



Section Etudes  
et Climatologie

BP 49139  
35091 RENNES Cedex 9

Réalisation :

**Martine BAILLON**  
**Franck BARAER**

*Etude réalisée*  
*par*  
**METEO-FRANCE**  
*Ouest*  
*pour la*



# Les pluies extrêmes

## EN

# BASSE-NORMANDIE



## CALCUL DES DURÉES DE RETOUR DES PLUIES DE 1 À 10 JOURS

Décembre 2001

# Les pluies extrêmes en Basse-Normandie

**Calculs de durées de retour des fortes précipitations**

**Etude commandée par la DIREN Basse-Normandie (Hérouville Saint-Clair)  
Réalisée par Météo-France (Direction Interrégionale Ouest Rennes)  
décembre 2001**

# Sommaire

## **1) Contexte de l'Etude** (page 3)

## **2) Selection des postes climatologiques** (pages 3 à 9)

2.1 Le réseau pluviométrique en Basse-Normandie

2.2 Critères de sélection des séries

2.3 Méthode d'ajout de séries

2.4 Liste et carte du Réseau utilisé

## **3) Calcul des durées de retour** (pages 9 à 16)

3.1 Explications des deux méthodes : Gumbel et Renouvellement

3.2 Critères de traitement des données manquantes

3.3 Périodes et pas de temps pris en compte

3.4 Limite d'utilisation des résultats

## **4) Présentation et interprétation des résultats** (pages 17 à 24)

4.1 Techniques de spatialisation

4.2 Différence entre les méthodes

4.3 Comparaison aux normales de pluies annuelles

4.4 Cartographie des pluies hivernales de un à dix jours

## **5) Etude des pluies au pas de temps inférieur à la journée** (pages 25 à 28)

5.1 Restrictions

5.2 Analyse des résultats

5.3 Coefficients de Weiss

## **6) Données anciennes : Analyse de longues séries mensuelles** (pages 29 et 30)

## **7) Conclusion et perspectives** (page 31)

## **8) Annexes : tableaux de durées de retour par poste** (pages 32 à 197)

## **1) Contexte de l'Etude**

Cette étude des pluies extrêmes en Basse-Normandie a été commandée en novembre 2001 par la DIREN. Elle a pour but de faire une synthèse des événements pluvieux remarquables en prenant en compte les fortes pluies de ces dernières années.

Les bases de données de Météo France contiennent un très grand nombre de données de pluies quotidiennes qui permettent de faire un inventaire des situations à fortes pluies sur ces cinquante dernières années.

Néanmoins, l'hétérogénéité des séries de mesure, leur profondeur et le traitement des données manquantes peuvent s'avérer fastidieux. Nous avons donc choisi une approche par le calcul des durées de retour. Cette méthode permet de mieux synthétiser l'ensemble des données disponibles. Elle permet de s'affranchir d'un bon nombre de problèmes liés à la qualité des séries de données. Cependant, ce calcul de durées de retour devra s'effectuer dans un cadre bien précis que nous détaillerons dans un chapitre de l'Etude.

Les calculs des durées de retour ont été effectués par Martine Baillon de la Direction de la Climatologie de Météo-France à Toulouse (division HYDRO). La sélection des séries de mesure nécessaires à l'étude s'est effectuée en collaboration avec les Centres Départementaux de Météo-France concernés. La coordination a été effectuée à Rennes par Franck Baraer, à la Direction Interrégionale Ouest, section Etudes et Climatologie.

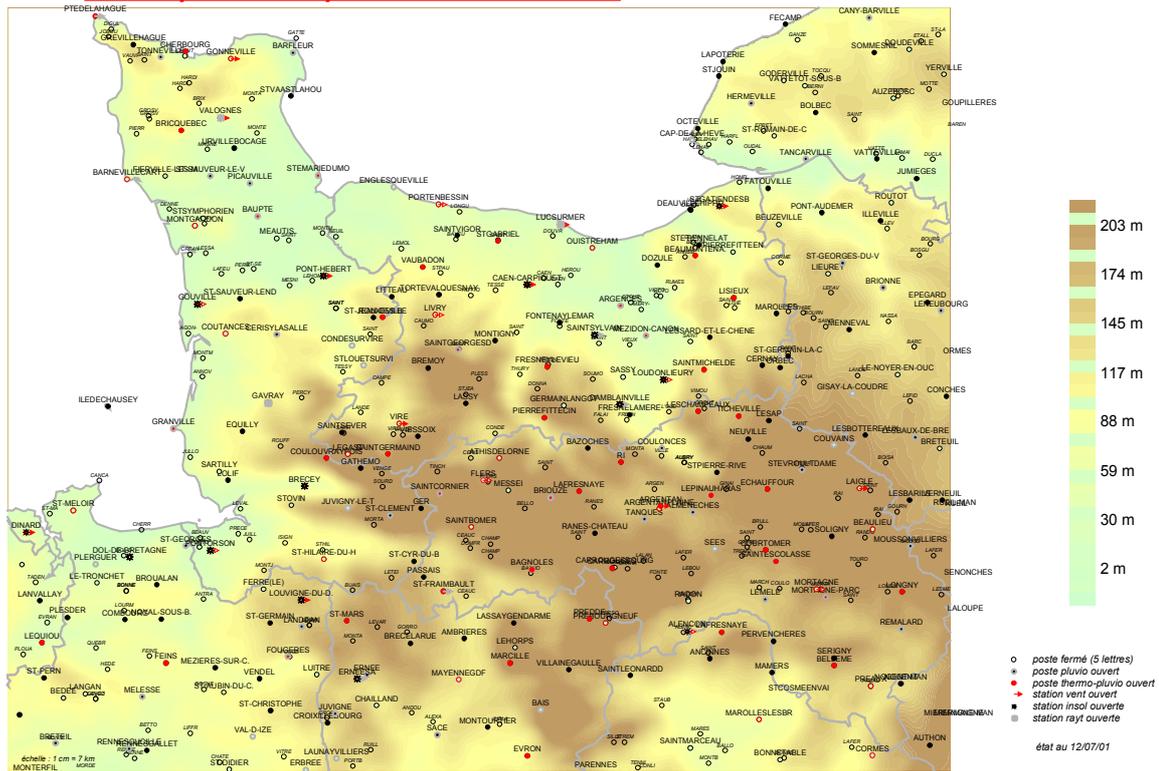
## **2) Sélection des postes climatologiques**

### **2.1 Le réseau pluviométrique en Basse-Normandie**

Le réseau de mesures de pluviométrie quotidienne en Basse-Normandie est assez dense avec en moyenne 50 points de mesures par département. On rappelle que ces pluies quotidiennes sont mesurées sur un jour fixe, de 6 heures le jour J à 6 heures le jour J+1. Les précipitations aux pas de temps inférieurs à la journée sont traitées dans un chapitre spécifique (voir chap 5).

Pour cette étude sur les pluies extrêmes, on ne pourra pas utiliser tous les postes potentiels qui figurent dans la carte ci-après.

## Réseau pluviométrique de Basse-Normandie



Un grand nombre de postes est inutilisable pour une telle étude. Certains sont fermés depuis très longtemps, d'autres ne sont ouverts que depuis quelques années. Enfin, on note un nombre non négligeable de données manquantes ou douteuses sur certains postes figurant sur cette carte. Il est donc nécessaire de faire un travail important d'expertise sur cette multitude de données disponibles avant de les traiter.

### 2.2 Critères de sélection des séries

Les séries de mesures retenues pour le calcul des durées de retour ont été choisies selon les critères suivants :

- Poste climatologique encore ouvert à l'automne 2001 (pour prendre en compte les pluies exceptionnelles de ces deux dernières années)
- Au moins 30 ans de données sans interruption de plus de 3 mois consécutifs
- Au moins 98 % de données disponibles sur la période retenue
- Validation de la qualité de ces postes après expertise des Centres départementaux de Météo France
- Pour les postes ayant des données très anciennes (voir tableaux ci-après), nous avons choisi de prendre en compte les données postérieures au 1/1/1920. Ce choix a été fait par souci de cohérence et pour ne pas prendre en compte les données du début de siècle parfois douteuses au pas de temps quotidien.

Ces critères ne doivent pas être trop restrictifs, sinon on obtient une densité du réseau beaucoup trop faible. Ils doivent cependant être assez sévères pour que le calcul des durées de retour ait un sens. En fonction de ces critères, on obtient une première liste de **60** postes disponibles sur les 3 départements de Basse-Normandie et les zones limitrophes (une dizaine de postes en limite des départements 35, 53, 72, 27, 28 et 76). Ces postes supplémentaires hors région Basse-Normandie, ont été pris en compte pour des raisons hydrologiques (les fleuves et rivières ignorent bien entendu les limites administratives).

Après examen de cette première liste de postes disponibles, il s'avère que la densité du réseau est parfois insuffisante dans certaines zones (partie Sud du département de la Manche, partie Sud-Ouest de l'Orne...). Nous avons donc effectué des recherches pour ajouter d'autres points de mesure à ce réseau.

### 2.3 Méthode d'ajout de séries

La grande majorité des postes climatologiques que nous allons utiliser sont tenus par des observateurs bénévoles. Leurs mesures sont vérifiées systématiquement par les services de Météo-France. Il arrive parfois que des séries de mesures soient interrompues pour des raisons diverses (changement d'observateur, déplacement d'un point de mesures au sein d'une même commune, etc...).

On peut donc reconstituer des séries chronologiques de bonne qualité en juxtaposant ces données dans certains cas particuliers. Cette méthode est souvent utilisée lorsqu'on étudie des séries pluviométriques historiques. Elle ne peut s'effectuer qu'en respectant des critères bien précis.

Après examen approfondi de l'historique du réseau de mesures, nous avons sélectionné 7 séries supplémentaires. Pour l'ensemble de ces points de mesures, on a vérifié l'homogénéité de la mesure en comparant les échantillons de données avant et après le déménagement du point de mesure. Celui-ci doit en effet s'effectuer au sein d'une zone climatologique homogène (en général dans un rayon de quelques kilomètres et à altitude et versant du relief comparables).

Les 7 séries supplémentaires sélectionnées sont les suivantes :

Poste 1	Poste 2	Date de Déplacement	Série juxtaposée
14047001 Bayeux	14663001 St Vigor	01/01/92	14047111 Bayeux+
14727001 Vaubadon	14643001 St Paul	01/05/00	14727111 Vaubadon+
14226001 Fresney le Vx	14291002 Donnay	01/06/88	14226111 Fresnay+
35162002 Louvigné	35162003 Louvigné	01/05/87	35162111 Louvigné+
61369001 St Bomer	61145001 Domfront	01/01/97	61369111 St Bomer+
61022001 Bagnoles	61022004 Bagnoles	01/05/90	61022111 Bagnoles+
61293001 Mortagne	61293003 Mortagne	01/09/93	61293111 Mortagne+

On remarquera que les dates de déplacement de ces postes sont souvent assez récentes. Les numéros des séries finales ont été affectés d'un suffixe « 111 » pour éviter toute confusion avec les séries incomplètes affectées de suffixes 001 à 005.

## 2.4 Liste et Carte du Réseau utilisé (avec nombre d'années prises en compte)

Le réseau final des 67 séries de mesures utilisées pour cette étude figure dans le tableau suivant. Pour chaque poste, on indique notamment l'altitude, la date du début des mesures et le pourcentage de données présentes.

Indicatif	Nom	altitude (m)	Lambx	Lamby	Début des calculs	% données
61001001	Alencon	144	4344	23839	01/08/45	100
72005001	Ancinnes	179	4399	23773	01/10/56	99
61007001	Athis	235	3890	24262	01/01/68	100
28018001	Authon	223	4931	23562	01/01/45	99
61022111	Bagnoles+	150	3969	23990	01/02/51	99
50036001	Baupte	4	3306	24851	01/07/46	98
14047111	Bayeux+	50	3758	24795	01/01/45	99
14096001	Bremoy	240	3718	24481	01/01/45	99
50082001	Bricquebec	34	3121	25060	01/02/69	100
14137001	Carpiquet	64	3957	24685	01/10/44	100
61074002	Carrouges	325	4169	23995	01/08/70	99
50111001	Cerisy	135	3352	24563	01/01/51	99
14147001	Cernay	184	4526	24488	01/07/70	99
50139001	Conde	25	3532	24545	01/04/68	100
50144001	Coulouvray	250	3472	24262	01/11/51	99
50147001	Coutances	60	3228	24565	<b>01/07/74</b>	99
61136001	Couvains	251	4699	24294	01/01/68	100
14229001	Dozule	30	4272	24732	01/07/67	98
61150003	Echauffour	285	4538	24186	01/03/68	100
14239001	Englesqueville	38	3635	24922	01/02/58	100
50183001	Fierville	72	3082	24949	01/10/71	99
14226111	FresnayVx+	176	4008	24490	01/07/70	99
50200001	Ger	306	3701	24139	01/01/51	98
14588001	Germain Langot	195	4046	24390	01/07/70	99
27283001	Gisay	185	4744	24419	01/01/71	100
50209001	Gonneville	135	3241	25235	01/01/56	99
50020001	La Hague	3	2913	25339	01/01/51	99
76552001	La Heve	100	4356	25037	01/01/46	98
53127004	Lassay	202	3925	23860	01/09/50	99
14357001	Lassy	180	3809	24395	01/01/67	99
61328001	Le Pin	205	4402	24171	01/01/61	100
61460001	Le Sap	240	4542	24353	01/02/51	99
14366002	Lisieux	45	4457	24652	01/07/70	100
50276001	Lolif	72	3234	24208	01/06/70	99
61230001	Longny	221	4864	23936	01/06/67	100

14624001	Loudon	60	4287	24453	01/08/63	99
35162111	Louvigné+	170	3431	23854	01/09/70	99
72180001	Mamers	120	4549	23739	01/01/51	99
27398001	Menneval	162	4736	24575	01/08/59	99
14446001	Montigny	140	3880	24548	01/07/70	100
61293111	Mortagne+	270	4657	23942	01/01/62	99
28280001	Nogent	131	4861	23712	01/01/45	99
53185001	Pre	232	4108	23870	01/01/28	98
61337004	Preaux	140	4788	23706	01/01/68	99
27467001	Pt Audemer	7	4670	24860	01/01/45	99
61341001	Radon	165	4347	23913	01/03/68	98
61345001	Remalard	160	4862	23845	01/01/51	99
61349001	Ri	226	4184	24252	01/01/70	100
28322001	Rueil	152	4991	24138	01/10/47	100
61464001	Sees	187	4411	24041	01/01/52	100
61038001	Serigny	233	4700	23774	01/01/51	100
61369111	St Bomer+	225	3822	24094	01/01/51	99
61377001	St Cornier	315	3746	24175	01/01/51	99
14578001	St Gatien	143	4422	24876	01/01/61	100
14579002	St Georges	185	3790	24526	01/07/70	100
35270002	ST Georges	9	3132	24048	<b>01/11/72</b>	99
14584001	St Germain	200	3621	24272	01/12/67	99
72294001	St Leonard	131	4207	23732	01/06/53	98
53238002	St Mars	212	3521	23865	01/01/54	99
50531001	St Ovin	175	3387	24147	01/06/70	99
14658002	St Sever	230	3510	24324	01/09/71	100
14659001	St Sylvain	63	4120	24562	01/12/72	99
50562001	St Vaast	17	3386	25144	01/01/51	98
61454001	Ste Scolasse	210	4559	24010	01/01/70	99
61479001	Tanques	180	4241	24113	01/01/51	100
14727111	Vaubadon+	102	3705	24727	01/07/70	99
14762001	Vire	120	3648	24346	01/07/70	98

Dans le tableau ci-dessus, deux postes ont une date de début des mesures postérieure à 1971. Il s'agit de Coutances (1974) et St Georges d'Ille-et-Vilaine (1972). Ils ont néanmoins été traités comme les autres postes compte tenu de leur position intéressante au sein du réseau.

En pointant l'ensemble des postes utilisés sur une carte, on s'aperçoit que la densité du réseau est correcte même s'il reste quelques zones sans point de mesures notamment dans le département de la Manche. On remarque néanmoins qu'il existe un bon nombre de postes dans les zones à fort gradient de précipitations (notamment la zone du Bocage, limitrophe des départements de la Manche, de l'Orne et du Calvados).

## Carte des postes utilisés pour le calcul des durées de retour



On notera par ailleurs que le poste de Granville n'a finalement pas été retenu. Il possède pourtant une série de données complète et suffisamment longue. La représentativité de ce point de mesures est cependant très limitée. Le pluviomètre est situé près du sémaphore en haut de falaise. Il sous-estime nettement les pluies (qui tombent souvent par vent fort en bord de mer).

### 3) Calcul des durées de retour

#### 3.1 Explications des deux méthodes Gumbel et Renouvellement

Les durées de retour des précipitations ont été calculées sur les pluies mesurées quotidiennement de 06h à 06h (en temps universel coordonné). Le calcul est effectué par deux méthodes différentes que nous détaillons ci-dessous. Ces méthodes sont couramment utilisées en hydrologie. Elles ont été validées par de nombreuses études du même type.

Pour chaque point de mesures, nous avons effectué ces calculs en prenant la profondeur maximale de données. Ainsi, pour certains postes, ce calcul porte sur les pluies quotidiennes sur 80 ans...Compte tenu des critères de choix du réseau utilisés détaillés au chapitre précédent, cette profondeur de calcul est au minimum de 30 ans.

Lorsqu'on travaille sur des pluies extrêmes, il est préférable de confronter au moins deux méthodes. Chacune a ses limites, la valeur calculée sera d'autant plus fiable que les hauteurs d'eau obtenues par les deux méthodes sont très proches (pour une durée de retour, un cumul en jour et sur une période de l'année fixée).

##### 3.1.1 Méthode de Gumbel

Cette méthode consiste à ne retenir, pour l'intervalle de temps considéré, qu'une valeur de pluie maximale par année. L'ajustement se fait ensuite, en classant les événements retenus par ordre croissant. Les fréquences cumulées expérimentales des extrêmes annuels sont ensuite ajustées par une loi statistique dite de Gumbel.

On porte ainsi en abscisse les durées de retour observées en calculant les fréquences cumulées expérimentales  $F$  (en réalité, on pointe  $-\ln(\ln F)$  sur  $n+1$  valeurs). En ordonnée, on indique les valeurs de pluie quotidienne maximales observées correspondant à cette fréquence.

Le nuage de points s'ajuste en général assez bien par une droite. L'ajustement se fait par la méthode des « moments ». Des essais ont été effectués par la méthode des « moindres carrés » et celle du « maximum de vraisemblance ». Ils montrent que les résultats obtenus sont très proches et que les intervalles de confiance se recourent franchement.

L'ajustement est parfois de moindre qualité notamment en cas de valeurs exceptionnellement élevées dans l'échantillon (par exemple une forte pluie d'orage à plus de 100 mm en un jour comme c'est le cas dans certaines des stations retenues, par exemple Bremoy : 111 mm le 10 juillet 1995).

L'ajustement de Gumbel ne prend en compte qu'une seule valeur par période de l'année. Certaines valeurs intéressantes (situées au 2<sup>e</sup> ou 3<sup>e</sup> rang de la période considérée) sont donc ignorées avec cette méthode. C'est notamment le cas pendant les années très pluvieuses.

Un intervalle de confiance à 70 % est fourni avec chaque hauteur d'eau correspondant à une durée de retour donnée. Il permet d'estimer la précision de l'ajustement.

### 3.1.2 Méthode du Renouvellement

Cette deuxième méthode est beaucoup plus complexe. Elle a été développée par EDF dans le cadre de prévision de crues (J. Miquel), et adaptée par Météo-France au calcul de durées de retour de pluies extrêmes (P. Boiret). Son principal avantage est la possibilité de conserver plus d'un événement par période considérée contrairement à la méthode de Gumbel. Elle permet de ce fait de traiter des échantillons plus courts car plus étoffés.

Son principe est le suivant :

- En pratique, dans le cas des pluies quotidiennes, on sélectionne un échantillon de départ correspondant aux  $5*N$  plus fortes valeurs sur la période pour le poste considéré ( $N$  = nombre d'années). C'est cet échantillon de départ qui est joint à l'étude.
- Après s'être assuré de l'indépendance des événements sélectionnés, on constitue un deuxième échantillon de travail. Il est composé des nombres annuels d'événements sélectionnés et nommé couramment échantillon des nombres de dépassements. (Le premier échantillon contient les hauteurs de pluie proprement dites.)
- La phase suivante a pour but d'ajuster les deux échantillons ainsi constitués à l'aide de lois statistiques connues. Les hauteurs sont ajustées, si possible, par une loi exponentielle simple (à un paramètre). Les nombres annuels de dépassements sont ajustés soit par une loi de Poisson (à un paramètre), soit par une loi binomiale négative (à deux paramètres) ou par une loi asymptotique.
- Pour cela, la valeur du seuil est initialisée à la hauteur minimale présente dans l'échantillon de départ. Elle est ensuite incrémentée de manière itérative tant que l'on a plus de  $N$  valeurs dans l'échantillon. Les valeurs des seuils testées et les qualités des ajustements correspondants sont stockées simultanément (distance au  $\chi^2$ ). On retient le seuil qui permet le « meilleur » ajustement pour effectuer les calculs. A ce moment, l'échantillon s'est généralement considérablement réduit (entre  $N$  et  $3*N$  valeurs au maximum).
- On peut alors évaluer les valeurs du paramètre étudié pour les durées de retour : 2, 5, 10...100, 150 ans. Un intervalle de confiance à 70 %, associé au quantile calculé, permet d'estimer la précision des ajustements réalisés.

Une des limites de cette méthode du renouvellement est que l'ajustement peut parfois ne pas s'effectuer. Ce problème est inhérent à la méthode. Pour cette étude, cet ajustement n'a pu s'effectuer pour les 3 échantillons suivants :

- Cernay (14147001) pour l'hiver (P2) et des cumuls de 5 jours
- Pré (53185001) pour l'hiver (P2) et un cumul d'un jour
- Athis de l'Orne (61007001) pour l'hiver (P2) et un cumul d'un jour

Le nombre de cas où l'ajustement par la méthode du renouvellement n'a pu se faire est heureusement très faible (3 cas sur près de 1000).

### 3.2 Critères de traitement des données manquantes

Malgré les critères de choix des postes retenus pour cette étude, il est important de préciser comment ont été traitées les données manquantes. Les pratiques en vigueur à la Direction de la Climatologie de Météo-France imposent de ne pas traiter une année de données lorsqu'au moins 30 jours sont manquants. Le nombre d'années traitées et les échantillons de valeurs de pluies maximales par année (disponibles dans le CDROM annexé à ce rapport) permettent de constater que les données manquantes sont relativement peu nombreuses après 1950 dans les séries chronologiques traitées.

### 3.3 Périodes prises en compte et pas de temps

La DIREN Basse Normandie a souhaité un calcul sur deux périodes de l'année :

- L'année complète du 1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre (notée P1) jusqu'au 31/12/2000.
- L'hiver Hydrologique du 1<sup>er</sup> octobre au 30 avril (notée P2) jusqu'au 30/04/2001.

La seconde période P2 a l'avantage de correspondre à une distribution de précipitations bien particulière. Pendant ces mois d'octobre à avril, elles sont souvent liées au passage des perturbations océaniques. Les pluies se produisent alors à grande échelle avec des intensités moyennes de 2 à 3 mm par heure. Des cumuls moyens de 10 à 30 mm sont ainsi souvent enregistrés pendant un laps de temps d'une douzaine d'heures.

En revanche, pendant les mois d'été de mai à septembre, on a le plus souvent des pluies « convectives » avec des intensités horaires beaucoup plus fortes (5 à 10 mm en moyenne parfois beaucoup plus sous orage...). Ces précipitations sont beaucoup plus dispersées qu'en hiver.

Compte tenu des données disponibles et des considérations hydrologiques, les calculs ont été effectués pour des cumuls de 1 à 5 jours puis de 6, 8 et 10 jours).

Pour chaque période retenue, chaque cumul et chaque méthode de calcul, on fournit les hauteurs d'eau correspondant aux durées de retour de 2, 5, 10, 20, 50, 100 et parfois 150 ans si l'échantillon est suffisant. On considère généralement que la limite d'extrapolation de telles données est de 3 à 4 fois le nombre d'années présentes dans l'échantillon.

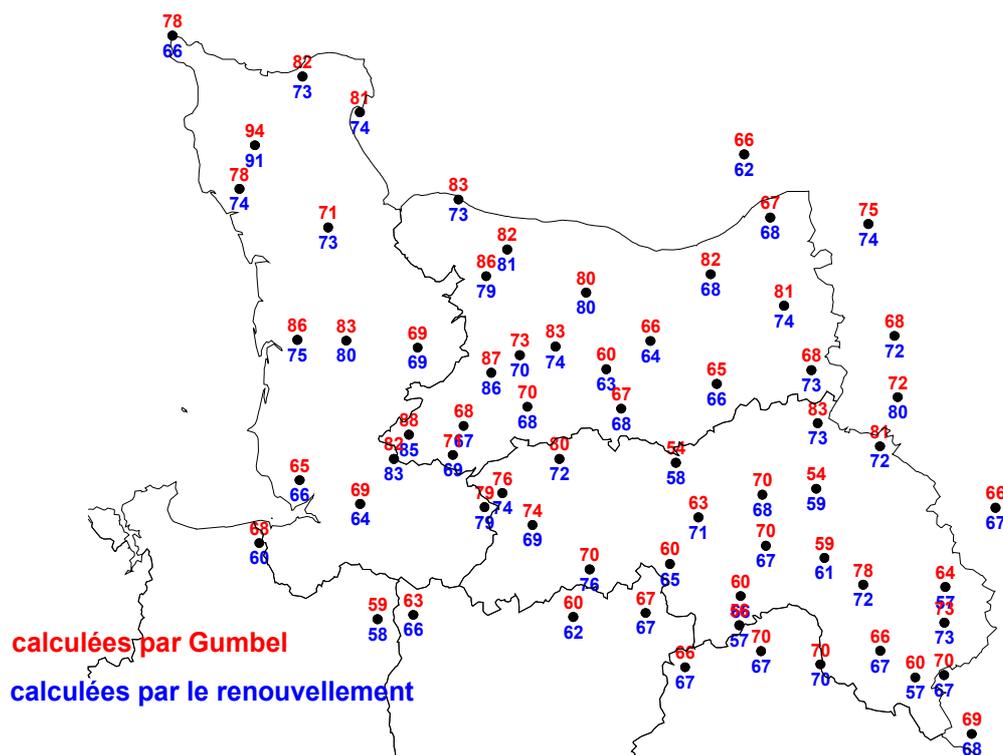
Par exemple, on ira pas au-delà des pluies centennales pour un poste ayant 30 ans de mesures de pluies quotidiennes.

### 3.4 Limites d'utilisation des résultats

#### 3.4.1 Différence entre les deux méthodes pour un cas particulier

Sur la carte suivante, on a pointé les différentes hauteurs d'eau obtenues pour un cumul en un jour, une durée de retour 100 ans sur la période P1 et par les deux méthodes de calcul (Gumbel en rouge, Renouvellement en bleu).

#### Pluies centennales en un jour Année complète (P1) : Comparaison des hauteurs d'eau



a) Hauteur d'eau par Gumbel supérieure à celle calculée par le Renouvellement

On peut constater sur cette carte que les différences sont souvent très faibles (de l'ordre de quelques mm dans environ 2/3 des cas au profit de la méthode de Gumbel). Néanmoins, cette différence atteint plus de 10 mm sur certains postes (soit 15 à 25% sur cet exemple de pluies centennales en un jour). Les plus grandes différences s'obtiennent pour les postes suivants :

- Dozule, Montigny et Englesqueville dans le Calvados
- Coutances et la Hague dans la Manche
- Le Sap dans l'Orne et Gisay dans l'Eure

Ces différences s'expliquent souvent par la présence d'orages d'été qui « tirent » les ajustements de Gumbel vers le haut. C'est notamment le cas sur les échantillons suivants :

Pour la Hague, un gros orage d'été à plus de 100 mm est présent dans l'échantillon. La deuxième valeur dépasse à peine 60 mm. Ces différences expliquent à elles seules l'écart important sur les hauteurs d'eau centennales (78 mm pour Gumbel, 66 mm pour la méthode du renouvellement).

Pour Montigny, on relève les fortes pluies d'orage d'été suivantes (qui constituent les 4 plus fortes valeurs de l'échantillon de 30 ans...) :

Pluie en mm	Date
81,2	29/07/78
76,8	01/07/94
54,3	22/05/71
51,6	23/06/83

Pour Englesqueville, de fortes pluies d'hiver sont présentes dans l'échantillon. On note cependant les fortes pluies estivales suivantes (en gras) :

Pluie en mm	Date
88,2	13/10/93
<b>84,3</b>	10/06/82
70,7	25/10/60
<b>52,8</b>	02/08/99
49,1	26/11/61
<b>49,1</b>	14/07/87
<b>48</b>	02/08/01

Et enfin pour Dozule : les 3 plus fortes pluies en un jour se sont produites en été :

Pluie en mm	Date
88,5	26/06/97
60,3	20/08/75
56,7	20/06/73

Ces exemples illustrent bien l'un des défauts de la méthode de Gumbel sur l'année entière. Celle-ci a tendance à « tirer » les ajustements vers le haut à cause de ces orages d'été. L'écart entre les hauteurs d'eau calculées par les deux méthodes diminue avec les durées de retour. Il est au maximum de 10 % pour les pluies décennales sur les exemples ci-dessus. La différence entre ces hauteurs d'eau est encore moins importante sur la période hivernale P2 où on ne tient pas compte, bien sûr, des orages estivaux.

b) Hauteur d'eau par la méthode du Renouveaulement supérieure à celle obtenue par Gumbel

Deux postes se distinguent sur notre exemple de pluies centennales en 1 jour. L'écart atteint plus de 10 % au profit de la méthode du Renouveaulement sur Tanques et Gisay.

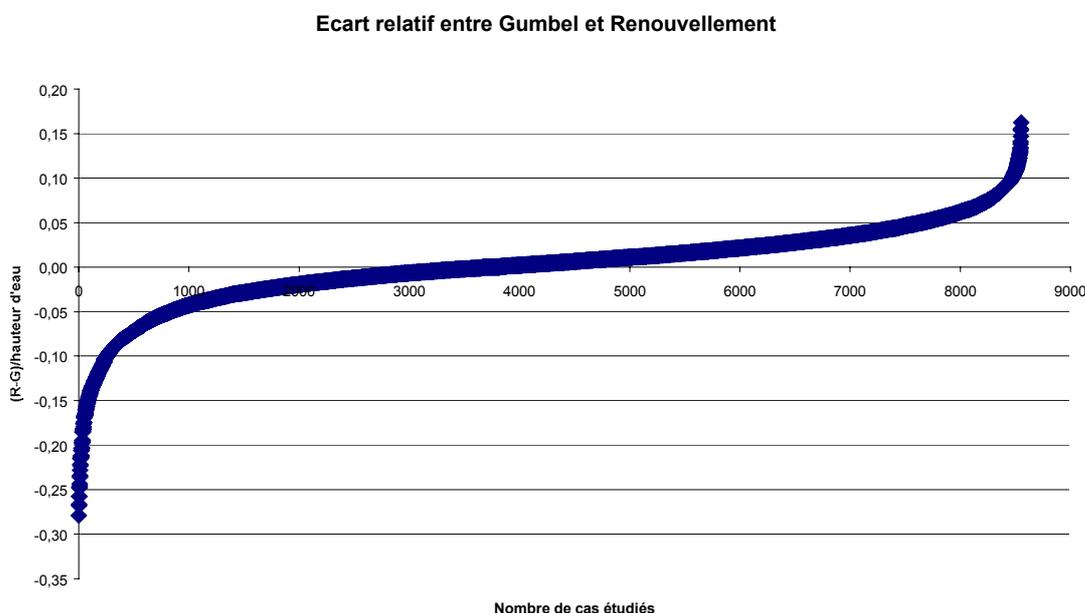
Pour Tanques, cette différence peut s'expliquer par l'absence d'orages d'été dans l'échantillon (pluie maximale 60 mm le 18/10/1986).

Pour Gisay, l'examen de l'échantillon montre un grand nombre d'événements de pluies modérées (par exemple le seuil de 20 mm/jour a été dépassé 11 fois en 2000, 6 fois en 1999...). C'est sans doute pour ces raisons que le calcul par la méthode du Renouveaulement donne des pluies centennales plus fortes que celles calculées par la méthode de Gumbel.

### 3.4.2 Différence entre les deux méthodes : cas général

Pour l'ensemble des durées de retour calculées ( de 2 à 100 ans, par deux méthodes, deux périodes et des cumuls de 1 à 10 jours), nous avons comparé les hauteurs d'eau obtenues.

L'écart relatif (Différence (Renouveaulement-Gumbel)/hauteur d'eau Renouveaulement) est présenté dans le graphique suivant. Ces écarts relatifs sont classés par ordre croissant.



On constate que pour la grande majorité (80 % environ) des 8500 données comparées, l'écart relatif est inférieur à 5 %. Néanmoins, cet écart dépasse 20 % pour un nombre non négligeable de cas, surtout au profit de la méthode de Gumbel. C'est notamment le cas pour des cumuls d'un jour à cause de l'influence des orages d'été. On rappelle que les estimations sont d'autant plus fiables que les valeurs obtenues par les deux méthodes sont proches.

### 3.4.3 Etude des fortes précipitations quotidiennes

Le tableau ci-dessous recense les hauteurs d'eau maximales (en mm) observées sur l'échantillon étudié pour chaque poste climatologique. Les mois d'hiver sont en caractères gras.

Indicatif	Poste	Pluie max en 1 jour	jour	mois	année
14047111	Bayeux+	84	08	<b>11</b>	1979
14096001	Bremoy	111	10	07	1995
14137001	Carpiquet	86	29	07	1978
14147001	Cernay	57	03	07	1975
14226111	FresneyVx+	62	20	06	1992
14229001	Dozule	88	26	06	1997
14239001	Englesqueville	88	13	<b>10</b>	1993
14357001	Lassy	68	12	07	1977
14366002	Lisieux	89	16	06	1997
14446001	Montigny	81	29	07	1978
14578001	St Gatien	68	01	<b>10</b>	1952
14579002	St Georges	78	29	07	1978
14584001	St Germain	61	24	<b>10</b>	1998
14588001	Germain Langot	64	20	06	1992
14624001	Loudon	58	02	08	1999
14658002	St Sever	83	21	06	1986
14659001	St Sylvain	90	10	<b>01</b>	1993
14727111	Vaubadon+	59	20	08	1975
14762001	Vire	61	07	<b>10</b>	1987
27283001	Gisay	78	03	07	1975
27398001	Menneval	63	04	07	1975
27467001	Pt Audemer	72	12	08	1997
28018001	Authon	81	14	08	1972
28280001	Nogent	75	20	07	1992
28322001	Rueil	62	15	09	1986
35162111	Louvigné+	55	04	<b>10</b>	1982
35270002	ST Georges	62	04	<b>10</b>	1982
50020001	La Hague	128	04	06	1924
50036001	Baupte	74	13	<b>10</b>	1993
50082001	Bricquebec	92	11	06	1993
50111001	Cerisy	80	21	06	1986
50139001	Conde	71	01	07	1994
50144001	Coulouvray	72	24	<b>10</b>	1998
50147001	Coutances	84	8	<b>11</b>	1979
50183001	Fierville	68	11	06	1993
50200001	Ger	66	24	<b>10</b>	1998

50209001	Gonneville	88	27	<b>10</b>	1966
50276001	Lolif	66	16	05	1994
50531001	St Ovin	62	04	<b>10</b>	1982
50562001	St Vaast	87	06	07	1969
53127004	Lassay	62	24	<b>10</b>	1966
53185001	Pre	88	18	07	1994
53238002	St Mars	60	13	09	1993
61001001	Alencon	54	22	07	1963
61007001	Athis	88	23	07	2000
61022111	Bagnoles+	75	06	06	1958
61038001	Serigny	57	21	<b>01</b>	1995
61074002	Carrouges	58	15	<b>11</b>	1974
61136001	Couvains	83	22	06	1983
61369111	St Bomer+	90	01	07	1953
61150003	Echauffour	50	04	07	1975
61230001	Longny	65	15	09	1986
61293111	Mortagne+	64	19	<b>06</b>	1991
61328001	Le Pin	73	23	07	2000
61337004	Preaux	55	23	<b>11</b>	1969
61341001	Radon	55	21	<b>01</b>	1995
61345001	Remalard	87	26	07	1955
61349001	Ri	50	20	06	1992
61377001	St Cornier	70	10	<b>01</b>	1993
61454001	Ste Scolasse	53	05	08	1997
61460001	Le Sap	88	21	<b>10</b>	1955
61464001	Sees	70	28	8	1958
61479001	Tanques	60	18	<b>10</b>	1986
72005001	Ancinnes	70	03	07	1975
72180001	Mamers	70	02	08	1999
72294001	St Leonard	59	24	06	1971
76552001	La Heve	73	05	06	1983

On remarque que, pour environ 2/3 des postes, les pluies maximales en un jour ont eu lieu pendant la période estivale. Elles sont très probablement liées à des orages et ont donc une influence hydrologique relativement faible.

L'examen d'un tel tableau permet en outre de détecter d'éventuelles données aberrantes. Pour l'ensemble des pluies d'hiver les plus fortes, nous avons vérifié que les valeurs dans les postes environnants étaient compatibles avec ces plus fortes valeurs de l'échantillon. En revanche, il est tout à fait possible en été d'avoir 100 mm sur un poste et rien à quelques kilomètres de distance.

Ainsi, le poste de Mamers, situé à la limite entre la Sarthe et l'Orne présentait 3 données aberrantes en 1948 et 1949 (deux journées d'hiver consécutives à plus de 100 mm alors qu'il n'est tombé que 5 à 10 mm sur les postes environnants ces mêmes jours. Nous avons donc décidé de ne commencer les calculs qu'en 1950 sur ce poste.

Des données douteuses ont également été détectées sur d'autres postes. Par exemple, l'année 1937 n'a pas été traitée à Pont-Audemer (données en 1/10<sup>e</sup> de mm au lieu de mm !).

## 4) Présentation et interprétation des résultats

### 4.1 Techniques de spatialisation

Pour spatialiser les précipitations, on utilise très fréquemment le krigeage simple. Cette technique est utilisée en opérationnel par les services de Météo France Ouest. Elle donne de bons résultats avec des champs de précipitations assez réguliers (cas typique des pluies d'hiver). Les perturbations océaniques de grande échelle (de l'ordre de quelques centaines de km) donnent généralement une distribution de pluie assez régulière sur la Basse Normandie. Celle-ci peut être traduite en points de grille grâce au krigeage si on dispose d'un réseau de mesures suffisamment dense.

En revanche, les orages d'été donnent un champ de pluie très aléatoire avec parfois de très forts gradients. L'utilisation du krigeage doit se faire avec beaucoup de précaution. Cette technique a tendance à donner une trop grande extension géographique aux orages d'été (souvent localisés sur quelques kilomètres carrés).

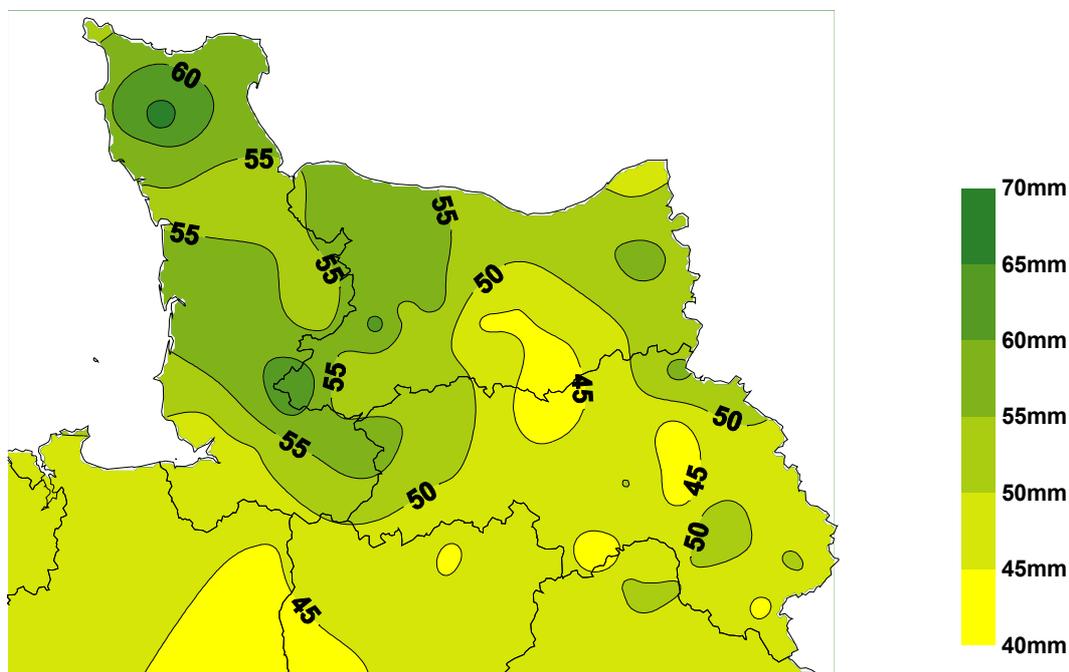
Pour cette étude des pluies extrêmes, on peut donc utiliser cette technique de spatialisation avec une bonne confiance si on travaille sur la période P2 (hiver hydrologique). Par contre, il convient de l'utiliser avec une très grande prudence sur la période P1 (année complète) qui prend en compte la distribution aléatoire des orages d'été.

Des essais ont été effectués par d'autres méthodes de spatialisation (méthodes de Shepard, du « plus proche voisin », fonctions radiales de base etc...). Le krigeage simple est la méthode qui semble le mieux convenir aux distributions de précipitations dans le nord-Ouest de la France.

### 4.2 Différence suivant les méthodes et les périodes de l'année considérées

Nous avons spatialisé par krigeage les hauteurs d'eau obtenues par la méthode de Gumbel pour un cas particulier (année complète, pluie en un jour de durée de retour 10 ans). On constate sur la carte suivante un maximum de hauteurs décennales (55 à 60 mm) à l'ouest de la plaine de Caen. Cette zone correspond plutôt à une zone moins arrosée que le secteur du Bocage Virois. Il s'agit donc d'un exemple de l'effet des orages d'été sur les hauteurs d'eau calculées par Gumbel. Cette anomalie positive disparaît lorsqu'on consulte les cartes sur l'hiver hydrologique (période P2).. Elle est, par ailleurs, moins marquée par la méthode du Renouvellement sur l'année complète.

## Pluies decennales en un jour, année complète, par Gumbel

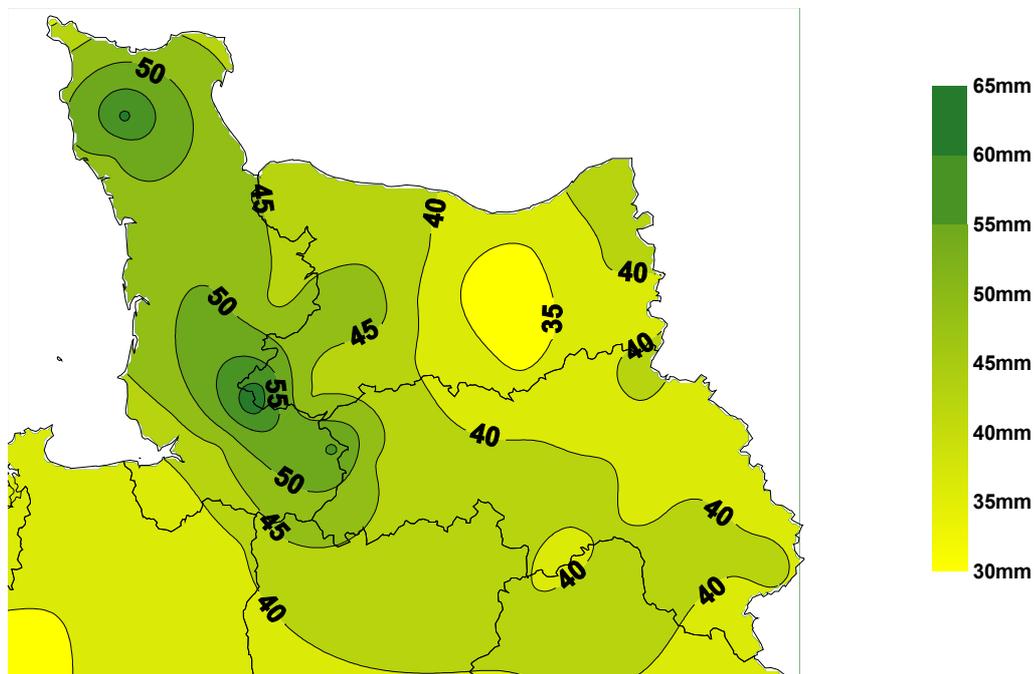


Cette anomalie positive à l'Ouest de Caen est beaucoup moins nette lorsqu'on consulte les cartes sur l'hiver hydrologique. Sur l'exemple ci-dessous, les pluies décennales (en un jour d'octobre à avril par la méthode du Renouveau) sont de l'ordre de 40 à 45 mm (contre 55 à 60 mm par Gumbel sur l'année complète dans les mêmes secteurs).

On note les mêmes écarts sur le Pays d'Auge (50 à 55 mm sur l'année complète par Gumbel, 35 à 40 mm sur l'hiver par la méthode du renouvellement). Les échantillons sur P1 de Lisieux et Dozule sont « perturbés » par de gros orages d'été ayant donné près de 90 mm. Il n'est donc pas étonnant de constater de telles différences.

Des différences existent également sur d'autres zones de Basse-Normandie. Elles sont cependant moins nettes que sur ces deux parties du Calvados. On remarquera notamment que sur les points les plus arrosés de la région (hauteurs du Bocage et secteur de Bricquebec), les différences sont assez faibles entre les hauteurs d'eau calculées sur ces deux exemples. Ceci traduit une moindre influence des orages d'été sur les hauteurs d'eau extrêmes calculées sur ces secteurs.

## Pluies decennales en un jour , octobre à avril, méthode du Renouveau

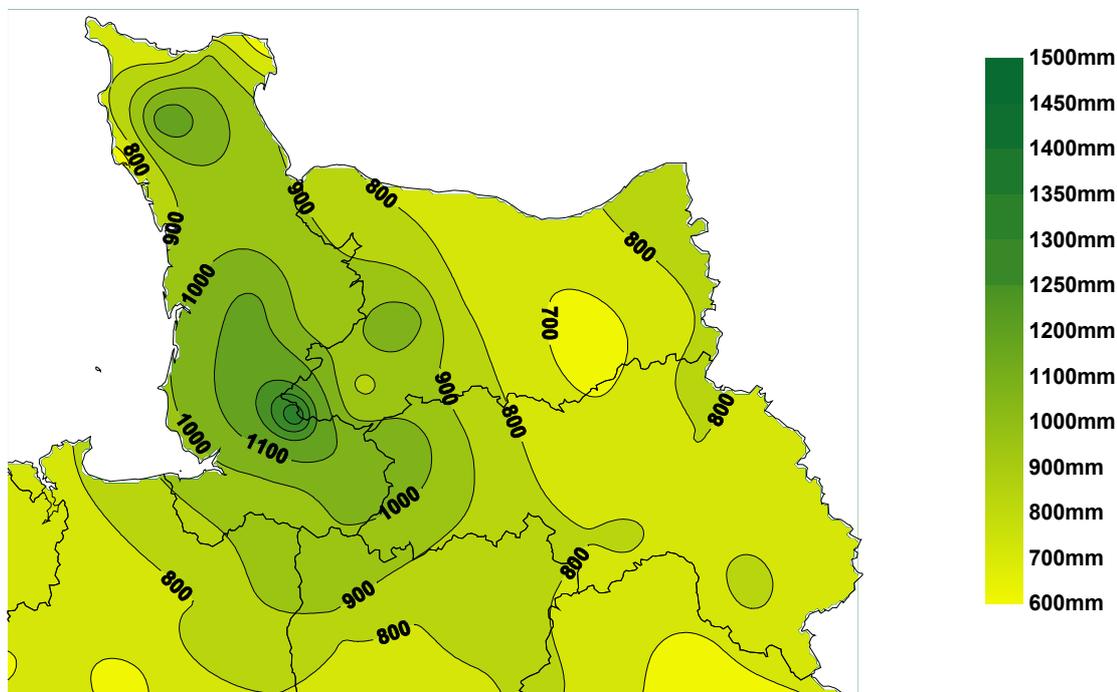


### 4.3 Comparaison avec les normales annuelles

La carte des normales annuelles en Basse-Normandie est présentée ci-après. Ces normales ont été calculées sur la période 1971/2000. Elles servent de référence en Climatologie, les critères de choix des points de mesures sont donc assez restrictifs. Le nombre de postes pris en compte est de l'ordre de 40. Il est donc inférieur à celui des postes qui concernent cette étude.

On constate cependant une bonne concordance entre cette carte des normales de pluies annuelles et les hauteurs d'eau décennales spatialisées d'octobre à avril présentées ci-dessus. Les zones les plus arrosées (secteur de Bricquebec, hauteurs du Bocage...) ressortent bien sur les deux cartes. On retrouve également le minimum de la plaine de Caen (normale annuelle parfois inférieure à 700 mm).

## Normales de pluies annuelles Période 1971/2000



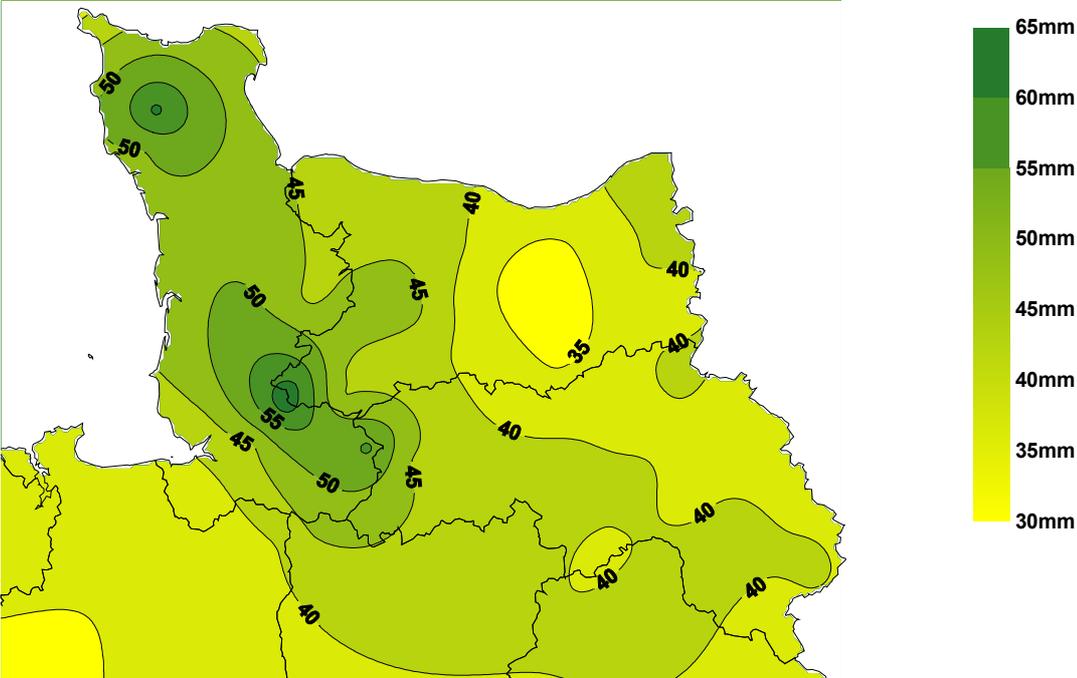
### 4.4 Cartographie des pluies de 1 à 10 jours

Les pluies d'hiver ont très souvent une répartition régulière en Basse-Normandie. Leur intensité est très liée au relief comme le montre la carte des normales annuelles représentée ci-dessus. Compte tenu de la densité du réseau de mesures, on peut faire une extrapolation des hauteurs d'eau en fonction des durées de retour avec une bonne approximation. Celle-ci devra être considérée comme la meilleure extrapolation possible compte tenu des données disponibles. Avec un réseau de mesures plus dense, on aurait bien évidemment des données plus précises...

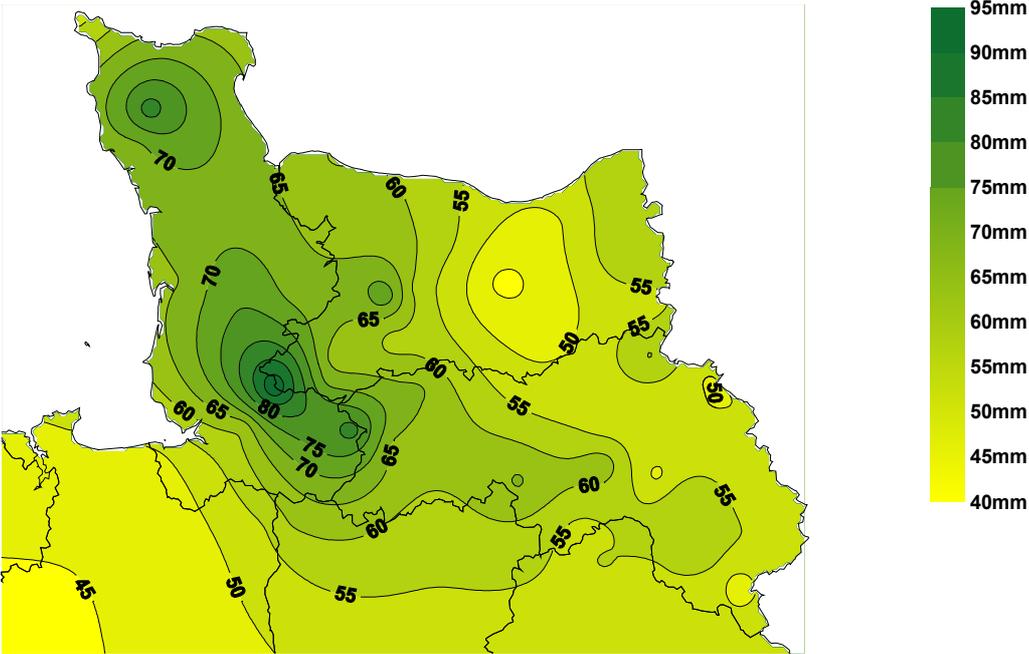
Les 8 cartes qui suivent ont été réalisées par krigeage des hauteurs d'eau calculées par la méthode du Renouvellement. Les calculs ont été extrapolés pour des valeurs **décennales** sur les pluies d'octobre à avril (période P2) et pour des cumuls de 1 à 10 jours. Elle pourront servir de base à une estimation des lames d'eau décennales par bassin versant.

L'ensemble des données fournies dans le CDROM annexé à cette étude permet de réaliser le même type de cartes avec d'autres paramètres (par exemple : pluies centennales annuelles calculées par la méthode de Gumbel). Il faudra cependant interpréter les données calculées sur l'année entière avec une grande prudence compte tenu de l'influence des orages d'été...

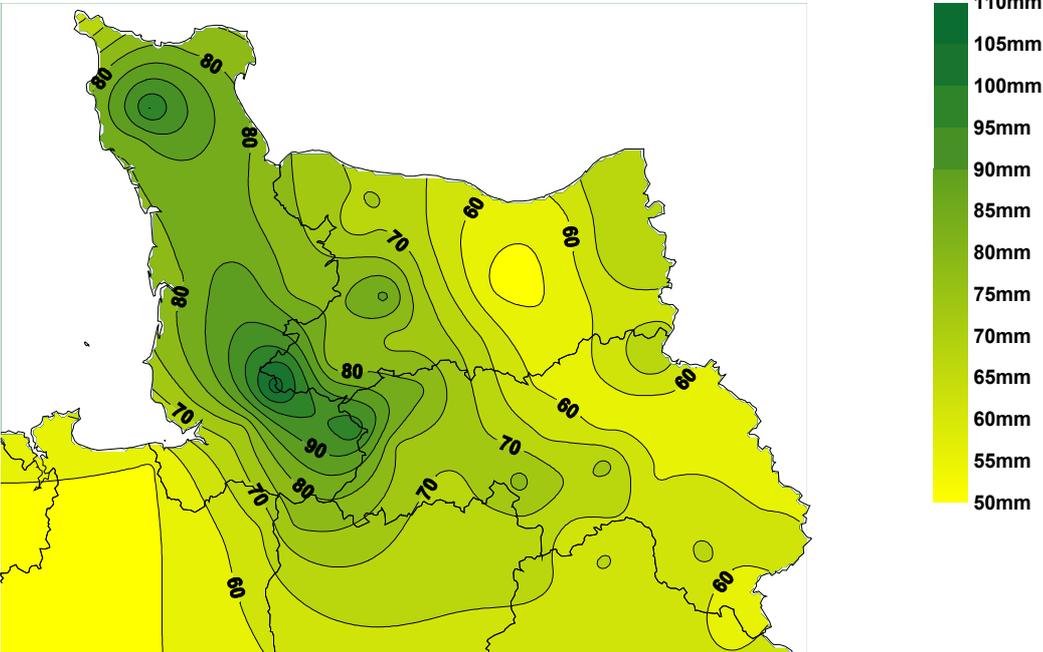
Méthode du renouvellement. Pluies decennales en un jour : octobre à avril



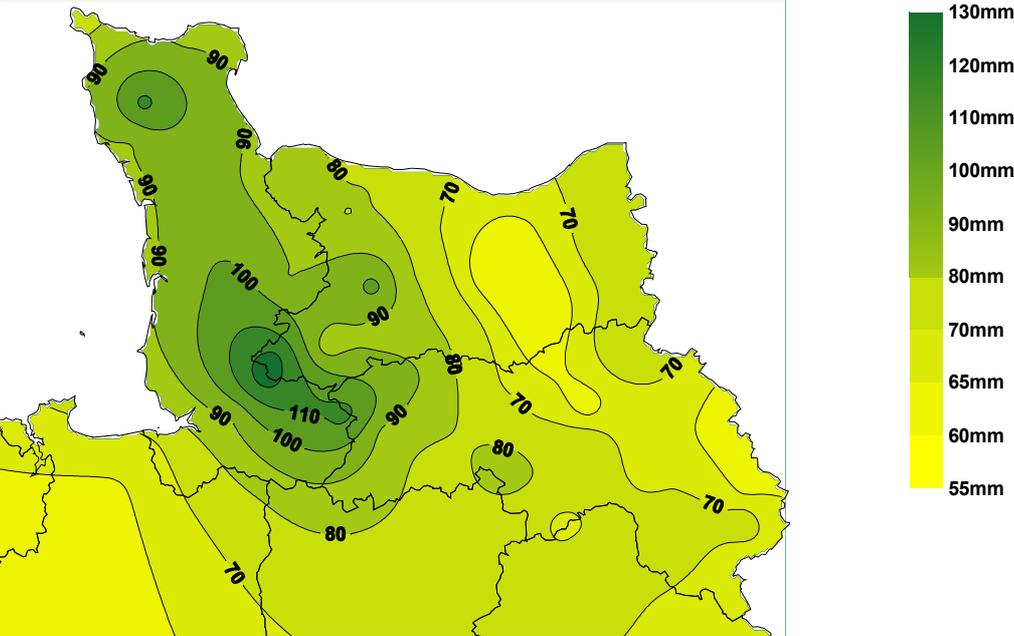
Méthode du renouvellement. Pluies decennales en deux jours : octobre à avril



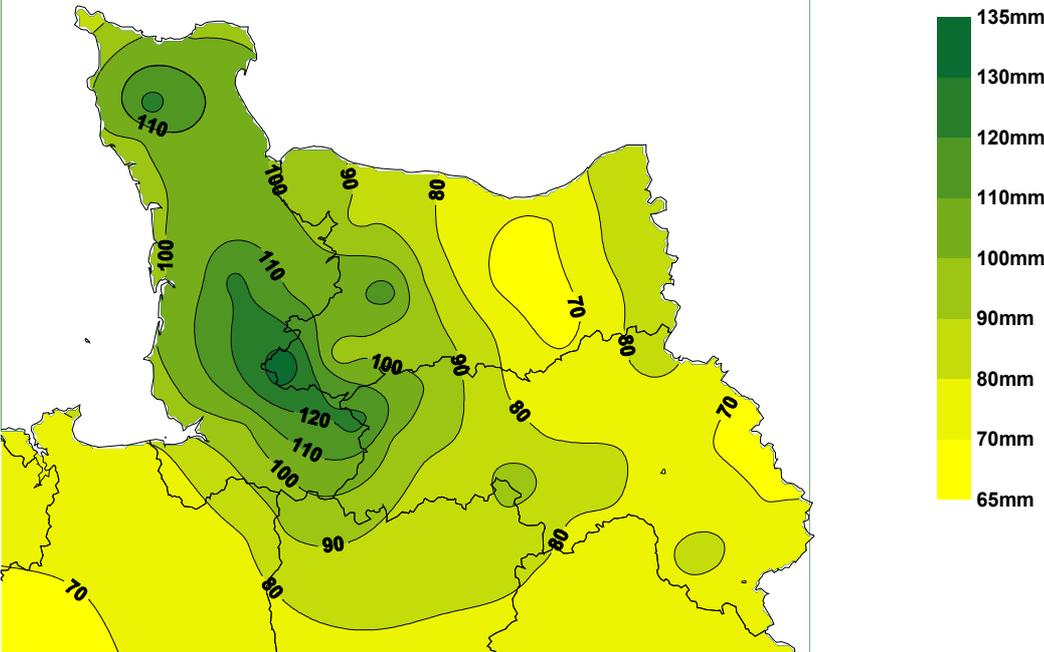
Méthode du renouvellement. Pluies decennales en trois jours : octobre à avril



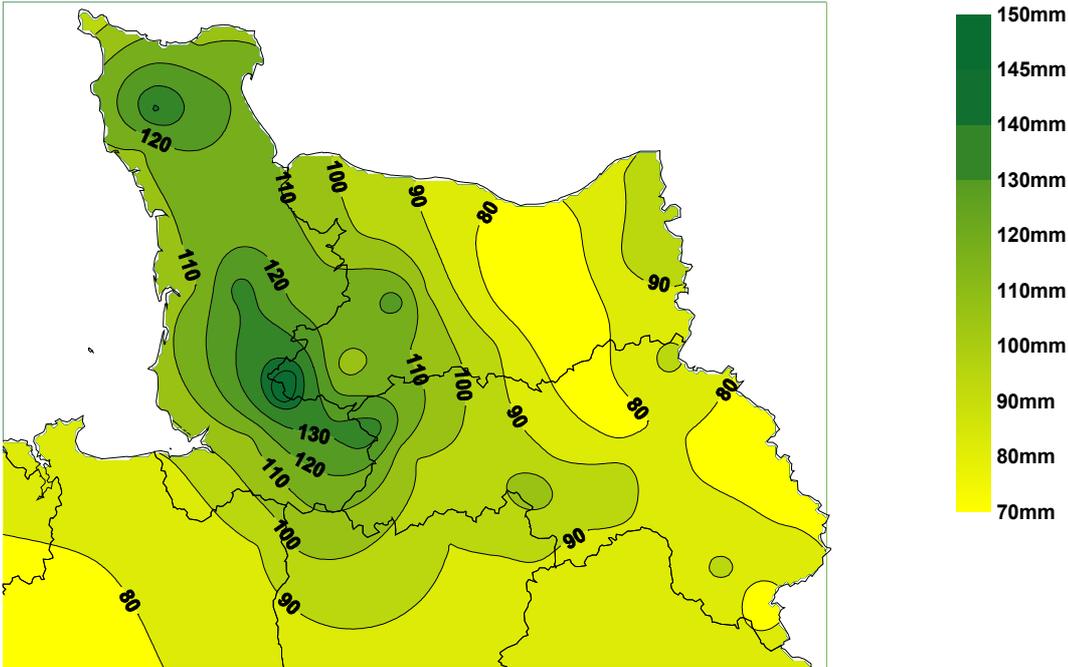
Méthode du renouvellement. Pluies decennales en quatre jours : octobre à avril



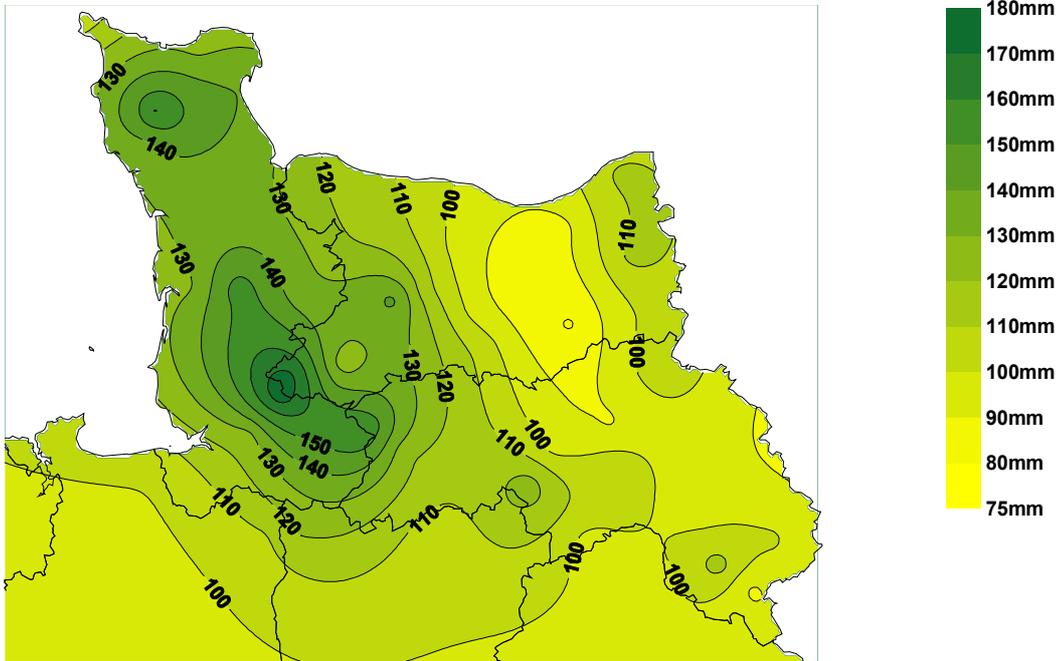
Méthode du renouvellement. Pluies decennales en cinq jours : octobre à avril



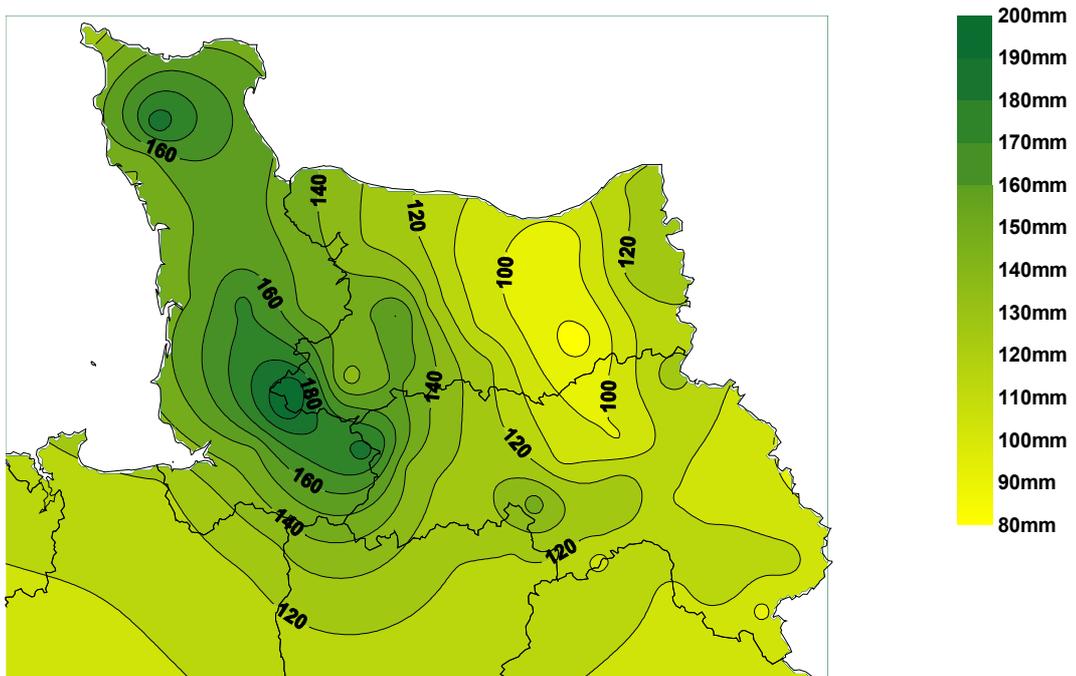
Méthode du renouvellement. Pluies decennales en six jours : octobre à avril



## Méthode du renouvellement. Pluies decennales en huit jours : octobre à avril



## Méthode du renouvellement. Pluies decennales en dix jours : octobre à avril



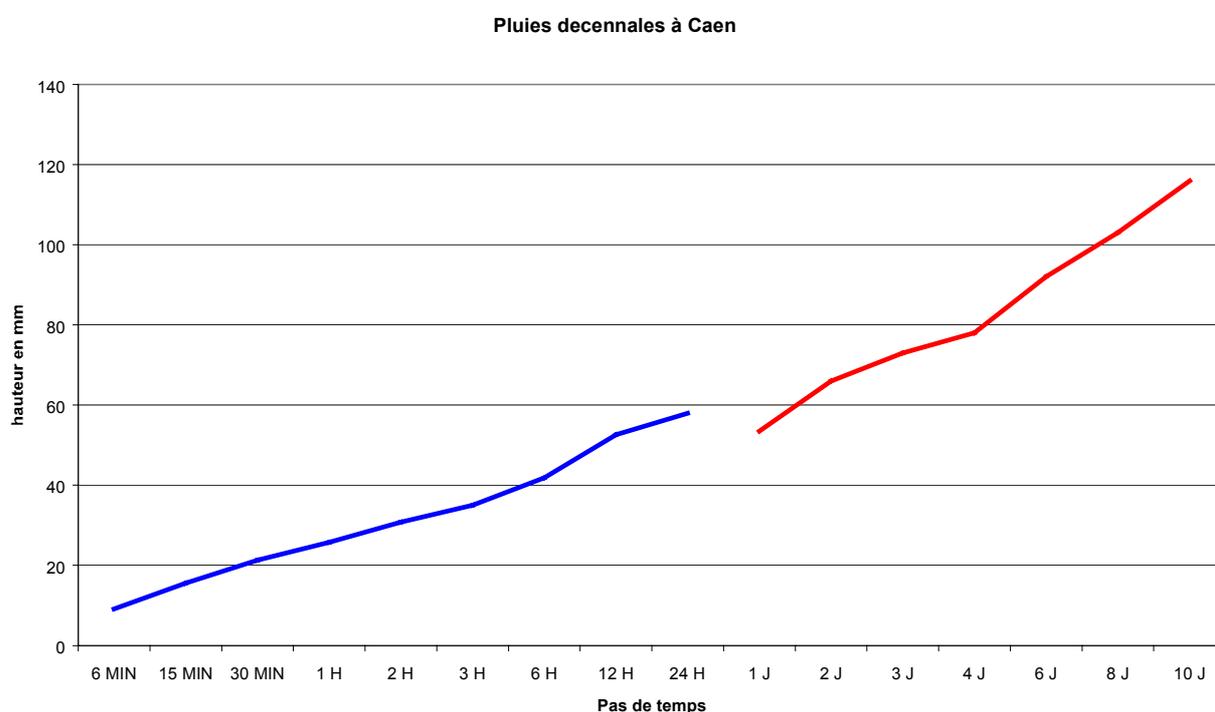
## 5) Etude des pluies au pas de temps inférieur à la journée

### 5.1) Restrictions

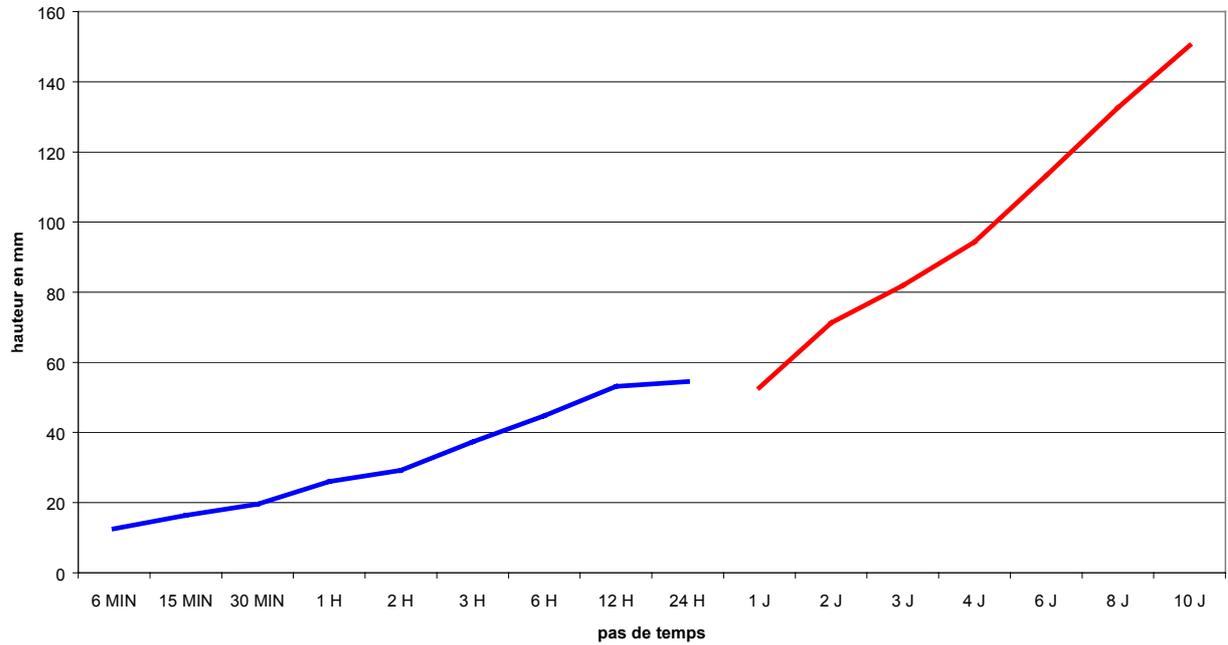
Cette étude spécifique a été réalisée pour les seuls points de mesures automatisés ayant au moins 15 ans de données archivées. Ces restrictions limitent à 4 le nombre de points de mesures exploitables en Basse-Normandie : Alençon, Caen, Lisieux et Gonneville. Les conclusions de ce chapitre seront donc à interpréter avec prudence. On se méfiera notamment de toute extrapolation des résultats. Les hauteurs d'eau ont été calculées par la méthode du renouvellement.

### 5.2) Analyse des résultats

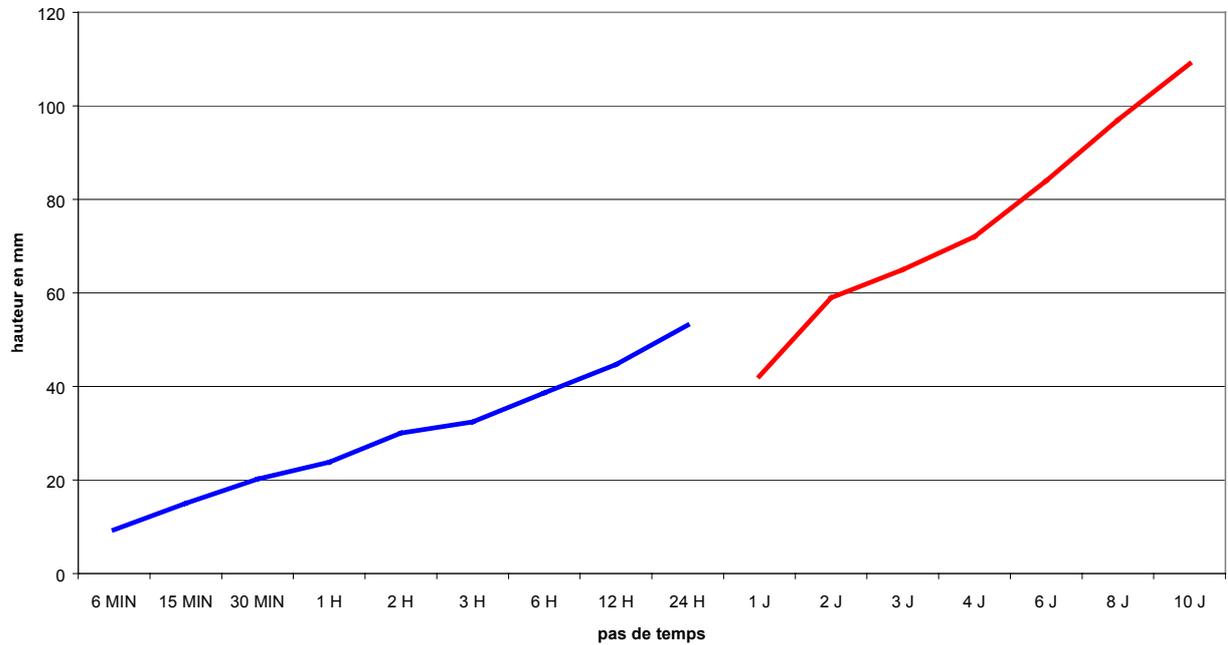
On trouvera ci-dessous 4 graphiques correspondant aux pluies décennales des stations exploitables avec un pas de temps variant de 6 minutes à 10 jours. Les hauteurs d'eau de 6 min à 24h sont pointées en bleu. Celles correspondant au pas de temps de 1 à 10 jours sont en rouge. Ces valeurs ont été calculées sur deux échantillons totalement différents compte tenu des données disponibles (Pour les pas de temps inférieurs à 24h, on ne dispose que de 15 à 20 ans de données).

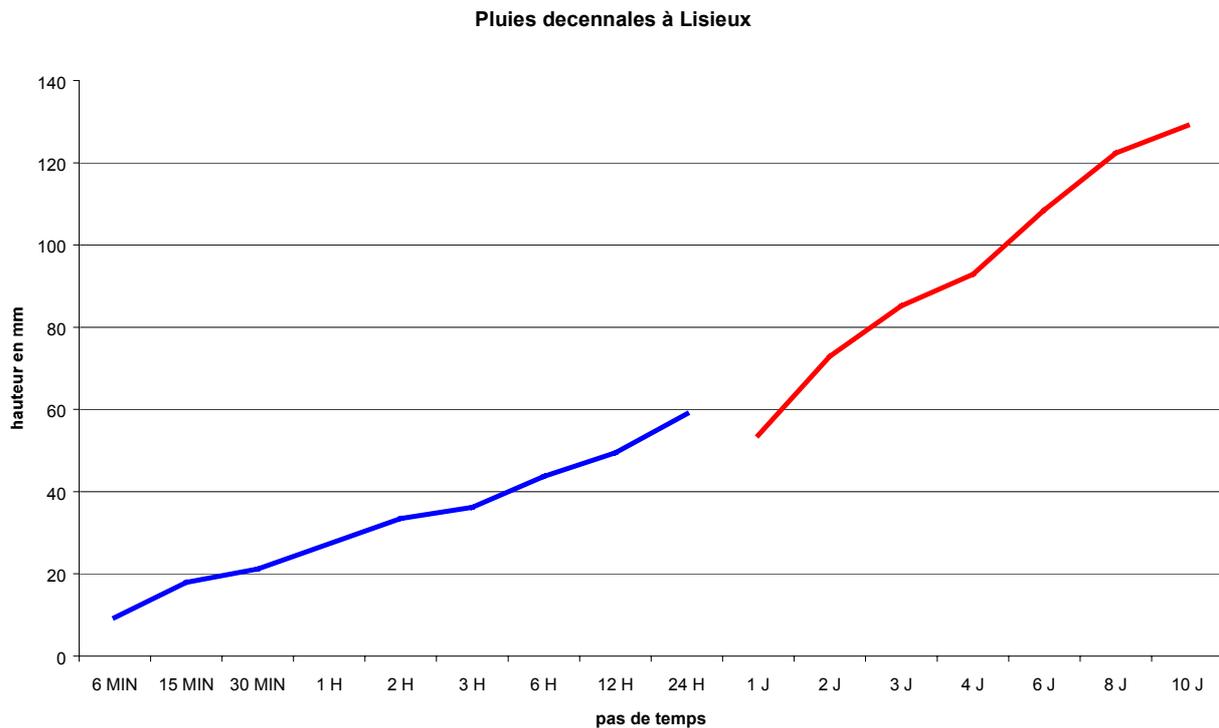


### Pluies decennales à Gonneville



### Pluies decennales à Alençon





On constate que l'ajustement est quasi linéaire sur ces 4 graphiques (avec néanmoins une échelle des abscisses exponentielle). Un tel alignement des hauteurs d'eau en fonction des pas de temps se retrouve sur la majorité des points de mesures situés dans les régions du Nord-Ouest de la France. Il est donc caractéristique de la répartition des intensités de pluie sur nos régions.

Par ailleurs, on remarque un décrochement systématique dans ces 4 courbes. La hauteur d'eau décennale pour un pas de temps de 24 heures (glissantes) est toujours supérieure à celle obtenue pas de temps quotidien (un jour « fixe » de 6h à 6h). Ce décrochement se retrouve dans la totalité des courbes de ce type. Il est lié au côté restrictif de la mesure des pluies quotidiennes (ainsi, une grosse période de 24 heures de pluie continue peut se trouver à cheval sur deux journées climatologiques).

### 5.3 Coefficients de Weiss

Des coefficients permettent de faire une estimation des hauteurs d'eau à pas variable (ici 24 ou 48 heures) à partir des données à pas de temps fixe (1 ou 2 jours). Ils sont indépendants de la durée de retour. Ces coefficients dits « de Weiss » sont définis par :

$$P_{var} = P_{fixe} * K_w$$

Où **Pvar** est la hauteur d'eau au pas de temps variable  
**Pfixe** la hauteur d'eau au pas de temps fixe  
**Kw** coefficient de Weiss permettant de passer d'une valeur à l'autre

Pour passer d'une pluie en 1 jour à une pluie en 24 heures, le coefficient de Weiss (établi empiriquement) est de **1.14** soit un « gain » de 14 %.

Pour passer d'une pluie en 2 jours à une pluie en 48 heures, il est de **1.07**.

Il décroît progressivement selon le tableau ci dessous. On remarque que son effet devient négligeable au-delà de 3 jours :

Pas de temps (jours)	1	2	3	5	8	10
Pas de temps (Heures)	24 H	48H	72H	120H	192H	240H
Kw	1,14	1,07	1,04	1,03	1,02	1,01

Sur nos 4 points de référence (Caen, Alençon, Gonneville et Lisieux), on trouvera ci-dessous une vérification expérimentale de ces coefficients de Weiss pour un jour fixe et 24 heures glissantes. Les hauteurs d'eau en mm sont calculées pour une durée de retour 10 ans par la méthode du Renouvellement et sur l'année complète. Le nombre d'années de mesures pris en compte est moins important pour les pluies en 24 heures que pour celles en un jour. Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant (pluies décennales en mm calculées sur l'année complète) :

Poste	Pluie en 24H	Pluie en 1 jour	Rapport
Alençon	53,1	42,2	1,26
Caen	57,9	53,5	1,08
Gonneville	54,5	52,8	1,03
Lisieux	58,9	53,7	1,10
<b>moyenne</b>			<b>1,12</b>

On constate en moyenne une bonne concordance avec le coefficient de Weiss correspondant (moyenne 1,12 à comparer avec le 1,14 de Weiss). Néanmoins, on notera une assez forte dispersion autour de cette moyenne sur 4 postes (de 1,03 à 1.26). Une vérification à plus grande échelle a été faite sur une dizaine de points de mesures en Bretagne et Pays de la Loire. Ils donnent des résultats comparables (moyenne proche de 1,13 mais les valeurs s'étagent de 1,0 à 1,26...

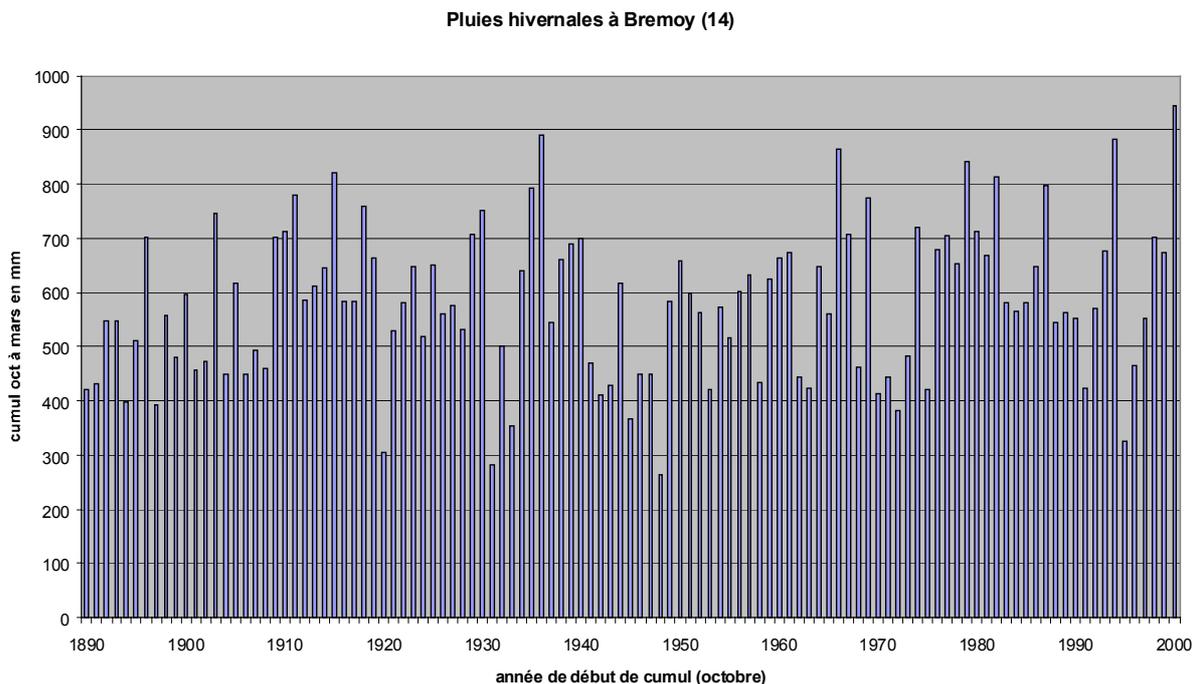
Toute utilisation de ces coefficients de Weiss devra donc se faire en tenant compte de cette dispersion des valeurs. On pourra par exemple utiliser le coefficient de 1,14 comme valeur moyenne d'un intervalle de confiance variant de 1 à 1,3.

## 6) Données anciennes : analyse de longues séries mensuelles

Les premiers relevés de précipitations exploitables en Basse-Normandie datent de la fin du XIXe siècle. Météo-France a entrepris un travail sur ces longues séries de données depuis plusieurs années. Les relevés de précipitations quotidiennes anciennes sont difficilement vérifiables. Elles présentent parfois des erreurs qu'il est bien délicat de prendre en compte.

Par contre, au pas de temps mensuel, la présence de plusieurs séries dans un espace géographique restreint (une région ou un département) permet de faire un travail d'homogénéisation. Celui-ci a été réalisé par la Direction de la Climatologie de Météo France à Toulouse. Cette méthode consiste à comparer les données de plusieurs postes climatologiques entre elles pour détecter d'éventuelles ruptures d'homogénéité dans les séries de mesures. Ces ruptures d'homogénéité peuvent être dues à des changements d'environnement autour du point de mesure (exemple : un arbre qui pousse, un bâtiment qui se construit à proximité...). Cette méthode d'homogénéisation permet également de traiter les données manquantes (de plus en plus fréquentes au fur et à mesure que l'on remonte dans le temps).

Ces séries mensuelles homogénéisées sont maintenant disponibles. On présente ci-dessous le cumul d'octobre à mars à Brémoy de 1890 à 2000.



Ce graphique obtenu à partir des données mensuelles homogénéisées à Brémoy illustre la grande dispersion des pluies d'octobre à mars en Basse-Normandie.

- Pour les années les plus sèches, on relève : 262 mm en 1948/49, 282 mm en 1931/32 et 304 mm en 1920/21. L'hiver 1995/96 arrive au 4<sup>e</sup> rang avec 324 mm.

- Pour les années les plus arrosées : l'hiver 2000/2001 arrive nettement en tête avec 945 mm. Il est suivi par 1936/37 avec 890 mm puis par 1994/95 avec 883 mm.

9 séries mensuelles dans le Calvados ont été homogénéisées sur la période 1890/2001. On en recense 5 pour le département de l'Orne. Par contre, il n'y a pas de données de ce type disponibles pour le département de la Manche.

De telles séries de données peuvent être utiles par exemple pour estimer l'état de saturation des sols juste avant une crue. Ces cumuls mensuels de pluie peuvent également donner des indications sur l'évolution des nappes phréatiques.

## 7) Conclusion et perspectives

Cette étude aura permis de synthétiser les données de pluies extrêmes sur la Basse Normandie. La prise en compte des données « exceptionnelles » de ces dernières années permettra de les replacer dans leur contexte.

Les calculs de durées de retour ont montré des différences qu'il faut prendre en compte. On retiendra notamment qu'il faut utiliser les données calculées sur l'année entière avec beaucoup de précaution. L'influence des orages d'été a tendance à surestimer les hauteurs d'eau dans la majorité des cas.

L'ensemble de ces données permettra de faire une cartographie complète des durées de retour en Basse Normandie. Il faudra interpréter avec beaucoup de prudence les données sur l'année entière. L'interpolation spatiale des données sur l'hiver hydrologique (période P2) peut par contre s'effectuer avec une très bonne confiance. Il est notamment intéressant de constater qu'on obtient une dispersion homogène des durées de retour malgré l'utilisation de points de mesures avec une profondeur de données très variable. Les données extrapolées sur l'hiver hydrologique constituent la meilleure extrapolation possible compte tenu des données disponibles. La densité du réseau de mesure n'étant pas optimale, celle-ci est forcément incomplète et il faudra l'utiliser comme tel.

Le CDROM annexé à ce rapport contient une multitude de données. Elles permettront d'étudier plus précisément le phénomène de pluies extrêmes notamment avec les données quotidiennes sur ces 30 dernières années pour une cinquantaine de points de mesures.

Les échantillons, ayant servi aux calculs des durées de retour, permettront une remise à jour de ces durées de retour dans le futur.

## 8) Annexes

Les pages suivantes contiennent l'ensemble des durées de retour calculées. Elles permettent une visualisation instantanée de ces valeurs. Pour des raisons pratiques, nous ne fournissons que les colonnes : indicatif du poste, période considérée, cumul en jours, durée de retour en années, hauteur d'eau calculée par la méthode du renouvellement en mm et hauteur d'eau calculée par la méthode de Gumbel en mm.

Pour un traitement ultérieur, il est préférable d'utiliser le fichier excel contenu dans le CDROM annexé à ce rapport. Celui-ci contient des informations supplémentaires (valeurs inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance à 70 % pour les deux méthodes ainsi coordonnées Lambert II étendues du poste.

Pour sélectionner des données, il suffit d'utiliser le mode filtre sous excel (par exemple durée de retour 10 ans, période P1, cumul d'un jour pour tracer des cartes de pluie décennales...).

Dans le CDROM, on trouvera également :

- l'ensemble des échantillons de valeurs extrêmes ayant servi au calcul par les deux méthodes (fichiers txt). Ils contiennent 1 valeur par an pour Gumbel, 5 en moyenne pour la méthode du renouvellement. Attention, ces valeurs sont en  $1/10^e$  de mm.
- les données quotidiennes sur 30 ans pour 50 postes (fichiers excel)
- les hauteurs d'eau calculées pour des pas de temps de 6 minutes à 24 heures pour Carpiquet, Gonneville, Lisieux et Alençon (fichiers excel)