



DOSSIER LOT 3-2008-12

INONDATIONS DU TUNNEL DE RILLY/GERMAINE
MAI/JUIN 2007

LIGNE L074 ENTRE LES KM 154.800 ET 158.300

ÉTUDE HYDROLOGIQUE



AVRIL 2009

1 34 0593_Lot3 _R1

SOMMAIRE

LISTE DES ANNEXES	B
OBJET DE L'ETUDE	I
1. ETUDE HYDROLOGIQUE.....	1
1.1. OBJECTIFS	1
1.2. METHODOLOGIE : LA METHODE SPEED	1
1.2.1. PLUVIOMETRIE.....	1
1.2.2. DEBITS.....	2
1.3. DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT DE LA GERMAINE	3
1.3.1. SUPERFICIE	3
1.3.2. GEOLOGIE.....	4
1.3.3. INSTRUMENTATION DE BASSIN VERSANT	5
1.4. PLUVIOMETRIE	5
1.4.1. LES STATIONS PLUVIOMETRIQUES.....	5
1.4.2. LE PIVOT	7
1.4.3. ANALYSE REGIONALE DES PLUIES.....	8
1.4.4. PLUVIOMETRIE DU BASSIN DE LA GERMAINE.....	10
1.4.5. ORAGES DE MAI ET JUIN 2007.....	11
1.5. RECHERCHE DES DEBITS CARACTERISTIQUES.....	14
1.5.1. STATIONS HYDROGRAPHIQUES	14
1.5.2. ANALYSE REGIONALE DES DEBITS.....	14
1.5.3. DEBITS REDUITS CARACTERISTIQUES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA GERMAINE	17
1.5.4. DEBITS CARACTERISTIQUES DE LA GERMAINE	18
1.6. HYDROGRAMMES DE CRUE.....	18
1.7. CONCLUSIONS.....	20
ANNEXES.....	21

oOo

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : La méthode SPEED

Annexe 2 : Plan de situation

OBJET DE L'ETUDE

Il s'agit de réaliser une étude d'incidence hydraulique vis-à-vis de la pérennité des infrastructures ferroviaires et de leur exploitation et vis-à-vis des riverains et aménagements aux abords des voies.

Cette étude concerne le bassin versant de la Germaine à l'aval duquel débouche le tunnel SNCF de Rilly la Montagne. Ce tunnel est situé entre le km 156,985 et le km 160,426 de la ligne IF 074 000 reliant Epernay à Reims.

Un plan de situation se trouve en annexe 1.

oOo

1. ETUDE HYDROLOGIQUE

1.1. OBJECTIFS

Il s'agit de déterminer les débits caractéristiques de crue du ruisseau ainsi que les hydrogrammes associés.

1.2. METHODOLOGIE : LA METHODE SPEED

L'étude hydrologique est fondée sur la méthode probabiliste SPEED qui intègre la méthode du Gradex.

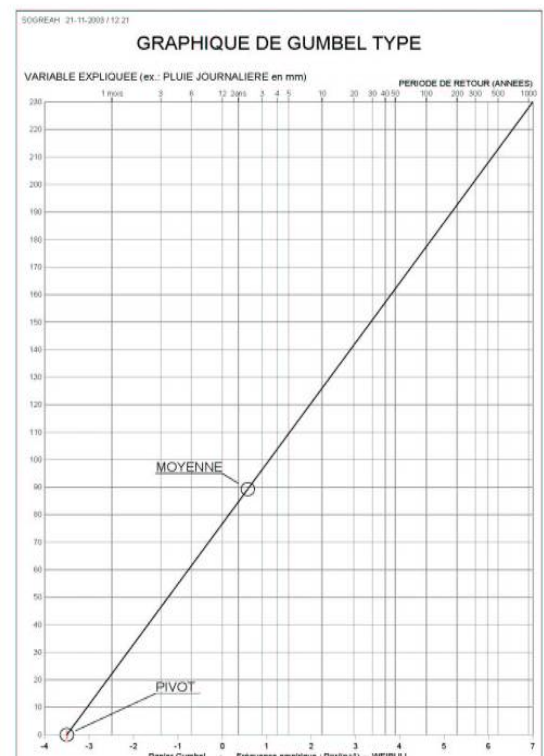
La méthode SPEED (Système Probabiliste d'Etude par Evènements Discrets), développée par SOGREAH, est fondée d'une part sur une analyse particulière et régionale des pluies et, d'autre part, sur la relation probabiliste mise en évidence par SOGREAH entre pluie et débit de crue. (cf annexe 2)

1.2.1. PLUVIOMETRIE

Cette analyse part du fait que les maxima annuels des pluies journalières (P_j), comme d'autres phénomènes météorologiques accidentels, suivent **une loi de Gumbel** caractérisée par le pivot (variable de Gumbel pour laquelle la droite de Gumbel coupe l'axe $P_j = 0$) et le Gradex (pente de la droite d'ajustement) ou la moyenne.

On démontre que le pivot est lié au nombre d'évènements pluvieux à l'origine des maxima annuels. Il est donc constant sur une région donnée.

En revanche la moyenne (ou la pente) varie géographiquement (un même évènement pluvieux peut évoluer au cours de son déplacement).



L'intérêt de régionaliser l'étude réside en premier lieu dans la détermination du pivot ce qui permet de réduire l'incertitude sur les ajustements statistiques. Mais la régionalisation a permis, au fil des applications de la méthode, de mettre en évidence des phénomènes

particuliers liés à la géographie du secteur d'étude et révélant des "cassures" dans les droites d'ajustement de Gumbel des pluies.

Ces cassures se traduisent par exemple par des valeurs de pluie centennale bien supérieures à celles qui résulteraient de l'extrapolation d'un ajustement sur échantillon de faible dimension.

Ce sont ces cassures qui sont parfois la cause du fait qu'une autre loi statistique s'ajuste mieux à l'échantillon de données. Dans ce cas, l'extrapolation de la loi statistique trouvée peut conduire à des valeurs erronées dans la mesure où la loi statistique ne tient bien évidemment pas compte du phénomène physique expliquant la cassure.

Note : Les analyses effectuées à l'occasion d'études sur des secteurs à proximité du bassin versant de la Germaine (dans un rayon de 150km) ont montré que le pivot régional serait de -3,5.

1.2.2. DEBITS

Les recherches théoriques ont montré que la formulation suivante est compatible avec les théories de l'hydrogramme unitaire et du Gradex, en tenant compte de précipitations réparties en intensité-durée-fréquence par une loi classique de Montana :

$$Q_T = \frac{S^{0,75}}{12} (P_T - P_0) \quad \text{si } T > T_0$$

$$Q_T = \frac{S^{0,75}}{12} (C_0 P_T) \quad \text{si } T < T_0$$

avec

Q_T = débit de pointe de crue de période de retour T (années),

P_T = précipitation journalière ponctuelle de même période T ,

S = superficie du bassin versant, en km^2 ,

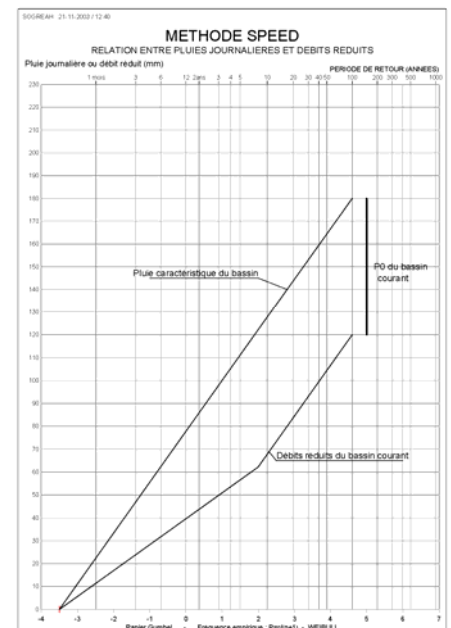
P_0 = seuil probabiliste de ruissellement, en mm,

C_0 = coefficient de proportionnalité des faibles crues aux pluies.

La théorie s'ajuste aussi à la pratique pour inciter à choisir la loi de Gumbel comme loi universelle d'ajustement des maxima annuels de crues et de précipitations journalières.

Ces formules sont utilisables dans le sens direct : calcul probabiliste des crues caractéristiques connaissant P_0 ou C_0 et les pluies.

Elles sont surtout très utiles pour visualiser la relation probabiliste pluie-crue à partir des séries de mesures concomitantes sur une rivière : on peut ainsi à la fois valider le modèle et calculer la valeur régionale des paramètres P_0 ,



T0 et Co. Pour ce faire, on dispose sur un même graphique de Gumbel les précipitations journalières observées et l'équivalent Q_{re} en mm des débits de pointe de crue (appelé débit réduit) :

$$Q_{re} = \frac{12.Q}{S^{0,75}}$$

Cela se traduit par :

- Une relation de proportionnalité entre P_T et Q_{re} pour $T < T_0$, C_0 étant le coefficient de proportionnalité.
- Un parallélisme entre les ajustements des débits réduits et des pluies pour $T > T_0$.

Les données de débit max annuels sont en général extraites de la banque HYDRO de la DIREN.

Ces débits sont ensuite transformés en débit réduit puis corrélés aux pluies journalières de la ou des stations pluviométriques représentatives du bassin.

Nous en déduisons l'ajustement des débits réduits puis les débits caractéristiques de crue par la transformation inverse :

$$Q = Q_{re} \cdot \frac{S^{0,75}}{12}$$

1.3. DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT DE LA GERMAINE

1.3.1. SUPERFICIE

Le bassin versant de La Germaine offre une superficie de 5,1 km².

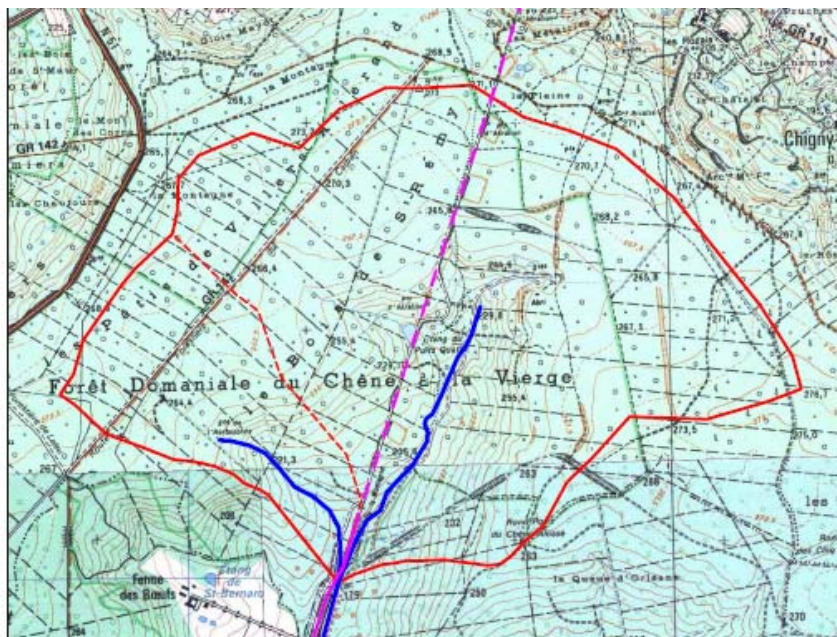


Figure 1 – Bassin versant de la Germaine

Il est composé de deux sous bassins versants de 1 km² et 4.1 km².

Les altitudes minimum et maximum du bassin sont respectivement 190 m et 277 m.

1.3.2. GEOLOGIE

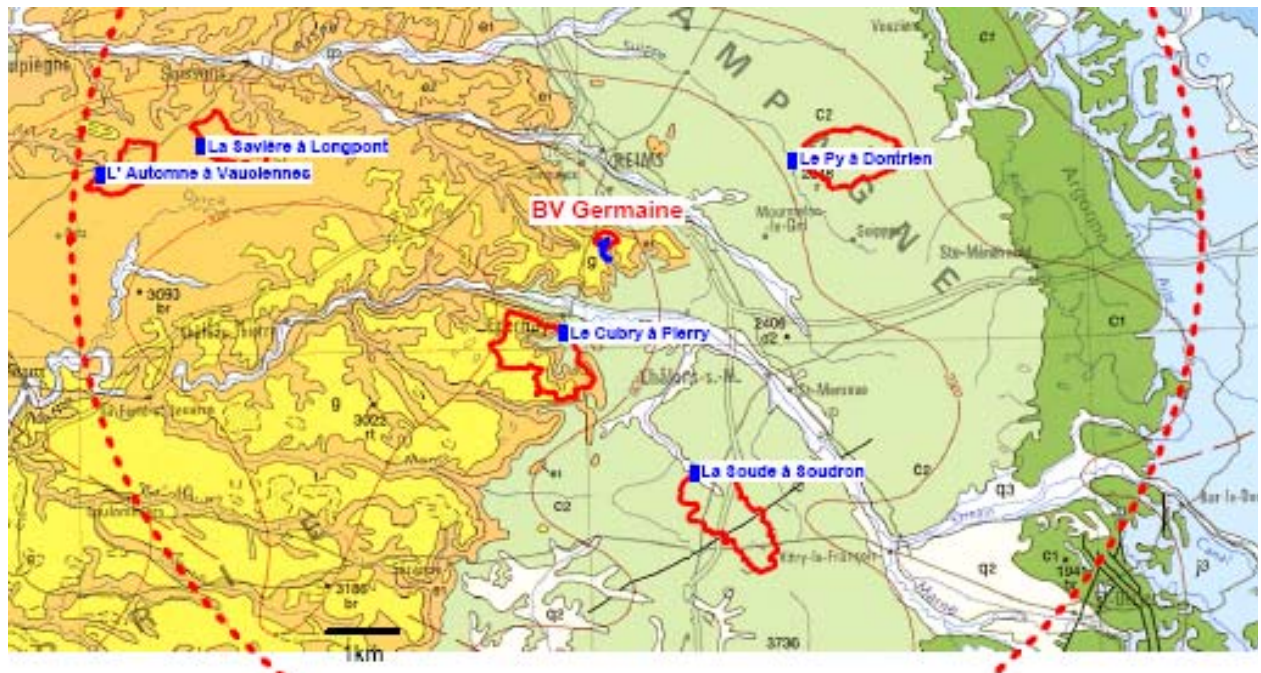


Figure 2 – Géologie du bassin versant de la Germaine et alentours

Référence	Couleur	Description
c2	Vert clair	Craie de Reims
e1	Orange	Argiles et sables
e2	Orange clair	Calcaire grossier
g	Jaune	Calcaires en bloc dans matrice argileuse

Le bassin versant de la Germaine se situe sur :

- des zones de type g en tête de bassin
- des zones de type e1 en partie aval du bassin

Le bassin versant de la Germaine est géologiquement similaire à celui du Cubry.

1.3.3. INSTRUMENTATION DE BASSIN VERSANT

Le bassin versant de la Germaine n'est pas instrumenté en termes d'hydrométrie.

Nous avons donc recherché les bassins situés à proximité de celui de La Germaine et qui soient équipés de stations hydrométriques. Ils sont cités et caractérisés ci-dessous :

Nom de la station	Superficie du BV (km ²)	Situation par rapport au BV La Germaine
Le Py à Dontrien	89	30km à l'Est
Le Cubry à Pierry	98.5	14km au Sud Ouest
La Soude à Soudron	104	36 km au Sud Est
Savières à Longpont	50	60 km à l'Ouest
l'Automne à Vaucienne	32	73 km à l'Ouest

Ces bassins sont situés sur la Figure 3 du paragraphe 1.4.1.

1.4. PLUVIOMETRIE

1.4.1. LES STATIONS PLUVIOMETRIQUES

Les stations pluviométriques considérées sont listées ci-dessous et situées sur la carte page suivante.

Code	Nom	Nombre d'années	Début	Fin
2022001	ARCY	37	1971	2006
2585001	PARCY-ET-TIGNY	54	1954	2008
2722002	SOISSONS	46	1961	2008
2722004	SOISSONS	52	1863	1931
2722006	SOISSONS	18	1935	1953
8092001	CAUROY	62	1936	2008
8264001	MACHAULT	16	1887	1914
51136001	CHATILLON-SUR-MARNE	64	1931	2008
51230002	EPERNAY	54	1949	2004
51266001	GERMAINE	59	1950	2008
51298001	IGNY-COMBLIZY	38	1971	2008
51381001	MONTMORT-LUCY	59	1880	1960
51381002	MONTMORT-LUCY	3	1871	1874
51381003	MONTMORT-LUCY	34	1970	2004
51440001	PONTFAVERGER	64	1931	2008
51544001	SOMMEPY	38	1971	2008
51545011	SOMMESOUS	123	1872	2008
51556001	SOUDRON	39	1970	2008
51559001	SUIPPES	92	1872	1988
51559002	SUIPPES	10	1994	2004
51614011	VERZY	12	1931	1956
60176001	CREPY	6	1931	1939
60260001	FRESNOY	54	1950	2004

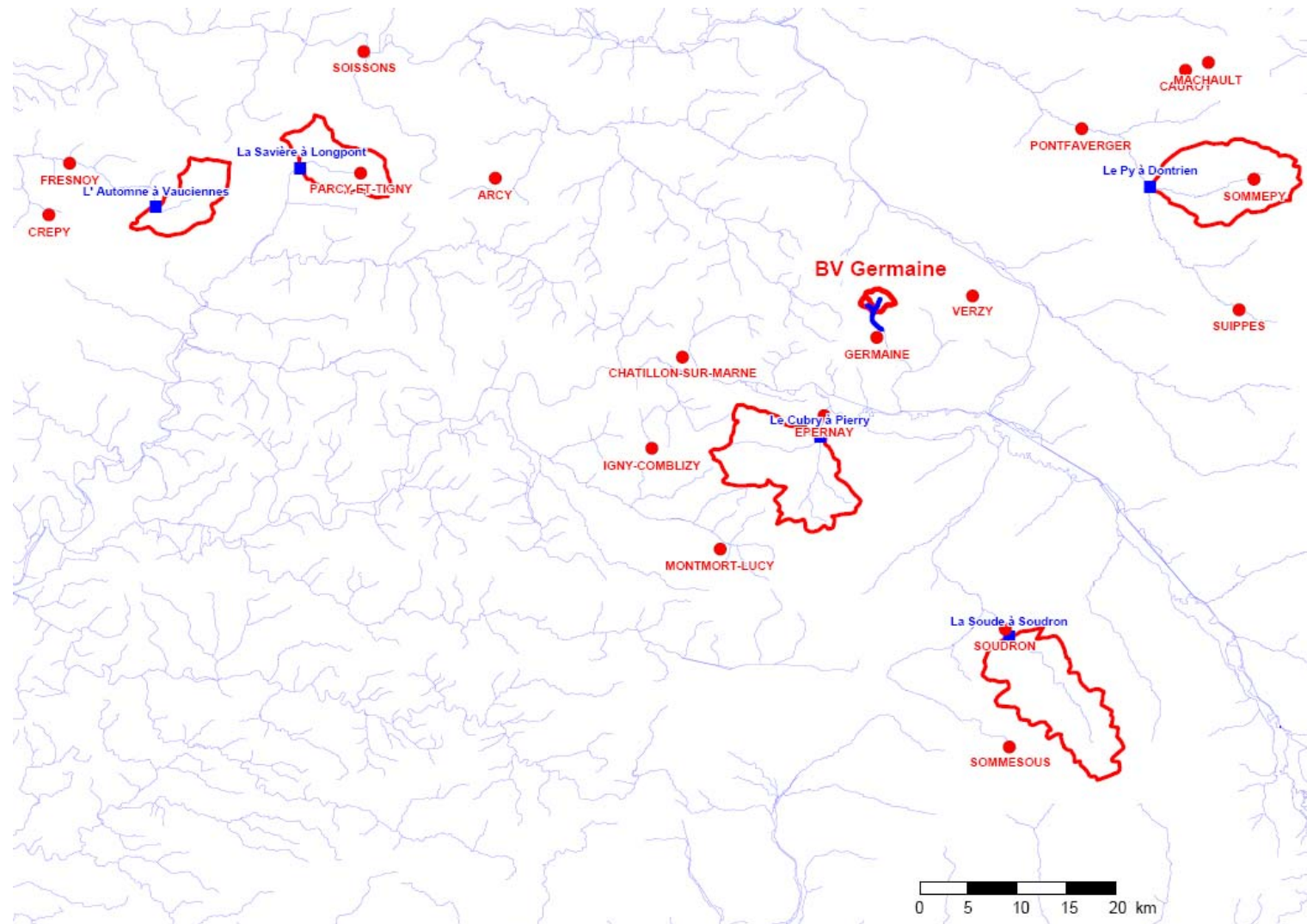


Figure 3 – Stations pluviométriques et hydrographiques

1.4.2. LE PIVOT

Les données extraites de la banque PLUVIO de METEO-France ont été les pluies journalières maximales annuelles. L'analyse selon une loi de Gumbel de l'ensemble des échantillons conduit à la figure suivante.

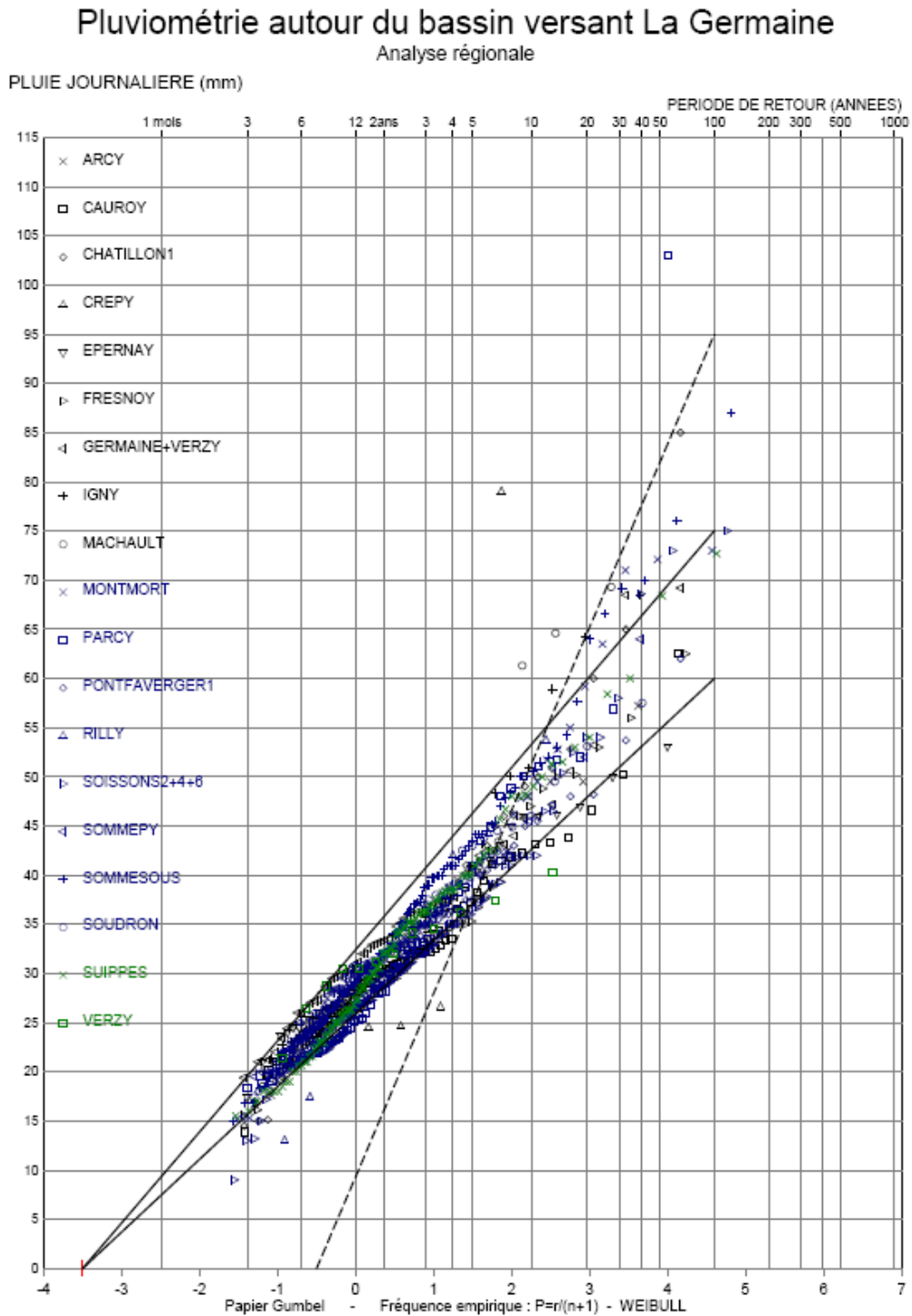


Figure 4 – Recherche du pivot

Cette figure appelle les observations suivantes :

pour les phénomènes courants, il y a convergence des séries d'ajustement vers un point d'abscisse -3,5 (le pivot)

il apparaît des points situés hors de ce fuseau dont l'analyse montre qu'ils sont relatifs à des orages

Le pivot de -3,5 correspond aux phénomènes liés à des perturbations Ouest-Est d'origine océanique.

Il apparaît donc un second pivot, lié aux phénomènes d'ordre convectif et de valeur proche de 0. Ce second pivot n'est pas observé sur toutes les stations, ceci peut s'expliquer par le hasard de l'échantillonnage, la faible taille de certains échantillons mais aussi par des spécificités locales qui rendraient un site moins soumis aux orages (ou bien où les orages produisent des pluies moins intenses qu'ailleurs)

1.4.3. ANALYSE REGIONALE DES PLUIES

Chacune des stations considérées a donc fait l'objet d'un ajustement par un ou deux segments de droite passant par le ou les pivots précédemment établis.

Le plan suivant montre la variation régionale des résultats.

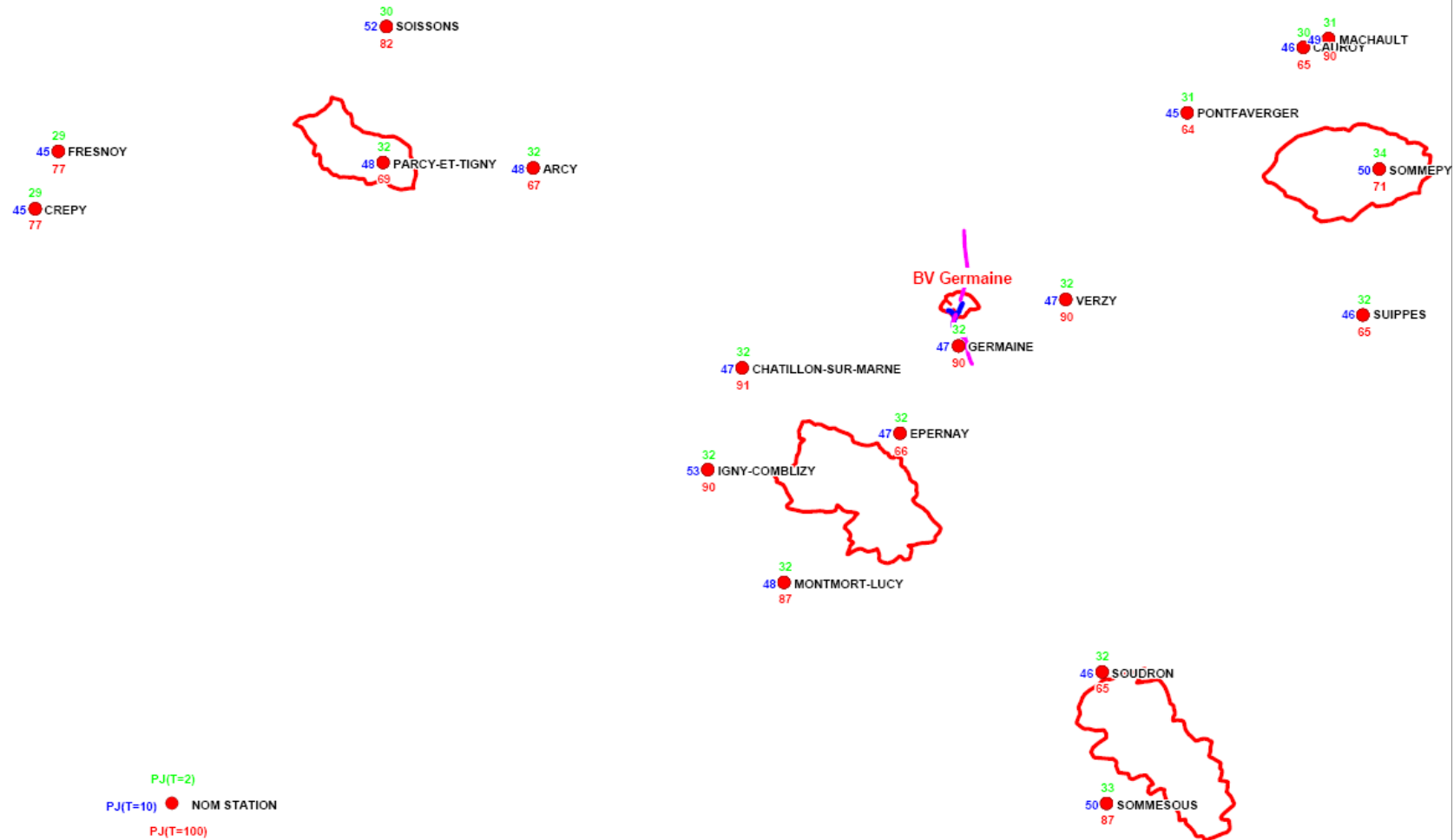


Figure 5 – Pluviométrie autour du bassin versant de la Germaine

1.4.4. PLUVIOMETRIE DU BASSIN DE LA GERMAINE

En prenant les données pluviométriques des trois stations les plus proches et donc représentatives du bassin versant de Germaine on obtient l'ajustement suivant. :

Pluviométrie sur le bassin versant de la Germaine

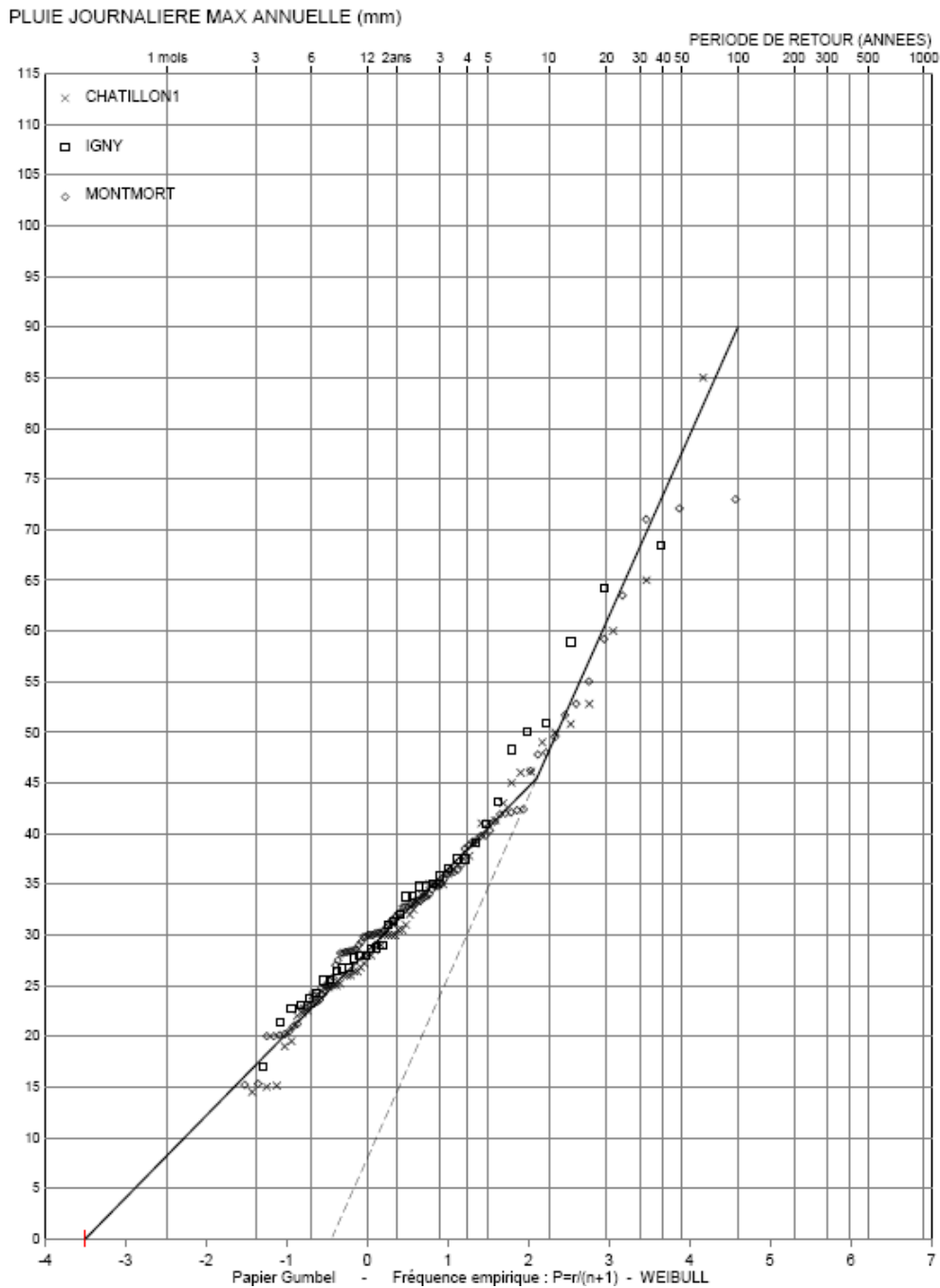


Figure 6 – Pluviométrie sur le bassin versant de la Germaine

Les données à la station d'Épernay ne révèlent pas de phénomènes orageux. Soit c'est le hasard de l'échantillonnage, soit il y a une particularité géographique qui réduit l'intensité des pluies orageuses sur le secteur de la station.

On retrouve donc un pivot de -3,5 pour les phénomènes courants, et un pivot de -0.5 pour des phénomènes orageux (de forte intensité).

Ces phénomènes orageux ne sont, en général, pas très étendus spatialement. L'analyse des orages des 24 mai et 7 juin 2007 le montre (cf paragraphe 1.4.5). Ceci implique que, pour des bassins versants de plusieurs dizaines de km², ces orages n'induisent pas de crue exceptionnelle, ne pouvant concerner l'ensemble du bassin. En revanche, pour les tout petits bassins comme celui de la Germaine (5.1 km²) il en est tout autrement et on devra considérer qu'une cellule orageuse puisse couvrir tout le bassin.

Sur le bassin versant de la Germaine on retiendra donc les valeurs caractéristiques de pluie suivantes :

Bassin versant La Germaine	T=2 ans	T=10 ans	T=100 ans
PJ (mm)	32	50	90

On note qu'au-delà d'un temps de retour de 10 ans, on considère que les pluies correspondent à des phénomènes orageux dont les intensités sont plus grandes que celles de phénomènes d'origine océaniques (plus courants).

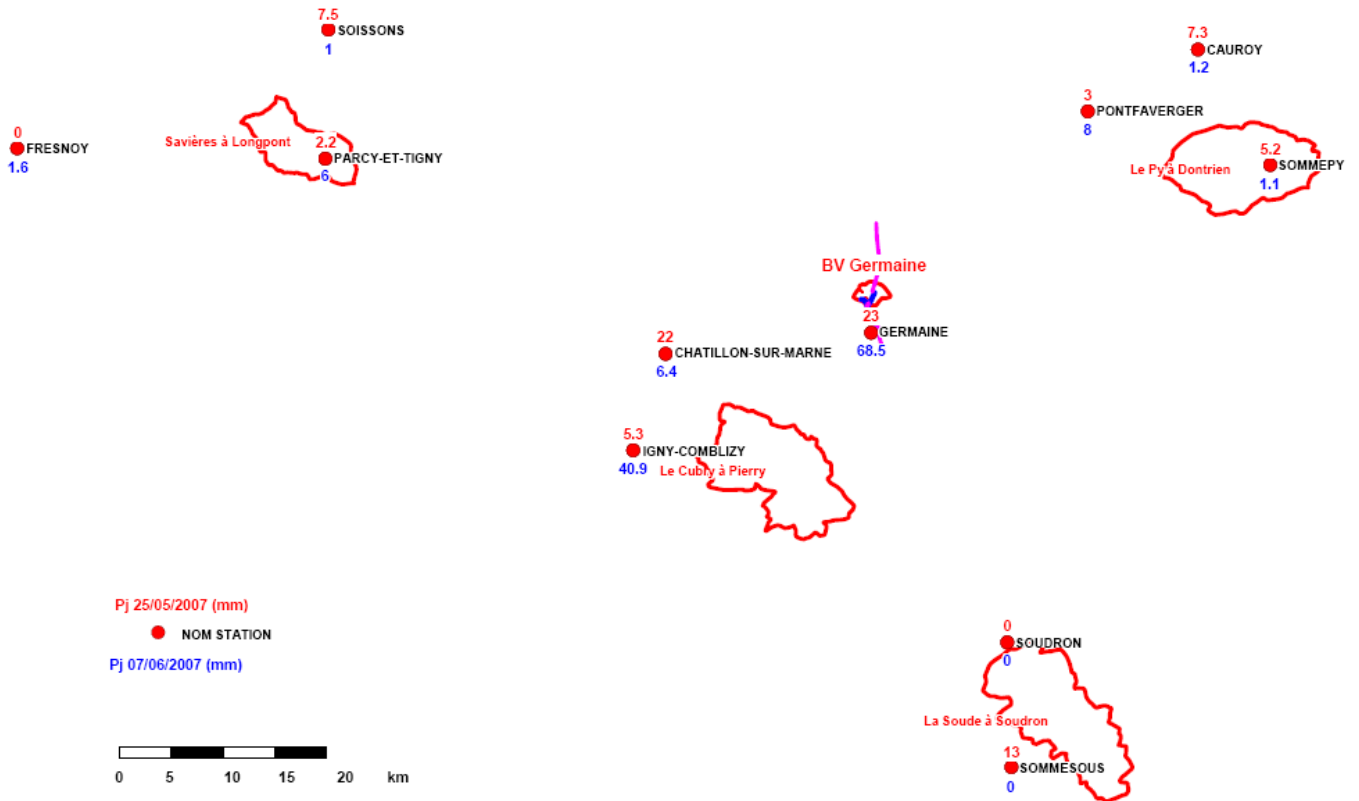
1.4.5. ORAGES DE MAI ET JUIN 2007

1.4.5.1. REPARTITION SPATIALE DES EVENEMENTS

Les données de pluie journalière du 25 mai et du 07 juin 2007 ont été extraites de la banque PLUVIO de METEO France aux stations suivantes :

Nom Station	Code
PARCY	2585001
SOISSONS 2	2722002
CAUROY	8092001
CHATILLON 1	51136001
GERMAINE	51266001
IGNY	51298001
PONTFAVERGER 1	51440001
SOMMEPY2	51544002
SOMMESOUS	51545001
SOUDRON	51556001
FRESNOY	60260001

Ces données, une fois cartographiées, permettent de confirmer que ce type de phénomène orageux est très localisé (cf carte suivante).



Les cellules orageuses ne peuvent couvrir l'ensemble de bassins de quelque dizaines de km², mais peuvent couvrir le bassin versant de la Germaine qui ne fait que 5,1 km², provoquant ainsi de fortes crues, comme en mai et juin 2007.

Les pluies journalières observées en mai et juin 2007 correspondent à des événements associés aux périodes de retour suivantes :

	Station GERMAINE	
	25/05/2007	07/06/2007
Pj (mm)	23	68.5
T associée (ans)	6	30 à 35

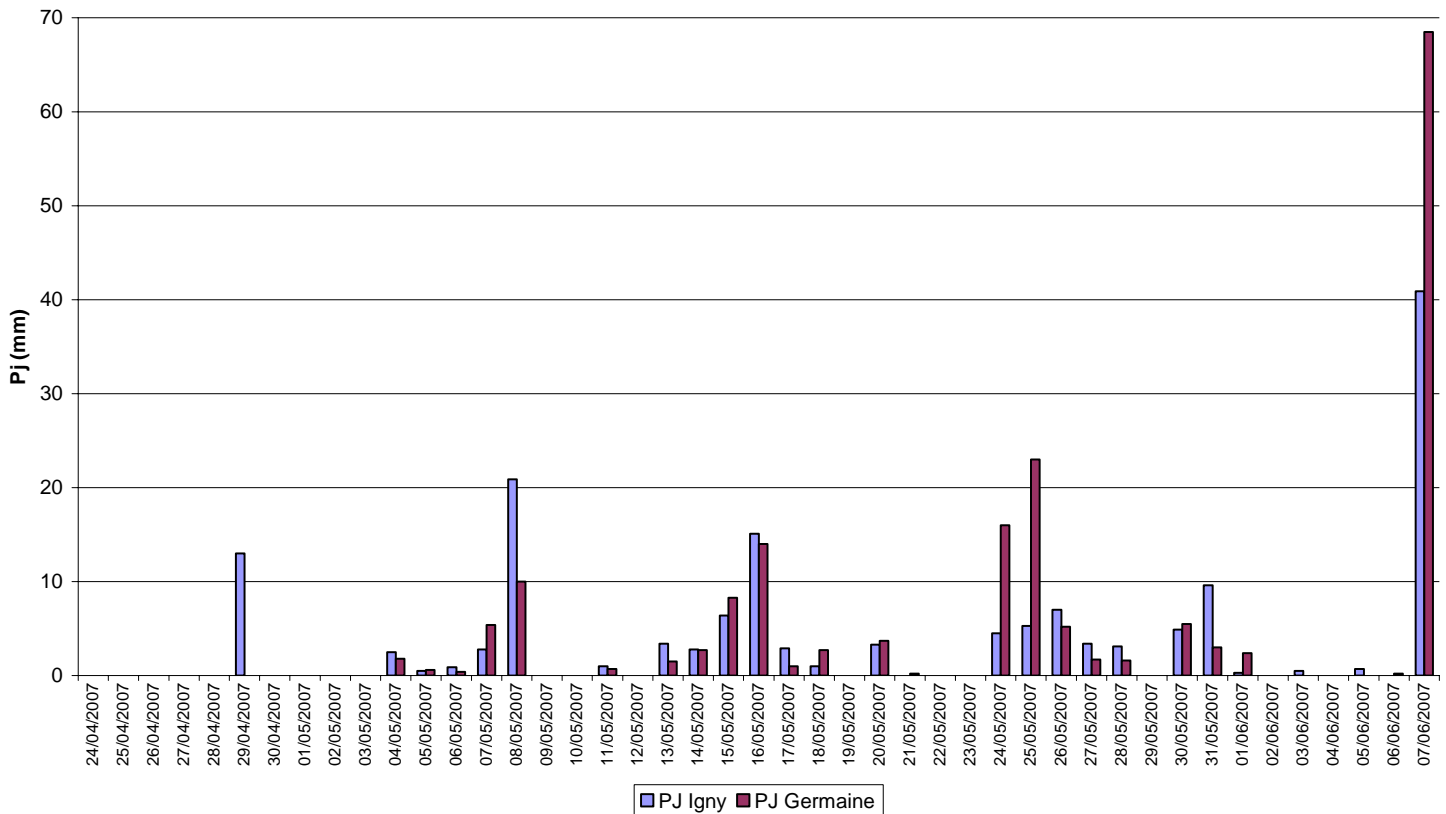
Afin de tenter de comprendre la genèse des crues observées le 25 mai et le 7 juin 2007 sur le bassin de la Germaine, nous avons analysé les pluies précédentes aux postes d'igny et de Germaine.

1.4.5.2. ANALYSE LOCALE DES PLUIES JOURNALIERES PRECEDANT LES CRUES

Les données de pluie journalière des stations GERMAINE et IGNUY entre le 24 avril et le 07 juin 2007 ont été extraites de la banque PLUVIO de METEO France.

Ces données sont représentées sur le graphique suivant :

Pluies journalières mesurées à Germaine et Igny entre le 24 avril et le 7 juin 2007



On remarque une succession de trois épisodes pluvieux de forte intensité :

- du 14 au 16 mai
- les 24 et 25 mai
- le 7 juin

Les pluies de mi-mai interviennent une semaine avant le fort évènement pluvieux du 24/25 mai 2007. On peut donc penser que le bassin était déjà partiellement saturé au moment où a débuté l'évènement pluvieux des 24/25 mai, ce qui a contribué à générer une forte crue.

L'évènement du 7 juin est arrivé sur un bassin qui était également partiellement saturé, ce qui a également contribué à générer une crue importante.

1.5. RECHERCHE DES DEBITS CARACTERISTIQUES

1.5.1. STATIONS HYDROGRAPHIQUES

Les données de débit max annuels aux stations hydrométriques alentour ont été extraites de la banque HYDRO de la DIREN.

Nom	Nombre d'années	Début	Fin
L'Automne à Vauciennes	20	1988	2008
Le Cubry à Pierry	9	1990	2003
La Py à Dontrien	18	1970	1987
La Savière à Longpont	8	1977	1984
La Soude au Soudron	30	1970	1999

Ces stations sont localisées sur la Figure 3 du paragraphe 1.4.1.

Note :

Les données issues de la station de l'Automne à Vauciennes n'ont pas été exploitées dans la partie « analyse régionale des débits » du fait de leur manque de cohérence avec celles des autres bassins.

En revanche, cette station ayant enregistré les hydrogrammes des crues les plus fortes, ses données ont été exploitées pour la recherche du coefficient de forme des hydrogrammes de crues caractéristiques.

1.5.2. ANALYSE REGIONALE DES DEBITS

Les débits maximum instantanés ont été transformés en débits réduits par la formule suivante (cf paragraphe 1.2.2) :

$$Q_{re} = \frac{12.Q}{S^{0,75}}$$

Les ajustements de ces débits réduits sont présentés sur la figure ci-après :

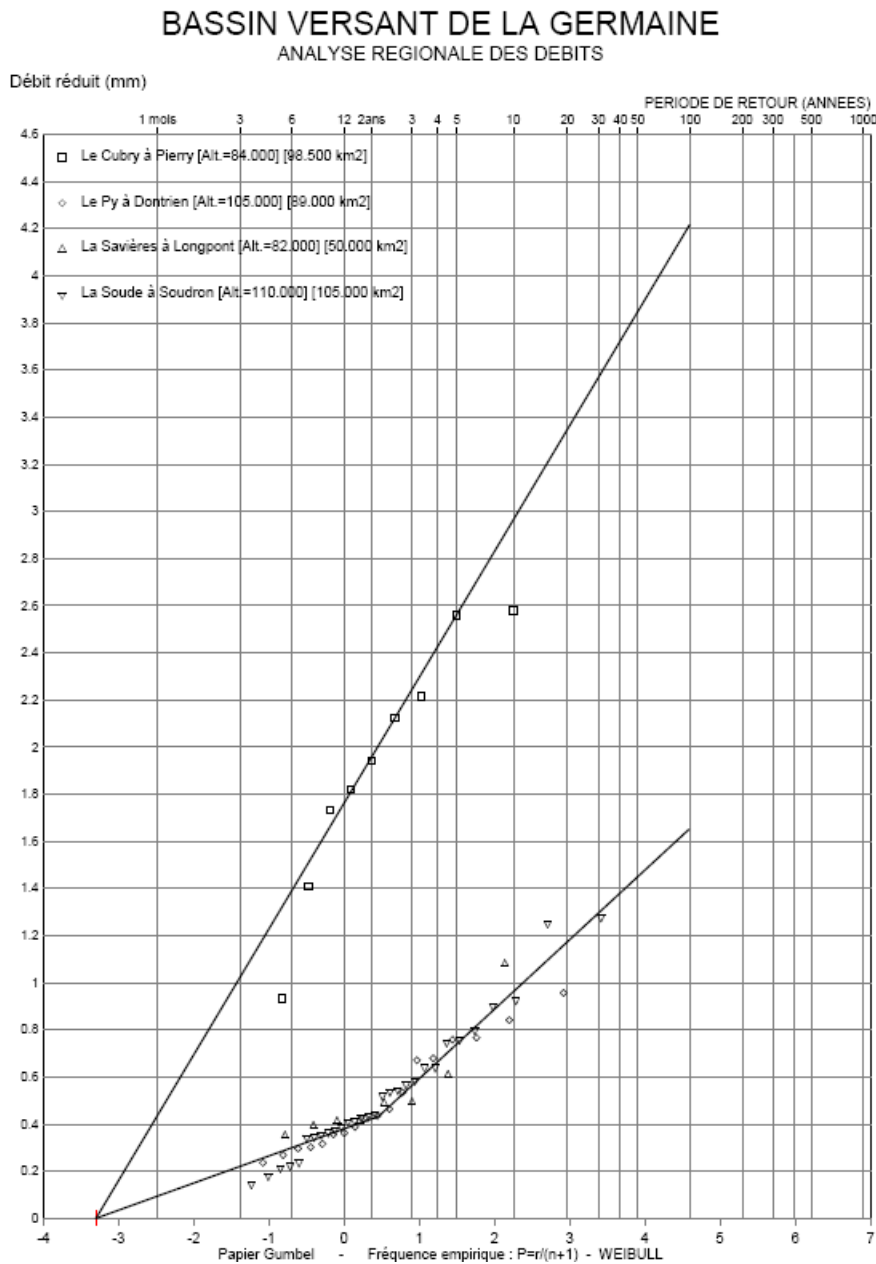


Figure 7 – Analyse régionale des débits

On note que les débits réduits des bassins versants du Py, de la Savière et de la Soude se superposent ce qui montre qu'il y a bien une relation en $S^{0.75}$.

Ceux du Cubry sont en revanche bien supérieurs.

Cette différence peut, a priori, avoir deux origines distinctes :

- une pluviométrie différente sur les deux séries de bassins
- une différence de la géologie

L'analyse pluviométrique précédente n'a pas révélé de différence notable de la pluviométrie.

En revanche, le bassin de Cubry se situe sur des terrains de type g et e1 (présence d'argile) alors que les trois autres sont sur des terrains de type c2 et e2 (pas d'argile), ce qui explique une infiltration moindre sur le bassin du Cubry. (cf paragraphe 1.3.2 pour la carte géologique)

Sachant que le bassin de la Germaine est comparable à celui du Cubry en termes de géologie, on considèrera les débits du Cubry pour déterminer ceux de la Germaine, d'autant plus que la pluviométrie y est comparable.

La Figure 7 (analyse régionale des débits) est commentée ci-après.

L'analyse des débits réduits sur les bassins du Py, de la Soude et de la Savière mettent en évidence un ajustement composé de deux branches. La deuxième branche n'est pas liée à un phénomène de saturation ; si c'était le cas, la pente de cette deuxième branche serait beaucoup plus forte. Cependant, il est vraisemblable qu'un phénomène de seuil existe sur ces trois bassins, le coefficient de ruissellement augmentant brutalement au-delà d'une période de retour de 2 ans.

L'analyse par corrélation probabiliste entre les pluies et les débits réduits de ces trois bassins confirme l'absence de phénomène de saturation complète des bassins sur les crues enregistrées.

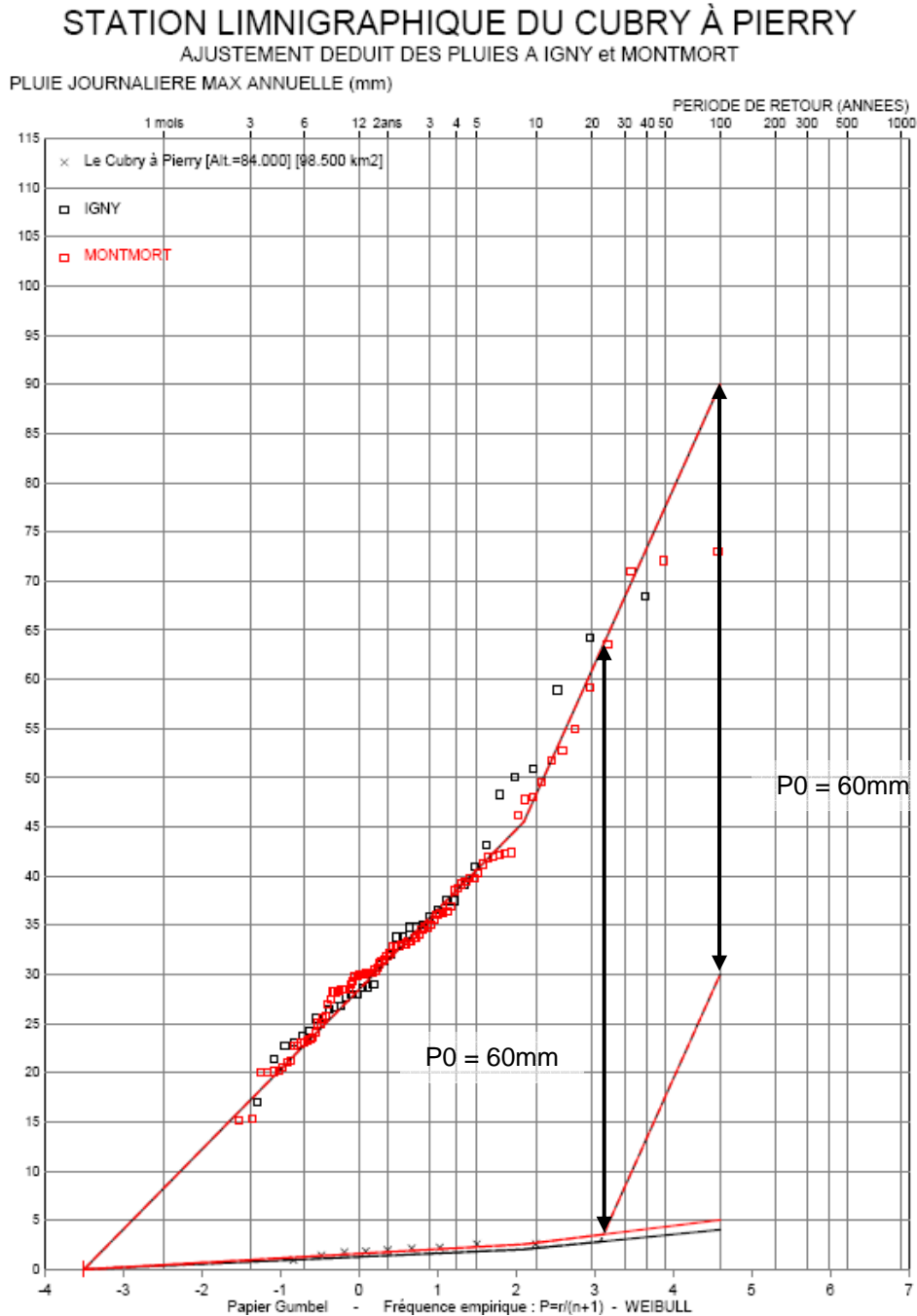
Cependant, par expérience on sait que la valeur minimale du paramètre P0 (seuil probabiliste de ruissellement) est de 60 mm à 80mm pour ce type de bassin : cette valeur de 60 mm est fréquemment obtenue sur des bassins similaires quant à la géologie. C'est une valeur minimale qui va dans le sens de la sécurité.

Sur le bassin versant du Cubry, la faible taille de l'échantillon ne permet pas d'observer de phénomène de saturation. Seul le coefficient Co (coefficient de proportionnalité des faibles crues aux pluies) peut être évalué à environ 0.05 en moyenne.

Nous adopterons donc, pour le bassin versant de la Germaine, une valeur de P0 de 60mm, ce qui va dans le sens de la sécurité.

1.5.3. DEBITS REDUITS CARACTERISTIQUES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA GERMAINE

On en déduit le graphique ci-dessous, qui conduit aux valeurs caractéristiques suivantes du débit réduit.



Les deux ajustements (en noir et en rouge) résultent de la corrélation probabiliste établie respectivement avec les pluies aux stations d'Igny et de Montfort. Le choix de ces deux stations est lié au fait qu'elles se situent en amont et à l'ouest du bassin versant considéré c'est-à-dire sur le trajet des perturbations océaniques.

La deuxième branche, parallèle à celle des pluies fortes et décalée de 60 mm, correspond à la partie résultant de la saturation du bassin.

Cette saturation interviendrait pour une période de retour moyenne de 23 ans.

NOTA BENE :

Il s'agit bien d'une valeur moyenne car la relation est probabiliste et permet de connaître la valeur moyenne. La valeur effective du paramètre P0 pour un événement donné est en fait une variable aléatoire qui dépend des pluies et de l'état du sol et du sous-sol précédant l'épisode générateur de l'événement considéré. Ceci induit qu'une crue décennale n'est pas provoquée systématiquement par une pluie décennale mais, selon ces états et la pluviométrie antérieure, peut-être par une pluie centennale (sur sol très insaturé) ou une pluie de 2 ans (sur sol quasi saturé), par exemple.

1.5.4. DEBITS CARACTERISTIQUES DE LA GERMAINE

Les valeurs caractéristiques du débit se déduisent des débits réduits par la formule inverse exprimée ci-dessous :

$$Q = Q_{re} \frac{S^{0.75}}{12}$$

Ce qui conduit aux valeurs suivantes.

	Superficie	Q (T=2)	Q (T=5)	Q (T=10)	Q (T=23)	Q (T=50)	Q (T=100)
	(km ²)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
BV Ouest	1	0.16	0.20	0.22	0.31	1.47	2.50
BV Est	4.1	0.46	0.58	0.62	0.89	4.23	7.20
BV Total	5.1	0.54	0.68	0.74	1.05	4.98	8.48

Les débits caractéristiques du bassin total ne sont pas égaux à la somme des débits de pointe des deux bassins élémentaires du fait que les hydrogrammes respectifs de ces deux sous-bassins n'ont pas le même temps de concentration ce qui fait que les débits de pointe ne sont pas synchrones.

1.6. HYDROGRAMMES DE CRUE

Les hydrogrammes associés ont été déterminés à partir d'un hydrogramme synthétique de la forme :

$$Q(t, T) = \left(\frac{t}{t_m} \right)^d e^{-\frac{d \times t}{t_m}} \times (QI(T) - Q_{base}) - Q_{base}$$

Avec :

- QI(T), le débit de pointe de période de retour T (m3/s)

- d le coefficient de forme de l'hydrogramme estimé à partir des hydrogrammes enregistrés à la station de l'Automne à Vauciennes, seule station permettant de disposer d'hydrogramme de crues relativement rare.
- Q_{base} le débit de base au temps $t=0$ de l'hydrogramme,
- t_m le temps de montée au pic calculé à partir des caractéristiques du bassin versant

Les débits de pointe ont été déterminés précédemment.

Deux hydrogrammes de crues ont été extraits de la banque HYDRO de la DIREN, pour la station hydrométrique de l'Automne à Vauciennes (code H7513030). Ils ont servi au calage du paramètre d de l'hydrogramme théorique.

Cette station hydrométrique est localisée sur la Figure 3 en page 6 du présent rapport.

Note :

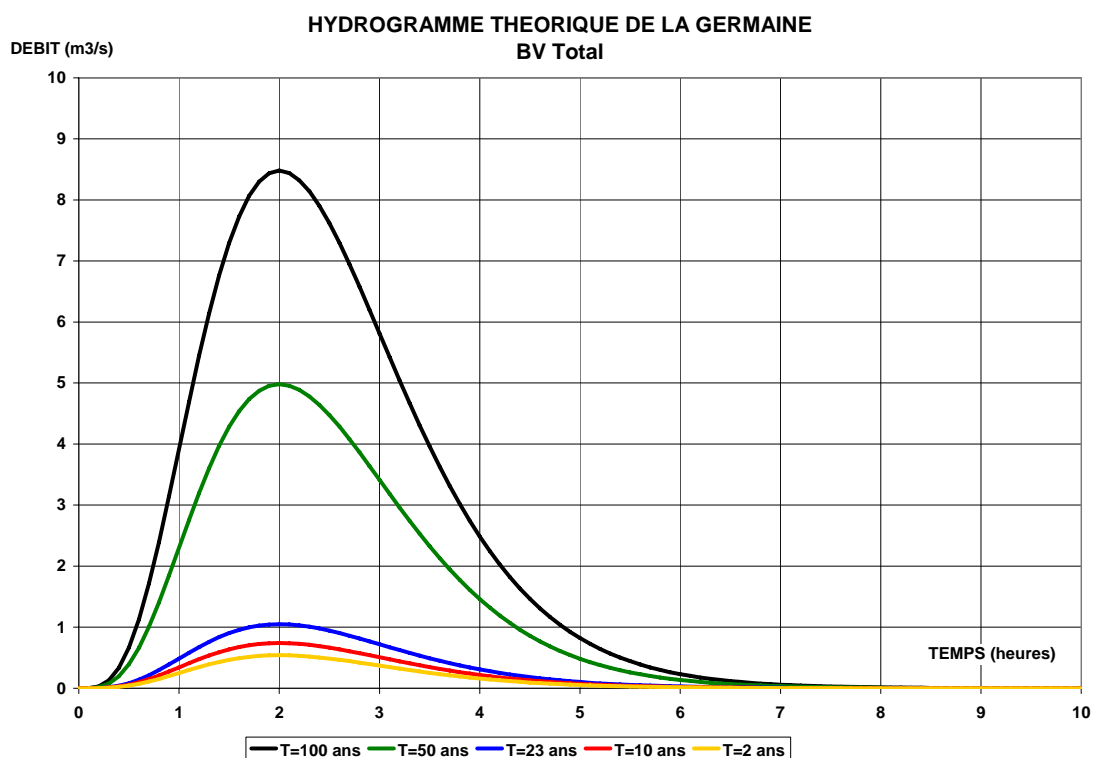
Des hydrogrammes de crues provenant des stations du Cubry, du Py, de la Savière et de la Soude ont aussi été collectés. Ils n'ont en revanche pas été exploités car les crues observées n'étaient pas assez importantes pour donner des formes d'hydrogrammes caractéristiques et exploitables.

L'analyse des hydrogrammes des crues de Juillet 2001 et Février 2007 de l'Automne à Vaucienne a permis de déterminer un coefficient de forme de 4 pour l'hydrogramme théorique. Ce même coefficient est appliqué sur le bassin versant de la Germaine pour établir un hydrogramme théorique.

On considère que le débit de base est nul sur le bassin versant de la Germaine.

Le temps de montée au pic sur le bassin versant de la Germaine a été estimé avec plusieurs formules donnant des résultats convergeant vers un temps de 2 heures.

Les hydrogrammes de crue théoriques sont les suivants :



1.7. CONCLUSIONS

Cette étude a donc permis d'établir deux catégories de paramètres :

- Les débits de pointe de crue

Ceux-ci seront utiles pour calibrer les éventuels chenaux d'écoulement à définir, par exemple, pour alimenter un bassin d'écrêtement ou un chenal d'évacuation vers l'aval.

La reconnaissance de terrain a montré qu'on s'achemine plus vraisemblablement vers la solution d'un bassin d'amortissement.

- Les hydrogrammes de crue

Ceux-ci seront directement utilisables pour dimensionner le bassin d'amortissement.

Les études à venir analyseront l'efficacité du bassin selon la période de retour considérée.

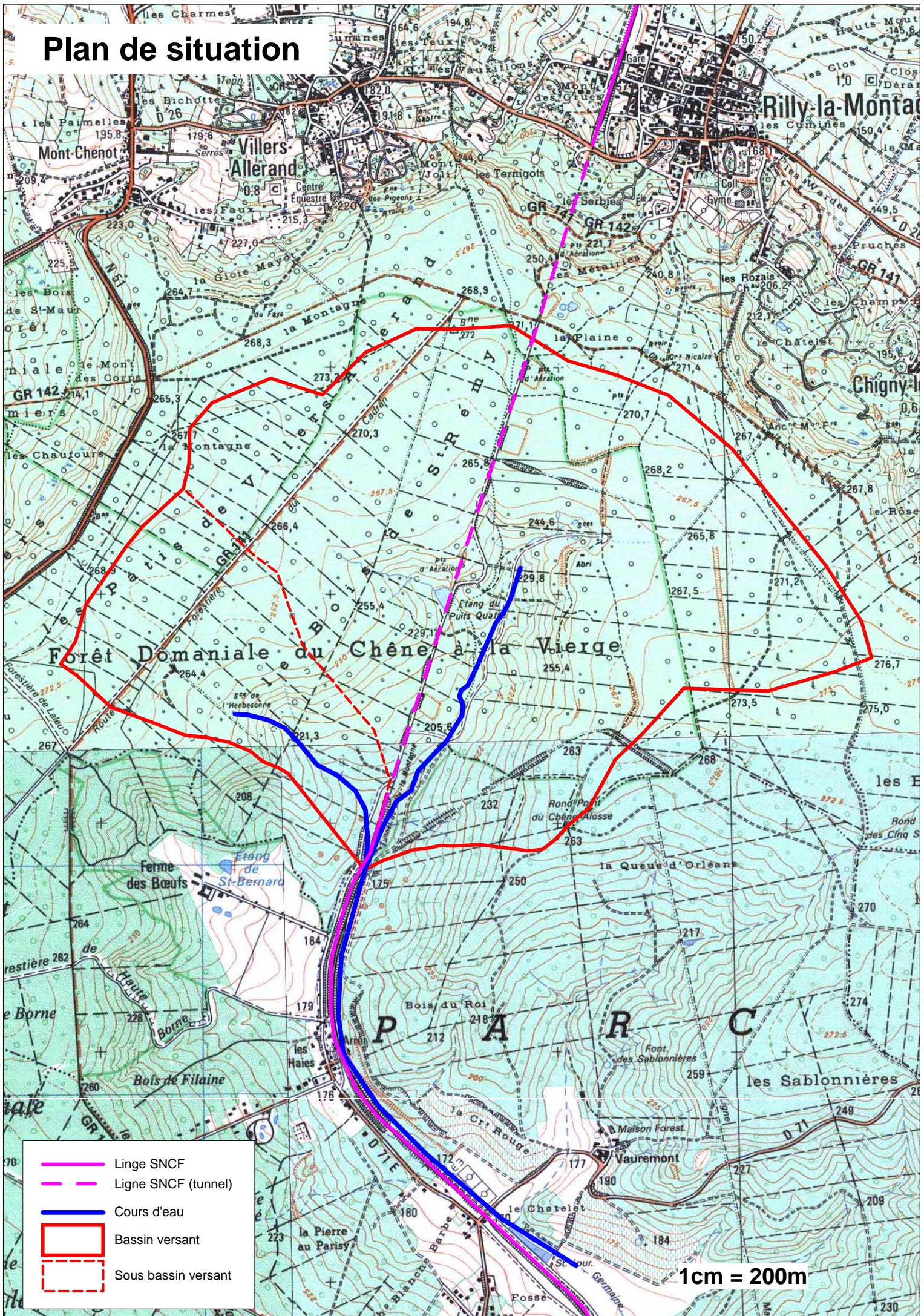
Il sera essentiel de ne pas se limiter à une période de retour de 10 ans, classique en matière d'assainissement mais de regarder jusqu'à un événement centennal.

ANNEXES

ANNEXE 1

PLAN DE SITUATION

Plan de situation



ANNEXE 2

PRESENTATION DE LA METHODE SPEED

La méthode SPEED (Système Probabiliste d'Etude par Evènements Discrets), développée par SOGREAH, est fondée d'une part sur une analyse particulière et régionale des pluies et, d'autre part, sur la relation mise en évidence par SOGREAH entre pluie et débit de crue.

SPEED est un système probabiliste mis au point à partir de la théorie du Processus de Poisson et de la théorie de l'échantillonnage.

A.1 L'ANALYSE REGIONALE DES PLUIES JOURNALIERES

A.1.1 BASES THEORIQUES

La théorie adoptée est le processus de Poisson. Il est considéré que la pluie (comme d'autres événements météorologiques accidentels - coups de vent, cyclones, orages etc.) satisfait aux axiomes de base de cette théorie.

Ceci implique en particulier que les maximums annuels (ou saisonniers) de la pluie journalière (P_j) suivent une loi de Gumbel. Cet ajustement des pluies observées sur graphique de Gumbel se traduit par une droite (cf graphique page suivante) définie par :

- Y_0 , qui est le pivot de la distribution, c'est à dire la valeur de la variable de Gumbel pour laquelle la droite de Gumbel coupe l'axe $P_j = 0$.

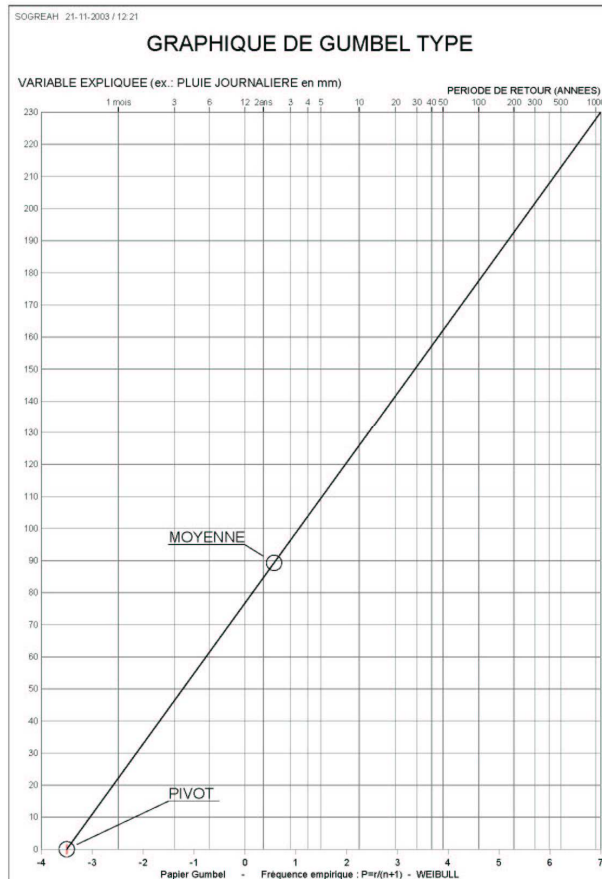
Il est démontré que $n=e^{-Y_0}$ est le nombre d'évènements indépendants d'où sont tirés les maximums annuels. Ce nombre n est proportionnel au nombre de perturbations météorologiques et on peut s'attendre à son invariance dans une région géographique, donc à l'invariance de Y_0 , pour des phénomènes de même origine.

- La moyenne P_{Jm} , qui est plus caractéristique du régime de pluie dont dépend le secteur.

Elle peut varier spatialement au contraire du paramètre Y_0 (pour une même famille d'évènement), cette variation étant liée à des raisons géographiques (un même évènement pluvieux peut évoluer au cours de son déplacement). On démontre mathématiquement que la moyenne est associée à une variable de Gumbel de 0.5772 (variable d'Euler) soit une période de retour de 2,3 ans.

C'est cette moyenne P_{Jm} et le pivot Y_0 qui sont utilisés pour caractériser les pluies sur le secteur d'étude. Dans l'étude qui suit nous considérerons la pluie de période de retour 2 ans (P_{J2}) très proche de la moyenne (période de retour 2,3 ans).

Le Gradex est la pente de la droite de Gumbel utilisée pour évaluer les débits de crues rares.



A.1.2 REGIONALISATION

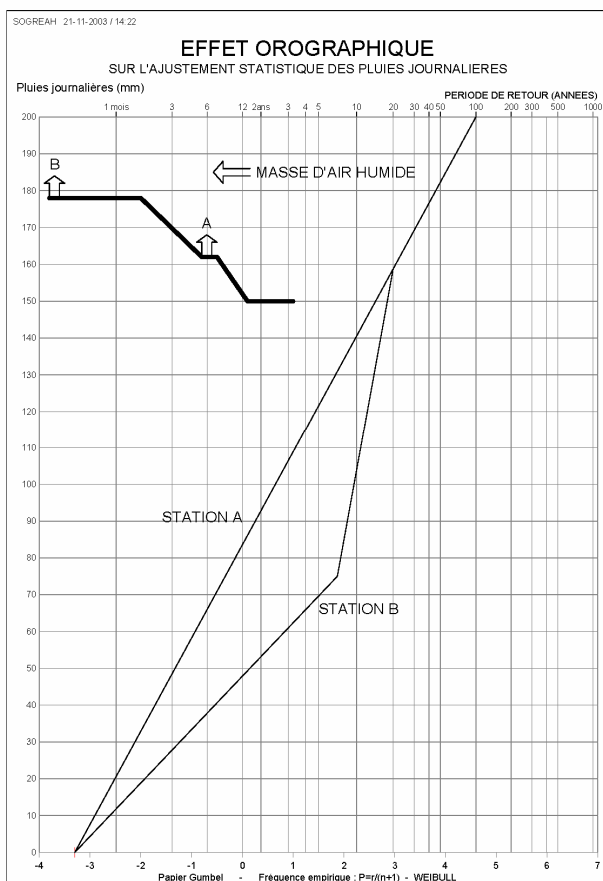
L'intérêt de régionaliser l'étude réside en premier lieu dans la détermination du pivot ce qui permet de réduire l'incertitude sur les ajustements statistiques. Mais la régionalisation a permis, au fil des applications de la méthode, de mettre en évidence des phénomènes particuliers liés à la géographie du secteur d'étude et révélant des "cassures" dans les droites d'ajustement de Gumbel.

On citera en particulier deux phénomènes qui peuvent apparaître sur certains bassins et qui conduisent chacun d'eux à une augmentation de la valeur des pluies rares et donc à celles des débits rares ce qui explique les phénomènes catastrophiques de Nîmes, Vaison la Romaine etc...

A.1.3 EFFET OROGRAPHIQUE

Le premier effet est observable sur une station située en aval d'une chaîne de montagne (par rapport au flux des masses d'air humides).

Considérons deux stations A et B comme indiqué sur la figure suivante, la première étant sur le versant montagneux amont et la seconde en aval du versant recevant la perturbation.



Lorsqu'une masse d'air chaude et humide arrive sur le versant, le massif montagneux l'oblige à s'élever en altitude ce qui se traduit par des pluies. Lorsque la masse d'air arrive en B, son humidité a diminué ce qui se traduit en B par des pluies moins intenses qu'en A. Sur un graphique de Gumbel cela se traduit par deux ajustements A et B passant par le même pivot mais dont la pente (le Gradex) est plus faible pour la station B que pour la station A.

Or, si l'on considère une masse d'air de grande ampleur et très humide donc un phénomène de fréquence rare, on peut imaginer que les pluies tombant en A ne provoquent qu'un faible "assèchement" de la masse d'air qui arrive en B avec quasiment les mêmes potentialités qu'en A. Il s'en suit des pluies en B comparables à celles tombées en A. Sur un graphique de Gumbel, cela conduit à une cassure pour l'ajustement B : en dessous d'une certaine période de retour T1 les pluies sont inférieures aux pluies en A et au-dessus d'une autre période de retour T2, les pluies sont identiques aux pluies A.

A.1.4 BULLES FROIDES (GOUTTE FROIDE)

Le phénomène des bulles froides conduit au même résultat que celui exposé précédemment.

Il peut apparaître sur des stations situées à proximité d'un relief même réduit et en amont de ce relief par rapport au flux des perturbations atmosphériques.

Il arrive parfois qu'une masse d'air froide se bloque contre le relief et joue alors, pour la masse d'air chaude et humide qui survient, le rôle d'un relief plus prononcé c'est à

dire provoque une ascension de cette masse d'air humide générant ainsi des pluies plus intenses que celles qu'il y aurait en l'absence de la masse d'air froide.

Ce phénomène est fréquent dans les Pyrénées orientales où il peut concerner des bassins étendus et explique les crues exceptionnelles survenues ces deux dernières décennies à Nîmes, Vaison la Romaine entre autres. Il explique également des cassures constatées sur le bassin de la Moselle par exemple.

Il conduit à des ajustements comparables à ce qui était décrit précédemment pour la station B.

A.1.5 PLUIES MIXTES

Si l'échantillon est composé de deux familles distinctes de pluies (pluies d'origine convective et pluies d'origines cyclonique) il peut y avoir une cassure. C'est le cas par exemple lorsque les orages conduisent à des pluies journalières largement supérieures aux pluies journalières d'origine cyclonique.

On observe cela à la station d'Aumont (Somme) ou de Vittel.

A1.2 RELATION PLUIE-DEBIT

A1.2.1 BASES THEORIQUES

La relation pluie-débit à l'échelle d'une crue de période de retour T fait intervenir les variables suivantes :

- le débit de pointe Q_T (en m^3/s) de la crue,
- le volume de la crue V_T (en millions de m^3),
- le temps de base de la crue T_b (en heures),
- la pluie journalière P_{jT} (en mm) telle que mesurée au pluviomètre,
- la pluie de durée t_e , $P_T(t_e)$ (en mm), mesurée au pluviographe,
- le temps de concentration t_c du bassin (qui est une constante, en heures),
- la superficie S du bassin versant (en km^2),
- la lame ruissellée en crue R_T (en mm) : $R_T = 1000 V_T/S$

Physiquement, une pluie $P(t_e)$ provoque une crue de volume V et de débit de pointe Q : t_e est le temps de pluie efficace, c'est à dire qu'il y a ruissellement sur le bassin pendant la durée t_e .

Les relations ci-dessous sont toutes très classiques :

a) Théorie de l'hydrogramme unitaire :

- Il existe un temps caractéristique du bassin versant, le temps de concentration t_c .
- $T_B = 1000 V/1,8Q$ est le temps de base de la crue triangulaire équivalente.

Ce qui signifie qu'à un accroissement de la pluie de durée efficace t_e , le bassin répond par un accroissement proportionnel des débits de la crue, sans changement du temps de base T_b .

- $T_B = t_e + t_c$ ne dépend pas de la quantité de pluie efficace $P(t_e)$
- $T_B = 2 t_c$ pour les phénomènes exceptionnels ($t_e = t_c$).

Il existe donc un hydrogramme type des crues exceptionnelles.

a) Théorie du Gradex

Elle relie les forts volumes de crue aux fortes pluies par :

$$R_t = P_T(t_c) - P_0(t_c) \text{ si } T > T_0$$

la loi probabiliste des lames d'eau ruisselées est parallèle à celle des pluies dès que le temps de retour est supérieur à T_0 (alors $t_e = t_c$).

c) Loi intensité-durée-fréquence

Pour des pluies cycloniques pures (dépressions océaniques ou cyclones tropicaux) on observe :

$$P_T(t) = a \cdot P_{jT} \cdot t^{0.4} \quad (a \text{ vaut souvent } 1/3).$$

Où

$P_T(t)$ = pluie de durée t et de période de retour T .

P_{jT} = pluie journalière de même période de retour.

Remarques :

- Le dépouillement des pluviogrammes pour l'étude des relations intensité-durée-fréquence est une tâche particulièrement délicate: beaucoup d'études basées sur des dépouillements faux donnent des résultats erronés.
- D'autre part, il convient dans certaines régions de séparer les pluviogrammes de pluies cycloniques des enregistrements de pluies d'origine convective. Quand un régime de pluies cycloniques existe dans une région (c'est le cas de la France), c'est ce régime qui provoque les crues de forts temps de retour, quelle que soit la taille du bassin versant, sauf en cas de bassin imperméabilisé (hydrologie urbaine).

d) Formule de temps de base :

$$T_B = k \cdot S^{0.417}$$

Cette dernière formule n'est pas classique, mais peut être rapprochée de la formule de Kirpich donnant le temps de concentration $t_c = K \cdot (L/\sqrt{S})^{0.77}$, avec L = longueur du thalweg principal en km. Le calcul de T_B par les

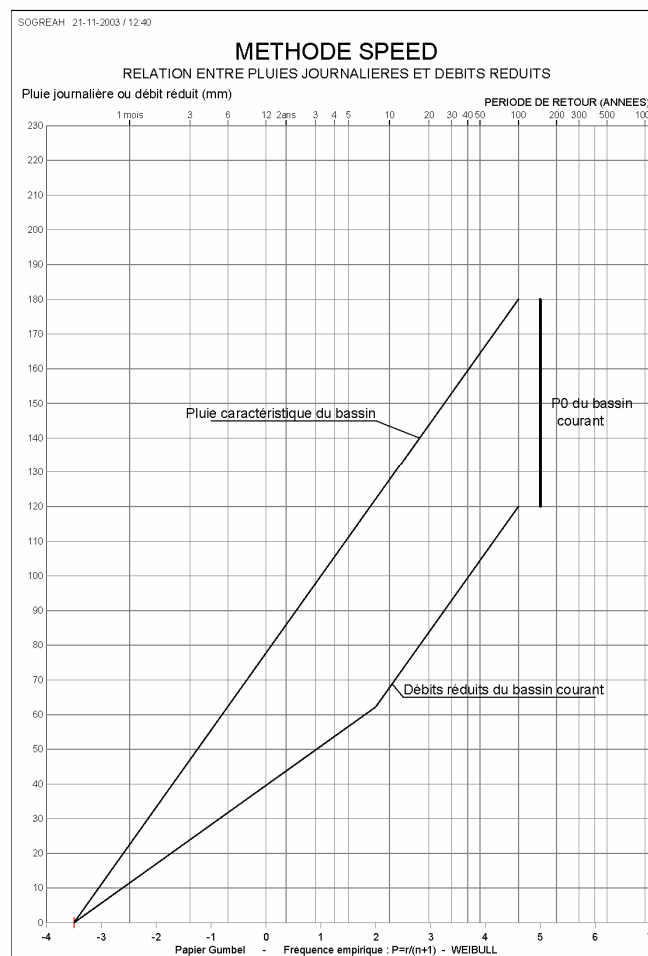
deux formules (avec $T_B = 2 t_c$) fournit des résultats extrêmement proches.

La combinaison de ces différentes formules conduit à :

$$Q_T = \frac{S^{0,75}}{12} (C_0 P_T) \quad \text{si } T < T_0$$

$$Q_T = \frac{S^{0,75}}{12} (P_T - P_0) \quad \text{si } T > T_0$$

C_0 = coefficient de proportionnalité des faibles crues aux pluies.



Cette formule est extrêmement stable d'un bassin à l'autre bien que les paramètres d'ajustement des formules 1 à 4 soient très variables suivant les régions.

Quand on dispose de données concomitantes de pluies journalières sur le bassin et de débits de pointe de crue à l'exutoire, on compare graphiquement les quantités P et $12.Q/S^{0,75}$: on trouve systématiquement (dès que T dépasse une certaine valeur T_0) une droite des crues parallèle à

celle des pluies (ce qui justifie le coefficient 1/12) et décalée de P_0 . Cette relation probabiliste permet de déterminer P_0 bassin par bassin.

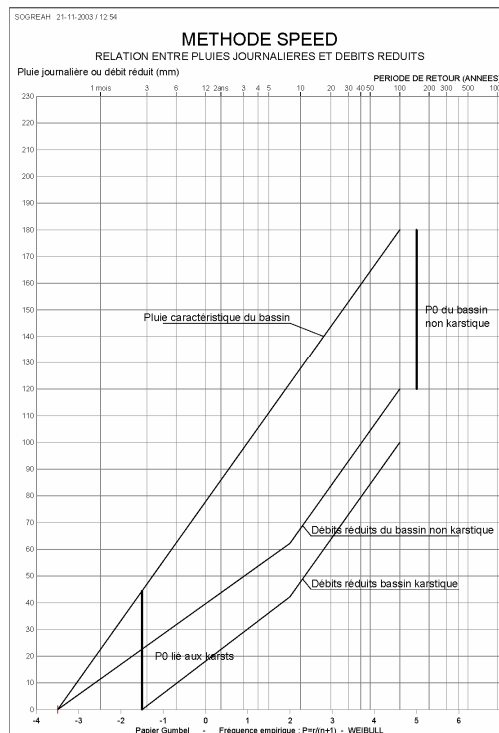
On a vérifié expérimentalement que cette formule est valable pour des bassins versants tout petits (à condition qu'ils soient "naturels") et jusqu'à des bassins de 500 à 1000 km², voire plus (comme pour la méthode du Gradex).

Il faut remarquer que, dans cette formule, P_T est la pluie journalière afférente à un pluviomètre particulier, dit pluviomètre caractéristique du bassin.

Enfin, pour $T < T_0$, on effectue l'ajustement direct à partir des observations (après correction des erreurs d'échantillonnage). En effet, pour ces épisodes de période de retour relativement faible, une partie de la pluie tombée sert à remplir la nappe et les flaques de surface (théorie des "aires contributives").

On a pu déterminer que le paramètre P_0 prend, en France, une valeur souvent proche de 60 mm, hors bassins karstiques. P_0 dépend de la nature du sols, de son degré d'altération et de l'épaisseur de la couche altérée.

Pour un bassin karstique, on observe que le pivot des débits réduits n'est pas confondu avec celui des pluies (cf graphique page suivante). Le décalage est lié à la quantité d'eau perdue dans les karsts. Celle-ci augmente la P_0 global d'autant.



On voit que l'on obtient une formulation probabiliste du débit de pointe Q_T en fonction de la superficie qui :

- est très proche de l'ancienne formulation SOGREAH ($Q = A.S^\alpha$ avec α compris entre 0,75 et 0,8),
- fait intervenir directement la pluie journalière P_T ,
- est compatible avec les deux théories les plus vraisemblables en hydrologie,

Gradex et hydrogramme unitaire.