ne permettra pas d'atteindre les objectifs annoncés si le développement de la filière ne s'intensifie pas.

Pourtant la particularité du marché français tient au développement du solaire thermique collectif qui est plus important que chez ses voisins européens. Le dispositif fonds chaleur lancé en 2009 a notamment permis de soutenir financièrement les projets de solaire collectif et de contribuer à la croissance de ce marché³.

1.2 OBJECTIFS RELATIFS AU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Contrairement au solaire thermique, le solaire photovoltaïque connaît une croissance supérieure aux objectifs inscrits. Au 31 mars 2011, les chiffres issus d'ERDF faisaient état en France de 1337 MWc raccordés en France.

De plus, afin de dynamiser la demande, conforter le marché national et favoriser l'installation d'une filière industrielle, le ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire a décidé de lancer à la fin de l'année 2008 un appel d'offres pour la construction d'ici 2011 d'au moins une centrale solaire dans chaque région française, pour une puissance cumulée de 300 MW. Cette capacité de 300 MW se répartira en fonction du potentiel solaire de chaque région. En Basse-Normandie, la puissance installée doit être de 10 MW.

D'autres mesures issues du Grenelle sont également favorables à un développement accru de cette filière. Une exonération des démarches fiscales est accordée aux particuliers dans la mesure 34 du plan bâtiment grenelle. La mesure 37 du même plan permet d'envisager un développement des installations à travers la rénovation des bâtiments publics.

³ Source : Syndicat des Energies Renouvelables

Les objectifs du Grenelle ont retenu ceux inscrits au PPI. Ils ne sont pas répartis suivant les différents types de technologies mais par secteur, catégorie et taille de l'installation :



Les mesures prises par le Gouvernement doivent permettre un flux conséquent mais maîtrisé des projets. A noter que la moitié des projets en file d'attente (3400 MW sur 6400 MW) n'a pas été impactée par la suspension et peut poursuivre son développement. Même en prenant en compte un taux de non réalisation important (35%), ce volume en file d'attente correspond à 2 ans d'activité d'installation. Les projets portés par des particuliers n'ont également pas été impactés par la suspension. Compte tenu de l'incertitude sur la réalisation de la file d'attente, le Gouvernement a décidé d'une trajectoire-cible annuelle de 500 MW/an pour l'année 2011. Cette trajectoire qui pourra être augmentée à 800 MW/an à partir de mi-2012 en cas de fort taux de non réalisation des projets en file d'attente.

D'ici à mi-2012, les nouvelles dispositions se veulent un équilibre entre:

- ✓ Un secteur (petites toitures) sans contingentement de volume, ni quota: les dossiers déposés sont tous acceptés dans le cadre d'un tarif auto-ajustable chaque trimestre,
- ✓ Un secteur (grandes toitures, centrales au sol) encadré en volume via des appels d'offres pour permettre la sélection du meilleur coût, un meilleur effet de levier industriel et une meilleure prise en compte environnementale,
- ✓ Maintien d'un fort soutien à l'amont via des subventions à la R&D et à la réalisation de démonstrateurs.

Source: MEEDTL

2. SCÉNARISATION DU DÉVELOPPEMENT DES FILIÈRES SOLAIRES EN BASSE-NORMANDIE

Les scénarios proposés reprennent en base les objectifs grenelle reportés à l'échelle de la Région Basse-Normandie à partir des installations existantes en 2009.

En fonction de l'évolution donnée, plusieurs autres scénarios par filière sont proposés à titre de comparaison.

4.1 Scénarios de développement du solaire thermique

La projection à l'horizon 2020 du scénario grenelle a été établie en tenant compte des proportions géographiques et démographiques de la Basse-Normandie.

La Basse-Normandie représente 2,78% de la superficie nationale. Sa population est estimée en 2008 à 174 728 habitants (source INSEE) soit à 2,29% de la population française.

En tenant compte d'une différence d'irradiation moyenne en Basse-Normandie de 20% inférieure par rapport à la valeur nationale, on considère que les objectifs à couvrir pour la Région correspondent à 2% de l'objectif grenelle solaire thermique à atteindre pour la France.

Projection des objectifs grenelle pour le solaire thermique en Basse-Normandie

	Situation fin 2009	Point de passage fin 2012	Objectif 2020
Métropole	52 ktep (602GWh/an)	185 ktep (2 151GWh/an)	927 ktep (10 780 GWh/an)
Région Basse-Normandie	0,3ktep (3,44 GWh/an) (estimation)	3,7 ktep (43GWh/an)	18,5 ktep (215 GWh/an)

L'extrapolation des objectifs du grenelle met en évidence l'importance de l'effort à consentir ces 10 prochaines années. En effet, il serait alors nécessaire de multiplier par plus de 60 le nombre d'installations existantes. Cette projection représente un objectif annuel de 10 000 installations par an soit 60 000m², sachant que l'on recense aujourd'hui environ 200 installations par an.

Cette projection soulève de nombreuses questions. En effet, les réalisations d'installations en Région pour 2010 ne représentent que 15% des projections. La Basse-Normandie possède donc un retard important qu'il sera nécessaire de combler.

Dans ce but, 3 scénarios complémentaires ont été construits, prenant en compte un taux variable d'installations solaires en construction et en rénovation, compte tenu d'un taux fixe de construction et de rénovation retenu à respectivement 1.3%/an (moyenne sur les 10 dernières années) et 1%/an.

Projection I:

- 2012/2013: 20% dans le neuf 10% en rénovation
- 2014 : 30% dans le neuf 20% en rénovation
- 2015/2020: 40% dans le neuf 30% en rénovation

Projection II:

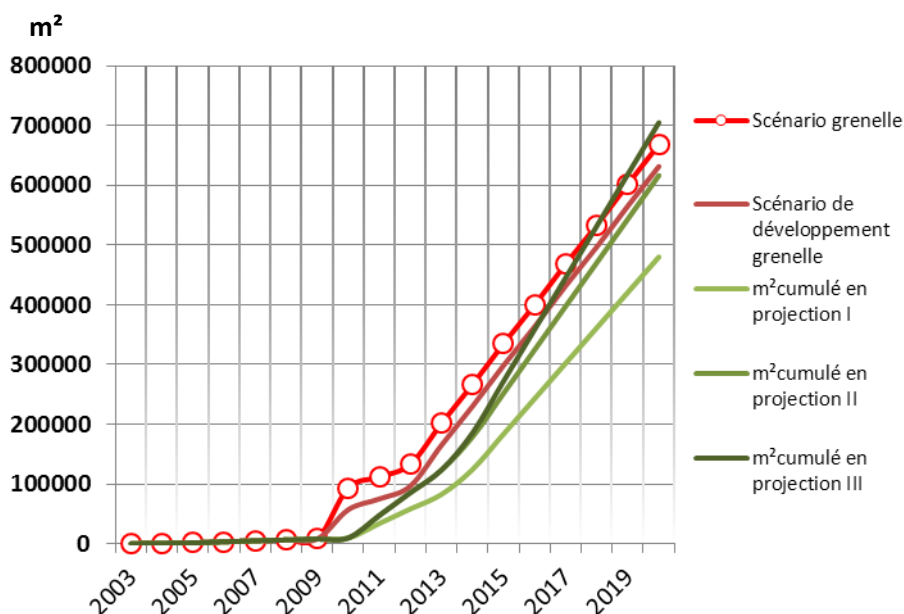
- 2012/2013: 40% dans le neuf 10% en rénovation
- 2014 : 50% dans le neuf 20% en rénovation
- 2015/2020: 60% dans le neuf 30% en rénovation

Projection III:

- 2012/2013: 40% dans le neuf 10% en rénovation
- 2014 : 50% dans le neuf 30% en rénovation
- 2015/2020: 60% dans le neuf 50% en rénovation

Graphique 9 :

Scénarios d'évolution de la surface de capteurs solaires thermiques (m²) en Basse-Normandie



Seule la projection III permet d'atteindre l'objectif Grenelle. Le scénario « développement grenelle » illustre les conséquences du retard accumulé par la Région sur le développement de la filière. Le développement nécessaire pour s'engager dans un rythme de croissance tel que présenté est actuellement disproportionné au vu du taux de croissance actuel. Ce rythme suggère un changement important des conditions économiques, au regard de celles vécues dans le domaine du solaire photovoltaïque ces 3 dernières années.

Les exigences de la RT 2012 dans le neuf quant à l'intégration de solutions ENR seront à n'en pas douter un levier fort pour tendre vers l'objectif. Ce critère de dynamisation de la filière, seul, ne permettra sans doute pas d'obtenir le rythme de croissance escompté. Un développement complémentaire des installations dans l'existant est nécessaire et les leviers restent à trouver.

Scénario de développement proposé pour la Région Basse-Normandie :

	Nombre d'installations		M² de capteurs		Tep	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Solaire thermique individuel	1450	98115	8199	554790	246	16645
Solaire thermique collectif-tertiaire	100	3768	1636	61643	49	1849
Total	1550	101883	9835	616433	295	18494

4.2 Le solaire photovoltaïque

La méthodologie de construction des scénarios pour le solaire photovoltaïque s'appuie sur la même structure que pour le solaire thermique.

Projection des objectifs grenelle pour le solaire Photovoltaïque en Basse-Normandie

	Situation fin 2009	Point de passage fin 2012	Objectif 2020
Métropole	200 MWc	1 100 MWc	4 860 MWc
Région Basse-Normandie	1,64MWc	22 MWc	97.2 MWc

Rapporté à l'échelle de la Basse-Normandie, en prenant 2% des objectifs nationaux, une puissance minimum de 100MWc doit être installée à l'horizon 2020.

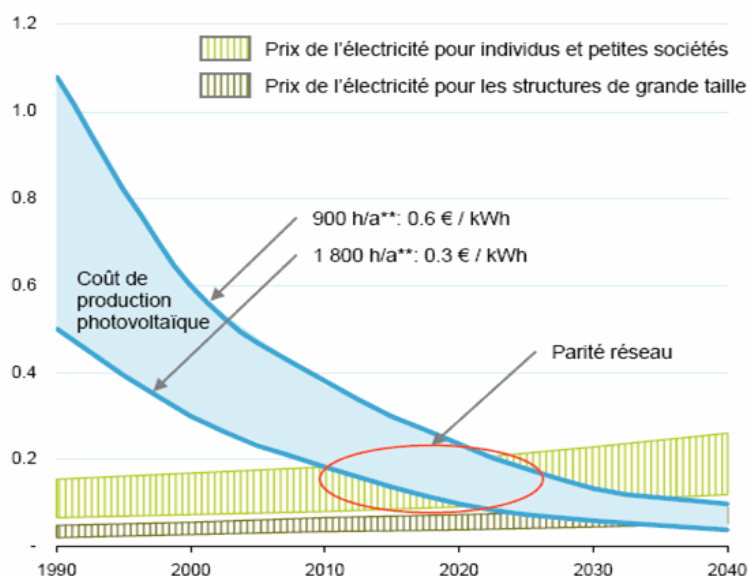
Contrairement aux résultats obtenus pour le solaire thermique, on constate à partir de la projection grenelle que la Région Basse-Normandie est en avance dans le développement de cette filière.

Les tendances observées à l'échelle nationale concordent avec les chiffres bas-normands. Une incertitude demeure néanmoins dans la continuité de la croissance. En effet, les évolutions des tarifs d'achats ont eu une répercussion encore difficilement chiffrable sur les projets d'installations.

Néanmoins, de la même façon que les données à l'échelle nationale ne montraient pas de ralentissement significatif de la filière, au niveau régional, ERDF comptabilisait 4 MW supplémentaires au 31 mars 2011 soit une augmentation de 30% par rapport aux puissances installées en 2010.

Si cette tendance demande confirmation, il convient également de mettre en évidence la proximité dans le temps de la parité réseau⁴ en France, à partir duquel, le développement du solaire photovoltaïque sera moins dépendant des mesures d'accompagnement de la filière.

Graphique 10 : identification de la période lors de laquelle sera atteinte la parité réseau



Note: ** jours d'ensoleillement annuels

Sources: EPIA 2008, Solar Generation V-2008
Premier Rapport PricewaterhouseCoopers • L'Etat de la Filière Photovoltaïque en France Mars 2009

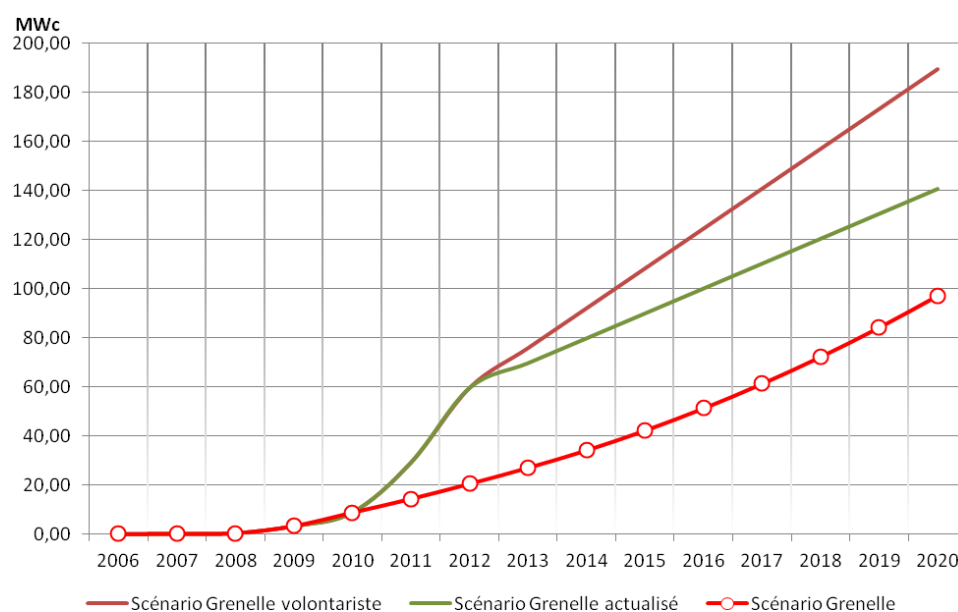
⁴ La parité réseau est atteinte lorsque le coût de production d'un kilowattheure d'électricité solaire est égal au prix de l'électricité payé par le consommateur final

Les scénarios proposés dans le cadre de l'évaluation du potentiel de développement de la filière solaire photovoltaïque ne sont donc pas établis sur l'atteinte des objectifs du Grenelle. Ils tentent d'établir une projection tendancielle des installations d'ici à 2020. Les hypothèses d'évolution se basent ainsi sur différentes évolutions du scénario Grenelle nationale, projetées à l'échelle régionale en continuité des chiffres d'installations de 2009.

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

- ✓ Scénario Grenelle actualisé : 1000MWc en 2011, 1500MWc en 2012 puis cible annuelle nationale de 500MWc
- ✓ Scénario Grenelle volontariste : 1000MWc en 2011, 1500MWc en 2012 puis cible annuelle nationale de 800MWc.

Graphique 10 :
Scénarios
d'évolution pour
le solaire
photovoltaïque



Les tendances de développement et le tassement à court terme de la croissance de la filière conduit à écarter le scénario Grenelle volontariste. Le scénario Grenelle semble en revanche réaliste. Ce scénario conduirait à un parc installé de 97.2 MWc à l'horizon 2020.

Potentiel théorique net et scénarios de développement exprimé en puissance

Basse Normandie	Puissance	Potentiel théorique net (MWc)	Etat des lieux 2010 (MWc)	Scénario Grenelle (MWc)	Scénario Grenelle actualisé (MWc)	Scénario Grenelle volontariste (MWc)
Résidentiel	0 à 36kWc	2594	2,86	19,44	29,25	38,99
Santé-Enseignement						
Bâtiments de -1000m ² de toiture	0 à 36kWc / 0 à 100kWc	2221	2,86	19,44	29,25	38,99
1000m ² à 2500m ² de toiture	100 à 250kWc	484	2,47	23,33	34,13	45,82
>2500m ² de toiture	+250kWc	380	0,59	3,89	5,87	7,81
Centrales au sol		1806	0,00	31,10	42,22	57,80
Total		7484	8,78	97,19	140,71	189,42

Le plus important potentiel de développement serait, à l'instar du solaire thermique, le secteur résidentiel qui représenterait 35% du total suivi de près par les bâtiments de santé et d'enseignement et des toitures inférieures à 1000m² avec 30% du potentiel. Le potentiel net pour les centrales au sol avec 24% du total arrive en troisième position.

En fonction du type de projet, l'augmentation du nombre des installations raccordées entre 2010 et 2020 varie selon les scénarios :

- Scénario grenelle : augmentation d'un facteur 7 à 10
- Scénario Grenelle actualisé : augmentation d'un facteur 10 à 14
- Scénario Grenelle volontariste : augmentation d'un facteur 14 à 18

Le développement des projets de centrales au sol, suivant les scénarios, couvrirait jusqu'à 3,2% des surfaces potentielles nettes estimées.

Le potentiel net des surfaces en toiture mobilisées pour l'atteinte des objectifs des différents scénarios représente au maximum :

- 1,5% du résidentiel,
- 1,8% du secteur santé/enseignement et du bâti inférieur à 1000 m²
- 10% des toitures de 1000 à 2500 m²
- 2% des toitures supérieures à 2500 m²

La part des surfaces mobilisées, qu'il s'agisse des toitures ou des terrains est donc tout à fait infime et ne constitue pas un facteur limitant pour le développement du solaire.

VI. L'énergie géothermique, contexte

La croûte terrestre est chaude. L'eau infiltrée en profondeur et réchauffée au contact des profondeurs est utilisée depuis l'Antiquité dans certaines régions pour chauffer les thermes, les serres et les bâtiments : c'est ce que l'on appelle habituellement la géothermie. En dehors de ces régions, les calories du sol en surface sont essentiellement issues du rayonnement solaire et de la migration de l'humidité et peuvent être prélevées par des pompes à chaleur. Le terme de géothermie a donc aujourd'hui une signification large : il désigne l'art de capter l'énergie dans la terre.

Le mode d'exploitation d'une ressource géothermale dépend usuellement de trois paramètres :

- La température détermine l'application à savoir production d'électricité ou de chauffage.
- La structure du milieu fixe le mode de prélèvement. Dans un milieu aquifère, le fluide chaud sera extrait, pour un milieu non-aquifère le prélèvement de chaleur se fera par échange via un fluide exogène.
- Le mode de transfert correspondant à la technique choisie pour exploiter la source de chaleur.

Les différents types d'exploitation de la géothermie :

Type de géothermie	Caractéristiques du réservoir	Utilisations
Très basse énergie	$T < 30^{\circ}\text{C}$ aquifère inférieur à 100m de profondeur	Chauffage et climatisation avec utilisation d'une pompe à chaleur (PAC)
Basse énergie	$30^{\circ}\text{C} < T < 90^{\circ}\text{C}$ gisement situé entre 1500 et 2500m de profondeur	Chauffage urbain et certaines applications industrielles
Moyenne et Haute énergie	$90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$ gisement situé entre 2000 et 3000m de profondeur	Production d'électricité
Géothermie profonde	Roches chaudes sèches à plus de 3000m de profondeur	Au stade de la recherche pour l'électricité ou le chauffage

Dans le cadre d'une utilisation individuelle, la production d'électricité n'est pas envisagée. La production de chaleur est préconisée avec des pompes à chaleur géothermiques (PAC).

1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Exploitée pour des applications de chauffage essentiellement, la géothermie est dans certaines zones puissante et accessible, c'est le cas notamment dans le bassin parisien, dans l'Est et le Sud-ouest de la France et les massifs montagneux.



En Basse-Normandie, il en est tout autre. L'énergie potentielle issue de la terre est très limitée car elle provient non pas de la croûte terrestre mais des calories absorbées par le sol essentiellement issues du rayonnement solaire. Cette utilisation de la géothermie est qualifiée de "géothermie superficielle" (car à faible profondeur) ou encore "très basse énergie". Elle nécessite l'utilisation d'une pompe à chaleur.

Les pompes à chaleur (PAC) captent les calories du proche sous-sol (de 0 à quelques centaines de mètres). C'est la forme de la géothermie qui, pour la Basse Normandie, présente les perspectives de croissance les plus importantes selon l'ADEME. Les PAC sont adaptées pour le chauffage de maisons individuelles mais aussi pour le tertiaire et les locaux collectifs. Elles permettent également la production de froid.

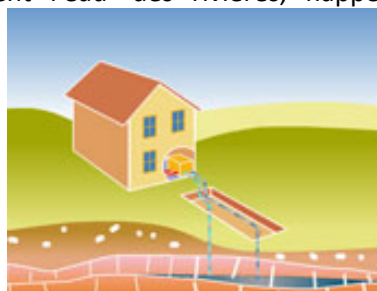
Une pompe à chaleur fonctionne selon un principe thermodynamique qui consiste à transférer, via un *fluide caloporteur*, de l'énergie d'un niveau à basse température vers un niveau à température plus élevée. Ce transfert consomme de l'énergie, mais l'énergie totale restituée par la PAC est supérieure à l'énergie fournie au système au final. On caractérise les performances d'une PAC par son COP (« COefficient de performance ») dans des conditions données de température extérieure et de diffusion. Le COP est le rapport entre la quantité de chaleur produite (Q utile) et la quantité d'énergie électrique consommée (E).

$$\text{COP} = Q \text{ utile} / E.$$

Le COP est exprimé en « énergie finale ». Il a une valeur comprise entre 4 et 6 en fonction de la technologie et du captage employé. Une PAC fonctionne à l'électricité, énergie pour laquelle on considère que l'énergie primaire nécessaire à la fabrication et à la distribution est 2.58 fois plus grande que l'énergie finale. Le bilan énergétique d'une pompe à chaleur doit être exprimé en énergie primaire afin de déterminer l'économie d'énergie globale du système.

Il existe diverses catégories de pompes à chaleur :

- les pompes géothermiques (ou « géothermales ») qui captent l'énergie du sol (captage horizontal ou vertical);
- les pompes à chaleur sur l'eau qui utilisent l'eau des rivières, nappes phréatiques ;



Source AFPAC

On parle également selon le cas de modèles, sol/sol, sol/eau, eau/eau ou eau glycolée/eau. Le premier terme désigne l'origine du prélèvement, le second le mode de distribution de la chaleur. Seule exception : la PAC eau glycolée/eau qui puise la chaleur du sol avec des capteurs enterrés contenant de l'eau glycolée.

L'intérêt économique des pompes à chaleur et des installations géothermiques en général est proportionnel à la quantité d'énergie disponible et aux performances des installations.

En Basse-Normandie, au vu de la faiblesse des ressources énergétiques exploitables, la rentabilité économique du projet est conditionnée fortement par le deuxième critère et par la cohérence d'ensemble du projet entre l'investissement nécessaire et les quantités d'énergies récupérables.

Le tableau ci-dessous récapitule les critères pour lesquels les solutions PAC en moyen de chauffage s'avèrent cohérent :

Système PAC	PAC Sol/eau ou Sol/sol	PAC eau/eau ou eau glycolée/eau
Système	Captage horizontal	Captage horizontal ou vertical ou sur nappe phréatique verticale
COP	4 à 5	5 à 6
Type de projet	Maison bien isolée de 130 à 250 m ²	Maison, bâtiments de plus de 180 m ²
Investissement	Entre 70 à 100 € TTC par m ² chauffé	Entre 80 à 185 € TTC par m ² chauffé

Source : Ademe

2. ETAT DES LIEUX

La France a été pionnière dans le développement de la géothermie. De nombreux réseaux de chaleur en Ile-de-France et en Aquitaine ont été créés entre 1975 et 1985 avec des investissements importants pendant toute cette période.

Tout s'est arrêté brutalement en 1985 pour deux raisons indépendantes mais simultanées : d'une part, le contrechoc pétrolier a affaibli la compétitivité de la chaleur géothermale, d'autre part, quelques-uns des réseaux de chaleur ont connu d'importants problèmes de corrosion, qui ont entraîné des difficultés économiques.

2.1 Les installations en France

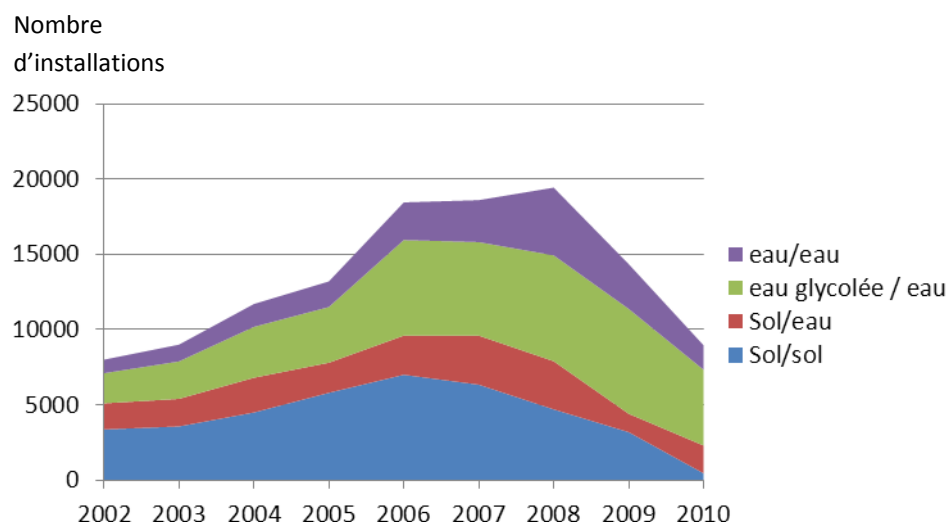
En 2008, selon les chiffres d'EurObserv'ER, la France disposait d'une capacité de production de chaleur géothermique de 1.678 mégawatts (MW) contre 11.000 MW au niveau européen. Elle se place en première position au niveau des emplois liés à la géothermie, avec 13.700 emplois contre 29.000 en Europe.

La production française annuelle de chaleur géothermique hors géothermie domestique était évaluée à 180 ktep en 2006, dont 130 ktep sur réseaux de chaleur et 50 ktep en géothermie tertiaire et petit collectif.

La production dans l'Union Européenne était évaluée en 2005 à 1,3 Mtep, dont 0,6 en basse énergie et 0,7 en très basse énergie. La France se place au troisième rang en géothermie basse énergie et au quatrième en géothermie très basse énergie.

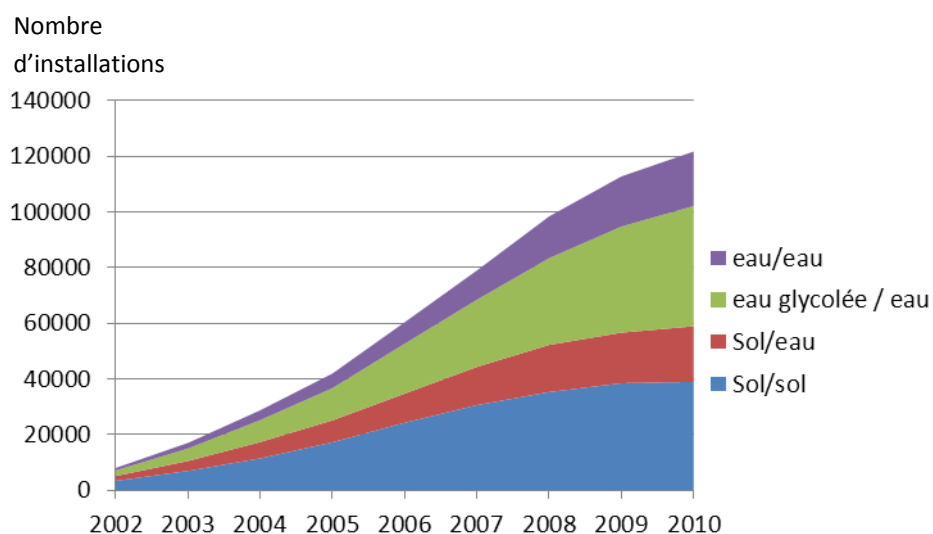
En ce qui concerne les pompes à chaleur, le parc résidentiel individuel compte environ 370 000 PAC, dont 50 000 installées avant 1997 et 320 000 installées entre 1997 et 2008.

Graphique 11 :
Marché annuel
des
installations
géothermiques
en France
(Source :
AFPAC)



Tout type d'installation confondu, le marché a connu son essor pendant la période 2002 à 2006. Il s'essouffle en 2007 avec une évolution du marché à la baisse, puis chute de 25% par an sur la période 2008-2010. Malgré tout, sur cette période, entre 10.000 et 20.000 pompes à chaleur géothermiques sont installées chaque année actuellement. A noter que 80% des pompes à chaleur géothermique en France ont été installées dans le neuf lors des 4 dernières années.

Graphique 12 :
Evolution du
nombre
d'installations
géothermiques
cumulées en
France (Source :
AFPAC)

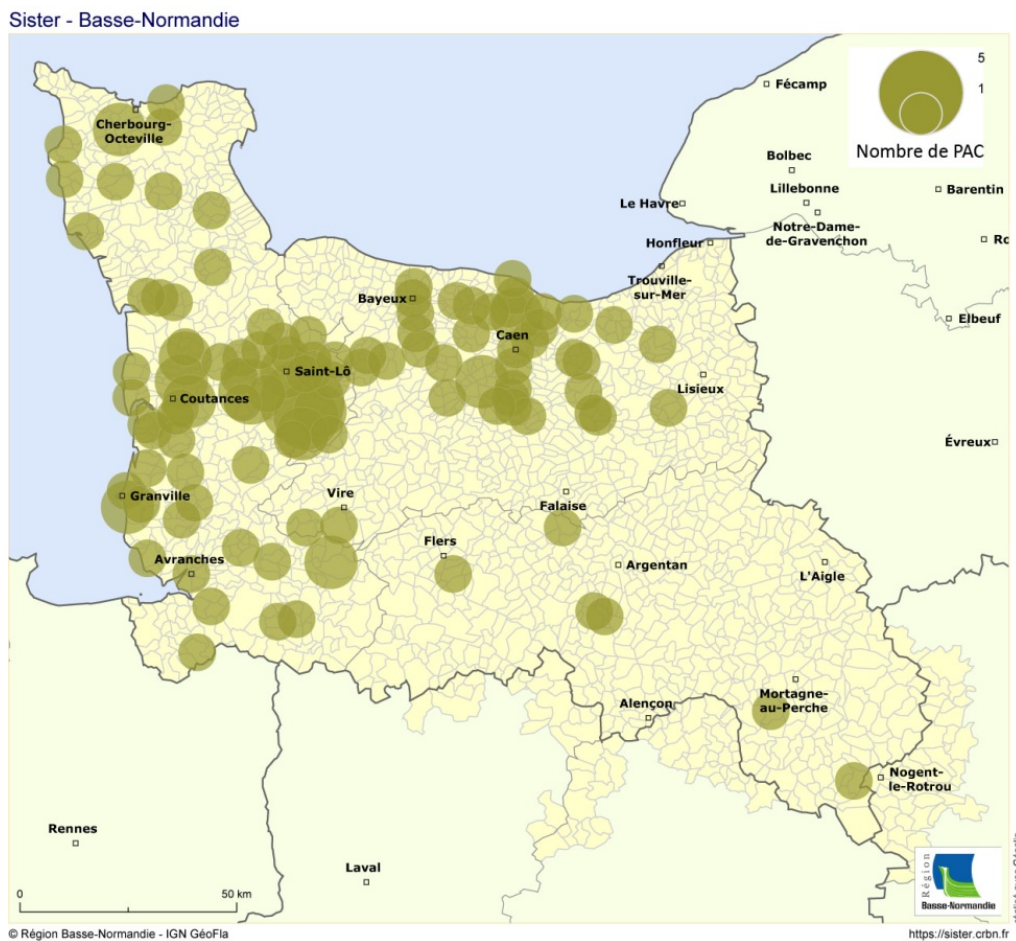


Les installations les plus répandues sont de type eau glycolée/eau et sol/sol. Le nombre d'installations géothermiques cumulées a connu un essor linéaire sur la période 2006-2008 pour ensuite se stabiliser.

Les pompes à chaleur géothermiques se développent fortement car, dans le tertiaire et le résidentiel, la tendance est à l'utilisation de diffuseurs à basse température qui sont bien adaptés aux PAC à haut rendement : c'est en particulier le cas des planchers chauffants ou chauffants et rafraichissants.

2.2 Les installations en Basse-Normandie

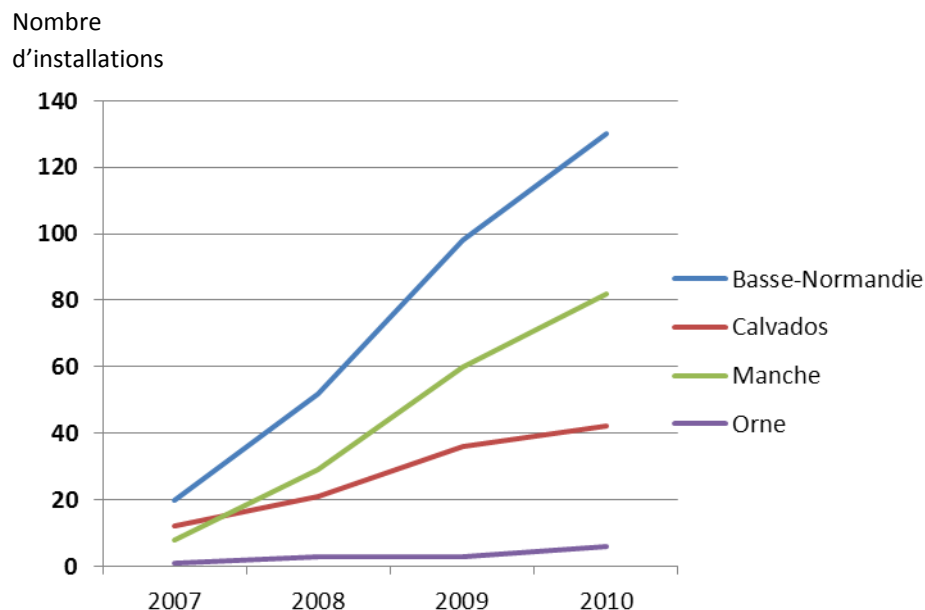
En raison de l'absence de données locales sur les autres types de PAC, l'état des lieux des installations en Basse-Normandie ne concerne que les pompes à chaleur sur nappe. On recense actuellement 130 installations sur nappes en Basse-Normandie. Ce type d'installation est quasiment absent du département de l'Orne. Celles-ci sont présentes en revanche dans les 2 départements du Calvados et de la Manche, avec une plus forte concentration autour des centres urbains : Saint-Lô, Caen, Bayeux.



CARTE 7 : Pompes à chaleur sur nappes installées de 2007 à 2009 par communes en Basse-Normandie (Source : Observatoire des EnR Basse-Normandie)

Graphique 13 :

Evolution du nombre d'installations sur nappes recensées en Basse-Normandie
(Source : Observatoire des EnR Basse-Normandie)



En Basse-Normandie, le marché des pompes à chaleur sur nappe s'est fortement développé à partir de 2008. Ce développement s'est notamment fait dans la Manche sous l'impulsion des installateurs. Dans le Calvados, malgré un marché plus important, le nombre d'installations est 2 fois moins important.

Rapporté à la population, le niveau développement des installations de pompes à chaleur sur nappes en Basse-Normandie est faible (11000 habitants/installations). La Manche pourtant « leader » dans le domaine, ne représente que la moitié du taux d'équipement national (de l'ordre de 6000 habitants/installation dans la manche et 3000 habitants/ installation au niveau national).

2.3 Réglementation

Les principaux textes réglementaires qui peuvent s'appliquer aux forages destinés à l'alimentation de PAC sur nappe sont :

- le code minier
- le code de l'environnement (ICPE, loi sur l'eau)
- le code de la santé publique

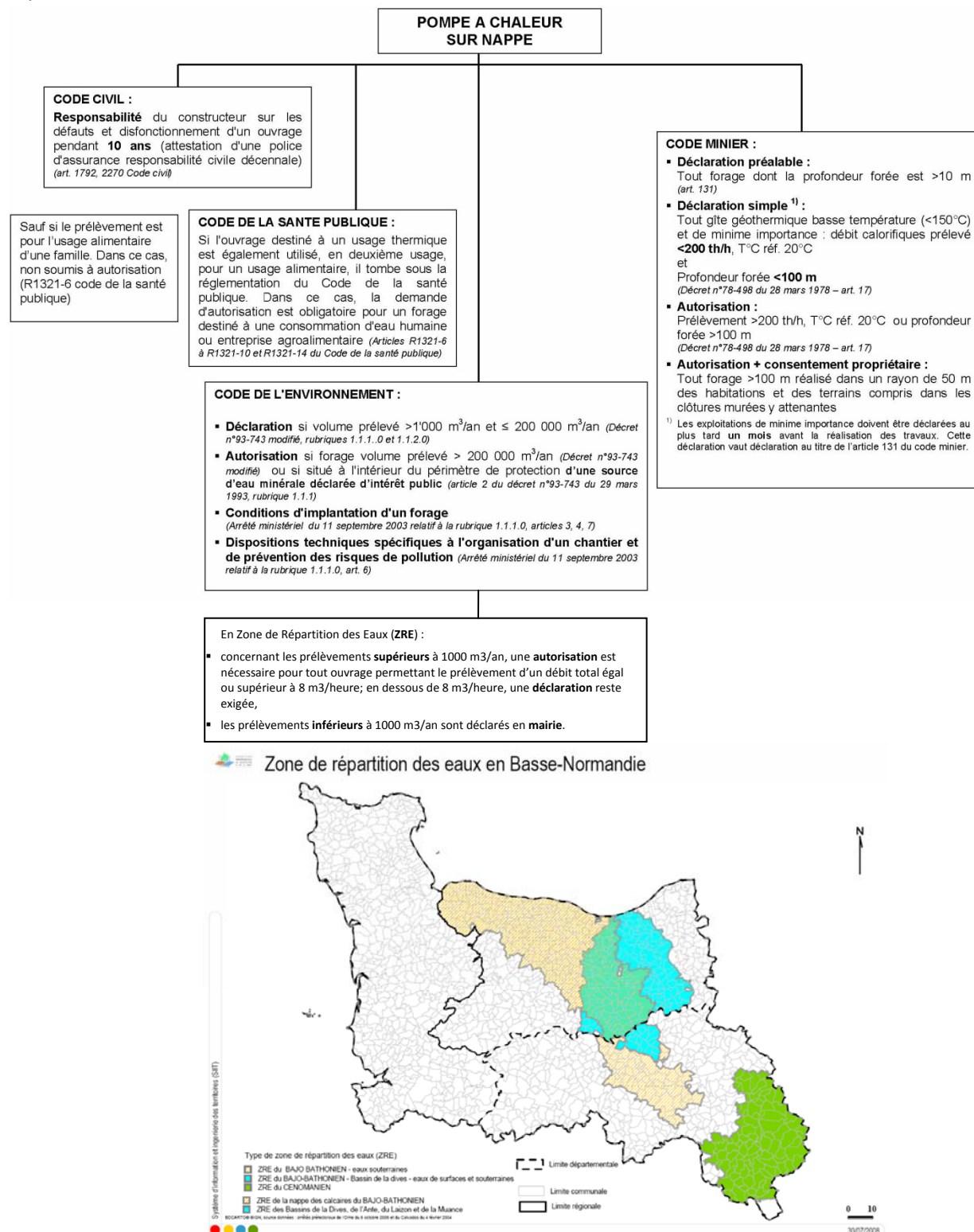
Les PAC sur nappe sont concernées par la rubrique 2920 de la nomenclature ICPE qui prévoit pour les installations de réfrigération ou compression fonctionnant à des pressions effectives supérieures à 105 Pa (mais ne comprimant pas ou n'utilisant pas des fluides inflammables ou toxiques) :

- un régime d'autorisation si la puissance absorbée est supérieure à 500 kW ;
- un régime de déclaration si la puissance absorbée est supérieure à 50 kW, mais inférieure ou égale à 500 kW.
- Des réglementations spécifiques concernent l'utilisation des fluides frigorigènes.

D'une façon générale, concernant les ICPE, il est recommandé aux Maîtres d'ouvrages ou à leurs maîtres d'œuvre d'interroger la DREAL au cas par cas.

Les forages sont également soumis à réglementation. Aux termes de l'article 131 du code minier, l'obligation de déclaration préalable s'impose à tout maître d'ouvrage réalisant un forage dont la profondeur dépasse 10 m, quelle que soit sa destination. En deçà de 100 m de profondeur, le forage est soumis au régime de la déclaration simple. Au-delà de 100 m de profondeur, il est soumis au régime de l'autorisation.

Figure 2 : Présentation des dispositions réglementaires relatives aux PAC sur nappe (hors zone de répartition des eaux)



VII. Potentiel de développement des PAC

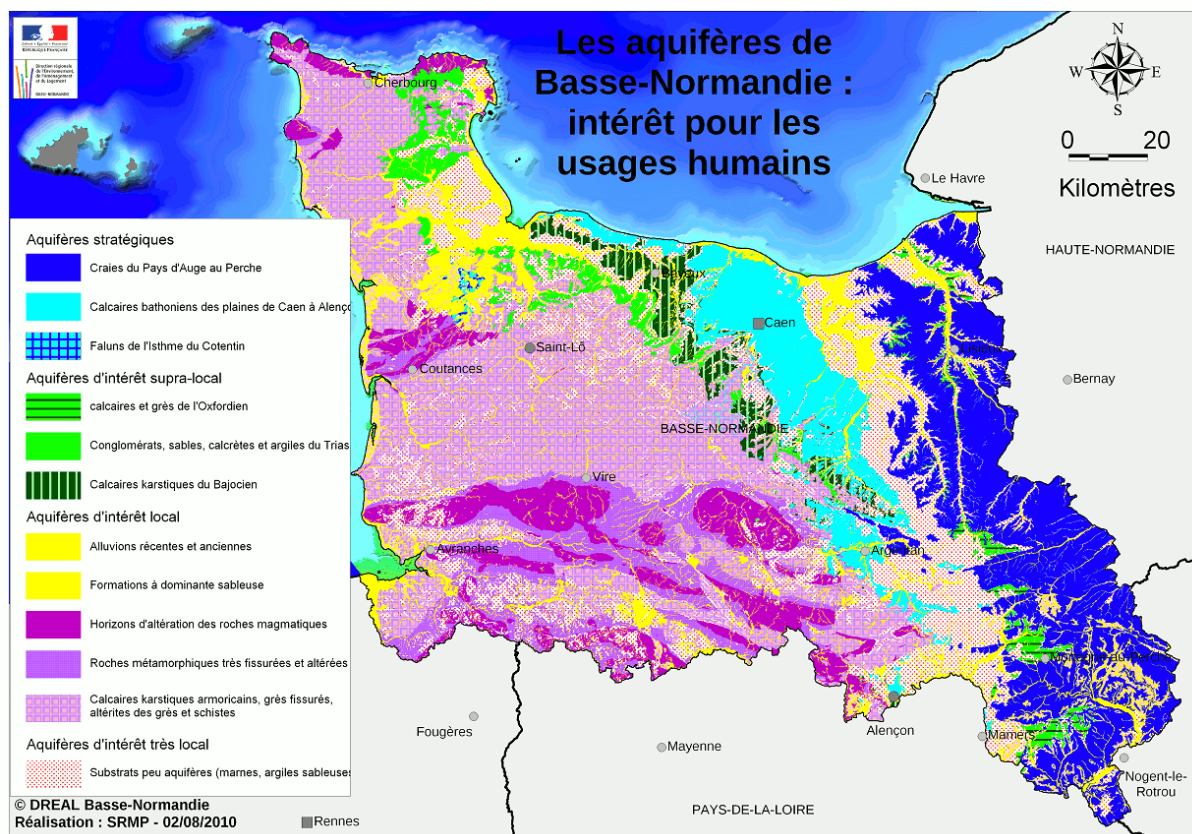
En Basse-Normandie, tout comme en France, l'énergie contenue dans le sous-sol, que ce soit les nappes alluviales, les aquifères peu profonds ou les aquifères profonds, voire l'énergie des terrains eux-mêmes peut être exploitée dans des conditions intéressantes.

La quantification des ressources disponibles passe notamment par une connaissance approfondie des aquifères disponibles inférieurs à 100 m de profondeur. Les informations concernant les débits prélevables dans les nappes, la profondeur du toit des nappes et l'amplitude du battement de celles-ci permettent d'évaluer avec une précision relative les puissances géothermiques disponibles à n'importe quel endroit du territoire.

Cette analyse demande une accessibilité des données (Banque des données du Sous Sol, banque d'Accès aux Données des Eaux Souterraines, Référentiel Hydrogéologique Français) et une concertation forte avec les spécialistes disposant des compétences requises pour l'interprétation des données brutes (géologues, hydrogéologues, géochimistes, géophysiciens).

Dans le cas de l'étude des ressources géothermiques, le caractère parcellaire et incomplet des données fournies ne nous a pas permis, d'établir une quantification des puissances disponibles.

1. LES AQUIFERES REGIONAUX



Les aquifères majeurs de Basse-Normandie se situent plutôt dans la partie orientale de la région, rattachée au Bassin parisien.

Les grandes réserves en eau souterraine de l'Est régional

L'aquifère de la craie est le plus important des aquifères régionaux, qui du Pays d'Auge au Perche, constitue un réservoir d'une exceptionnelle capacité.

Dans une moindre mesure l'aquifère des calcaires bathoniens qui s'étend à travers les plaines céréalières reliant Caen à Alençon est lui moins puissant et moins productif,

Trois aquifères d'intérêt secondaire peuvent être cités : l'aquifère des terrains bajociens, ressource majeure du Bessin, l'aquifère du Trias, qui borde le Bessin au Sud et qui s'étend jusqu'à Falaise, et l'aquifère dit de l'Oxfordien.

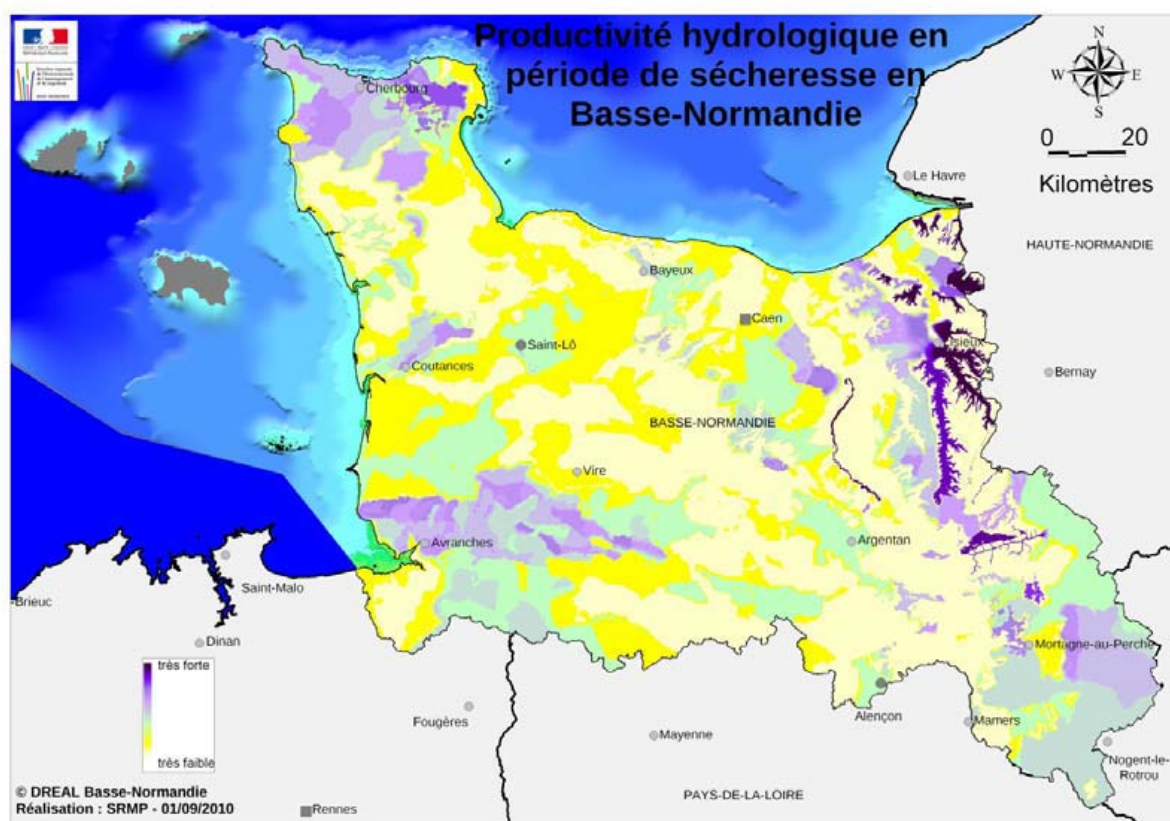
L'Ouest régional : un patchwork de petits réservoirs

Moins pourvue en réserve majeure, la partie occidentale de la Basse-Normandie n'en est pas démunie pour autant de ressources stratégiques. Les principales d'entre elles se localisent dans l'Isthme du Cotentin.

2. LES RESSOURCES

Le territoire bas-normand peut être qualifié de propice à la géothermie très basse énergie.

Les nappes d'eau souterraine sont abondantes, rarement profondes mais à une température relativement basse (11 à 13°). Ces températures évoluent très peu entre l'hiver et l'été. Peu urbanisé, le territoire régional est très faiblement affecté par les pollutions thermiques induites par nos activités. Au cœur de l'agglomération caennaise, une sur-élévation de 1 à 2 ° n'est cependant pas à exclure.



La carte ci-dessus représente l'intensité des débits d'eau à la surface du sol et reflètent en partie les débits des nappes d'eau souterraines.

Elle permet d'identifier des débits remarquables (violet/noir) dans le pays d'Auge et importants (rose) dans le Perche, le centre et la pointe du Cotentin.

Particularités du territoire :

L'eau souterraine est plus particulièrement abondante dans les fonds de vallées et vallons, sauf configuration particulière. Les débits sont notamment importants dans les vallées de l'Est régional mais la circulation des eaux souterraines y est karstique, caractéristique potentiellement très contraignante pour une exploitation. Les grandes rivières de ce territoire sont cependant accompagnées d'une nappe alluviale au sein de laquelle la circulation des eaux souterraines est beaucoup plus homogène.

Les plateaux reliant le Pays d'Auge au Perche, via le Lieuvin et le Pays d'Ouche ont été fortement drainés par l'agriculture. L'eau souterraine y est présente en hiver, beaucoup moins en été, au moins superficiellement. Les débits des nappes d'eau souterraine qui s'étendent sur ces territoires, dans les limons des plateaux et dans les biefs à silex, sont en général très faibles.

Les argiles et les marnes qui bordent à l'Ouest le Pays d'Auge, le Pays d'Ouche et le Perche disposent également de nappes d'eau souterraine perchées, peu circulantes, proposant de faibles débits et un rabattement important en été. Ce territoire est le moins propice à la géothermie en Basse-Normandie en raison de ces contraintes structurelles.

De la Campagne de Caen aux Campagnes d'Argentan puis d'Alençon, l'eau est en général abondante dans les vallons et vallées. Certains vallons sont cependant secs en raison d'une nappe libre située à grande profondeur. L'implantation humaine ancienne est le meilleur critère pour connaître la présence d'un vallon sec ne disposant pas de ressource accessible à moins de 20 m. Aucune implantation romaine, médiévale ou pré-seconde guerre mondiale ne s'y observe.

Le Bessin propose des caractéristiques similaires à celles du Pays d'Auge : un plateau d'argile à silex d'une épaisseur et d'une humidité très variable, recouvert de limons des plateaux. L'humidité de ces derniers persiste en général en été mais la nappe perchée qu'ils abritent n'est que peu circulante donc sans débit notable. Sous les argiles à silex du Bessin, les calcaires bajociens sont aquifères mais karstiques. Les débits peuvent y être importants mais les circulations sont très cloisonnées. Les échecs prospectifs sont nombreux dans ce territoire (forages secs).

Plus à l'Ouest et au Sud, en Armorique, l'eau souterraine est très abondante même si les débits sont relativement modestes localement. Les terrains les plus favorables se situent en fond de vallée, dans les altérites du socle ancien, tout particulièrement dans les arènes granitiques du Virois ou du Sud-Manche ou dans les heads du Nord-Cotentin. En bas de pente, les colluvions sont très fréquemment humides.

En terme de profondeur, le modèle piézométrique (développé par la DREAL Basse-Normandie) met en évidence les éléments suivants :

- seulement 5/10 000ème du territoire présente une piézométrie située à plus de 100 m de profondeur ;
- ~ 1% des nappes phréatiques ont un toit situé entre 50 m et 100 m de profondeur ;
- ~ 90 % du territoire dispose d'une ressource en eau située à moins de 20 m de profondeur.
- les territoires où l'eau est la plus profonde sont : les plateaux de la plaine de Caen et les sommets des collines des bocages armoricains.
- dans le socle armoricain, la piézométrie dispose de gradient hydraulique plus élevés que dans le reste du territoire. La condition de débit sera donc selon toute vraisemblance la condition la plus contraignante pour la mise en œuvre de la géothermie très basse température.

Points de vigilance :

Ce risque est d'autant plus grand lorsque le forage est fait sur un aquifère stratégique pour les besoins humains ou naturels et surtout si des fluides caloripporteurs circulent sous la terre.

Il est en effet absolument primordial d'éviter toute forme de géothermie qui, par vieillissement des infrastructures enterrées entre autre, serait en mesure d'entraîner des pollutions de nos ressources en eau souterraine, y compris loin de tout secteur exploité pour nos propres besoins.

3. POTENTIEL

Le potentiel de développement des PAC est établi sur le même principe que la méthode définie pour le solaire thermique et photovoltaïque.

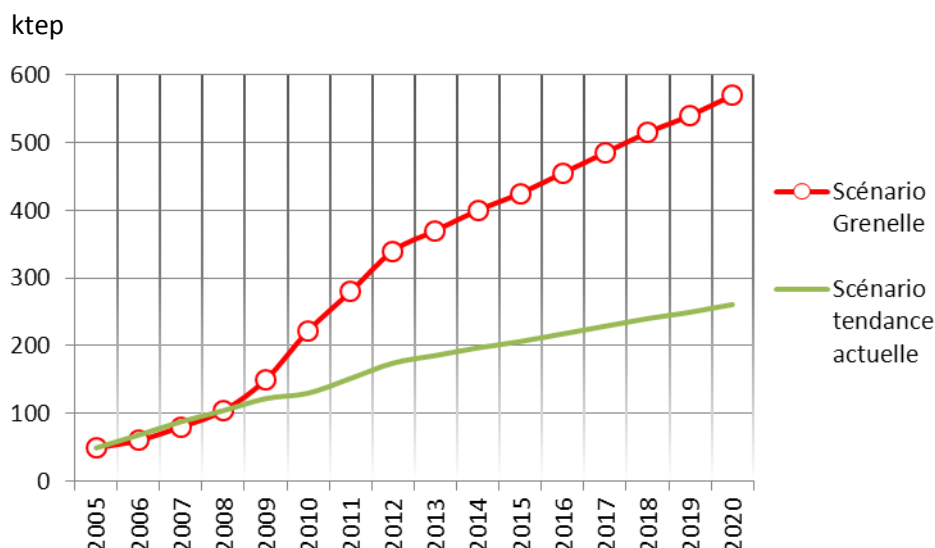
3.5 Objectifs de développement définis par le Grenelle

Concernant la production de chaleur à partir d'énergies renouvelables en France métropolitaine, l'Arrêté Ministériel du 15.12.2009, fixe pour le 31 décembre 2020 les objectifs suivants :

- 500 ktep pour la géothermie profonde
- 250 ktep pour la géothermie intermédiaire
- 1 600 ktep pour les pompes à chaleur individuelles dont **570 ktep pour les PAC Géothermiques et Hydro thermiques**
- 250 pour les pompes à chaleur tertiaires ou industrielles

Cet objectif est repris dans le Grenelle de l'environnement. Celui-ci correspond à 600 000 installations à l'horizon 2020.

Graphique 14 :
Scénarios de développement des pompes à chaleur géothermiques et hydro thermiques en France



L'essoufflement qu'a connu le secteur de la géothermie en France et des pompes à chaleur à partir de 2007, rend cet objectif difficile à atteindre. En effet, le retard pris lors des 3 dernières années sera très difficile à combler. Le scénario tendanciel conduirait à un développement environ trois fois moindre que les objectifs inscrits au Grenelle.

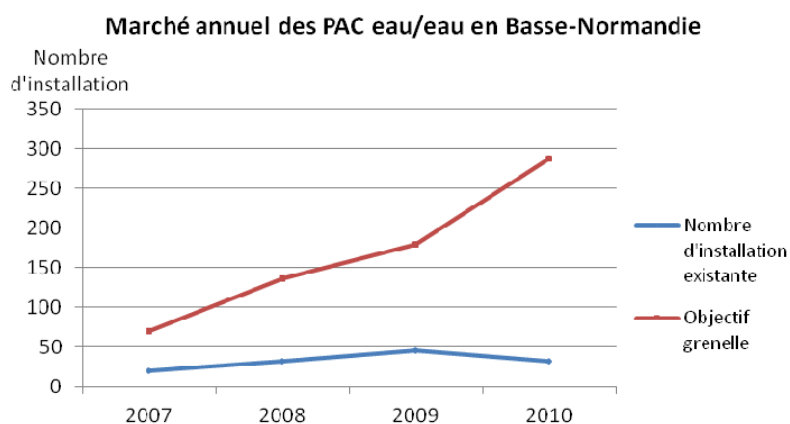
3.6 Scénarios de développement de la géothermie en Basse-Normandie

Tout comme pour le solaire, la scénarisation a été établie à partir du report des scénarios nationaux. Les modalités de report sont toutefois quelque peu différentes.

Dans le cas de la géothermie, les différences d'intensités d'irradiation n'ont pas été prises en compte. Le potentiel géothermique très basse énergie a été considéré comme identique à celui des autres régions françaises. Le taux de couverture de la Région Basse-Normandie par rapport aux objectifs Grenelle a, ainsi, été fixé à 2,5% des objectifs nationaux soit environ 14 ktep.

L'adaptation des objectifs Grenelle à la Basse-Normandie comparé à l'existant met en évidence un décalage fort entre les objectifs et les installations réellement constatées sur le territoire.

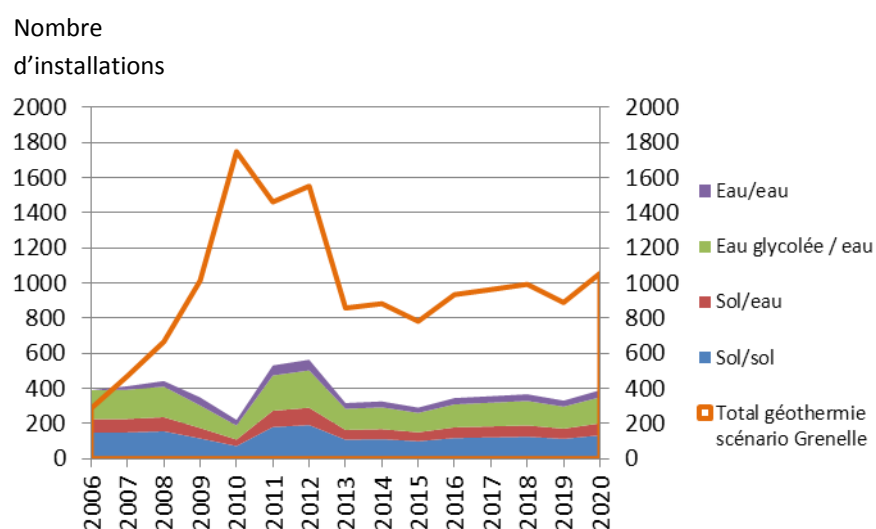
Graphique 15 : comparaison entre l'objectif grenelle rapporté à l'échelle régionale et le nombre d'installations annuel de PAC eau/eau recensé par l'Observatoire des EnR Basse-Normandie.



En considérant que l'état des lieux réalisé contient l'ensemble des installations de type « eau/eau » en Basse-Normandie, le développement des pompes à chaleur accuse un retard important par rapport aux objectifs du Grenelle.

Le rythme de développement de l'ensemble des installations estimé à partir de l'état des lieux est d'environ 400 installations par an soit plus de la moitié inférieur à celui requis pour atteindre les objectifs du Grenelle.

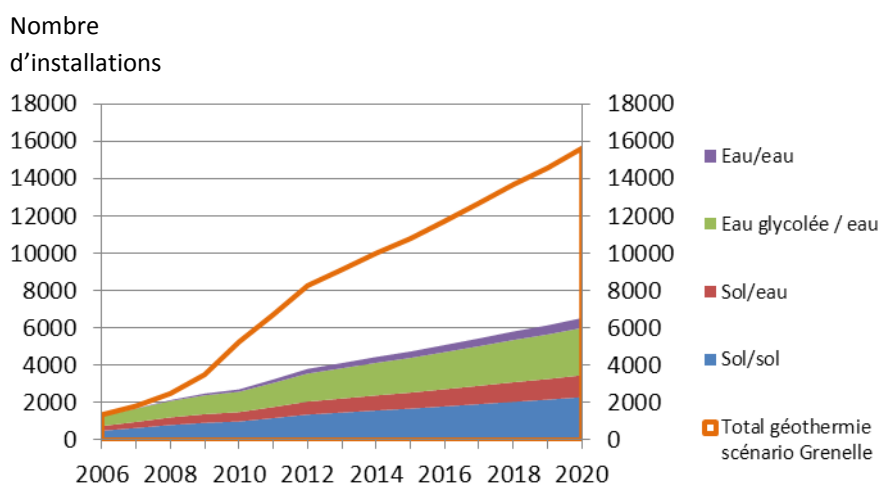
Graphique 15 : comparaison du nombre théorique d'installations annuelles en Basse-Normandie suivant un scénario Grenelle et du nombre d'installations existantes estimées à partir de l'état de lieux par type de technologie*



*à partir de 2010, une extrapolation des installations est réalisée suivant une évolution du rythme d'installation identique à celui du Grenelle

En considérant un rythme de développement des installations identique à celui constaté à l'échelle nationale et en reportant le scénario tendanciel à la Basse-Normandie, le nombre d'installations totales en 2020 serait d'environ 6000.

Graphique 16 :
comparaison du
nombre d'installations
cumulées en Basse-
Normandie suivant une
évolution type scénario
Grenelle et type
scénario tendanciel



Si la scénarisation tendancielle semble la plus plausible au vu du contexte actuel, elle met également en exergue un écart d'environ 10000 installations avec le scénario Grenelle. Celle-ci serait donc totalement incompatible avec les objectifs de l'état.

D'un point de vue général, il apparaît à l'issue de cette étude de potentiel que les objectifs Grenelle concernant la géothermie seront difficilement atteignables pour la région Basse-Normandie. En effet, l'effort à fournir est tel que seule une très forte incitation des pouvoirs publics pourrait permettre de s'en rapprocher.

A court terme, la prise en compte des PAC dans la RT2012 peut être décisive dans la pénétration du marché de la géothermie.