



HAL
open science

Etude hydrologique de la Mortagne (Lorraine)

Seok Choong Kim

► **To cite this version:**

Seok Choong Kim. Etude hydrologique de la Mortagne (Lorraine). Sciences de la Terre. Université Paul Verlaine - Metz, 1991. Français. NNT : 1991METZ002L . tel-01775918

HAL Id: tel-01775918

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01775918>

Submitted on 24 Apr 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

UNIVERSITE DE METZ

ETUDE HYDROLOGIQUE DE LA MORTAGNE
(LORRAINE)

EXCLU DU PRET

lex. ex.

BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE LETTRES · METZ ·	
N° Inv.	<i>L/Mz 91/2</i> <i>tome 1</i>
Cote	<i>X</i>
Loc.	MAGASIN

THESE DE DOCTORAT D'UNIVERSITE

KIM Seok Choong

BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE DE METZ

METZ 1991



031 429002 5

AVANT-PROPOS

Le Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de Metz (C.E.G.U.M.) et son directeur, Monsieur le Professeur François REITEL, ont très largement contribué à mon initiation aux problèmes hydrologiques.

Madame J. CORBONNOIS et messieurs D. FRANCOIS, E. GILLE et M. SARY ont bien voulu suivre de manière constante mon travail de recherche. Je les remercie également d'avoir révisé totalement le texte de la thèse, car mes difficultés de rédaction en français sont encore très importantes.

Les services techniques (Agence de l'eau Rhin-Meuse, Service Régional d'Aménagement des Eaux de Lorraine, Service de la Navigation de Nancy) ont fourni toutes les données nécessaires à la réalisation de cette étude. Je remercie particulièrement Monsieur J. F. ZUMSTEIN, Ingénieur à l'Agence de l'Eau, avec lequel j'ai acquis plus de rigueur dans la critique et le traitement statistique des données.

Je suis très honoré que messieurs les Professeurs F. REITEL (Metz, Directeur de thèse), J.C. BONNEFONT (Nancy), J.C. PIHAN (Metz), et Monsieur l'Ingénieur J.F. ZUMSTEIN aient accepté d'être membres du jury. Je souhaite qu'ils trouvent ici le témoignage respectueux de leur haute compétence et qu'ils puissent tolérer mes insuffisances, dans le traitement et la rédaction du sujet.

J'ai également une pensée très amicale pour tous mes collègues du C.E.G.U.M. et les membres de ma famille, qui ont su m'encourager tout au long de ces années de travail, à l'université de Metz.

INTRODUCTION GENERALE

L'étude présente, menée dans le cadre du Centre d'Etudes Géographiques de l'Université de Metz (C.E.G.U.M.), est le résultat de recherches hydrologiques effectuées dans un milieu géographique bien déterminé : le bassin de la Mortagne.

L'orientation hydrologique de ce travail correspond à la volonté de compléter une formation universitaire fondée sur la géologie et la géotechnique. De ce fait, l'apprentissage des méthodes et techniques de traitement de données climatiques et hydrologiques a été nécessaire.

Le sujet permet d'aborder différents aspects de l'hydrologie (régimes, débits extrêmes, profils hydrologiques et cartographie des débits d'étiage). Cependant, l'étude des écoulements est étroitement liée aux conditions climatiques et aux facteurs naturels du bassin-versant qui induisent des variations complexes dans le temps et dans l'espace. Nous avons donc essayé d'aborder les problèmes hydrologiques dans leur contexte géographique.

Le bassin de la Mortagne (580 km²) a été choisi pour différentes raisons:

- c'est un bassin affluent de la Meurthe qui est représentatif du plateau lorrain, avec cependant, à l'amont, une partie située dans les Vosges gréseuses.
- deux stations hydrométriques permettent de différencier le régime des écoulements, celle d'Autrey pour la zone gréseuse à l'amont (98 km²) et celle de Gerbéviller, à l'aval (490 km²), qui est représentative de l'ensemble du bassin (ces stations ont des séries de données suffisamment longues : le traitement a été effectué sur la période 1970-1987)

- les stations climatiques sont nombreuses et assez bien réparties sur l'ensemble du bassin (une station pour 50 à 100 km²).
- de nombreuses mesures de débit ont été réalisées en étiage par le C.E.G.U.M. (contrat Agence de l'Eau Rhin-Meuse, 1989)

On peut donc admettre que les données sont suffisantes pour étudier le régime général des précipitations et des écoulements. Certaines caractéristiques des débits extrêmes ont également traitées (crues et étiages).

Les résultats de nos travaux sont exposés en quatre parties. La première présente les facteurs naturels et physiographiques du bassin-versant et du réseau hydrographique qui contribuent à la transformation des précipitations en écoulements. La seconde aborde le climat du bassin-versant pour aboutir à un essai de bilan hydrique. La troisième expose le régime des écoulements moyens et la dernière traite les débits extrêmes et plus particulièrement les débits d'étiage.

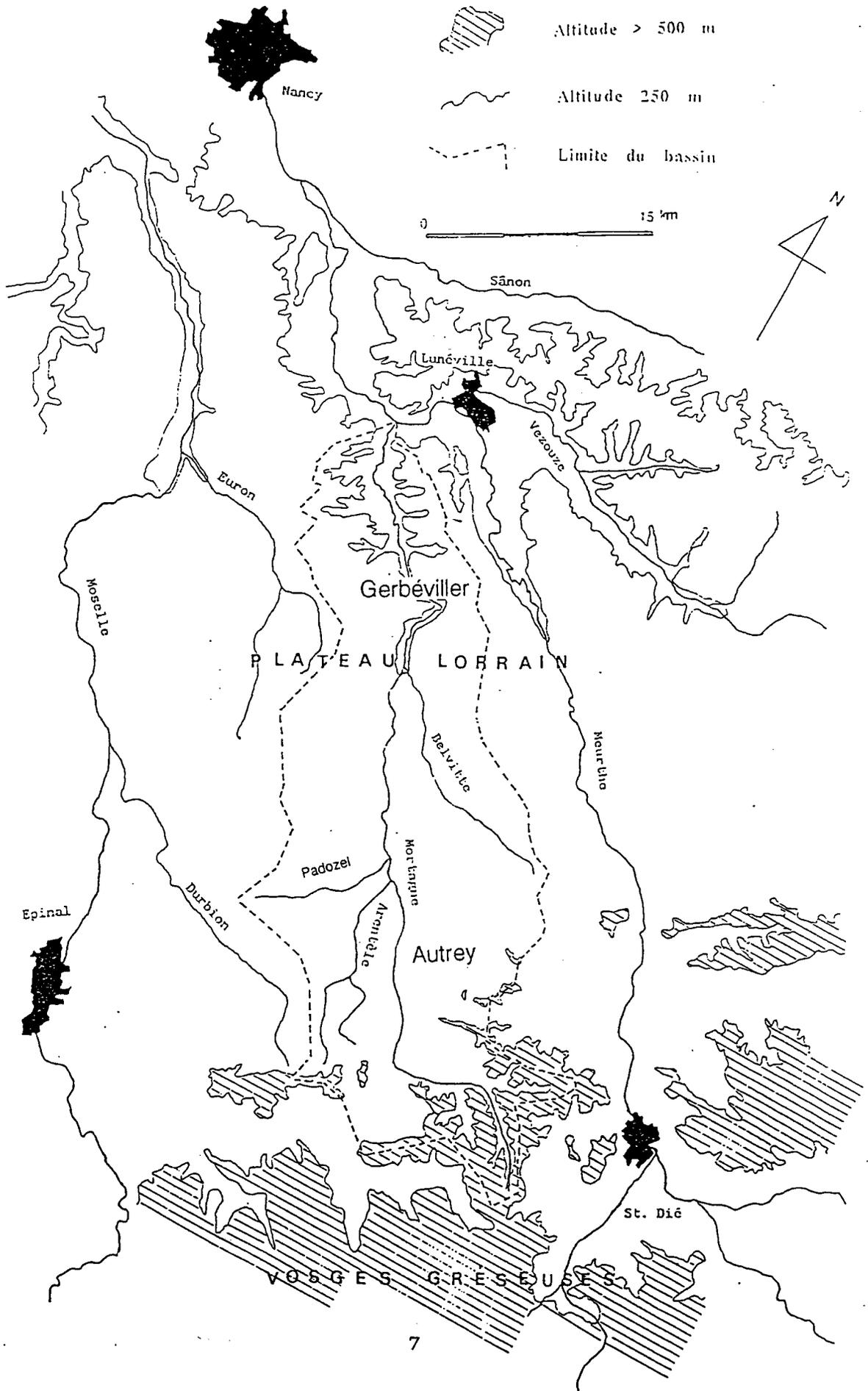
PREMIERE PARTIE

LE BASSIN-VERSANT ET LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Fig.1

CONTEXTE REGIONAL DU BASSIN-VERSANT DE LA MORTAGNE

LEGENDE



INTRODUCTION

La Mortagne est un affluent de rive gauche de la Meurthe (cf. Carte, Fig. 1). Son tracé, long de 70 km environ, est parallèle à celui de la Moselle et de la Meurthe, avec une direction générale SSE-NNO. La rivière prend sa source dans les reliefs gréseux (400-700 m) qui bordent la dépression de Saint-Dié, puis traverse le plateau triasique (Muschelkalk et Keuper) aux altitudes comprises entre 300 et 400 m, et conflue avec la Meurthe, à une altitude de 220 m environ, à l'aval de Lunéville.

Le bassin-versant, d'une superficie de 580 km², est de forme allongée. Ceci est dû au fait que la Mortagne n'a pas d'affluents très importants (Arentèle et Padozel, en rive gauche, et Belvitte en rive droite). En effet, le bassin de la Mortagne est concurrencé dans sa partie orientale par le bassin de la Meurthe et dans sa partie occidentale par le bassin de la Moselle (Euron et Durbion essentiellement)

Nous étudierons donc l'ensemble du bassin, à la confluence avec la Meurthe, mais également les sous-bassins aux stations hydrométriques (Autrey-Saint-Hélène à l'amont, et Gerbéviller à l'aval).

Dans cette première partie, nous étudierons les caractéristiques essentielles du bassin-versant et du réseau hydrographique qui influent nécessairement sur le régime des écoulement. Mais il est très difficile de quantifier ces influences comme le souligne M. ROCHE (1963) ;

"... On peut facilement se faire une idée qualitative du mode d'action de ces différents facteurs sur la transformation des pluies en écoulement. La difficulté est d'exprimer cette influence par des paramètres valables qui soient bien représentatifs de ce mode d'action : le problème n'a pas encore reçu de solution générale et il est probable qu'il n'en existe pas, du moins sous une forme utilisable. Par contre, on peut établir un certain nombre d'indices susceptibles de servir au moins de points de repère dans la classification des bassins et de faciliter les études par analogie."

On présentera d'abord les caractéristiques morphométriques du bassin versant, puis celle de la structure géologique et de l'occupation du sol, et enfin celles du réseau hydrographique. Ces caractéristiques permettront de préciser l'organisation interne des différents milieux qui contribuent à la transformation des précipitations en écoulements.

CHAPITRE I - CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES DU BASSIN-VERSANT

Ces caractéristiques sont déterminées à l'aide des cartes topographiques à différentes échelles. La délimitation du bassin de la Mortagne et des sous-bassins est donc établie à partir des lignes de crêtes qui sont considérées comme des lignes de partage des eaux. Celles-ci sont généralement valables pour les eaux de surface (précipitation et eaux de ruissellement), par contre pour les eaux souterraines, ces limites ne correspondent pas toujours aux limites réelles qui sont difficiles à établir (limites hydrogéologiques).

A - Superficie et forme

1. Superficie

La superficie du bassin-versant de la Mortagne est de 580 km². C'est un des deux plus grands bassins affluents de la Meurthe avec celui de la Vezouze (560 km²).

Pour mieux comprendre l'organisation interne du bassin de la Mortagne, nous avons délimité les bassins versants dont la superficie est supérieure à environ 3 km².

Deux types de délimitation ont été effectués :

- délimitation des bassins-versants affluents directs de la Mortagne (cf. Carte, Annexe I).
- délimitation de tous les bassins-versants affluents directs et indirects de la Mortagne (cf. Carte, Annexe II).

BASSINS-VERSANTS DE LA MORTAGNE. ORDONNES EN FONCTION
DE LA SURFACE

Fig. 2 : B.V. affluents directs

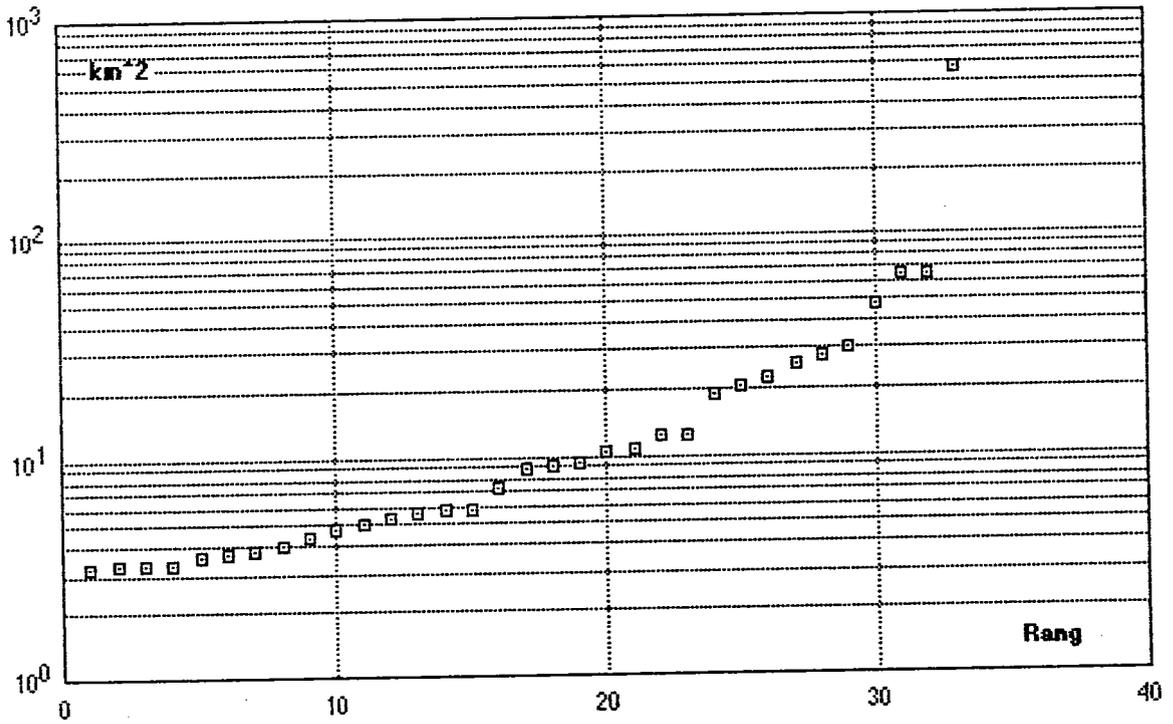
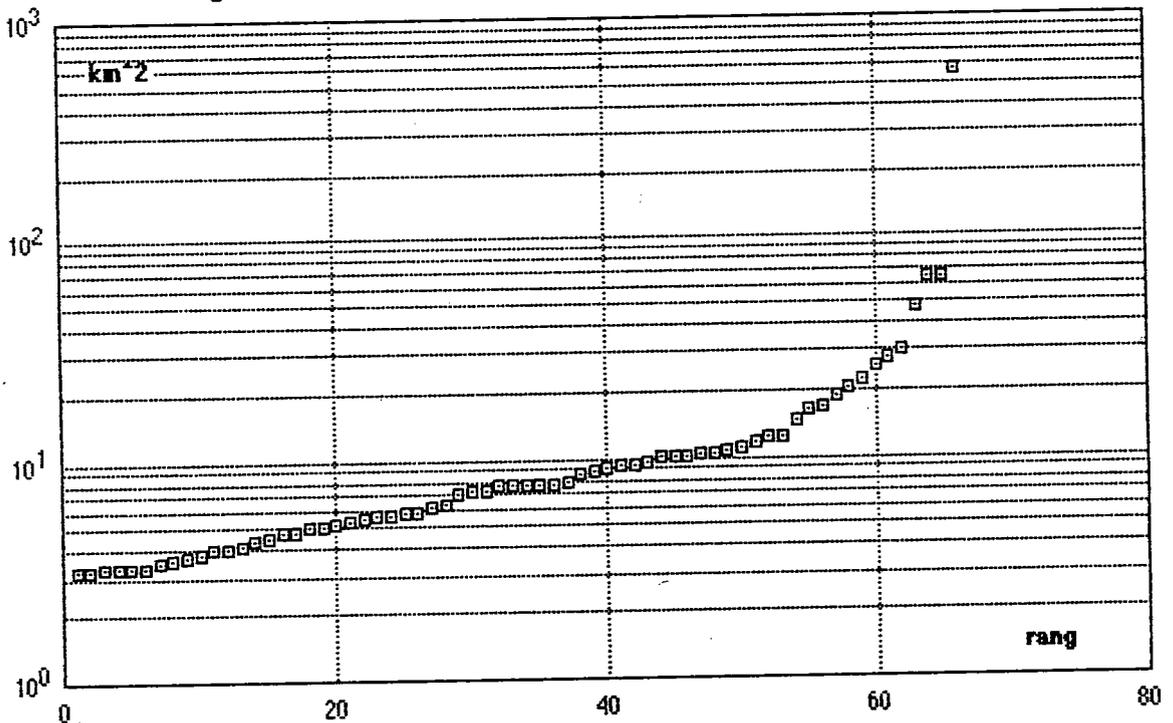


Fig. 3 : B.V. affluents directs et indirects



Les bassins-versants, numérotés de l'amont vers l'aval, ont été planimétrés sur les cartes au 1/50 000^{ème}. Les valeurs des surfaces sont reportées sur des tableaux (cf. Annexe III).

Le classement ordonné des bassins-versants, en fonction de leur surface (rang), permet de mieux analyser leur distribution (cf. Fig.2 et Fig.3).

Ce classement montre une répartition disproportionnée des bassins-versants :

- les bassins-versants affluents directs de la Mortagne (32) ont une surface moyenne de 15 km², mais 72 % de ces bassins-versants ont une surface inférieure à la moyenne.
- les bassins-versants affluents directs et indirects de la Mortagne (65) ont une surface moyenne de 11 km² et 77 % de ces bassins-versants ont une surface inférieure à la moyenne.

Ainsi le bassin de la Mortagne (580 km²) est constitué essentiellement de petits bassins-versants, seuls 8 bassins ont une superficie supérieure à 20 km² : les plus importants étant l'Arentèle (65 km²), la Belvitte (65 km²) et le Padozel (48 km²).

Cette répartition disproportionnée de la taille des bassins-versants suggère une progression géométrique qui a été mise en évidence pour l'ensemble du bassin de la Moselle par D. FRANCOIS et M. SARY (1990) :

" On peut considérer que ce bassin est suffisamment vaste pour qu'on puisse établir des classes de sous-bassins selon une progression géométrique des surfaces. Nous avons ainsi défini des classes (ordonnée 1 à x) dont les bornes sont régulièrement espacées sur une échelle logarithmique, ... "

Pour le bassin de la Mortagne, nous avons délimité et ordonné les classes suivantes :

Tableau N° 1 : Détermination des classes de bassins

(surface : km²)

Ordre	Valeur géométrique	Valeur calculée
3	10 ^{0.50} - 10 ^{0.75}	3.16 - 5.62
4	10 ^{0.75} - 10 ^{1.00}	5.62 - 10.0
5	10 ^{1.00} - 10 ^{1.25}	10.0 - 17.8
6	10 ^{1.25} - 10 ^{1.50}	17.8 - 31.6
7	10 ^{1.50} - 10 ^{1.75}	31.6 - 56.2
8	10 ^{1.75} - 10 ^{2.00}	56.2 - 100
9	10 ^{2.00} - 10 ^{2.25}	100 - 178
10	10 ^{2.25} - 10 ^{2.50}	178 - 316
11	10 ^{2.50} - 10 ^{2.75}	316 - 562
12	10 ^{2.75} - 10 ^{3.00}	562 - 1 000

(les classes inférieures à l'ordre 3 ne sont pas prises en compte, les bassins-versants dont la surface est inférieure à 3,16 km² n'étant pas déterminés dans notre étude)

Pour ces différentes classes, on dénombre les bassins-versants et on calcule leur surface moyenne.

Pour la Mortagne, on obtient les résultats suivants :

Tableau N° 2 : Nombre et surface moyenne des bassins-versants par classe

Ordre des classes	Bassins-versants directs et indirects		Bassins-versants directs		
	limites des classes (km ²)	nombre de bassins	surface moyenne des bassins	nombre de bassins	surface moyenne des bassins
3	3.16-5.62	23	4.2	13	4.1
4	5.62-10.0	20	7.6	6	7.7
5	10.0-17.8	13	12.1	4	11.5
6	17.8-31.6	6	24.2	6	24.2
7	31.6-56.2	1	47.7	1	47.7
8	56.2-100	2	65.1	2	65.1
9	100-178	0	-	0	-
10	178-316	0	-	0	-
11	316-562	0	-	0	-
12	562-1000	1	582	1	582

(surface : km²)

BASSINS-VERSANTS AFFLUENTS DIRECTS

Fig. 4 : Surfaces moyennes des bassins (A_x)

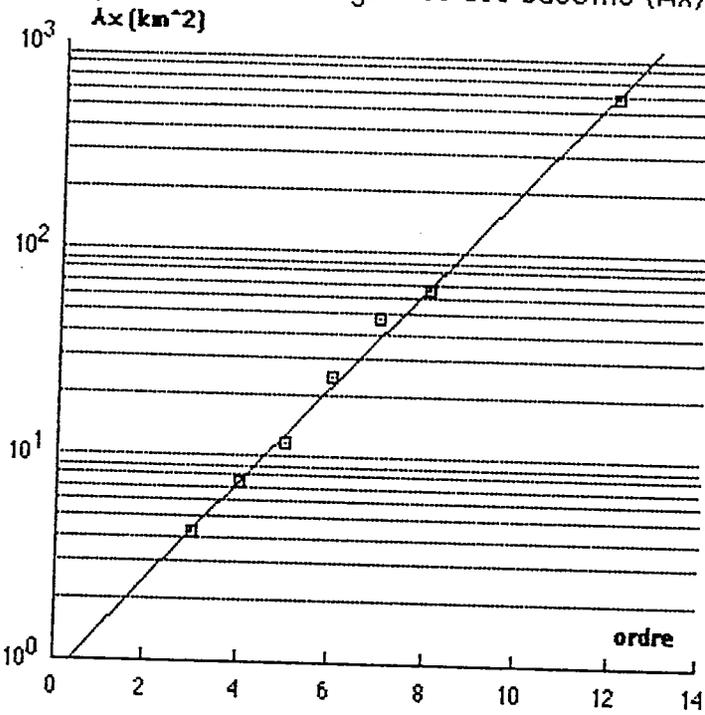
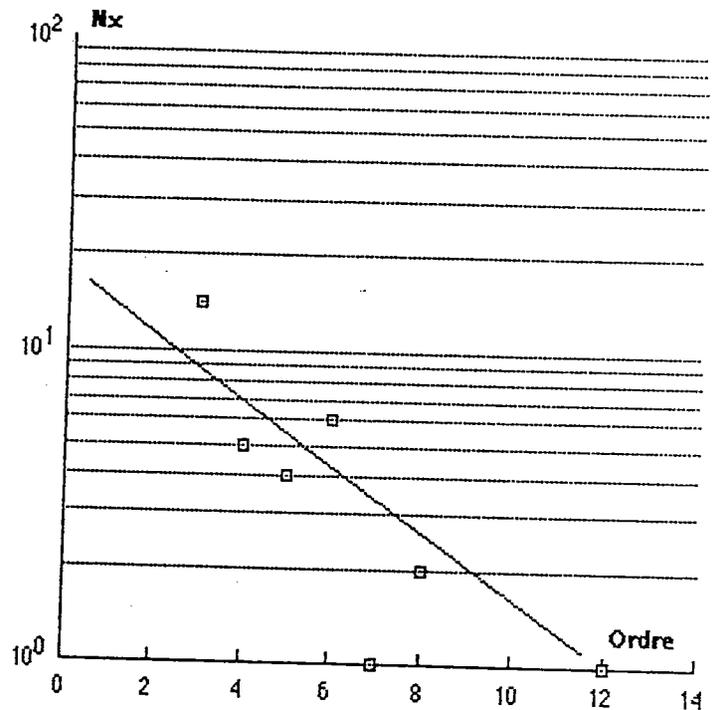


Fig. 5 : Nombre de bassins (N_x)



BASSINS-VERSANTS AFFLUENTS DIRECTS ET INDIRECTS

Fig. 6 : Surfaces moyennes des bassins (A_x)

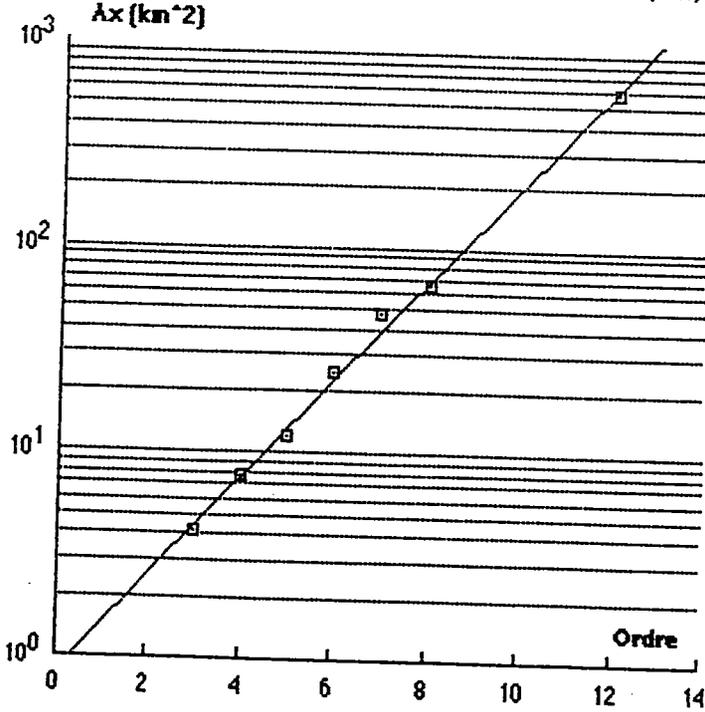
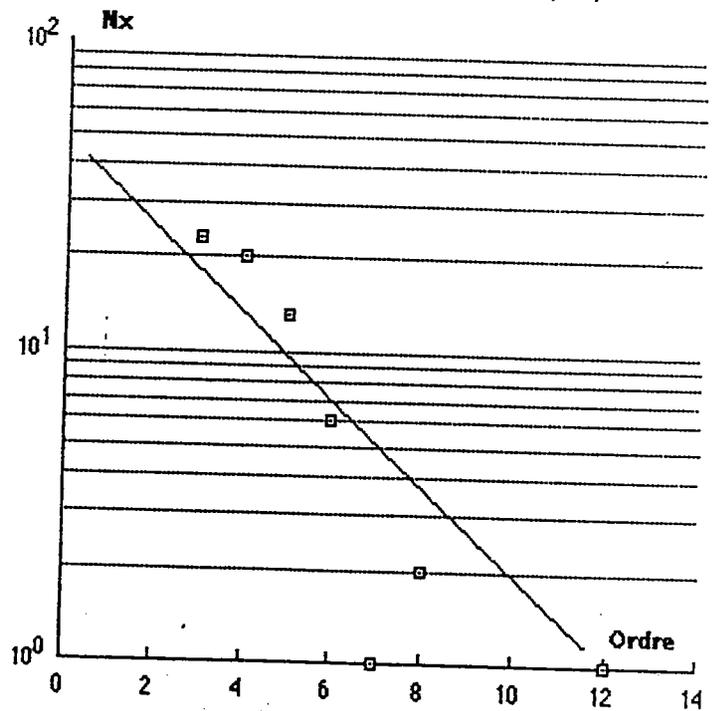


Fig. 7 : Nombre de bassins (N_x)



Ainsi, si ces valeurs répondent à une progression géométrique, on peut appliquer les lois d'Horton comme elles ont été redéfinies par D. FRANCOIS et M. SARY (1990) :

- loi du nombre de bassins

" Dans un bassin déterminé, le nombre de bassins de chaque ordre forme une série géométrique inverse, dont le premier terme est l'unité, et la raison, le rapport du nombre total de bassins d'un certain ordre (x) à celui des bassins de l'ordre immédiatement supérieur ($x+1$) "

- loi des surfaces moyennes des bassins

" Dans un bassin déterminé, les surfaces moyennes des bassins de chaque ordre forment une série géométrique directe dont le premier terme est la surface moyenne des bassins élémentaires, et la raison, le rapport de la surface moyenne des bassins d'un ordre donné (x) à celle des bassins de l'ordre immédiatement inférieur ($x-1$). "

Pour appliquer ces lois, on porte sur un papier semi-logarithmique (cf. Fig. 4, 5, 6 et 7) les valeurs du tableau précédent (Tableau 2), en prenant l'échelle logarithmique pour le nombre de bassins (N_x) et la surface moyenne de ces bassins (A_x) de l'ordre correspondant.

L'analyse des graphiques fait apparaître des résultats contrastés :

- les surfaces moyennes des bassins (A_x) répondent à la loi définie. Les valeurs s'alignent correctement sur une droite, avec la même pente pour les bassins-versants affluents directs (cf. Fig. 4) et pour les bassins-versants affluents directs et indirects (cf. Fig. 6). Ceci montre que l'on peut déterminer les surfaces moyennes des bassins en ne prenant en compte que les affluents qui confluent directement avec la rivière principale.

- le nombre de bassins (Nx) n'obéit que partiellement à la loi définie. Les valeurs s'alignent mieux si on prend en compte tous les bassins-versants directs et indirects (cf Fig. 7), mais la hiérarchisation n'est pas très bien réalisée.

Cette analyse confirme que la Mortagne n'a pas pu développer totalement son espace d'écoulement. L'absence de grands bassins intermédiaires (ordres 9, 10 et 11) montre l'insuffisance du développement du réseau affluent. Celui-ci est soumis à la concurrence des affluents de la Meurthe et surtout de la Moselle (Euron et Durbion).

2. Forme

La Forme d'un bassin intervient dans l'élaboration des écoulements du fait qu'elle représente l'organisation générale des surfaces d'écoulement de l'amont vers l'aval.

Un bassin compact (tendance circulaire) aura une concentration des écoulements proche de l'exutoire, alors que pour un bassin allongé la concentration s'étalera tout au long du drain principal. Il en résulte donc une élaboration différente des types d'écoulement. Ainsi en crue, l'hydrogramme sera plus étalé et la pointe de crue plus faible pour un bassin allongé que pour un bassin compact.

Plusieurs indices permettent de définir la forme du bassin :

- Indice d'allongement d'Horton (IH)

Cet indice est défini par le rapport entre la plus grande longueur du bassin à l'exutoire (LH) et la plus grande largeur (IH) perpendiculaire à cette longueur :

$$IH = \frac{LH \text{ (km)}}{IH \text{ (km)}}$$

Cet indice s'applique à des formes simples lorsque l'exutoire est dans le prolongement de la plus grande longueur du bassin. Par contre, pour des formes complexes, il faut décomposer le bassin en une succession de bassins élémentaires à forme simple pour lesquels on détermine LH et IH.

- Indice de compacité de Gravélius(KC)

Cet indice permet de comparer le périmètre stylisé du bassin (P) à celui d'un bassin circulaire (P') de même superficie (A) que le bassin étudié :

$$Kc = \frac{P(\text{km})}{P'(\text{km})}$$

$$\text{avec } P' = 2 \sqrt{\pi A} \quad (A \text{ en km}^2)$$

Cet indice est également simple, mais le périmètre doit être fortement stylisé de manière à gommer toutes les sinuosités de la limite du bassin-versant qui ne sont pas significatives de la forme générale du bassin.

Si ce périmètre (P) n'est pas suffisamment stylisé l'indice (Kc) sera trop élevé.

- Indice du rectangle équivalent (IR)

Le bassin-versant peut être rapporté à un rectangle de superficie (A) et de périmètre (P) équivalents. La longueur (LR) et la largeur (IR) sont calculées par la formule suivante (M.Roche 1963) :

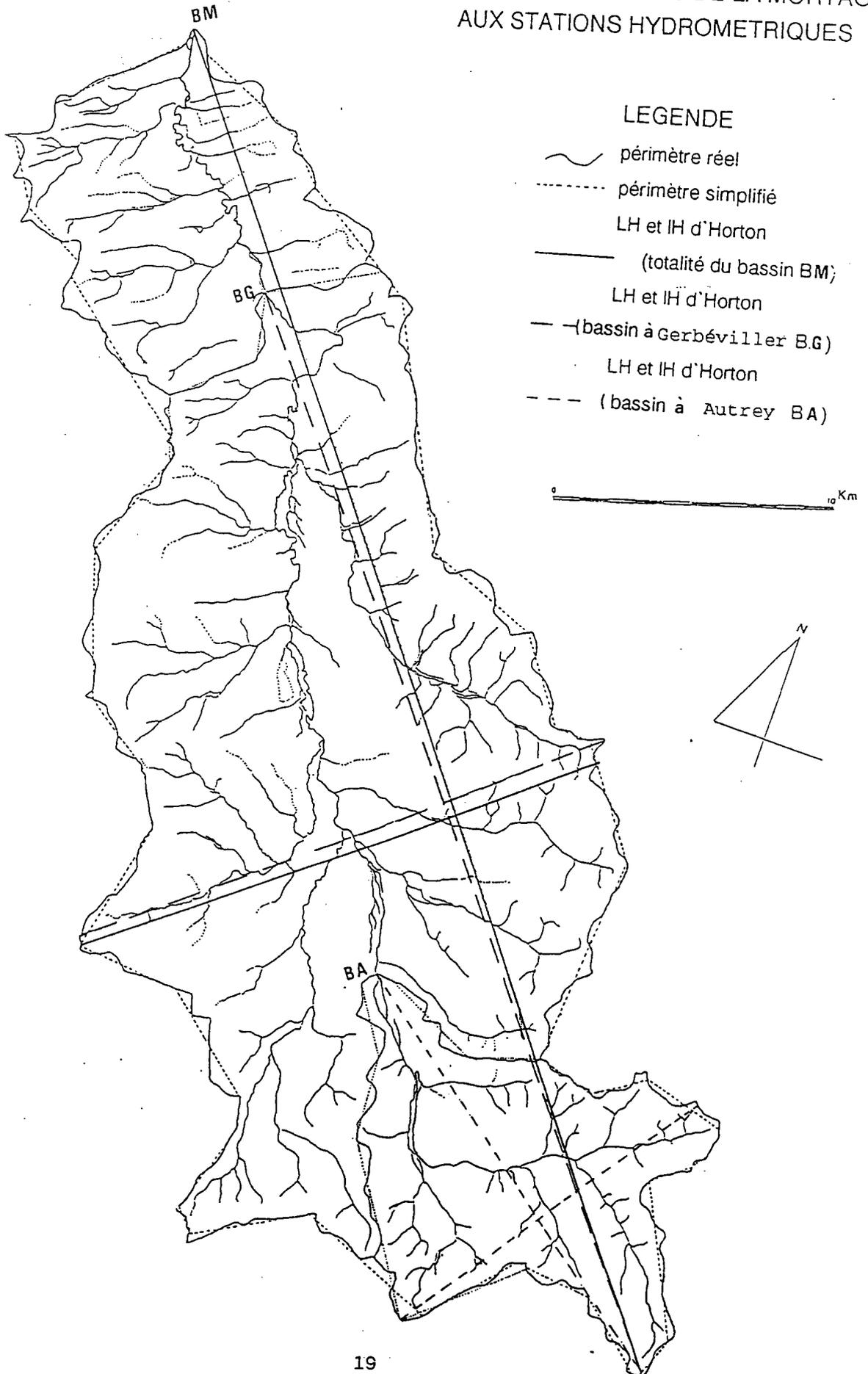
$$LR \text{ et } IR = \frac{P}{4} \pm \sqrt{(P/4)^2 - A}$$

LR, IR et P en km

A en km²

Fig. 8

BASSINS-VERSANTS DE LA MORTAGNE
AUX STATIONS HYDROMETRIQUES



Le rectangle équivalent sert essentiellement à calculer un indice de pente (étudié par la suite). On peut cependant en tirer l'indice d'allongement suivant :

$$IR = \frac{LR \text{ (km)}}{IR \text{ (km)}}$$

Cet indice plus complexe, fait également intervenir le périmètre du bassin qui doit être stylisé. L'application de ces indices a été réalisée sur le bassin de la Mortagne (cf. Carte, Fig. 8)

- à la station Hydrométrique d'Autrey (BA), vers l'amont
- à la station Hydrométrique de Gerbéviller (BG), vers l'aval
- et à la confluence avec la Meurthe (BM)

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant:

Tableau N° 3 : Indices de forme

Indice d'allongement d'Horton (IH)

Bassin	LH (km)	IH (km)	IH
BA	17.3	13.3	1.30
BG	40.7	20.2	2.01
BM	50.2	20.1	2.50

Indice de compacité de Gravélius (Kc)

Bassin	P (km)	A (km)	P'(km)	Kc
BA	50	98	35.1	1.42
BG	115	490	78.5	1.47
BM	136	582	85.5	1.59

Indice du rectangle équivalent (IR)

Bassin	LR (km)	IR(km)	IR
BA	20.1	4.87	4.13
BG	47.1	10.1	4.66
BM	58.0	10.0	5.80

Globalement les indices évoluent de la même manière. L'allongement est progressif de l'amont vers l'aval (BA, BG et BM). L'indice qui exprime le mieux la forme réelle du bassin est celui d'Horton (IH). Celui de Gravélius (Kc) semble moins significatif, surtout entre BA (1.42) et BG (1.47). L'indice du rectangle équivalent (IR) est également moins expressif, car il fournit des valeurs élevées.

En prenant les valeurs d'Horton, on peut donc dire que le bassin à Autrey (BA) est assez compact, alors qu'à Gerbéviller (BG) il est deux fois plus long que large et à la confluence avec la Meurthe (BM) 2,5 fois plus long que large.

Cet allongement confirme les observations faites antérieurement sur l'organisation générale du bassin-versant. En effet, l'allongement progressif de l'amont vers l'aval est lié à l'importance des bassins-versants affluents:

- en amont d'Autrey (BA), la hiérarchisation des bassins-versants affluents est assez bien réalisée, il en résulte une certaine compacité qui est caractéristique de l'implantation du réseau hydrographique dans les grés vosgiens
- entre Autrey et Gerbéviller (BA, BG), l'allongement est très rapide bien que la Mortagne reçoive des affluents de moyenne importance. Mais les bassins de ces affluents ont également des formes allongées avec une orientation à peu près parallèle au cours de la Mortagne.

- entre Gerbéviller et la confluence avec la Meurthe (BG, BM), la Mortagne ne reçoit plus que de petits affluents avec des bassins de faible superficie. L'allongement est ainsi fortement accentué.

La forme d'un bassin-versant est donc liée à la taille et à l'organisation des bassins-versants affluents. Plus ces bassins sont de forme allongée, avec des superficies faibles et une orientation proche de celle du cours principal et plus la forme du bassin global sera allongée: c'est le cas de la Mortagne.

B-Relief

Le relief des bassins-versants peut-être appréhender par l'étude des caractéristiques hypsométriques et par des indices globaux (relief et pente). L'analyse sera effectuée pour l'ensemble du bassin à la confluence avec la Meurthe (BM) et aux deux stations hydrométriques d'Autrey (EA) et de Gerbéviller(BG).

1-Données hypsométriques

La répartition des altitudes, ou répartition hypsométrique, est déterminée à partir d'une carte des courbes de niveau (cf. Annexe IV).

Le bassin-versant de la Mortagne a une altitude maximale de 706 m à l'extrémité amont du bassin et une altitude minimale de 218 m à la confluence avec la Meurthe. La répartition des altitudes n'est pas homogène. Seul le quart S.E. du bassin a des altitudes assez élevées (supérieures à 400 m) qui correspondent à un relief de basse montagne avec des vallées étroites : les Vosges gréseuses. La majeure partie du bassin s'inscrit dans un relief de plateau entaillé par de larges vallées : le plateau lorrain.

BASSIN DE LA MORTAGNE
HYPSONOMETRIE

Fig. 9 : Histogramme des fréquences

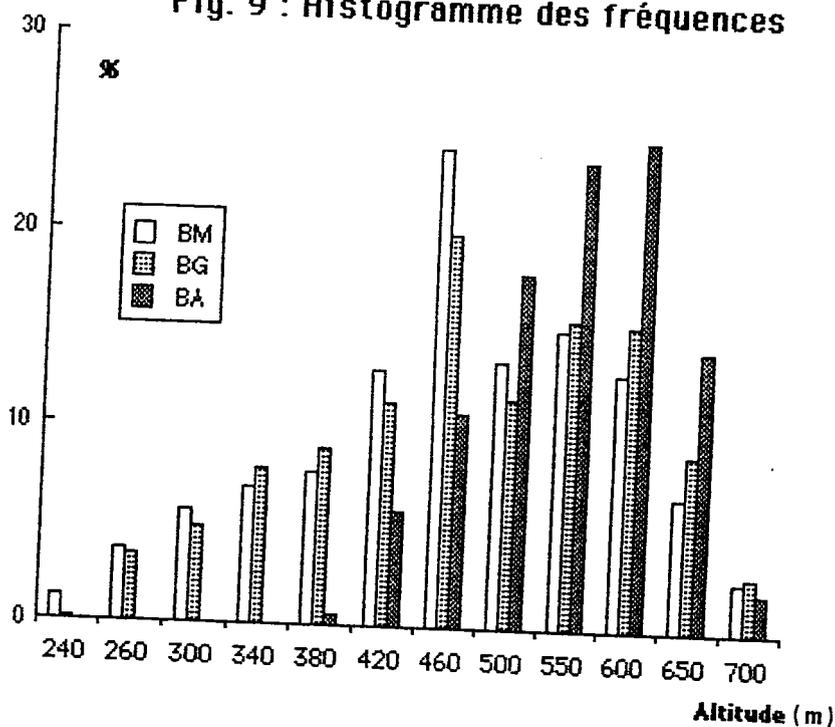
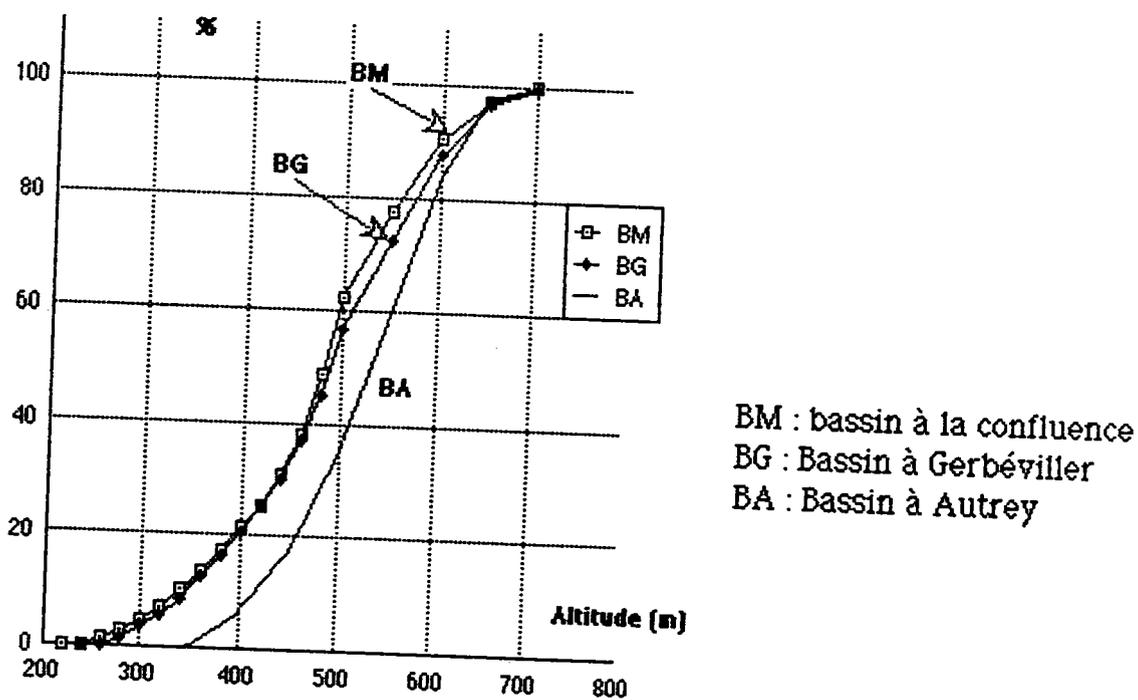


Fig. 10 : Courbes des fréquences cumulées



L'élaboration de l'histogramme des fréquences des altitudes (cf Fig.9) et des courbes des fréquences cumulées (cf Fig.10) permet de bien différencier les bassins. Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N° 4: Caractéristiques hypsométriques

Caractéristiques (en m)	BA	BG	BM
altitude maximale (Hmax)	706	706	706
altitude minimale (Hmin)	340	236	218
altitude à 95% (H95%)	612	517	498
altitude à 50% (H50%)	469	331	318
altitude à 5% (H5%)	360	264	247
dénivelée totale (Dt)	366	470	488
dénivelée utile (Du)	252	253	251

avec : $Dt = H_{max} - H_{min}$
 $Du = H_{95\%} - H_{5\%}$

Une nette différence apparait entre le bassin amont, à Autrey (BA) et les deux autres bassins (BG et BM) qui sont similaires :

- Pour BA, l'altitude moyenne (469 m) ne détermine pas un relief franchement montagneux. D'autre part, les altitudes supérieures à 600 m (95%) sont peu importantes, il en résulte une dénivelée utile assez moyenne (252 m) qui confirme que le relief de ce bassin se caractérise plus par un aspect de haut plateau disséqué que par un aspect montagneux.
- pour BG et BM, les données sont très semblables, la station de Gerbéviller étant située très à l'aval du bassin-versant (surface de 490 km² pour BG et de 582 km² pour BM). Les altitudes moyennes des bassins, qui englobent le bassin amont (BA) sont nettement inférieures (331 m et 318 m). Par contre la dénivelée utile (253 m et 251 m) est équivalente à celle du bassin amont. On peut donc considérer que le relief global

constitue un plateau amplement disséqué compte-tenu de cette dénivelée et de l'allure assez redressée des courbes hypsométriques

2. Indices de pente et de relief

L'O.R.S.T.O.M. (M. ROCHE 1963) a élaboré des formules simples pour calculer la pente moyenne (s) d'un bassin, en utilisant la dénivelée totale (Dt), ou la dénivelée utile (Du), et la longueur du rectangle équivalent (LR) :

$$St (\%) = \frac{Dt \text{ (m)}}{LR \text{ (m)}}$$

$$\text{ou } Su (\%) = \frac{Du \text{ (m)}}{LR \text{ (m)}}$$

L'auteur propose également un indice de pente (IS) qui prend en compte la répartition des différentes tranches d'altitudes reportées sur le rectangle équivalent (RE). Pour chaque tranche, la pente moyenne (entre 2 courbes de niveaux de RE) est pondérée par la surface correspondante. L'indice de pente global d'un bassin (IS) est donc la somme des racines carrées des pentes moyennes des différentes tranches, pondérées par les surfaces correspondantes.

Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau N° 5 Pentes moyennes et indice de pente

Bassins	BA	BG	BM
Pentes moyenne St (%)	1.82	1.00	0.84
Pente moyenne Su (%)	1.37	0.54	0.43
indice de pente IS	0.127	0.084	0.077

Les pentes moyennes des différents bassins sont assez faibles, sauf pour le bassin amont (BA) où la pente est environ deux à trois fois supérieure à celle de l'ensemble du bassin de la Mortagne (BM).

Le bassin à Gerbéviller (BG) est comparable à celui du bassin global (BM) : on peut donc admettre que la station hydrométrique de Gerbéviller est représentatif du bassin total de la Mortagne.

Les types de relief peuvent être définis par la dénivelée spécifique (Ds) qui prend en compte la dénivelée utile (Du) et la surface du bassin-versant (A) :

$$Ds \text{ (m)} = \frac{Du \text{ (m)}}{\sqrt{A} \text{ (m)}}$$

La classification établie selon l'O.R.S.T.O.M. est la suivante :

Ds (0-10 m) : relief très faible

Ds (10-25 m) : relief faible

Ds (25-50 m) : relief assez faible

Ds (50-100 m) : relief modéré

Ds (100-250 m) : relief assez fort

Ds (250-500 m) : relief fort

Ds (sup. à 500) : relief très fort

Pour les bassins de la Mortagne, on obtient :

BA : 136 m BG : 120 m BM : 104 m

Tous les bassins sont donc classés dans les reliefs assez forts. Cependant, si on ne tient pas compte du bassin amont, les bassins aval (BG-BA et BM-BA) ont des dénivelées inférieures à 100 m et sont classés dans les reliefs modérés.

CONCLUSION

D'après ces caractéristiques morphométriques, on peut souligner les différences essentielles entre deux types de bassins :

- le bassin à Autrey (BA)

Situé dans la partie amont du bassin de la Mortagne, c'est un bassin assez compact inscrit dans un relief de haut plateau (Vosges gréseuses). L'entaille par un réseau dense de vallées détermine des interfluves étroits qui lui donnent une allure montagnaise.

- le bassin à Gerbéviller (BG)

le bassin à Gerbéviller (BG) et le bassin à la confluence avec la Meurthe (BM) ont des caractéristiques assez semblables.

Mise à part l'amont du bassin (BA), le bassin de la Mortagne s'inscrit dans un relief de plateau caractéristique de la Lorraine. Le réseau moins dense et mal hiérarchisé détermine des interfluves à amples convexités.

Ainsi, quoique homogène dans son ensemble, le bassin de la Mortagne se caractérise par un bassin amont spécifique qui influence nécessairement la répartition des précipitations et le régime des écoulements de l'ensemble du bassin.

CHAPITRE II. CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES

ET COUVERT VEGETAL

La structure géologique d'un bassin conditionne l'implantation du réseau hydrographique et le développement du relief. Elle contribue également, par le biais de la nature des roches affleurantes, et principalement leur perméabilité, à l'explication des types d'écoulement des eaux souterraines et de surface. La végétation modifie également ces écoulements, et notamment par le phénomène de transpiration durant la période estivale.

A - Structure géologique

Le bassin-versant de la Mortagne s'inscrit essentiellement dans les couches du Trias. Le Permien, sous-jacent, affleure uniquement dans le fond des vallées à l'amont du bassin, en bordure de la dépression de Saint-Dié. Quelques lambeaux de Lias subsistent à l'aval sur la limite occidentale du bassin (cf Carte, Annexe V). Le pendage général des couches est orienté vers le nord-ouest.

1. Stratigraphie et lithologie (cf. Fig. 11)

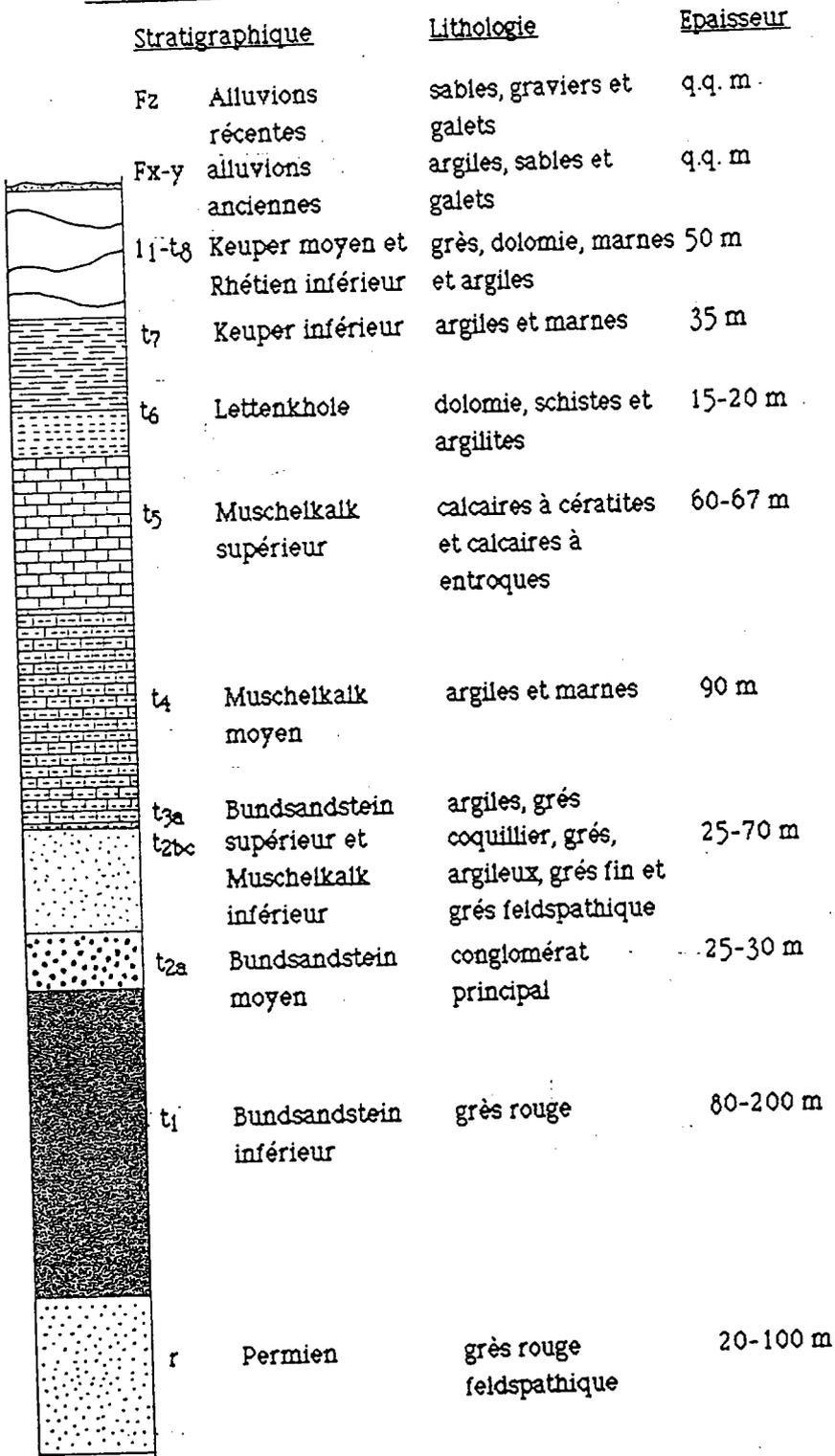
Le Permien est constitué par les couches de Saint-Dié qui sont constituées par une arkose, assez souvent conglomératique, dont les caractéristiques témoignent de dépôts de cône de déjection.

Ces dépôts mal consolidés, qui caractérisent la dépression de Saint-Dié, constituent le fond d'une petite cuvette, à Brouvelieures, dans la partie amont du bassin.

Fig. 11

BASSIN-VERSANT DE LA MORTAGNE

ECHELLE STRATIGRAPHIQUE ET LITHOLOGIQUE



Le Bundsandstein et le Muschelkalk inférieur forment un ensemble de dépôts essentiellement détritiques d'une épaisseur de plus de 200 m. Les faciès sont essentiellement gréseux. La moitié inférieure de la série est constituée par les grès vosgiens. La moitié supérieure débute par un puissant conglomérat (conglomérat principal) et se poursuit par une nouvelle série gréseuse, plus ou moins argileuse (couches intermédiaires, grès à Voltzia, grès coquillier). Les grès coquilliers annoncent le début de la sédimentation marine du Muschelkalk.

Cet ensemble affleure dans la partie sud-est du bassin où il constitue le haut plateau à allure montagnaise que nous avons défini précédemment (cf. Carte hypsométrique Annexe IV).

Le bassin-versant amont de la Mortagne, à Autrey (BA), s'inscrit totalement dans cet ensemble. Des affluents, de rive droite de la Mortagne, entaillent également ces formations : c'est le cas du ruisseau Monseigneur dont la confluence se situe à Rambervillers et de l'amont de la Belvitte qui conflue, avec la Mortagne, à Magnières.

Le Muschelkalk moyen et supérieur se caractérise par une épaisse série marneuse surmontée par la première série franchement calcaire de la sédimentation lorraine (calcaire à cératites et calcaire à entroques).

Ces couches affleurent dans la partie moyenne du bassin (entre Autrey et Vallois) et principalement sur la rive gauche de la Mortagne. Les calcaires constituent l'armature du plateau lorrain.

C'est dans cette zone que se sont développés les bassins-versants les plus importants (l'Arentèle et le Padozel en rive gauche et le cours aval de la Belvitte en rive droite). La vallée de la Mortagne s'élargit considérablement au niveau des affleurements marneux, par contre, elle se rétrécit rapidement au niveau des affleurements calcaires.

La Lettenkohle, le Keuper et le Rhétien inférieur présentent des strates moins épaisses, avec des faciès très variés. Les strates argileuses dominent avec des intercalations dolomitiques, schisteuses ou gréseuses.

Cette série est surtout présente dans la partie aval du bassin, mais également dans la zone médiane, en rive droite de la Mortagne (Rambervillers).

Ces couches, essentiellement tendres, ont été largement tronquées. Les grès du Rhétien, à l'aval, ne constituent que quelques buttes résiduelles sur la bordure occidentale du bassin. La Mortagne, dans son cours aval, entaille profondément ces couches pour atteindre les calcaires du Muschelkalk sous-jacent où elle a élaboré une vallée étroite. Dans cette zone, les bassins-versants affluents sont peu développés.

Les alluvions anciennes et récentes couvrent une superficie non négligeable. Ce sont des formations superficielles constituées de sables, de graviers, de galets, et localement d'argiles pour certaines formations anciennes.

Les alluvions anciennes sont plus ou moins étagées. Dans le bassin de l'Arentèle, les alluvions, épaisses et hétérogènes, forment un épandage de piedmont (plio-quaternaire) qui ennoie une partie du bassin. A l'aval d'Autrey et jusqu'à Magnières, les alluvions forment des terrasses emboîtées (F_x et F_y) qui sont partiellement différenciées. Après Rambervillers, ces terrasses sont localisées uniquement en rive droite de la Mortagne. Celle-ci aurait donc glissé latéralement vers l'ouest au cours du Quaternaire. Tout à l'aval (aval de Gerbéviller), l'étagement des terrasses est très net. Les alluvions anciennes sont constitués ici par des apports de la Mortagne et de la Meurthe. Sur ces alluvions anciennes subsiste, sur une épaisseur variable, un recouvrement de limons éoliens.

Entre Autrey et Vallois, le plateau lorrain correspond à une surface d'érosion dégradée qui tronque les couches du Muschelkalk et du Keuper dont le pendage général est d'environ 3 ‰ en direction du nord-ouest.

Cependant la fracturation, moins dense, joue encore un rôle important. Trois failles principales s'organisent en éventail (ENE-OSO pour celle d'Autrey, E-O pour celle de Rambervillers et SE-NO pour celle de Gerbéviller). Celles-ci déterminent des blocs en touche de piano, avec un soulèvement dans la partie orientale qui permet l'affleurement des couches gréseuses où se sont entaillés les principaux affluents de rive droite de la Mortagne. Le basculement de ces blocs déterminent ainsi une meilleure conservation des couches marno-calcaires dans la partie occidentale.

Ce compartimentage est rendu plus complexe par l'existence d'ondulations de direction NE-SO accompagnées de petites fractures de même direction. Ainsi, le bloc affaissé à Autrey et Rambervillers est affecté par une ondulation synclinale qui permet une meilleure conservation des couches affleurantes (à l'ouest de Rambervillers subsistent encore les argiles du Keuper). Par contre, le bloc entre Rambervillers et Vallois est déformé dans sa partie aval par l'ondulation anticlinale de Magnières (accompagnée d'une petite faille) qui remet en affleurement les calcaires du Muschelkalk.

Le comportement du réseau hydrographique obéit en partie à ces conditions tectoniques. Le déplacement latéral de la Mortagne correspond au pendage général, accentué par le basculement des blocs. Les alluvions sont également mieux conservées lorsque le bloc est plus affaissé et affecté d'une ondulation synclinale.

A l'aval de Vallois, la Mortagne suit une ligne de faille qui délimite deux compartiments. Le compartiment oriental, du fait de son soulèvement, a été décapée d'une grande partie des formations argileuses (affleurement des calcaires du Muschelkalk).

C'est sur ce compartiment que les terrasses du Quaternaire ancien sont le mieux étagées. Par contre, le compartiment occidental affaissé conserve amplement les formations argileuses jusqu'aux lambeaux de grès rhétiens.

B - Perméabilité du substratum

La perméabilité du substratum contribue largement à l'explication des circuits hydriques et à l'analyse de l'alimentation différenciée des écoulements dans les rivières. En affleurement, les roches du substratum peuvent favoriser le ruissellement (roches imperméables) ou l'infiltration (roches perméables). En profondeur, cette perméabilité définit également les possibilités de réserves souterraines qui peuvent alimenter les rivières (sources, drainage de nappe, ...).

1. Définition des classes de perméabilité

L'Agence de Bassin Rhin-Meuse a réalisé un atlas des perméabilités pour l'ensemble du bassin, au 1/250 000^{ème}.

Les définitions des types de perméabilité, élaborées dans une première étape par l'O.R.S.T.O.M., ont été complétées et adaptées pour mieux cerner les formations propres aux bassins du Rhin, de la Moselle et de la Meuse (F. ZUMSTEIN, E. GILLE, J.P. DECLoux et P. PARIS, 1989).

La perméabilité est définie non seulement par la nature lithologique des formations mais également par leur comportement hydrodynamique.

La classification retient 3 types de perméabilité pour les roches (P1 : perméable, P2 : peu perméable, P3 : imperméable) et 2 types pour les formations superficielles (S1 : perméable, S2 : peu perméable).

Le comportement hydrodynamique combine les types de porosité et la dynamique de l'eau dans la formation, codifiées de la manière suivante :

- 0 : porosité d'interstice, aquifère drainant
- 1 : porosité d'interstice, aquifère drainé
- 2 : porosité de fissure, réseau souterrain
- 3 : porosité d'interstice et/ou de fissure, aquifère discontinu
- 4 : zone urbanisée, anthropique

En combinant ces codifications, on obtient une classification qui est reporté dans le tableau suivant (tiré de " l'Atlas de la lithologie et de la perméabilité du bassin Rhin-Meuse ", 1989) :

TABLEAU 6: CLASSIFICATION DES PERMÉABILITÉS

Dynamique de l'eau dans la roche	Aquifère drainant		Aquifère drainé	Réseau souterrain	Aquifère discontinu	Anthropique
	Porosité		Interstice	Fissure	Interstice et/ou fissure	Zone urbanisée
	Perméabilité		0	1	2	3
Les roches P						
Perméable	1	P10	P11	P12		
Peu perméable	2		P21	P22	P23	
Imperméable	3		P31	P32	P33	P34
Les formations superficielles S						
Perméable	1	S10	S11			
Peu perméable	S2					

Tableau 7. Types de roches de perméabilité
(tiré de l'Atlas de la lithologie et de la perméabilité
du bassin Rhin-Meuse, Agence de l'eau, 1989)

ROCHES PERMEABLES - P1

P10
Roches à perméabilité d'interstice dominante (réseau hydrographique inexistant ou subissant des pertes sur tout l'affleurement) - non représenté dans l'atlas.

P11
Roches à perméabilité d'interstice dominante (échange eaux de surface - eaux souterraines possible)

P12
Roches à perméabilité de fissure dominante (présence de karst possible)

ROCHES PEU PERMEABLES - P2 (indifférenciées dans l'atlas)

P21
Roches à perméabilité d'interstice affaiblie par une fraction fine (argile ou limon)

P22
Alternance de roches à perméabilité de fissure dominante avec une roche imperméable

P23
Alternance de roches à perméabilité d'interstice dominante avec une roche imperméable

ROCHES IMPERMEABLES - P3

P31
Marnes et argiles

P32
Roches compactes et compactées (calcaires cristallins et métamorphisés, roches volcaniques)

P33
Roches cristallines et cristallophylliennes (pouvant comporter des altérites importantes)

P34
Zones urbanisées et "impermeabilisées" (rattachées à P32 pour l'atlas de l'AFBRM)

FORMATIONS SUPERFICIELLES PERMEABLES OU TRES PERMEABLES - S1 (sables, graviers, galets dominants)

S10
Formations superficielles sur lesquelles le réseau hydrographique subit des pertes sur tout le domaine

S11
Formations superficielles où des échanges eaux de surface-eaux souterraines sont possibles

FORMATIONS SUPERFICIELLES PEU PERMEABLES - S2 (argiles et limons dominants)

Les auteurs de l'Atlas ont alors défini les types de roches correspondant à ces classes de perméabilité (cf. Tableau 7 ci-joint).

2 Application aux bassins-versants

Les différents affleurements lithologiques du bassin ont été classés de la manière suivant :

Roches perméables (P1)

deux classes sont représentées :

P 11 : Roches à perméabilité d'interstice dominante.

- Bundsandstein inférieur (t1) ou Grès vosgien. Les faciès sont essentiellement gréseux (grains fins à grains grossiers, avec un ciment silencieux) avec quelques passées, conglomératiques. La porosité est très élevée, et particulièrement pour les strates mal consolidées.
- Bundsandstein moyen (t2a) ou Conglomérat principal. C'est un poudingue grossier à galets de quartzite (1 à 15 cm de diamètre) avec un ciment gréseux plus ou moins développé, pouvant former localement de véritables bancs de grès. La consolidation du conglomérat réduit partiellement la porosité cependant la fissuration liée à la tectonique, permet une macro-porosité importante.

P 12 : Roches à perméabilité de fissure dominante.

- Muschelkalk supérieur (t5). Les calcaires à entroques constituent des bancs épais, parfois gréseux. Par contre, les calcaires à cératites sont plus marneux et forment des bancs peu épais. L'ensemble conserve toutefois une bonne porosité du fait de l'intense fissuration liée aux contraintes tectoniques (failles et ondulations anticlinales).

Roches peu perméables (P2)

Deux classes sont représentées :

P 21 : Roches à perméabilité d'interstice affaiblie par une fraction fine.

- Permien (r) ou couches de Saint-Dié. Le faciès dominant est une arkose grossière, assez souvent conglomératique. Les éléments anguleux sont liés par une abondante matrice argilo-silteuse. La formation, mal consolidée, est hétérogène. Il en résulte une porosité très variable.
- Bundsandstein supérieur - Muschelkalk inférieur (t_{2b,c-3a}). L'ensemble est constitué de bancs de grés généralement fins, micacés et peu épais, alternant avec des strates d'argilites (grés coquillier, grés à Voltzia). Seules les couches intermédiaires, situées à la base de l'ensemble, comportent un grés moins argileux. On peut considérer que la porosité de l'ensemble est affaiblie par la présence d'argiles en proportion variable.

P 22 : Alternance de roches à perméabilité de fissures dominantes et de roches imperméables.

- Keuper moyen - Rhétien inférieur (t₃₋₁₁). Des strates gréseuses, marneuses et dolomitiques, alternent sur une faible épaisseur. Les grés comportent localement des passées argileuses. La porosité n'est donc pas très importante.

Roches imperméables (P3)

Une seule classe est représentée :

P 31 : Marnes et argiles

- Muschelkalk moyen (t₄). Il est essentiellement marneux et argileux. Cependant les couches blanches, dans la partie supérieure, comportent de la dolomie assez poreuse. Les couches grises, intermédiaires, contiennent un niveau salifère. Des marnes colorées, imprégnées de gypse, forment les couches rouges à la base de la formation. L'ensemble est fortement imperméable.
- Lettenkohle (t₅). Les faciès de cet ensemble sont extrêmement variables. Le faciès dominant est caractérisé par des marnes grises, parfois schisteuses. Des bancs de dolomie apparaissent au sommet et à la base de la formation qui ne modifient guère l'aspect essentiellement imperméable de la formation.
- Keuper inférieur (t₇) ou marnes irisées. ces marnes, aux couleurs variées, sont fortement gypsifères. Elles peuvent contenir quelques lits dolomitiques ou gréseux qui ne modifient guère la faible porosité de la formation.

Formations superficielles perméables (S1)

une classe est représentée:

S 11 : Formations superficielles ou des échanges eaux de surface. Eau souterraines sont possibles.

Les alluvions anciennes et les alluvions récentes constituées, en proportion variable, de galets, de sables et d'argiles sont essentiellement perméables. Cependant, sur les alluvions récentes, les limons de débordement peuvent être suffisamment épais pour atténuer la porosité des matériaux sous-jacents.

La carte des perméabilités du substratum et des formations superficielles (cf. Annexe VI) permet de visualiser la répartition des différentes classes de perméabilité:

- le haut plateau ,à l'amont du bassin-versant, comporte des couches à dominantes gréseuse très perméables (P11) et peu perméables (P21)
- Le plateau lorrain, qui couvre la majeure partie du bassin-versant, est caractérisé surtout par des couches argileuses imperméables (P31) et des couches calcaires perméables (P12).

le tableau suivant donne la répartition des différentes classes de perméabilité pour l'ensemble du bassin (BM) et pour les bassins aux stations hydrométriques d'Autrey (BA) et de Gerbéviller (BG):

Tableau N° 8: Répartition des perméabilités des bassins

(en pourcentage de la superficie du bassin)

Bassin-versant (superficie)	B.V global (BM : 582 km ²)	B.V à Gerbéviller (BG : 490 km ²)	B.V à Autrey (BA : 98 km ²)
PERMEABLE : -S11	21%	23%	13%
-P11	16%	19%	66%
-P12	13%	15%	0%
Total	50%	57%	79%
PEU PERMEABLE : -P21	15%	18%	21%
-P22	1%	0%	0%
Total	16%	18%	21%
IMPERMEABLE : -P31	34%	25%	0%
Total	34%	25%	0%

Pour tous les bassins, les affleurements perméables prédominent. Cependant, il faut nuancer ces résultats qui prennent en compte les surfaces occupées par les alluvions. Celles-ci facilitent, en effet, l'infiltration des eaux de surface, mais elles constituent généralement de médiocres réservoirs pour les eaux souterraines (faible épaisseur).

Compte-tenu de cette observation on peut définir globalement la perméabilité de chaque bassin :

- le bassin-versant global (BM) est moyennement perméable car on a une répartition équilibrée des trois grandes classes de perméabilité
- le bassin-versant à Gerbéviller (BG) est un peu plus perméable car il ne prend pas en compte l'aval du bassin où les roches imperméables sont dominantes (25% de roches imperméables au lieu de 34% dans le bassin versant global)
- le bassin-versant à Autrey (BA) est très perméable. Le substratum est majoritairement dans la classe perméable (66% en P11) et aucune roche imperméable n'est présente.

On peut donc prévoir que le bassin à Autrey aura un comportement très différent du bassin à Gerbéviller. A Autrey, la forte perméabilité favorise l'infiltration et la constitution d'un important réservoir souterrain (couches épaisses). A Gerbéviller, le bassin bénéficie des réserves du bassin amont, mais vers l'aval, la perméabilité se dégradant, l'infiltration sera moins importante et les réserves souterraines diminueront. Le régime des écoulements, aux stations hydrométriques, sera donc nécessairement contrasté..

C. Occupation du sol.

Pour étudier l'occupation du sol du bassin-versant, nous avons utilisé les données du fichier physiographique de l'Agence de Bassin Rhin-Meuse, en regroupant certaines d'entre elles. Les données sont calculées uniquement pour les bassins-versants aux stations hydrométriques (Autrey : BA, Gerbéviller : BG).

1-Types d'occupation du sol et répartition

Nous avons retenu les principaux types suivants :

- Forêts de conifères qui se situent principalement sur le haut plateau gréseux, à l'amont du bassin
- Forêts de feuillus plus caractéristiques du plateau lorrain et localisées surtout dans la partie aval du bassin
- Prairies permanentes situées essentiellement sur les affleurements argileux et sur les alluvions récentes des vallées
- Cultures réparties de manière irrégulière, mais principalement sur le plateau dans la partie médiane du bassin
- "Occupation divers" qui regroupe des éléments épars tels que les vergers, les vignes, les zones en eau et les zones imperméabilisées par l'homme.

Le tableau suivant montre la répartition des différentes catégories d'occupation du sol :

Tableau N° 9 : Occupation du sol

type d'occupation	B.V à Gerbéviller (BG)		B.V. à Autrey (BA)	
	superficie (km ²)	%	superficie (km ²)	%
Feuillus	126.7	27	8.8	9
Conifères	98.4	21	64.0	64
Prairies	165.5	36	18.7	19
Cultures	54.9	12	6.3	6
Divers	18.5	4	2.5	2
Total (1)	464	100	100.3	100

(1) Les surfaces ne correspondent pas totalement à celles des bassins-versants réels car elles ont été déterminées par l'utilisation d'un modèle à mailles carrés (5 km x 5 km).

le bassin à Autrey est couvert au 3/4 par des formations forestières composées essentiellement de conifères (65%) qui se situent sur les versants et les sommets du haut plateau gréseux. Ces conifères sont adaptés au substratum acide et aux précipitations élevées générées par le relief (cf. 2^{ème} partie). Les prairies et les cultures, qui couvrent 1/4 de la surface du bassin, sont localisées dans le fond des vallées et surtout dans la dépression de Brouvelieures dans laquelle affleurent les couches peu perméables du Permien.

Le bassin à Gerbéville comporte pour moitié des formations forestières et pour moitié des prairies et des cultures. Les forêts de feuillus sont dominantes sur plateau lorrain et se localisent aussi bien sur substratum calcaire (chênes prépondérants) que sur substratum argileux (hêtres prépondérants). Les forêts de conifères sont essentiellement localisées dans la partie sud-est du bassin (bassin à Autrey mais également amont des affluents de rive droite : Saint-Florent, Monseigneur et Belvitte). Les prairies, qui couvrent plus du tiers de la superficie, se situent sur les affleurements argileux et les alluvions peu perméables (bassins de l'Arentèle, du Padozel, de la Nauve, de la Belvitte, et vallée de la Mortagne). Les cultures peu développées (12%), subsistent sur les affleurements calcaires plus ou moins recouverts par des placages de limons éoliens.

Ainsi le bassin de la Mortagne est caractérisé actuellement par une occupation du sol essentiellement forestière et herbagère. Au début du siècle, les cultures étaient certainement plus étendues comme en témoigne l'existence de nombreux moulins au fil de l'eau qui ne fonctionnent plus aujourd'hui.

2. Conséquences hydriques

Comme le souligne R. FRECAUT dans sa thèse (1972), l'influence du couvert végétal sur les processus d'écoulement est difficilement quantifiable, mais on peut avancer quelques ordres de grandeur.

Le couvert végétal, par l'interception des précipitations et la transpiration, intervient dans les processus de ruissellement et d'infiltration.

L'interception des précipitations par le couvert végétal favorise l'évaporation d'une partie des eaux précipitées et réduit leur impact au sol. Ainsi, plus l'interception est importante et plus l'infiltration sera favorisée au dépens du ruissellement.

D'après G. AUSSENAC et J. PARDE (1969), l'interception en milieu tempéré forestier est extrêmement variable selon les espèces et selon leur état de développement. Les valeurs suivantes ont été proposées pour les milieux européens (en pourcentage des précipitations) :

- Conifères (Sapin : 42 %, Epicéa : 35 %, Pin sylvestre : 31 %)
- Feuillus (Chêne pédonculé : 35 %, Hêtre : 24 %, Hêtre et charme : 17 %)

Ainsi, globalement les forêts de conifères interceptent mieux les précipitations que les feuillus. R. FRECAUT estime que pour les plateaux du bassin moyen de la Moselle, où les précipitations varient annuellement entre 650 et 1 000 mm (cas du bassin de la Mortagne), l'interception est de 150 à 250 mm pour les conifères et de 100 à 150 mm pour les feuillus. L'interception par un couvert herbacé et par les cultures est nettement inférieure à ces données, de l'ordre de 50 mm au maximum.

Ainsi, en tenant compte des types de couvert végétal et de leur extension dans le bassin de la Mortagne, l'interception doit être de l'ordre de 100 à 150 mm pour le bassin à Autrey (BA) et de 50 à 100 mm pour le bassin à Gerbéviller. Pour le bassin amont (BA), cette interception importante favorise nécessairement une perte directe par évaporation durant la période estivale, mais durant la période hivernale elle favorise l'infiltration aux dépens du ruissellement (réduction de l'énergie des gouttes de pluie par les conifères).

Pour le bassin à Gerbéviller (BG), l'interception moins importante conditionne également une perte par évaporation durant la période estivale, par contre durant la période hivernale, les feuillus étant dépouillés, l'interception sera faible et le ruissellement prédominera sur l'infiltration.

La transpiration du couvert végétal est également un facteur qui modifie les processus hydriques. D'une manière générale, les besoins en eau des forêts sont supérieures à ceux des groupements herbacés, et plus élevées pour les forêts caducifoliées que pour les conifères.

H. ELHAI (1968) donne quelques valeurs de volume d'eau prélevée dans le sol et transpirée (en mm/jour) pour différentes espèces durant la période végétative (l'alimentation en eau étant assurée) :

- Conifères (Sapin : 5.3 mm, Pin sylvestre : 2.4 mm)
- Feuillus (Hêtre : 3.8 mm, Chêne : 2.3 mm)
- Prairie (Prairie sèche : 2 à 3 mm, Prairie humide : 3 à 7 mm)
- Cultures (Blé : 2.2 à 2.6 mm, Maïs : 3 à 4 mm)

Ces données sont des valeurs maximales qui ne tiennent pas compte de la durée de la période végétative et de l'état de croissance des végétaux. Ainsi, pour les conifères, la montée de la sève et le début de la transpiration commenceront pour des températures immédiatement supérieure à 0° C, alors que pour les feuillus les températures doivent dépassées +5° C pour que ces processus puissent démarrer.

P. OZENDA (1964) propose des quantités d'eau (en mm) transpirées annuellement par différentes formations :

- Conifères (Epicéa : 250 à 520 mm, Pin sylvestre : 160 à 310 mm)
- Feuillus (Hêtre : 230 à 460 mm, Bouleau : 350 à 560 mm)
- Prairie (Prairie sèche : 200 mm, Prairie fraîche : 300 mm)

La variabilité de ces valeurs dépend du stade de développement des formations, des conditions climatiques et de l'état hydrique du sol.

Ainsi pour le bassin-versant à Autrey (BA) où prédominent les forêts de conifères, on peut estimer que la perte, par transpiration uniquement, est élevée, de l'ordre de 350 à 400 mm. Pour le bassin-versant à Gerbéviller (BG), le poids de la forêt joue un rôle moins déterminant (feuillus dominants) et la perte par transpiration serait de l'ordre de 250 à 300 mm. Ces valeurs restent toutefois sujettes à caution compte-tenu de la complexité des phénomènes d'interception et de transpiration des formations végétales.

CONCLUSION

La nature du substratum géologique, et plus particulièrement son degré de perméabilité, combinée au type d'occupation du sol, qui induit des processus d'infiltration et de transpiration des eaux précipitées, permettent de bien différencier les deux bassins-versants aux stations hydrométriques

- le bassin-versant à Autrey (BA) essentiellement gréseux constitue un milieu très perméable qui favorise l'infiltration et la rétention des eaux. L'infiltration est également favorisée par le fort taux d'interception des forêts de conifères qui réduit l'impact énergétique des pluies. Cependant, la transpiration importante de ces forêts réduit l'alimentation du réservoir gréseux qui reste importante, compte-tenu de la quantité des précipitations dans ce bassin (cf 2^{ème} partie).

- le Bassin-versant à Gerbéviller (BG), au substratum plus varié, est moyennement perméable. Il bénéficie de la perméabilité du bassin amont (BA), mais vers l'aval, seuls les calcaires du Muschelkalk favorisent l'infiltration et constituent des réservoirs non négligeables. Le couvert végétal plus ouvert (prairies, cultures) et les forêts à dominante de feuillus interceptent moins les précipitations et leur potentiel de transpiration est plus faible, surtout durant la période hivernale.

Ainsi, la différenciation entre les deux bassins est très nette. Pour le bassin à Autrey, l'infiltration est un facteur déterminant du régime des écoulements, tandis que pour le bassin à Gerbéviller ce sera le ruissellement.

CHAPITRE III - CARACTERISTIQUES HYDROGRAPHIQUES

L'état actuel du réseau hydrographique du bassin-versant de la Mortagne résulte d'une longue évolution qui commence au Tertiaire et qui se poursuit encore actuellement.

Le développement de ce réseau et la formation des reliefs d'entaille qui en découle ont été actifs surtout à l'époque quaternaire, époque où les contrastes climatiques ont favorisé la diversité des processus d'écoulement. La structure géologique complexe a contribué également à la diversification du réseau hydrographique et de son entaille. L'extension de la plaine alluviale, qui coïncide avec celle du lit majeur, obéit également aux mêmes contraintes structurales. La diversité du tracé du lit mineur et sa dynamique est en étroite relation avec les caractéristiques du lit majeur.

La morphométrie du réseau hydrographique actuel permet de quantifier certains paramètres concernant le profil en long et la hiérarchisation des drains d'écoulement. Cette morphométrie est appliquée à la Mortagne et à ses principaux affluents (Arentèle, Padozel et Belvitte). Elle permet également de souligner les différences qui existent entre les réseaux hydrographiques aux deux stations : Autrey à l'amont et Gerbéviller à l'aval.

A. Implantation du réseau hydrographique

Nous présentons ici quelques généralités sur l'implantation du réseau hydrographique et sa dynamique actuelle.

1. Réseau hydrographique et entaille des vallées

Comme nous l'avons vu précédemment le cours général de la Mortagne, orienté du SSE au NNO, est parallèle aux cours de la Meurthe et de la Moselle. Cette orientation générale est liée à l'existence probable d'une surface d'érosion élaborée à l'époque tertiaire (oligo-miocène selon J. Tricart, 1947). Celle-ci s'est développée à la suite de divers mouvements tectoniques du massif vosgien qui ont affecté également la couverture sédimentaire lorraine (ondulations et fractures).

Dans le bassin de la Mortagne, on ne trouve aucune formation témoignant de l'existence de cette surface. Seules quelques formations, attribuées au Pliocène, subsistent dans la partie amont du bassin de l'Arentèle (carte géologique de Bruyères au 1/50000^{ème}). Ces formations, sablo-argileuses à galets de quartz, constituent des épandages de piedmont qui ennoient partiellement un relief d'entailles préexistantes. Il semble donc que le réseau hydrographique, à la fin de l'époque tertiaire, était déjà profondément inscrit sur la surface d'érosion.

Le réseau hydrographique dans les Vosges gréseuses

Ce réseau est constitué par le cours amont de la Mortagne et par différents affluents de rive droite (ruisseau des Sept Fontaines, de Saint Florent, de Fraispertuis, de Monseigneur, et l'amont de la Belvitte) et de rive gauche (Ruisseau de Menil).

Ce réseau est étroitement adapté à la structure géologique. Les vallées se sont développées généralement conformément au pendage des couches gréseuses ou le long des lignes de fracture.

A l'extrémité amont (amont de Brouvelieures), la Mortagne a développé une vallée étroite le long d'une faille orientée est-ouest qui délimite deux paliers tectoniques. C'est également le cas pour les ruisseaux des Sept Fontaines et de Saint Florent. Par contre, le ruisseau de Menil (en rive gauche) a élaboré une vaste cuvette dans un horst basculé vers le nord. Ainsi dans cette zone, soulevée en paliers tectoniques successifs, la fracturation est l'élément déterminant dans l'implantation du réseau hydrographique.

Vers l'aval, les autres affluents de rive droite (ruisseau de Fraispertuis, de Monseigneur, et l'amont de la Belvitte) ont développé des entailles ESE-ONO, conformément au pendage des couches gréseuses. Ce pendage qui correspond, comme nous l'avons vu précédemment, au basculement de grands blocs qui ont permis l'affleurement des couches gréseuses dans la partie orientale du bassin.

Cette tectonique positive a entraîné le façonnement de vallées étroites et profondes, au tracé souvent rectiligne, qui recoupent les différentes formations gréseuses du Trias qui constituent des réservoirs souterrains importants. La nappe des grés intermédiaires (t_2b) mais surtout celle des grés vosgiens (t_1) alimente de manière importante les écoulements actuels de ces rivières. L'alimentation est réalisée par de nombreuses sources (affleurement des nappes sur les versants) et par drainage de la nappe phréatique des alluvions récentes de fond de vallée (alimentée par des émergences de la nappe souterraine des grés vosgiens).

Ainsi, la tectonique et la perméabilité du substratum des Vosges gréseuses, associées aux contraintes climatiques du Quaternaire, ont favorisé des processus d'entaille linéaire efficaces. Il en résulte des vallées étroites aux versants raides, entrecoupés de replats structuraux au niveau des couches les plus résistantes, comme celle du conglomérat principal (t_{2a}). La vigueur de l'érosion n'a pas permis la

conservation des alluvions anciennes, seuls les alluvions récentes apparaissent dans les fonds de vallée où elles sont peu épaisses. Actuellement, ce relief est largement stabilisé par une couverture forestière dense qui limite les processus d'érosion dus au ruissellement.

Le réseau hydrographique sur le plateau lorrain

A la sortie des Vosges gréseuses, la Mortagne a développé de larges entailles dans les couches marneuses et calcaires du plateau lorrain. Le réseau hydrographique se caractérise par des affluents de plus grande importance dans la partie médiane (Arentèle, Padozel, Nauve en rive gauche, et Belvitte en rive droite). Vers l'aval (aval de Vallois), la vallée de la Mortagne se rétrécit et son réseau affluent est peu développé.

Dans cette zone, la structure géologique a joué également un rôle important dans l'implantation du réseau hydrographique, mais de manière plus confuse.

Dans la partie médiane (entre Autrey et Vallois), la Mortagne conserve un cours SSE-NNO acquis dès sa première implantation à la fin du Tertiaire. Mais au cours du Quaternaire, son tracé s'est déplacé latéralement vers l'ouest comme en témoignent les alluvions de cette époque. En effet, la majeure partie des alluvions anciennes (F_x - F_y) constituent des terrasses sur la rive droite de la Mortagne, parfois à plus de 5 km du cours actuel. Il y a donc eu une translation latérale progressive au cours du Quaternaire qui va dans le sens général du pendage des couches, accentué par l'affaissement des blocs en touche de piano vers l'ouest. C'est également cet affaissement qui a permis la conservation des alluvions sous forme de terrasses emboîtées.

Entre Autrey et Rambervillers, le bloc affaissé, affecté d'une large cuvette synclinale où sont conservées les argiles du Keuper, constitue une zone de concentration des confluences de nombreux affluents de rive droite (ruisseau de Fraispertuis, de Monseigneur) et de rive gauche (Arentèle, Padozel). Les affluents de rive gauche ont pu développer amplement leur réseaux hydrographiques qui sont cependant concurrencés à l'ouest par celui du Durbion (affluent de la Moselle).

Entre Rambervillers et Vallois, le second bloc affaissé vers le nord-ouest entraîne la confluence de la Belvitte, en rive droite, et de la Nauve, en rive gauche. Cependant l'affleurement des calcaires du Muschelkalk supérieur (t_5), lié à une large ondulation anticlinale, explique que dans ce secteur le réseau hydrographique est moins développé en surface. En effet, ce réseau subit des pertes karstiques à l'amont, sur les calcaires, et seule une partie des eaux infiltrées émerge à nouveau, sous forme de petites sources, au contact des marnes du Muschelkalk inférieur sous-jacent (t_4).

Dans la partie aval du bassin-versant de la Mortagne, le réseau hydrographique n'est pratiquement constitué que par le seul cours de la rivière. Quelques petits affluents existent de part et d'autre de ce cours, mais leur réseau hydrographique est peu développé.

Le cours de la Mortagne suit ici une ligne de fracture, orientée SE-NO, qui délimite deux compartiments. Le soulèvement du compartiment de rive droite a permis la mise en affleurement d'une partie des calcaires du Muschelkalk (t_5) sur lesquels le réseau affluent s'est faiblement entaillé. Le compartiment affaissé, en rive gauche, conserve largement la couverture argileuse et gréseuse du Keuper (t_{7-9}) sur laquelle repose quelques buttes de grès Rhétiens (l_{1a}). Les strates gréseuses permettent l'alimentation de quelques sources qui favorisent la pérennité de l'écoulement des petits affluents de rive droite de la Mortagne.

Dans cette partie, la Mortagne entaille d'une cinquantaine de mètres le substratum. La vallée qui en résulte est généralement étroite lorsqu'elle s'inscrit dans les affleurements calcaires (ondulation anticlinale) et s'élargit au contact des affleurements argilo-gréseux (ondulation synclinale).

Ainsi, le développement du réseau hydrographique de la Mortagne et la diversité de l'entaille des vallées, du cours principal et des affluents, sont étroitement liés aux conditions structurales.

2. Plaine alluviale et dynamique du lit mineur

Nous ne présentons ici que les principales observations acquises lors d'études antérieures réalisées par le C.E.G.U.M (J. CORBONNOIS et M. SARY 1985, S.C. KIM 1988).

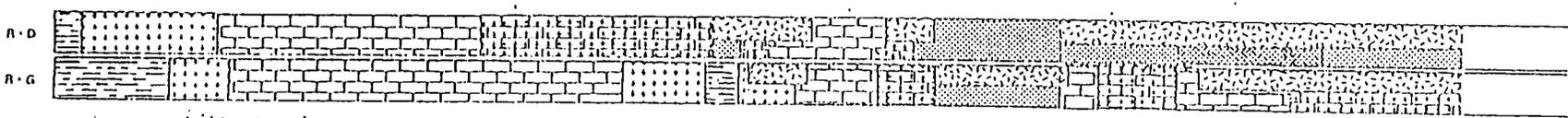
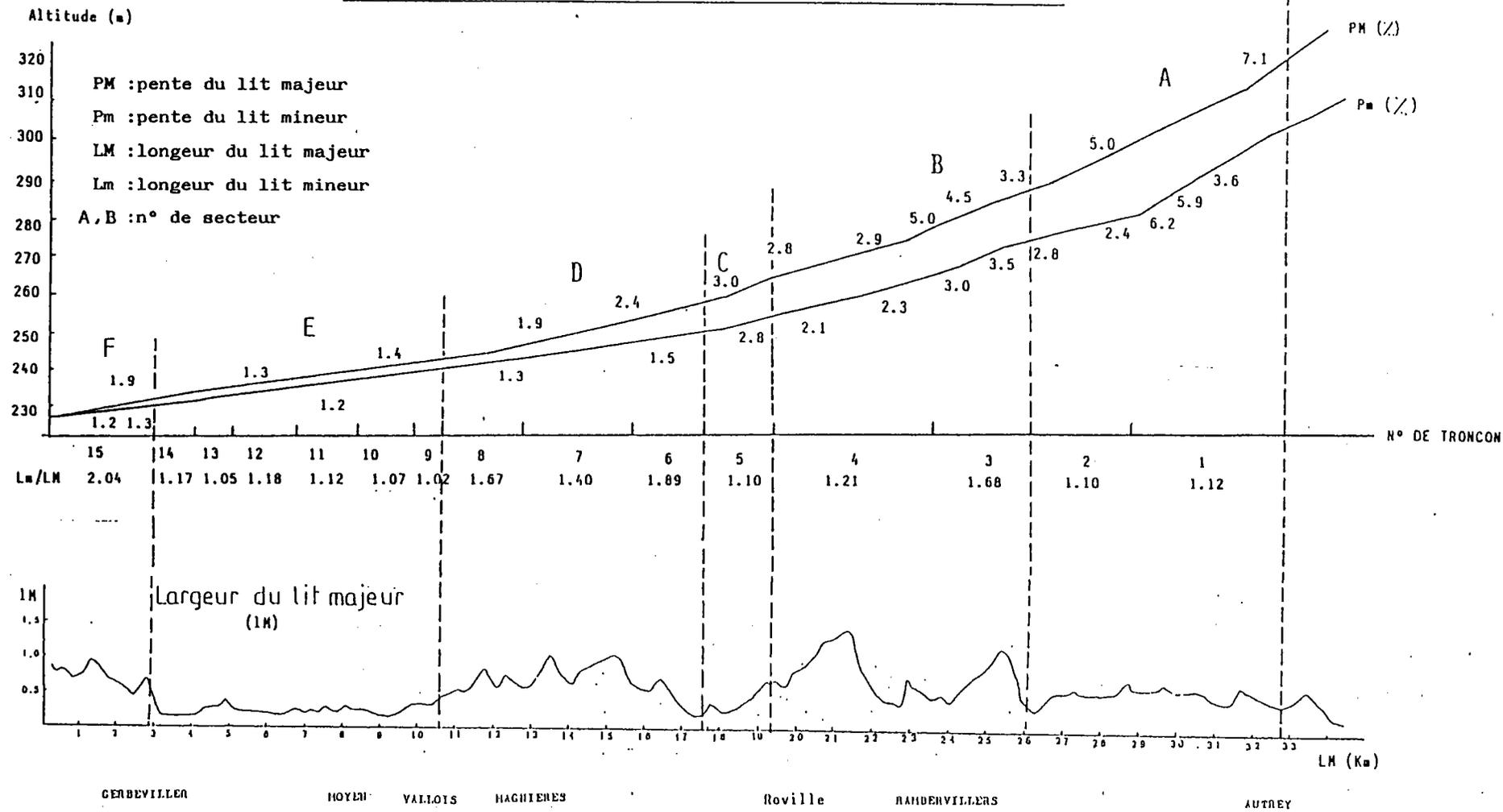
Le développement de la plaine alluviale récente obéit aux mêmes contraintes structurales que l'entaille générale de la vallée.

Dans les Vosges gréseuses, les alluvions récentes, peu épaisses (2 à 3 m), ne s'étalent que sur une largeur de 200 à 300 m, et le cours actuel de la Mortagne est pratiquement rectiligne. Il y a donc une tendance générale à la stabilité. De ce fait, l'étude détaillée de ce secteur homogène ne nous paraît pas nécessaire.

Sur le plateau lorrain par contre, la plaine alluviale présente des secteurs nettement contrastés que nous avons étudiés entre Autrey et Gerbéviller. Pour cette étude, nous avons dans un premier temps délimité des tronçons caractéristiques en fonction des changements importants de la direction du lit majeur de la Mortagne (cf Annexe VII). Celui-ci correspond pratiquement à la plaine alluviale qui lors des crues exceptionnelles (comme en 1983) est pratiquement totalement inondée.

FIG.13

LA VALLÉE DE LA MORTAGNE ENTRE AUTREY ET GERBEVILLER



Lithologie des versants de la vallée (cf. légende Annexe VII)

Pour chaque tronçon, on peut déterminer différents paramètres que nous avons reporté sur la figure 13 :

- PM : pente du lit majeur
- Pm : pente du lit mineur
- LM : longueur du lit majeur
- Lm : longueur du lit mineur
- IM : largeur du lit majeur

Nous avons mis également sur cette figure la lithologie des versants de la vallée.

L'analyse de ces paramètres montre une fluctuation importante des valeurs d'un tronçon à l'autre. À l'aide de ceux-ci, nous avons élaboré les indices suivants :

- indice de sinuosité de la rivière : Lm/LM
- indice de pente de la rivière : Pm/PM

Ces indices, confrontés à la largeur du lit majeur (IM), permettent de regrouper les tronçons (1, 2, ...), dont les valeurs sont sensiblement égales, en secteurs homogènes (A, B, ...). Le tableau suivant donne les valeurs moyennes pour les secteurs définis :

Tableau N° 10 : Caractéristiques du lit mineur et du lit majeur

N° de secteur	Pm/PM	Lm/LM	IM (m)
A	0.77	1.11	500
B	0.71	1.45	800
C	0.93	1.10	300
D	0.65	1.65	700
E	0.89	1.12	200
F	0.66	2.04	800

Ainsi l'indice de sinuosité (L_m/LM) est inversement proportionnel à l'indice de pente (P_m/PM) et il augmente corrélativement avec la largeur moyenne du lit majeur (IM). Les valeurs absolues de la pente du lit majeur ou du lit mineur ne sont donc pas un facteur déterminant de l'explication de l'ampleur du fond alluvial, par contre le rapport entre ces deux valeurs est plus significatif.

On Peut ainsi regrouper certains secteurs :

- les secteurs C et E, caractérisés par un fond alluvial très rétréci (200-300 m), ont des indices de pente et de sinuosité proches de 1. Ces secteurs correspondent à des entailles profondes dans les calcaires du Muschelkalk qui limitent l'extension du lit majeur. Le lit mineur se déplace latéralement dans la concavité des méandres de la vallée mais son tracé est peu sinueux. La dynamique fluviale actuelle est faible. Elle se caractérise par quelques sapements de berge dans les concavités les plus marquées et les matériaux érodés sont généralement exportés lors des crues.

- les secteurs B, D et F ont par contre des fonds alluviaux très larges (700-800 m), avec des indices de pente marqués (0.65 - 0.70) et des indices de sinuosité élevés (1.5-2).

L'élargissement des fonds alluviaux correspond à l'entaille du substratum plus argileux (Muschelkalk et Keuper). Cette tendance à l'élargissement et à l'alluvionnement est une constante durant tout le Quaternaire, comme nous l'avons souligné précédemment. Le lit mineur entaille essentiellement les alluvions de fond de vallées et plus particulièrement les limons de débordement épais de plusieurs mètres. Son tracé, extrêmement sinueux, se caractérise par des méandres aux formes complexes qui ont été étudiés en détail par J. CORBONNOIS et M. SARY (1985).

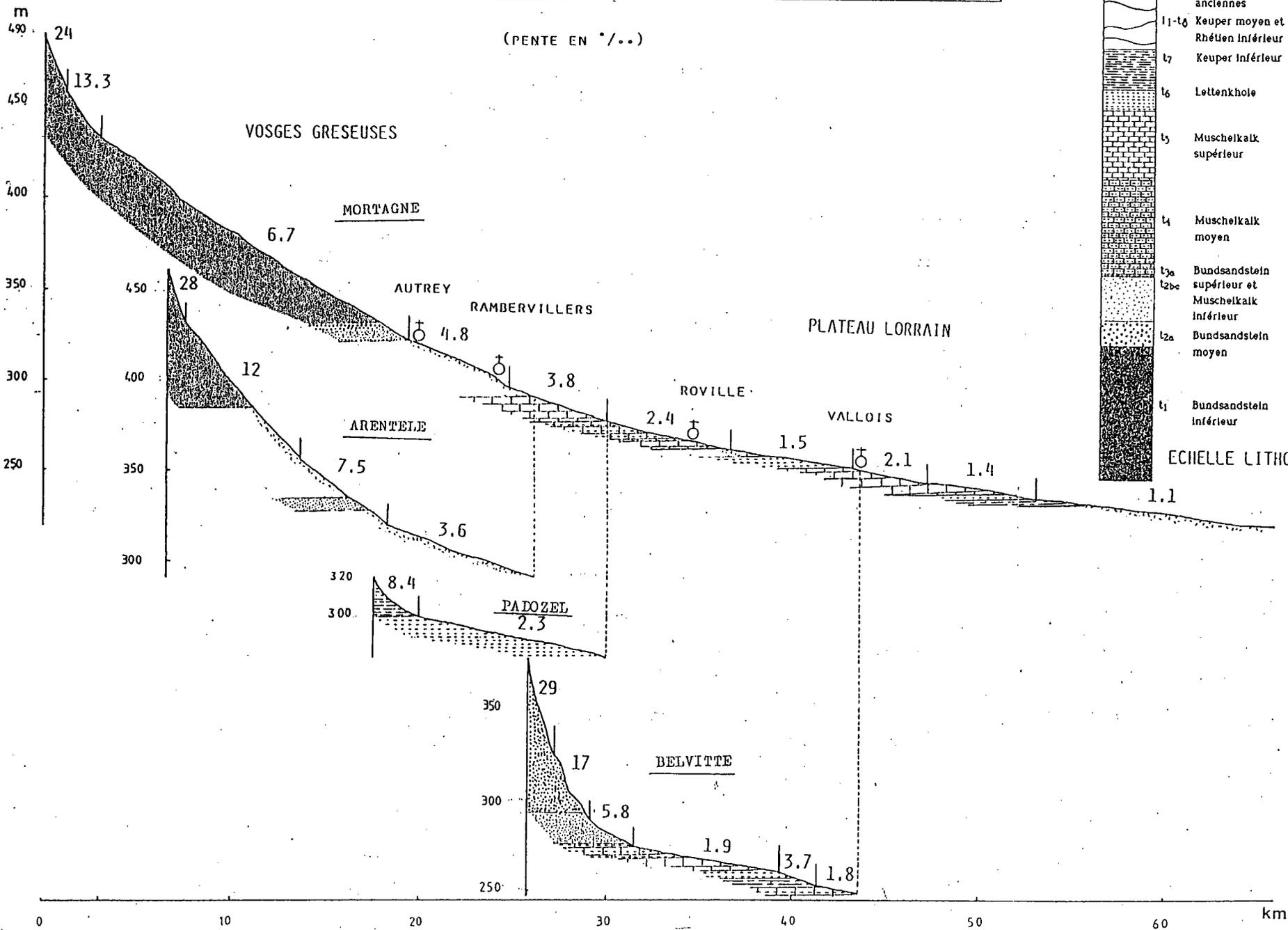
La dynamique actuelle est très vive avec des sapements, des affaissements dans les concavités et la constitution de bancs d'alluvions mobiles dans les convexités. Le fond du lit est également affecté par des seuils et des mouilles qui évoluent rapidement lors des crues.

- le secteur A est particulier. En effet, avec une largeur moyenne de 500 m, le fond alluvial est parcouru par un lit mineur qui présente une faible sinuosité (1.11) alors que l'indice de pente reste peu élevé (0.77). Le fond alluvial est ici emboîté uniquement dans les alluvions anciennes qui constituent les versants de la vallée. Le lit mineur est en fait complexe car il comporte plusieurs chenaux entrelacés qui sont plus ou moins fonctionnels. En ne retenant que le chenal principal nous avons donc nécessairement un indice de sinuosité trop faible. La dynamique fluviale est peu active car les alluvions sont plus grossières et en majorité sous couverture forestière. D'autre part, lors des crues une partie des écoulements circulent dans les chenaux secondaires et réduit ainsi le potentiel érosif dans le chenal principal.

Il y a donc une relation étroite entre le tracé et la dynamique du lit mineur et l'ampleur du lit majeur qui dépend des conditions structurales. On peut ainsi définir des secteurs où la dynamique fluviale est peu active du fait d'une dispersion des écoulements (secteur A) ou d'un transit rapide des écoulements dans les secteurs à lit majeur étroit (secteurs C et E). Par contre, la dynamique fluviale est très active dans les secteurs à large lit majeur (secteurs B, D et F) où le lit mineur évolue par phénomène de substitution de charge (érosion, alluvionnement) qui induit un déplacement progressif des méandres vers l'aval et latéralement.

FIG.14

PROFILS EN LONG DE LA MORTAGNE ET DE SES PRINCIPAUX AFFLUENTS



Stratigraphic Unit	Geological Description
Fx-y	alluvions récentes, galets
anciennes	argiles, sables et galets
11-t6	Keuper moyen et Rhélieu inférieur, grès, dolomie, marnes et argiles
t7	Keuper inférieur, argiles et marnes
t6	Lettenkhole, dolomie, schistes et argillites
t5	Muschelkalk supérieur, calcaires à cératites et calcaires à entroques
t4	Muschelkalk moyen, argiles et marnes
t3a	Bundsandstein supérieur et Muschelkalk inférieur, argiles, grès coquiller, grès, argileux, grès fin et grès feldspathique
t2a	Bundsandstein moyen, conglomérat principal
t1	Bundsandstein inférieur, grès rouge

ECHELLE LITHOLOGIQUE

61

B - Morphométrie des réseaux hydrographiques

Nous aborderons dans cette partie l'étude des profils en long et de la hiérarchisation du réseau hydrographique de la Mortagne et de ses principaux affluents.

1. Profils en long

Les profils ont été réalisés pour la Mortagne, l'Arentèle, le Padozel et la Belvitte (cf Fig. 14).

Ces rivières, sauf le Padozel, amorcent leur écoulement pérenne dans les Vosges gréseuses (recoupement de nappe). Dans ce massif, les pentes des profils en long, très élevées (supérieures à 10 ‰), correspondent aux blocs soulevés et basculés que nous avons étudiés précédemment. Seule la Mortagne qui entaille la majeure partie de ce massif, sur un parcours d'une vingtaine de kilomètres en amont d'Autrey, a un profil en long qui tend vers l'équilibre. Mais avec une pente de 6 à 7 ‰, la rivière conserve encore des écoulements rapides qui expliquent que la sédimentation alluviale est peu développée.

A l'aval, sur le plateau lorrain, la pente de la Mortagne diminue progressivement pour atteindre 1 ‰ dans sa partie aval. Cependant, la pente peut s'accroître localement, au droit des affleurements calcaires du Muschelkalk qui apparaissent à l'aval de Rambervillers, de Roville et de Vallois. Cette accentuation de la pente correspond aux secteurs rétrécis de la vallée étudiés précédemment. L'Arentèle conserve un profil tendu jusqu'à la confluence avec la Mortagne, par contre le profil de la Belvitte passe rapidement à une pente inférieure à 2 ‰, sauf vers l'aval où une accentuation se produit à la sortie des calcaires du Muschelkalk.

Le profil du Padozel atteint rapidement un équilibre avec une pente de l'ordre de 2 ‰, qui caractérise un milieu essentiellement argileux (argiles du Keuper) dans un bloc affaissé et accentué par une ondulation synclinale.

Ainsi, la différenciation des profils en long correspond bien aux ensembles morphostructuraux étudiés : Vosges gréseuses et plateau lorrain calcaire ou marneux.

2. Hiérarchisation

La hiérarchisation du réseau hydrographique a été établie selon les lois d'HORTON et de SCHUMM critiquées et appliquées par F. HIRSCH (1962) :

- classification des rivières selon SCHUMM qui donne l'ordre 1 au plus petit ruisseau ou talweg élémentaire, l'ordre 2 à la jonction de deux ruisseaux d'ordre 1, et ainsi de suite. Ainsi, "la confluence de deux ruisseaux d'ordre $x-1$ détermine un ruisseau d'ordre x qui ne changera d'ordre qu'à la confluence avec un autre ruisseau d'ordre x " (la confluence d'un affluent d'ordre inférieur à celui de la rivière principale ne modifie pas cet ordre).
- loi du nombre de rivières selon Horton : "le nombre de rivières de chaque ordre forme une série géométrique inverse dont le premier terme est l'unité, et la raison le rapport de confluence, c'est à dire le rapport du nombre total de rivières d'un ordre x à celui des rivières d'ordre $x+1$ ".

- loi des longueurs moyennes des rivières selon Horton : "les longueurs moyennes des rivières de chaque ordre forment une série géométrique directe, dont le premier terme est la longueur moyenne des talwegs élémentaires, et la raison le rapport de longueur, c'est à dire le rapport de la longueur moyenne des rivières d'un ordre x à celle des rivières de l'ordre $x-1$ ".

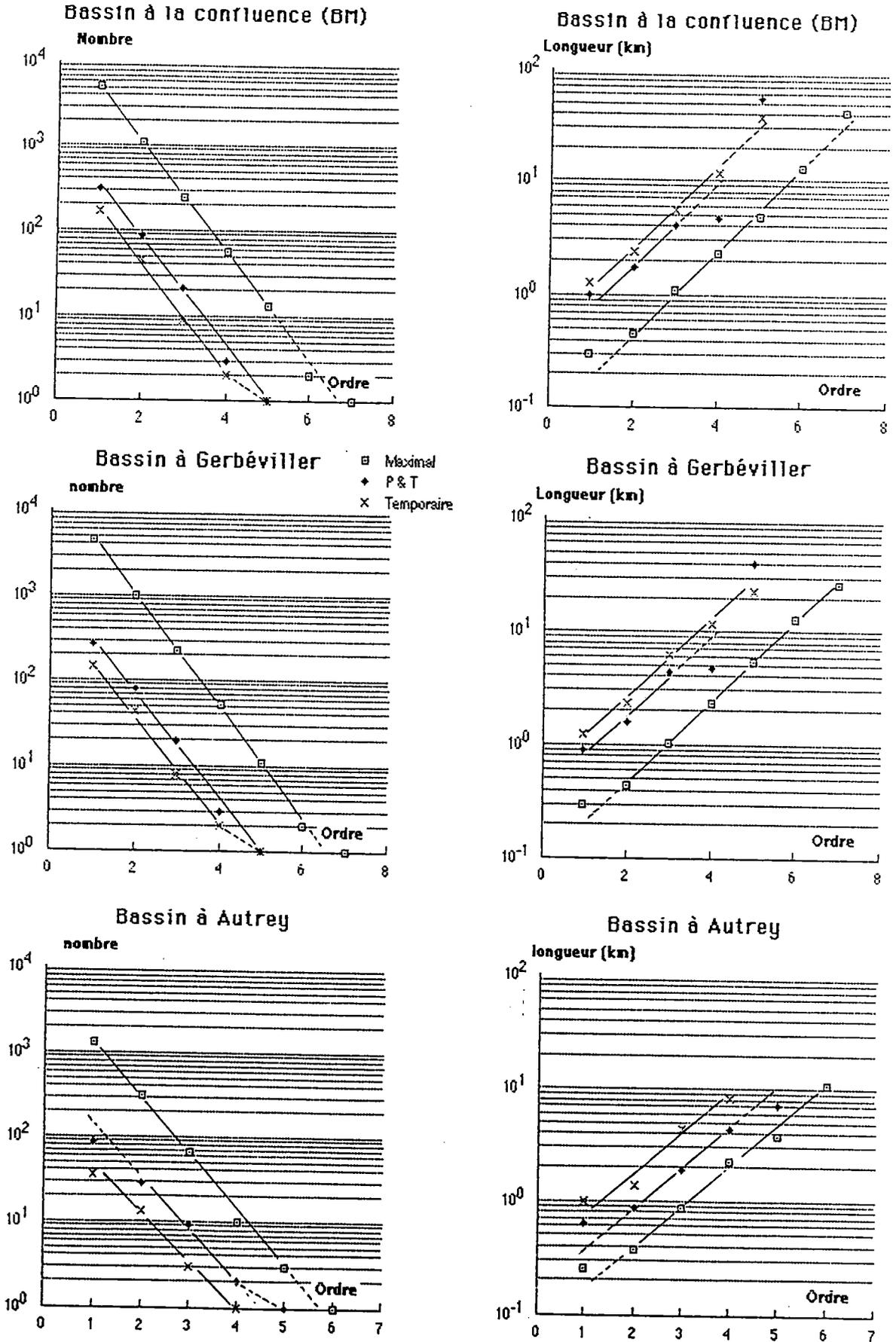
Ces séries géométriques transcrites sur papier semi-logarithmique (coordonnées arithmétiques pour les ordres et coordonnées logarithmiques pour les nombres et les longueurs moyennes) se traduisent par un alignement des points si la hiérarchisation du réseau est bien réalisée.

Nous avons appliqué ces lois à différents types de réseau :

- réseau pérenne comportant tous les talwegs drainés en permanence (figurés en trait continu sur les cartes topographiques)
- réseau pérenne et temporaire comportant tous les talwegs drainés en permanence ainsi que les talwegs drainés temporairement (figurés en tireté sur les cartes topographiques)
- réseau maximal comportant tous les talwegs drainés (pérennes et temporaires) et les talwegs non drainés (entailles sèches).

En annexe VIII, nous donnons en exemple la classification des rivières pour le réseau pérenne et temporaire, et en annexe IX, les tableaux récapitulent les données calculées pour les différents types de réseau hydrographique.

Fig 15. Hiérarchisation des réseaux hydrographiques de la Mortagne



La hiérarchisation du réseau hydrographique de la Mortagne est analysée à sa confluence avec la Meurthe (BM), à la station hydrométrique de Gerbéviller (BG) et à celle d'Autrey (BA). Les données sont reportées sur les graphiques de la Figure 15.

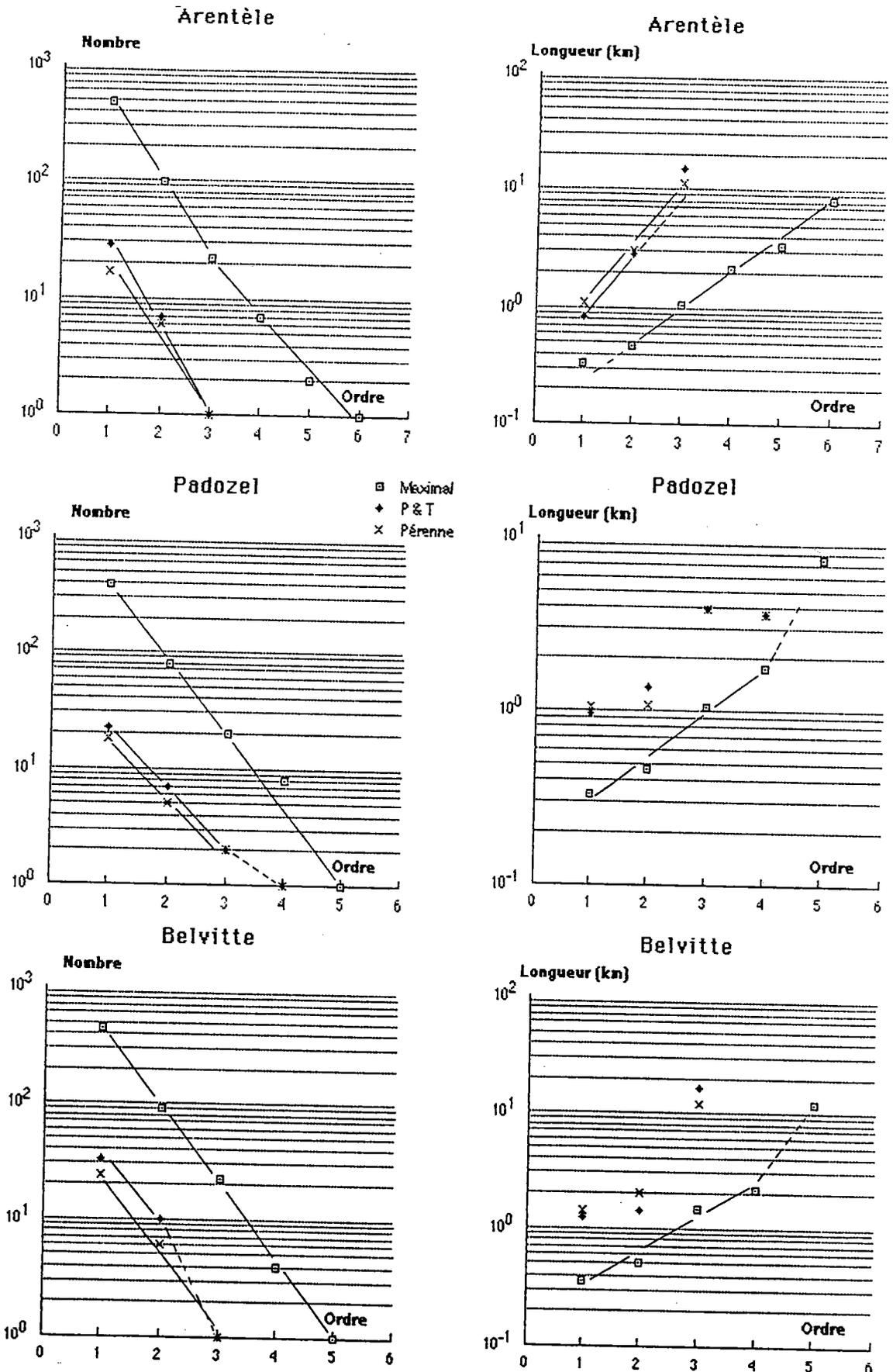
D'une manière générale, la hiérarchisation est bien réalisée pour le réseau maximal, aussi bien pour le nombre que pour la longueur moyenne des rivières, comme le montre l'alignement correct des points. On peut donc considérer que le réseau maximal a atteint un certain équilibre qui est la conséquence de la longue évolution de la formation des entailles qui a déterminé les talwegs actuels.

Les écoulements actuels, pérennes et temporaires sont adaptés en grande partie au réseau maximal, comme le démontre le parallélisme général des alignements de points. Cependant, ces alignements sont moins bien réalisés du fait des conditions climatiques actuelles qui induisent des écoulements diversifiés en fonction des conditions structurales. C'est ainsi le cas de certains talwegs, inscrits dans les calcaires du Muschelkalk, qui ne comportent que des écoulements épisodiques du fait des pertes karstiques. Il en résulte donc un décalage de certains ordres (nombre et longueur moyenne) par rapport à l'alignement général.

Les différents réseaux hydrographiques du bassin à Gerbéviller (BG) et ceux du bassin à la confluence (BM) montrent une hiérarchisation quasi identique (nombre d'ordres et pente des alignements des points).

On peut donc considérer que la station hydrométrique de Gerbéviller est représentative de l'ensemble du bassin. Par contre, les réseaux hydrographiques du bassin à Autrey (BA) ont une hiérarchisation différente qui se caractérise par une pente plus faible pour les alignements des points (densification du nombre de rivières et réduction corrélative des longueurs moyennes).

Fig. 16. Hiérarchisation des réseaux hydrographiques
des affluents de la Mortagne



Cette hiérarchisation est donc spécifique au bassin amont inscrit dans les Vosges gréseuses.

La hiérarchisation des réseaux hydrographiques affluents (Arentèle, Padozel et Belvitte) est moins bien réalisée (cf Fig. 16).

Pour le réseau maximal, l'alignement des points est encore net pour le Padozel et la Belvitte, mais pour l'Arentèle une cassure apparaît dans l'alignement. Celle-ci est certainement liée à l'existence de l'épaisse couverture alluviale qui a ennoyé en partie le réseau d'entailles.

Les autres réseaux, pérennes et temporaires, sont peu significatifs du fait du faible nombre d'ordre (3 ou 4). Les alignements aléatoires des points ne permettent pas d'analyser les écoulements dans le cadre du réseau maximal.

3. Densités

La densité d'un réseau hydrographique peut être étudiée de différentes manières. Nous proposons d'utiliser les densités suivantes :

- densité de drainage (Dd) qui est le rapport entre la longueur totale d'un réseau et la surface de bassin-versant concernée :

$$Dd = \frac{\Sigma Lx \text{ (km)}}{A \text{ (km}^2\text{)}}$$

Cette densité permet d'apprécier les possibilités d'évacuation des écoulements (eaux de surface et souterraines).

- densité du nombre de rivières (Dn) qui est le rapport entre le nombre total de rivières d'un réseau et la surface de bassin-versant concernée :

$$Dd = \frac{\sum N_x}{A \text{ (km}^2\text{)}}$$

Cette densité est un indice de concentration plus ou moins rapide des écoulements.

Le tableau suivant donne les valeurs de ces densités pour les différents types de réseaux hydrographiques :

Tableau N° 10 : Densités des réseaux hydrographiques

Bassin-Versant	Densité de drainage (Dd)			Densité du nombre de rivières (Dn)		
	P	P et T	Max.	P	P et T	Max.
Mortagne à la confluence	0.74	1.05	4.47	0.38	0.73	11.3
Mortagne à Gerbéviller	0.76	1.02	4.59	0.41	0.76	11.9
Mortagne à Autrey	0.76	1.12	5.56	0.54	1.29	17.7
Arentèle	0.75	0.93	4.07	0.38	0.57	9.6
Padozel	0.77	0.90	4.41	0.56	0.69	10.5
Belvitte	0.89	1.09	3.89	0.48	0.68	8.6

P : réseau pérenne

P et T : réseau pérenne et temporaire

Max : réseau maximal

La densité de drainage (Dd) du réseau maximal est 4 à 5 supérieure à celle du réseau pérenne et temporaire et 5 à 7 fois supérieure à celle du réseau pérenne.

Cette différence est très significative du contraste des écoulements qui se produisent dans un bassin. La densité du réseau maximal peut être significative pour les écoulements des crues importantes lorsque les sols sont fortement saturés. Les densités de drainage des autres types de réseau (P, P et T) sont significatives des écoulements liés au tarissement des eaux de surface et à la vidange des eaux souterraines.

La densité du nombre de rivières (D_n) évolue dans le même sens que la densité de drainage (D_d), mais les rapports entre les différents réseaux sont plus élevés. Elle peut contribuer à expliquer, dans le cas du réseau maximal, l'allure des hydrogrammes de crue. Pour les autres types de réseau (P, P et T), cette densité est un facteur d'explication de la rapidité du ressuyage des eaux de surface et de l'accélération de la vidange des eaux souterraines.

La Mortagne à la confluence et à Gerbéviller a pratiquement les mêmes valeurs de densité (D_d et D_n) pour les différents réseaux. Cela confirme que la station de Gerbéviller est représentative de l'ensemble du bassin. A Autrey, les valeurs plus élevées induisent des rendements hydrologiques plus importants et une concentration plus rapide des écoulements.

Les affluents de la Mortagne ont des densités généralement proches de celles de l'ensemble du bassin. Cependant les valeurs sont plus faibles pour l'Arentèle où, comme nous l'avons vu précédemment, l'existence de larges étendues d'alluvions a entravé le développement du réseau hydrographique.

CONCLUSION

Les caractéristiques hydrographiques actuelles résultent en grande partie de l'évolution morphométrique quaternaire qui s'est développée dans des conditions climatiques très contrastées.

Les conditions structurales jouent également un rôle fondamental dans la diversification de ces caractéristiques (extension de la plaine alluviale, dynamique du lit mineur, profil en long, hiérarchisation des réseaux hydrographiques, ...).

La régionalisation de ces caractéristiques hydrographiques confirme l'originalité des bassins implantés dans les Vosges gréseuses et des bassins implantés sur le plateau lorrain marno-calcaire.

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

Toutes les analyses que nous avons effectuées sur le bassin de la Mortagne nous ont permis de bien différencier les différents milieux qui constituent ce bassin.

Nous avons également montré que la station hydrométrique d'Autrey était caractéristique d'un bassin inscrit dans les Vosges gréseuses et que celle de Gerbéviller représentait l'ensemble du bassin, Vosges gréseuses et plateau lorrain marno-calcaire. On peut ainsi comparer les deux bassins aux stations hydrométriques en extrayant les données les plus caractéristiques que nous avons reportées dans le tableau suivant :

Tableau N° 11 : Caractéristiques essentielles des bassins aux stations hydrométriques d'Autrey et Gerbéviller

CARACTERISTIQUES	B.V. à Autrey (BA)	B.V. à Gerbéviller (BG)
<u>BASSIN-VERSANT :</u>		
- Superficie	98 km ²	490 km ²
- Forme (IH)	1.3	2.0
- Altitude moyenne	469 m	331 m
- Pente moyenne (Su)	1.37 %	0.54 %
- Roches perméables	79 %	57 %
- Couvert forestier	73 %	48 %
<u>RESEAU HYDROGRAPHIQUE :</u>		
- Longueur de la rivière principale	19 km ²	54 km ²
- Pente moyenne de la rivière principale	8.4 ‰	4.7 ‰
- Indice de drainage (Id)	20 %	22 %
- Indice du nombre de rivières (In)	7.3 %	6.4 %

- IH : indice d'allongement d'HORTON (rapport entre la plus grande longueur du bassin à l'exutoire et la plus grande largeur perpendiculaire à cette longueur)
- Su : Pente moyenne utile (rapport entre la dénivelée utile et la longueur du rectangle équivalent)
- Id : indice de drainage (rapport entre la longueur totale du réseau pérenne et temporaire et la longueur du réseau maximal)
- In : indice du nombre de rivières (rapport entre le nombre total de rivières du réseau pérenne et temporaire et le nombre de rivières du réseau maximal)

Le contraste entre les deux bassins est très net. Le bassin-versant à Autrey avec une altitude moyenne plus élevée reçoit des précipitations importantes. Le ruissellement devrait être favorisé par la forme compacte du bassin et la pente forte du relief, mais il est entravé par l'importance du couvert forestier (conifères dominants) et la nature essentiellement perméable du substratum qui favorisent l'infiltration. Le bassin-versant à Gerbéviller avec une altitude nettement plus faible sera moins pluvieux. La forme allongée du bassin et la pente plus faible du relief jouent en faveur de l'infiltration, mais l'imperméabilité plus grande du substratum et un couvert forestier plus réduit (feuillus dominants) induisent un ruissellement efficace, surtout en hiver.

Les réseaux hydrographiques sont également contrastés. L'indice de drainage est similaire pour les deux bassins, mais l'indice du nombre de rivières et la pente moyenne de la rivière principale sont plus élevés à Autrey qu'à Gerbéviller. On peut en déduire que les écoulements, à Autrey, se concentreront et s'évacueront plus rapidement, surtout en période de fort ruissellement (période hivernale).

DEUXIEME PARTIE

LE CLIMAT DU BASSIN VERSANT

LOCALISATION DES STATIONS HYDROMETRIQUES
ET DES POSTES CLIMATIQUES

Fig. 17



INTRODUCTION

Le climat est défini comme :

Ensemble de données physiques qui, avec ses variations, traduit l'environnement atmosphérique dans une région. Un climat est le cadre géographique des phénomènes météorologiques.

M. ROCHE

On admet, souvent en simplifiant, que l'analyse des données atmosphériques instantanées ou sur de courtes périodes est du domaine de la Météorologie, et qu'en revanche, lorsqu'on traite ces données en longues séries chronologiques, on fait de la climatologie. La durée minimale d'une série d'observations pour définir un climat, comme ci-dessus, en tant que cadre géographique "moyen, ou "statistique", est d'une trentaine d'années.

Les éléments du climat sont divers : température, précipitations, humidité atmosphérique, ensoleillement, pression atmosphérique, vent dominant, . . . Nous considérerons uniquement les deux premiers. Les données d'observation de ces éléments sont les plus faciles à se procurer et ils représentent les facteurs les plus importants de la variation du régime d'écoulement à l'échelle de notre bassin.

CHAPITRE I - PRESENTATION DU CLIMAT DU BASSIN VERSANT

Pour toute la présentation du climat du bassin de la Mortagne, nous nous appuierons sur les séries 60-87 de St. Dié et Golbey (Fig. 18), plutôt que sur la série 70-87 de Roville-aux-chênes qui est trop courte.

Par ailleurs, pour cette période 70-87, les fluctuations sont pratiquement identiques à St. Dié et Roville-aux-chênes, ce qui nous permet de supposer que le régime climatique de St. Dié pour la période 60-87 donne une bonne idée du régime de Roville-aux-chênes sur cette période, à la différence de moyennes près.

A - Régime des Températures

Le maximum est en juillet, le minimum en janvier, et l'amplitude annuelle (St. Dié 60-87: 16.8 °C, St. Dié 70-87 : 17 °C, Roville-aux-chênes 70-87 : 17.6 °C) montre suffisamment l'influence océanique, tout en exprimant cependant un commencement de continentalité (janvier St. Dié 60-87 : +0.4 °C).

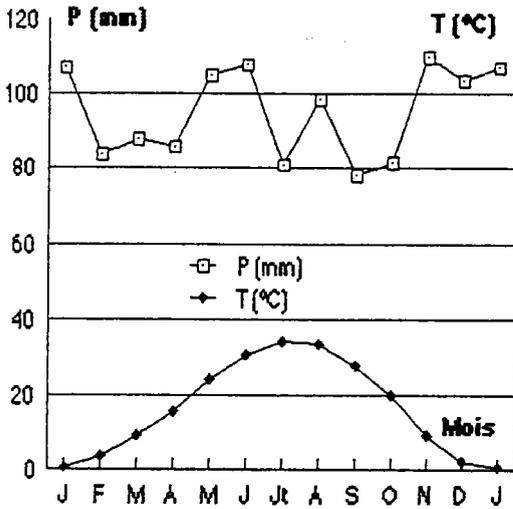
B - Régime des pluies

Les précipitations moyennes mensuelles sont relativement constantes (de 78 à 110 mm) tout au long de l'année ; tout au plus peut-on noter un léger accroissement en fin de printemps (mai-juin) et en début d'hiver (novembre, décembre, janvier), ainsi qu'en août. Cette grande pondération du régime des précipitations mensuelles moyennes, ne doit bien sûr pas masquer l'extrême irrégularité des précipitations de chacun des mois selon les années.

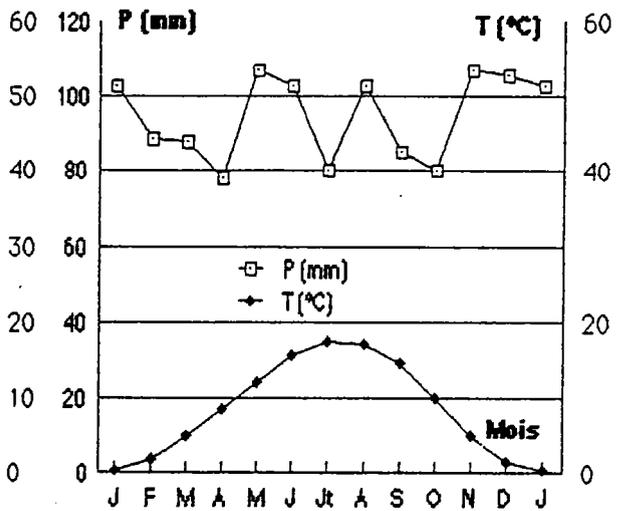
Par ailleurs, si les précipitations moyennes annuelles (70-87) diffèrent aussi sensiblement à St. Dié et à Roville-aux-chênes (176 mm), c'est en raison de la proximité du massif vosgien, sur les contreforts duquel la Mortagne prend sa source (voir première partie)

Fig. 18 Courbes ombrothermiques

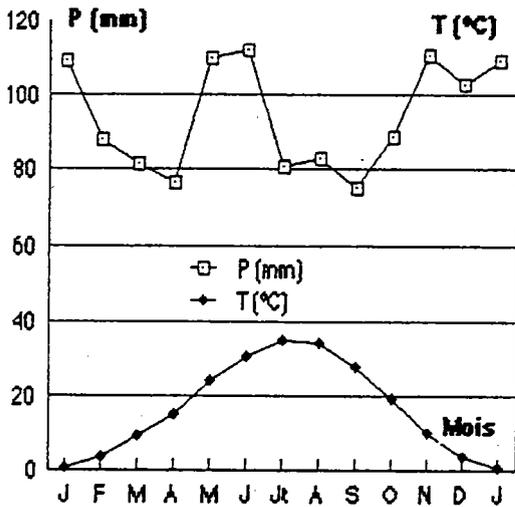
St. Dié (1960-1987)



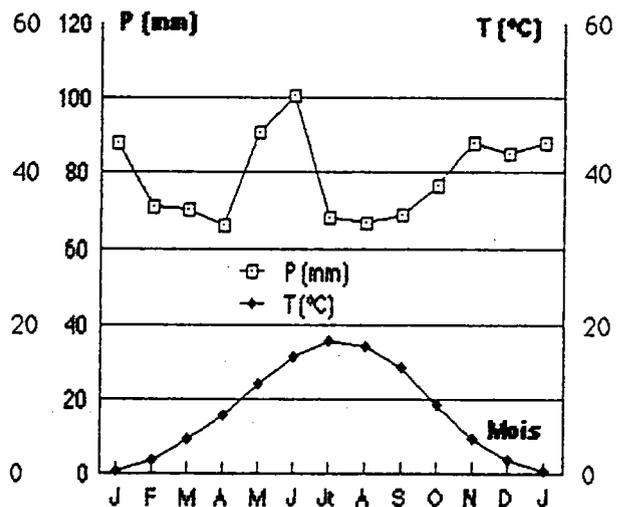
Golbey (1960-1987)



St. Dié (1970-1987)

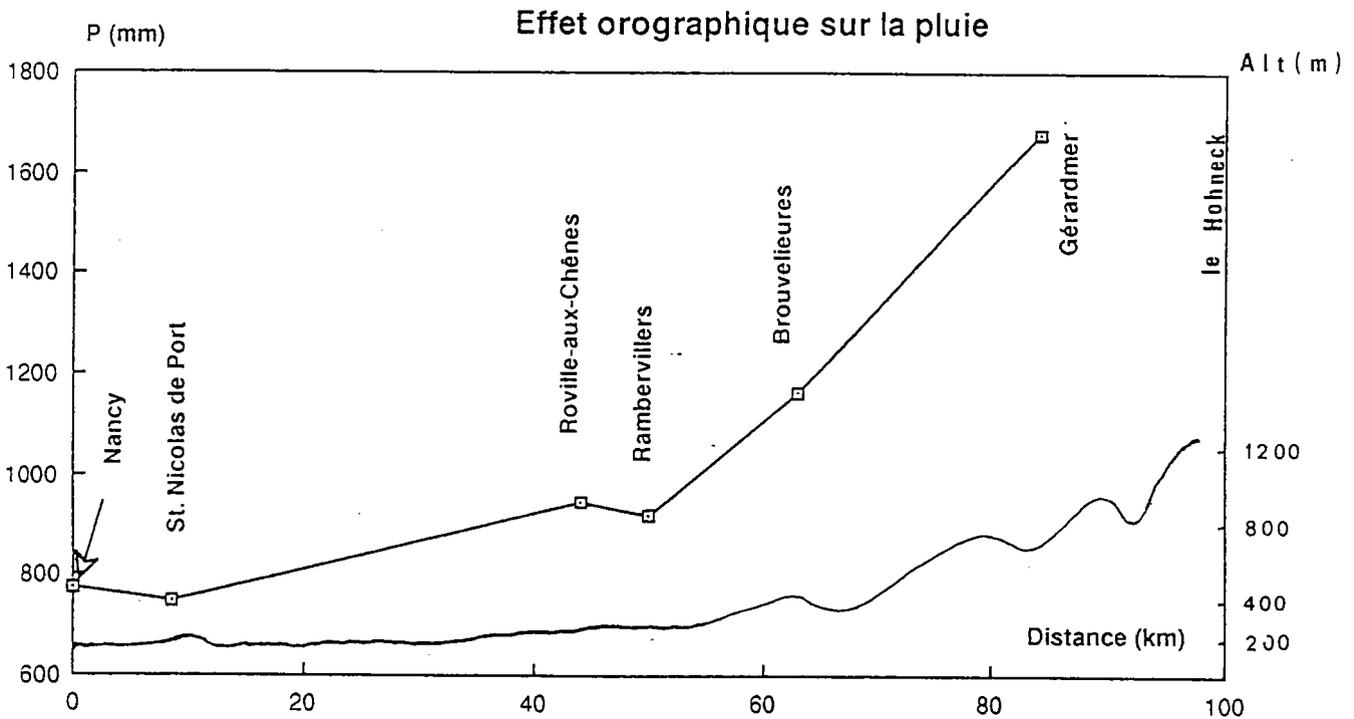


Roville-aux-Chênes (1970-1987)



La région connaît en effet, un accroissement des précipitations avec l'altitude d'autant plus sensible que l'amont du bassin de la Mortagne, comme toute la partie ouest du massif des Vosges, est exposé à la circulation d'ouest et à ses courants perturbés.

Fig. 19



L'ascendance des masses d'air provoquée par le versant ouest des Vosges, les occlusions forcées des fronts sur l'obstacle que constitue le massif vosgien, sont autant de phénomènes participant à cet effet orographique d'augmentation des précipitations que met en évidence la figure. 19.

Fig.20 CLIMOGRAMME

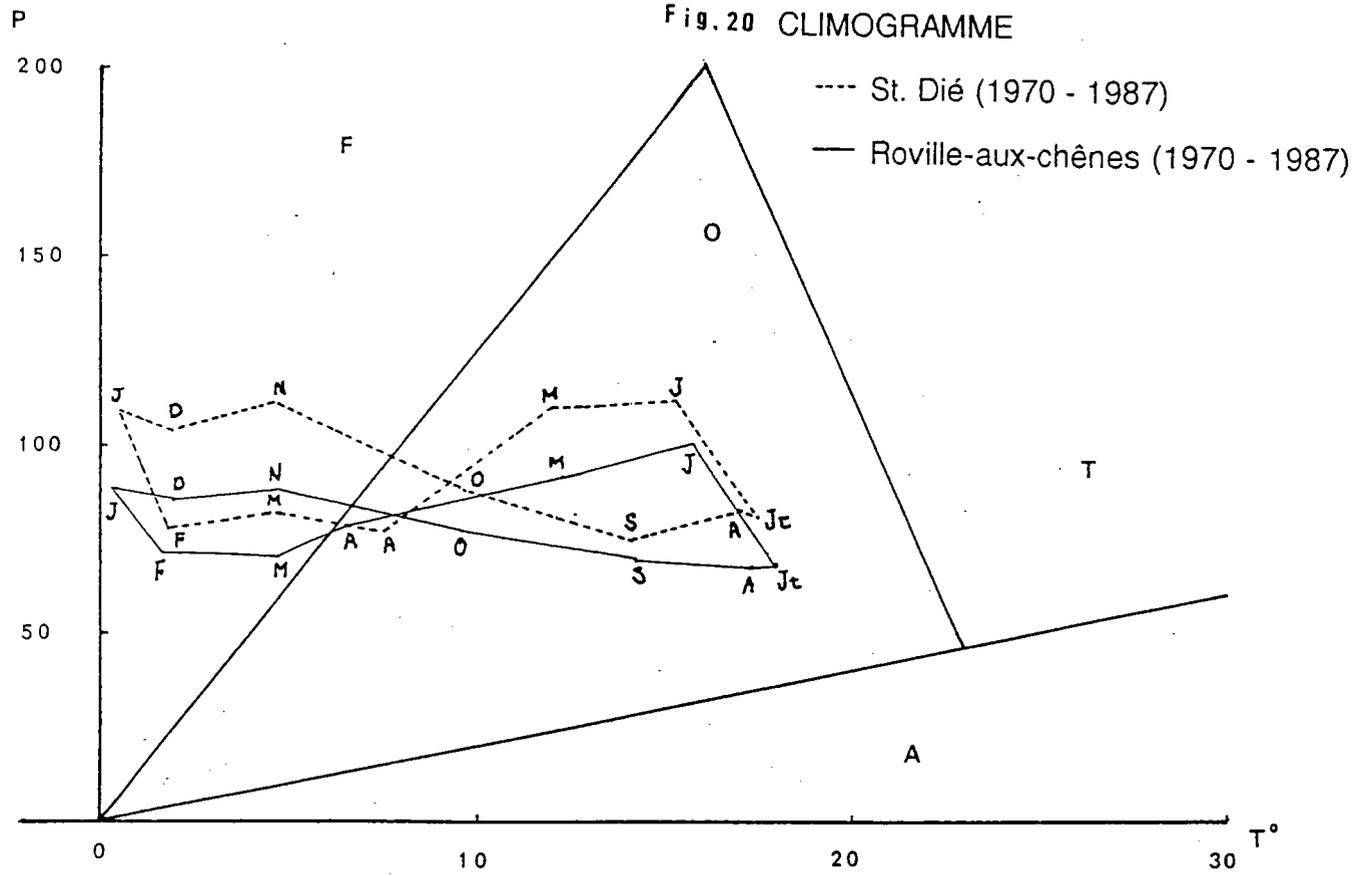
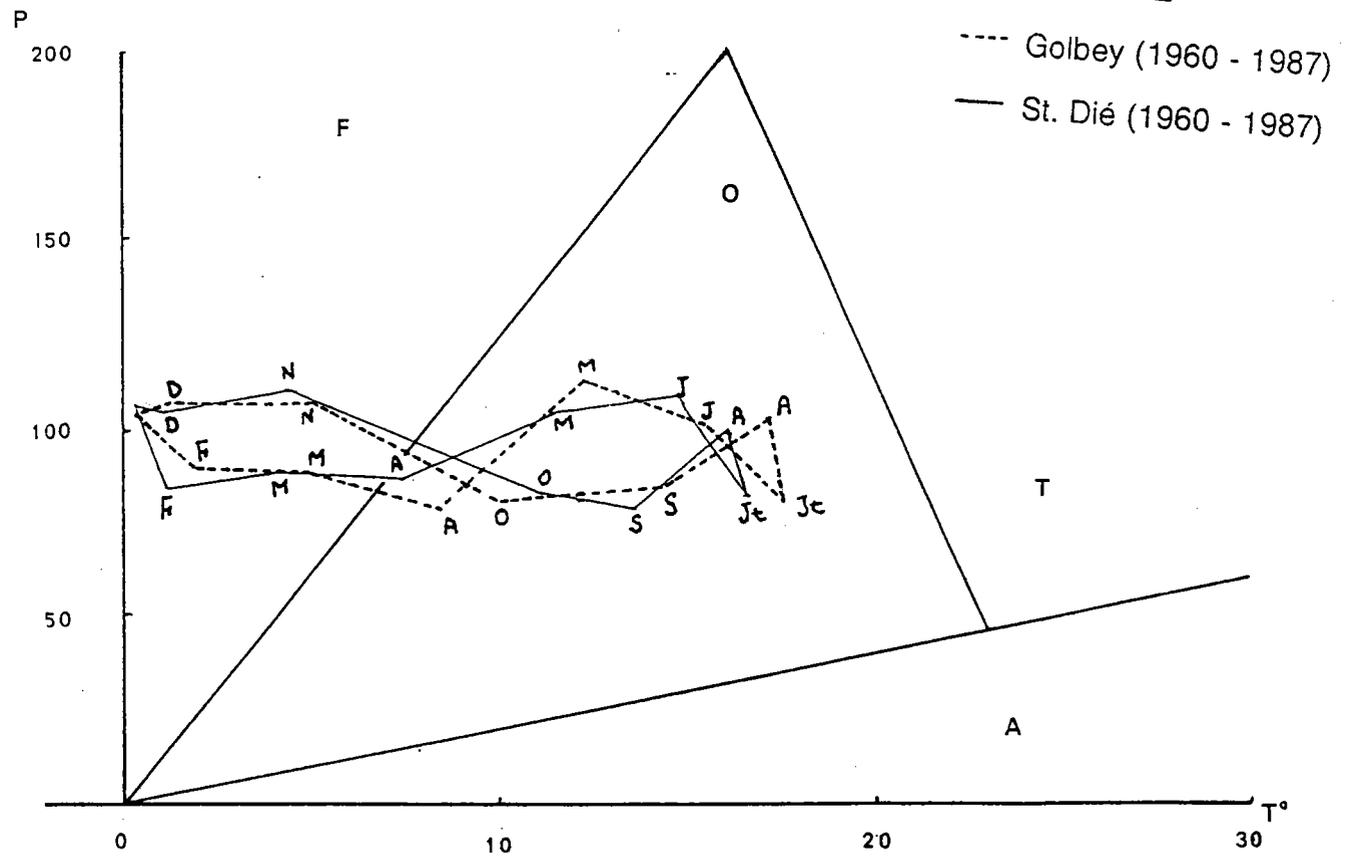


Fig.21 CLIMOGRAMME



C - Définition du climat du bassin-versant

Sur les différents graphiques (cf. Fig.20 Fig 21), on ne note bien sûr aucun mois sec selon Gaussen ($P_{mm} < 2T^{\circ}C$) et la constance des précipitations mensuelles moyennes est bien mise en évidence par l'aspect allongé, selon l'horizontale, des climogrammes.

D'après ceux-ci, 5 mois sont considérés comme "froids et humides" et 7 mois, "tempérés". Le climat du bassin de la Mortagne est un climat propre aux façades ouest de continent dans la zone tempérée. C'est le climat océanique, à peine affecté d'une nuance de continentalité due à l'éloignement de l'océan Atlantique.

Selon De Martonne cette nuance suffit à distinguer un climat régional "Lorrain".

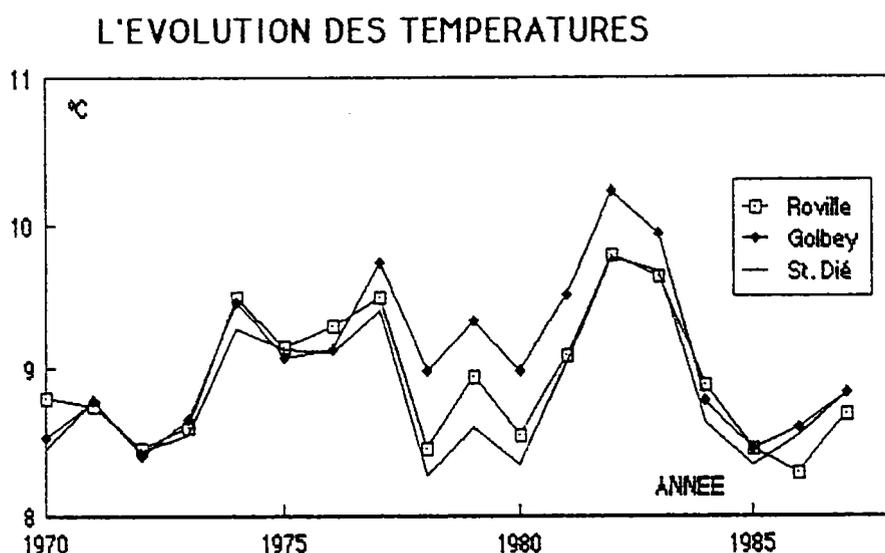
Selon Köppen, le climat de St. Dié est un climat Cfb (f : sans saison sèche - b : 5 mois supérieurs à 10 °C et aucun mois supérieur à 22 °C).

CHAPITRE II - LA TEMPERATURE

Localement, la température peut varier en fonction de plusieurs facteurs : l'ensoleillement, l'humidité atmosphérique, le vent dominant, l'altitude... Ainsi nous étudierons les variations des données d'un poste à l'autre.

Toutes les données thermiques sont fournies par l'Agence de bassin Rhin-Meuse. Nous avons pris les données thermiques de trois postes (Golbey, Brouvelieures et St. Dié) pour la période 1970-1987.

Figure 22 : L'évolution des données thermiques (1970-1987)



Nous pouvons constater dans le même graphique que, sauf les années de 1977-1983, les données thermiques des trois postes sont presque identiques. Durant cette période 1977-1983, les températures du poste de Golbey sont systématiquement les plus élevées, et les moyennes des températures annuelles aux postes de Golbey et St. Dié sont respectivement pour cette période de 9.52 °C et 9.02 °C, soit un écart moyen non négligeable de 0.50 °C. Les moyennes interannuelles, exclues ces années, sont de 8.79 °C pour le poste de Golbey et de 8.73 °C pour le poste de St. Dié. Cette fois l'écart n'est que 0.06 °C (Tableau N° 12).

Tableau N° 12. Les moyennes des températures interannuelles

Poste	Altitudes des postes	Moyenne 1970-1987	Moyenne 1977-1983
Roville-aux-Chênes	260	8.94	9.14
Golbey	340	9.08	9.53
St. Dié	340	8.85	9.04

altitude : m température : °C

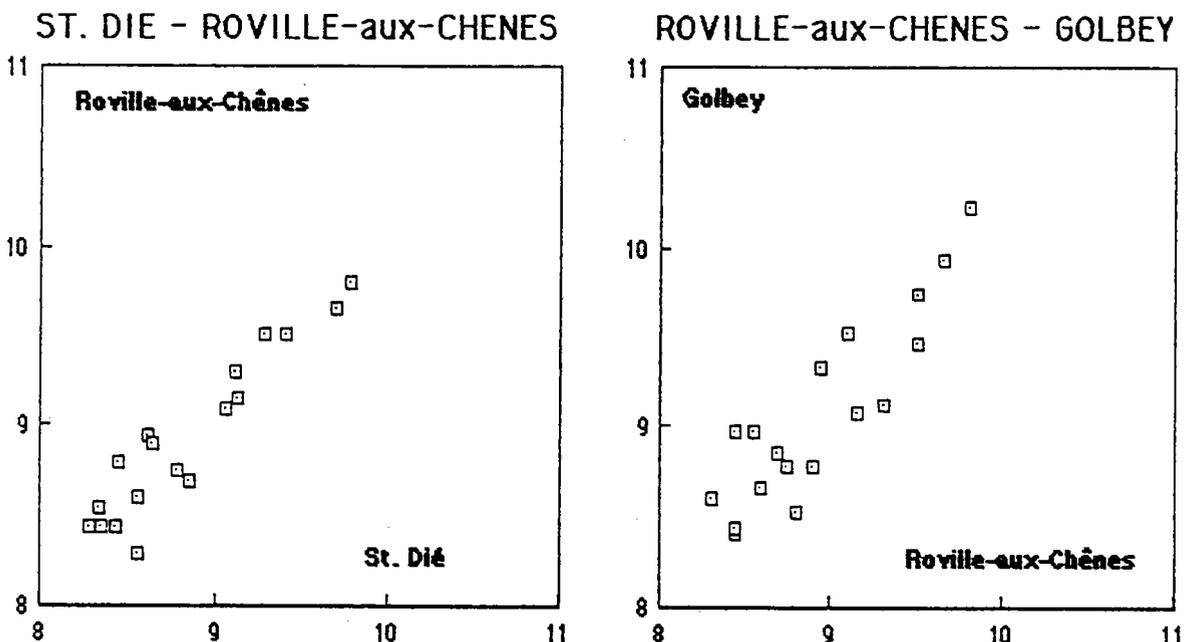
Nous avons effectué encore des corrélations entre les données de ces trois postes : Nous pouvons constater que les températures basses semblent moins corrélées (Fig. 23).

Les mesures des pentes de corrélation sont portées dans le tableau suivant.

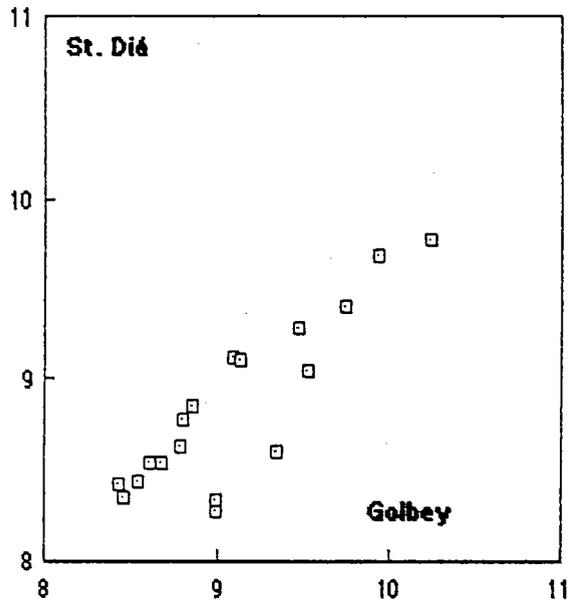
Tableau N° 13 Les pentes de corrélation entre les données thermiques

Poste de référence	Poste	Pente
Golbey	Roville-aux-Chênes	1.02
St. Dié	Roville-aux-Chênes	0.96
St. Dié	Golbey	0.77

Figure 23 Les corrélations des données thermiques entre les postes



GOLBEY - ST. DIE



CONCLUSION

Cette première analyse montre que la température moyenne annuelle baisse d'Ouest (Golbey) en Est (St. Dié). D'autre part Roville-aux-Chênes est le seule poste situé à l'intérieur du bassin. Aussi, parce qu'il est moyen, à la fois par sa situation (sur la Mortagne entre Moselle et Meurthe) et par sa température moyenne annuelle, nous pouvons admettre que le poste de Roville-aux-Chênes est représentatif du bassin-versant de la Mortagne en ce qui concerne la température.

CHAPITRE III - LE CALCUL D'UNE EVAPOTRANSPIRATION

Il est toujours très délicat d'approcher le déficit d'écoulement d'un bassin-versant. Le calcul d'une évapo-transpiration potentielle (ETP) peut concourir, au travers d'un bilan hydrique (voir chapitre VI), à l'affirmation de la pluie moyenne sur le bassin-versant.

Il existe de nombreuses méthodes de calcul de déficit d'écoulement naturel du bassin (formule de Turc, formule de Penman, Formule de Thornthwaite etc. ...). Nous travaillerons avec une ETP calculée à l'aide de la formule de Thornthwaite, parce que, l'insolation n'étant pas mesurée à Roville-aux-Chênes, il est impossible d'utiliser la formule de Turc, et plus forte raison, celle de Penmann qui nécessite encore d'avantage d'observation.

La formule empirique de Thornthwaite s'écrit :

$$ETP = 16 \left(\frac{10T_m}{I} \right)^a$$

$$(a = 6.75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7.71 \cdot 10^{-5} I^2 + 0.01792 I)$$

où ETP : évapotranspiration mensuelle en mm

T_m : température moyenne mensuelle

I : indice thermique annuel qui est la somme de douze indices thermiques mensuels

$$I = \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1.514}$$

On applique à la valeur ainsi déterminée un coefficient de correction qui est fonction de la latitude du lieu (Tableau N° 14) pour obtenir la valeur de l'ETP.

Tableau N° 14. Coefficient de correction pour Roville-aux-Chênes
(latitude 48° N)

jan	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
0.76	0.80	1.02	1.14	1.31	1.33	1.31	1.23	1.05	0.93	0.77	0.72

Ainsi nous avons calculé les évapo-transpirations potentielles de tous les mois des années 1970-1987 (Tableau N° 15.)

Tableau N°15 ETP du bassin-versant de la Mortagne

ANNEE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	annuelle
1970	2.6	6.1	11.7	34.9	78.0	114.4	110.6	105.1	76.1	43.0	25.1	0	607.6
1971	0	5.6	6.2	56.2	93.0	94.4	121.1	112.4	65.3	44.4	10.1	6.0	614.7
1972	0.4	17.2	31.8	46.0	76.9	96.4	116.9	101.0	58.4	37.1	18.5	3.0	603.6
1973	0	2.3	17.1	33.0	89.3	110.9	115.4	115.5	77.1	37.2	14.4	0	612.2
1974	14.8	14.8	33.5	44.3	75.6	98.1	103.4	109.4	72.0	25.9	19.9	17.5	629.2
1975	16.8	10.7	16.6	43.9	76.5	97.6	117.5	111.0	83.1	33.4	13.3	0	620.4
1976	4.2	6.5	14.8	39.0	84.4	117.4	131.8	101.3	66.0	47.8	17.3	0	630.5
1977	8.8	20.5	37.3	33.7	77.3	99.9	113.5	98.8	63.6	49.1	18.6	8.4	629.5
1978	5.8	3.7	30.2	41.3	76.8	100.4	109.5	97.8	71.7	43.2	12.6	9.6	602.6
1979	0	6.9	26.4	40.3	77.7	111.5	114.0	96.6	72.6	48.4	15.1	14.8	624.3
1980	0	17.3	26.7	40.2	73.5	99.8	103.7	108.8	79.9	40.8	12.0	0.7	603.4
1981	0	0	41.6	49.3	80.9	99.4	110.3	104.9	74.1	41.7	17.2	3.9	623.3
1982	0.4	7.1	20.6	36.1	80.9	113.3	123.8	102.2	83.8	42.5	21.8	8.6	641.1
1983	10.8	0.7	21.1	45.8	66.0	109.8	140.4	114.9	73.2	42.5	10.6	4.3	640.1
1984	9.0	4.4	15.6	40.1	65.4	99.2	114.7	108.3	70.2	48.3	25.9	7.1	608.2
1985	0	2.0	19.4	50.1	83.1	94.0	124.8	103.0	77.5	40.4	5.1	13.7	613.1
1986	4.8	0	15.8	32.4	90.6	112.6	113.0	99.1	65.0	46.6	22.6	7.7	610.2
1987	0	4.7	12.1	53.4	60.7	97.4	115.9	106.9	86.3	49.8	19.5	6.9	613.6
moy.	4.4	7.3	22.1	42.2	78.1	103.7	116.7	105.4	73.1	42.3	16.6	6.2	618.2

CHAPITRE IV - LES DONNEES DE PRECIPITATIONS

La variation des précipitations d'un endroit à l'autre peut être expliquée par la localisation globale des postes traités (latitude, longitude) et par leur situation topographique (l'altitude, encaissement).

Puisque le climat est ainsi défini (voir la définition de M. Roche), cette approche pourrait paraître très efficace. Dans un premier temps, nous éviterons les quantifications morphométriques et nous ne chercherons pas à voir s'il existe des relations entre morphométrie du bassin versant et précipitations. Nous comparerons les données pluviométriques des postes entre eux avec quelques méthodes simples. Nous nous appuierons ensuite sur cette analyse pour introduire les contraintes géographiques de façon à restituer des précipitations moyennes sur le bassin versant avant de procéder à un essai de bilan hydrique.

A - Les séries des données

Les données pluviométriques autour du bassin sont fournies par l'Agence de Bassin Rhin-Meuse. Elles sont de deux sortes : les données de série longue et les données de série courte. Nous avons choisi les postes plutôt pour avoir le plus grand nombre d'années que pour avoir le maximum de postes, donc le poste de Lamath est exclu.

1. Données de série longue

Pour ce groupe de données, nous n'avons qu'un seul poste à l'intérieur du bassin : le poste de Brouvelieures. A l'extérieur, à la même latitude que ce poste, il y a deux postes dont les données sont disponibles : le poste de Ste. Marguerite - St. Dié et celui de Golbey

A la latitude du bassin moyen de la Mortagne, on a choisi les postes de Badonviller et Mirecourt. Le premier est à l'est du bassin et l'autre est à l'ouest. Ils sont assez loin du bassin, donc nous devons élargir le domaine d'étude. Puisque notre objectif est de voir la variation globale des précipitations au cours du temps sur une longue période, le problème de distance est ignoré.

Pour le nord du bassin, nous avons retenu les postes de Nancy et St. Nicolas de Port. Ils se localisent dans l'axe du bassin, au nord-ouest.

Nous ne traiterons que la période de 1950 à 1987 (38 années) pour toutes les données de ce groupe. Malgré les efforts de ne pas modifier les données originales, nous étions obligés de combler les données manquantes de certains postes (voir plus loin).

2. Données de série courte

Ce groupe de données a été retenu pour avoir le maximum de renseignements sur les caractéristiques du bassin, donc les postes correspondants se situent à l'intérieur ou à proximité du bassin. Malgré la brièveté de la série, nous avons analysé ces données aussi pour voir comment ces postes se comportaient au cours du temps par rapport à la série longue.

Les postes de Roville-aux-Chênes au centre du bassin, Rambervillers, plus au sud, et Brouvelieures, à l'extrême sud du bassin sont choisis. A l'est du bassin, il y a le poste de Baccarat et celui de la Salle, et en retenant les postes de St. Boingt et de Padoux, à l'ouest, la totalité du bassin est ainsi couverte de façon à peu près homogène.

La période de cette série est limitée de 1970 à 1987.

B - Critique des données

Pour s'assurer de l'homogénéité des données pluviométriques, nous les avons soumises à trois types de traitement : double cumul, corrélation poste à poste et simple cumul.

1. Le double cumul

La méthode du double cumul est souvent utilisée pour voir le changement de situation, de récupération des données : changement de localisation de l'appareil, des états aux alentours, de l'observateur, ...

Cette méthode s'appuie sur la comparaison des données d'un poste à l'autre.

Nous l'avons appliquée systématiquement à tous les postes entre eux, ce qui représente 21 graphes pour la série longue et 10 graphes pour la série courte (ANNEXE X).

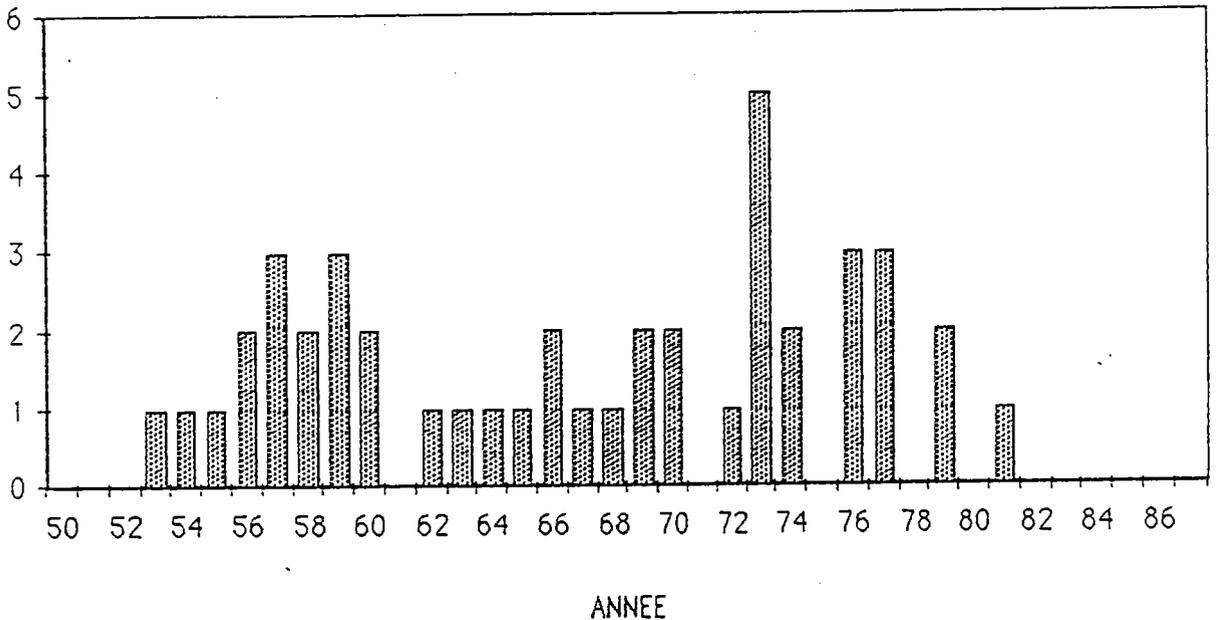
Le problème de la détermination précise des cassures s'est posé chaque fois qu'on a essayé d'aligner une droite sur les points. Parfois les points dessinent plutôt une courbe qu'une droite. Et tant que nous n'avons pas encore une méthode précise de détermination de la cassure, nous ne pouvons pas éliminer la part subjective du choix de l'année de cassure.

Nous pouvons voir dans le graphique suivant combien de fois apparaissent les cassures pour chacune des années (Figure 24).

En considérant que les années de cassure peuvent être décalées d'une ou deux années, comme nous avons expliqué plus haut, on peut donc estimer que les cassures sont marquées autour des années 1958, 1969, 1973 et 1976. Ce sont les années qui correspondent soit au début d'une sous-série sèche ou humide, soit à la fin de cette sous-série, soit à une année exceptionnelle, comme nous allons voir plus loin.

Figure 24 Nombre d'apparition des cassures

APPARITION DES CASSURES



Nous avons repris la méthode des coefficients correctifs utilisée par A. MENTRE-HILDENBRAND (1986) pour évaluer l'homogénéité des séries de données aux postes pluviométriques.

Le coefficient correctif est le rapport des pentes (a/a') des deux demi-droites d'ajustement ($Y=aX+b$) de part et d'autre de la cassure déterminée visuellement. Pour faciliter la comparaison entre les différents coefficients correctifs, celui-ci est calculé de manière à être toujours supérieur à 1 (a'/a si $a' > a$, a/a' si $a > a'$).

On peut remarquer que nous avons traité de façon équivalente les postes en X ou en Y. En effet, nous savons que les pentes des droites de régression que l'on calcule pour une même série de couples de valeurs, lorsqu'on procède à un changement d'axe d' x en Y , ne sont pas rigoureusement l'inverse l'une de l'autre, et cela d'autant plus que le coefficient de corrélation est faible. En fait, dans le cas de cette analyse par double cumul, tous les coefficients sont très proches de 1 et l'erreur possible est négligeable.

Les valeurs moyennes du coefficient correctif pour chacun des postes de la série longue sont résumées ci-dessous :

<u>POSTE</u>	<u>MOYENNE DES COEFFICIENTS CORRECTIFS</u>
BADONVILLER-----	1.072
BROUVELIEURES-----	1.068
GOLBEY-----	1.142
NANCY -----	1.078
ST. NICOLAS-----	1.061
ST. DIE -----	1.064
MIRECOURT -----	1.081
<hr/>	
MOYENNE GLOBALE -----	1.088

Nous pouvons remarquer que la moyenne des coefficients correctifs est environ 1.09 tandis que la moyenne de ceux de la Meuse est proche de 1.14 (A. MENTRE-HILDENBRAND, 1986).

En considérant le coefficient correctif de Golbey, il apparaît que les données de ce poste sont les moins homogènes. Ceci signifie peut être, soit que les données du poste de Golbey doivent être corrigées, soit, que le poste de Golbey est plus vulnérable aux fluctuations du climat.

Les postes des doubles cumuls dans la série longue dont le coefficient correctif est plus grand ou égal à 1.2 sont portés dans le tableau suivant (Tableau N° 16).

Tableau N° 16. Les plus grands coefficients correctifs

Poste de référence	Poste à comparer	L'année de cassure	Coefficient correctif
Golbey	Badonviller	1973	1.200
Golbey	Brouvelieures	1974	1.230
St. Dié	Golbey	1957	1.203

Pour la série courte, la moyenne globale des coefficients correctifs n'est que 1.059. Aucune moyenne des coefficients correctifs des postes ne dépasse pas 1.083. Donc on peut conclure que notre choix d'utiliser les postes n'ayant que 18 années de données (série courte) n'est pas injustifié.

2. Corrélation poste à poste

La méthode du double-cumul peut être comparée avec la corrélation directe poste à poste si l'on admet que le coefficient de corrélation reflète la cohérence des données d'un poste par rapport à celles d'un autre.

Nous avons effectué la corrélation pour tous les postes entre eux : pour la série longue, 42 corrélations et pour la série courte, 122 corrélations. Nous n'avons porté dans l'ANNEXE XI que les graphiques de la série longue. Les données des postes de série courte sont corrélées 11 fois chacune, car nous avons mis les parties correspondantes (années 1970-1987) des données des postes de la série longue. Les moyennes des coefficients de corrélations par poste sont portées ci-dessous :

SERIE LONGUE

<u>POSTE</u>	<u>MOYENNE DES COEFFICIENTS DE CORRELATION</u>
Badonviller -----	0.869
Brouvelieures -----	0.846
Golbey-----	0.796
Nancy -----	0.823
St. Nicolas -----	0.877
St. Dié -----	0.829
Mirecourt -----	0.847
<hr/>	
MOYENNE GLOBALE -----	0.841

SERIE COURTE

<u>POSTE</u>	<u>MOYENNE DES COEFFICIENTS DE CORRELATION</u>
St. Boingt -----	0.893
Baccarat -----	0.918
Roville-aux-Chênes -----	0.944
La Salle -----	0.897
Padoux -----	0.918
Badonviller -----	0.926
Brouvelieures -----	0.931
Golbey -----	0.858
Nancy -----	0.881
St. Nicolas -----	0.898
St. Dié -----	0.908
Mirecourt -----	0.858
<hr/>	
MOYENNE GLOBALE -----	0.903

On peut constater que la moyenne des coefficients de corrélation de série courte est meilleure que celle des coefficients de série longue (voir ci-dessus). Ceci tend à montrer que les données de série longue sont plus variables d'un poste à l'autre. Les coefficients pour les postes de Golbey et Mirecourt montrent une cohérence moins bonne avec les autres données. On ne peut écarter pour ces deux postes l'hypothèse qu'ils appartiennent à un contexte pluviométrique un peu différent de celui de l'ensemble du bassin de la Mortagne.

3. Remplacement des données mensuelles manquantes

Nous avons remplacé les séries qui ne sont pas complètes en utilisant les formules de régression linéaire.

Nous avons calculé les valeurs à remplacer avec les précipitations mensuelles du poste dont le coefficient de corrélation annuelle est le plus près de 1. Par exemple, pour calculer les données mensuelles manquantes du poste de Badonviller (janvier et février 1984), nous avons choisi les précipitations mensuelles concernant le poste de Brouvelieures (coefficient de corrélation annuelle : 0.93 : voir ANNEXE XI) ;

De même, les précipitations de février 1987 du poste de Padoux avec celles du poste de Badonviller et les données mensuelles de 1985 et 1987 du poste de St. Nicolas de Port avec celles du poste de Badonviller sont calculées.

Les deux méthodes nous permettent de saisir une idée de fiabilité ou variabilité des données pluviométriques pour chaque poste et pour chaque série. Les données de série courte apparaissent comme généralement bonnes. Par ailleurs, les postes qui présentent le plus d'hétérogénéité (Mirecourt, Golbey) avec les autres, sont situés à trop grande distance du Bassin de la Mortagne et dans un contexte physique trop différent de celui du bassin, pour qu'il soit judicieux de vouloir corriger leurs données.

C - Analyse des variations pluviométriques annuelles

La variation interannuelle des précipitations montre une distribution des valeurs qu'on considère généralement comme aléatoire. Cependant, si l'on établit l'histogramme des fréquences, pour la période 1950-1987, aux stations de St. Nicolas de Port et Brouvelieures, il apparaît (voir Fig. 25) :

- deux classes modales à St. Nicolas de Port (valeurs 625-705 et 865-945 mm)
- Une distribution apparemment normale (gaussienne) à Brouvelieures

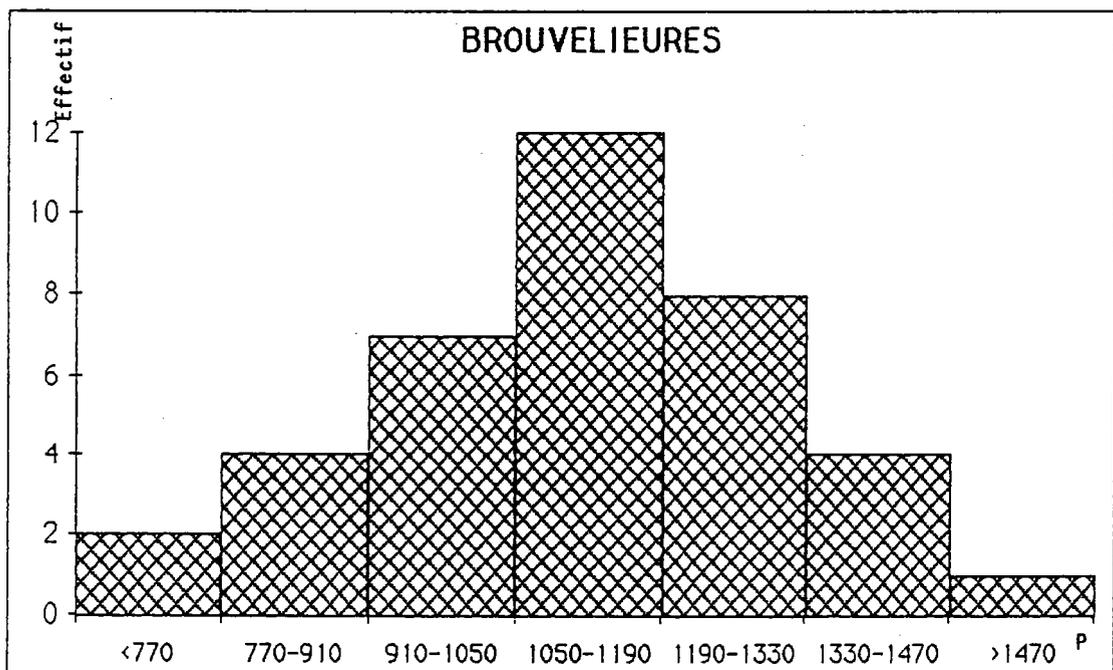
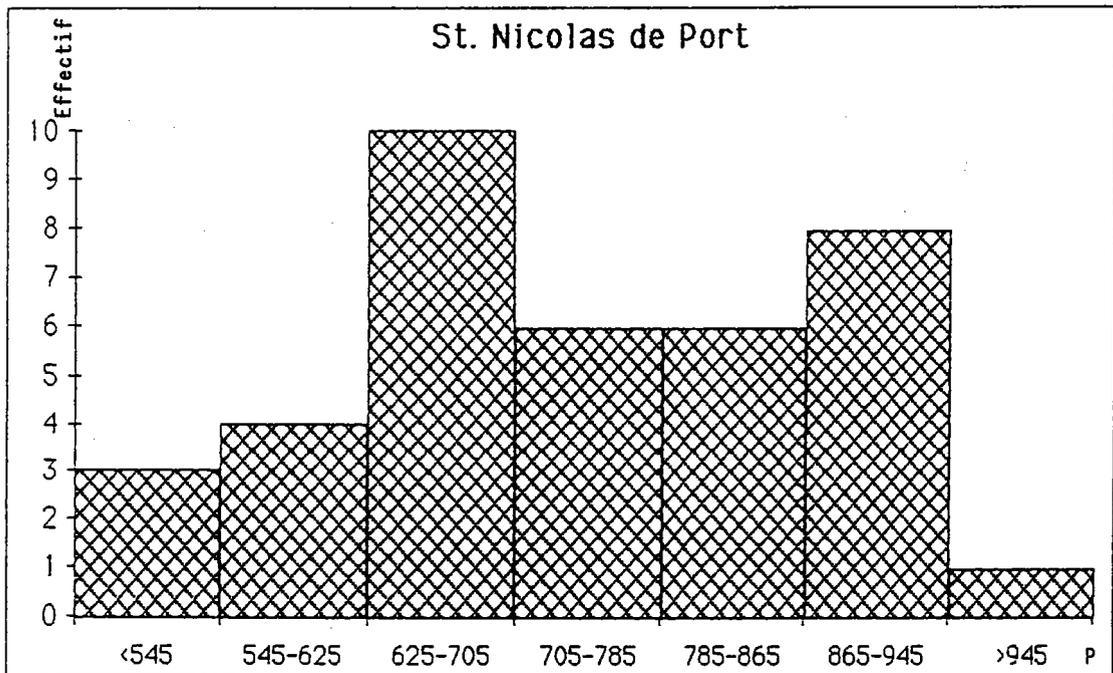
La moyenne de St. Nicolas de Port n'appartient pas à la classe modale et dès lors, il paraît légitime de douter soit de la valeur gaussienne de la distribution, soit de l'homogénéité des séries.

Aussi, l'homogénéité n'ayant pas été remise en cause par les traitements précédents, nous avons tenté d'approcher l'analyse statistique de chacune des séries des données pluviométriques de façon différente, afin de mettre en évidence, le cas échéant, une organisation des fluctuations pluviométriques, qui viendrait détruire le caractère gaussien de la distribution.

1. Méthode visuelle

Ce découpage de la série est nécessaire car nous voulons voir chronologiquement l'évolution générale du climat du bassin. Nous avons construit les histogrammes pour tous les postes et pour toutes les séries (ANNEXE XII). On s'aperçoit que les courbes évoluent de manière comparable. Nous avons établi une liste des séquences qui semblent apparaître :

Figure.25. Histogrammes des fréquences des totaux pluviométriques annuels (1950-1987)



1950-1952 au moins deux années où les précipitations sont au dessus des moyennes pour tous les postes. Bien qu'une année soit plus sèche que la moyenne (soit 1950, soit 1951 selon les postes), nous pouvons définir en gros une série d'années humides.

1953-1957 les données des postes de Nancy, de Golbey, St. Nicolas, Mirecourt (exceptée 1955) et Brouvelieures (exceptée 1956) montrent une série sèche, par contre pour les autres postes (Badonviller et St. Dié) ce n'est pas définitif. Les deux derniers postes sont situés le plus à l'est.

1958-1960 pour l'année 1959, les points sont au dessous de la moyenne mais les points pour les deux autres années sont au dessous de la moyenne pour tous les postes.

1961-1964 les points sont généralement au dessous des moyennes (pour l'année de début 1961, la pluie était parfois au même niveau ou au dessus de la moyenne selon les postes).

1965-1970 les données pluviométriques montrent généralement une série humide sauf l'année 1969 selon quelques postes (1968 pour le poste de Badonviller).

1971-1976 excepté pour l'année 1974 où le point est généralement au dessus de la moyenne, les points sont au dessous de la moyenne pour tous les postes.

1977-1983 excepté pour l'année 1978 ou parfois pour 1980 selon les postes, les autres points sont au dessus des moyennes.

1984-1985 les précipitations annuelles de ces années montrent un point transitoire pour arriver à l'année 1985 typiquement sèche pour tous les postes.

1986-1987 l'année 1986 est une année humide pour tous les postes mais l'année 1987 est une année moyenne ou parfois humide.

En élargissant le champ visuel et en dégagant quelques petites périodes même si elles ne sont pas homogènes, on pourrait résumer cette liste dans le tableau suivant.:

Tableau N° 17. Découpage de la série d'années

Période	Caractéristique	Les années exceptionnelles
1950-1952	humide	-
1953-1964	sèche	1958
1965-1970	humide	1969
1971-1976	sèche	1974
1977-1987	humide	1985

2. Simple cumul

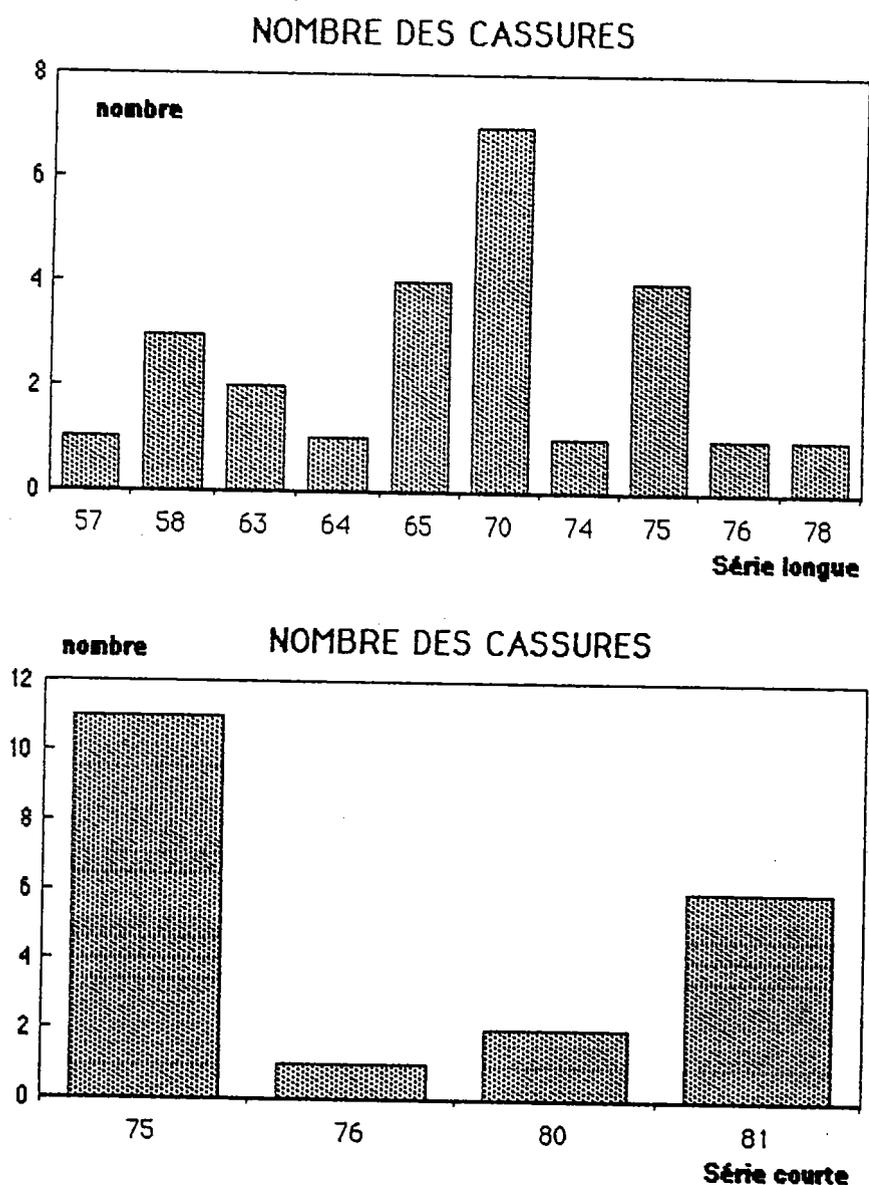
Pour percevoir l'évolution du climat, on peut utiliser aussi la méthode du simple cumul. Comme nous pouvons voir dans l'ANNEXE XIII les points sont bien alignés sur la droite. En cassant cette droite, on pourrait dessiner deux ou plusieurs droites pour qu'elles soient plus proches des points, comme la façon qu'on a utilisé pour le double cumul. Alors chaque droite nous montrerait une évolution climatique. Le même problème de détermination des cassures s'est posé comme dans le cas du double cumul.

Nous avons porté les nombres des cassures sur les années dans les graphiques suivants (Figure 26).

Comme nous pouvons le constater sur ces graphiques, pour la série longue, il y a une concentration des cassures autour des années 1958, 1964, 1970 et 1975 et pour la série courte, les cassures sont concentrées sur les années 1975 et 1981. A partir 1979, aucune cassure n'apparaît sur les graphiques de série longue. C'est, peut-être, parce que l'échelle des graphiques de série longue est presque deux fois plus petite que celle des graphiques de série courte.

En considérant que les années de cassure peuvent être plus ou moins décalées selon la méthode utilisée, en raison de la part subjective inhérente, les résultats ne sont pas très différents. Mais il faudrait prendre en compte que les cassures peuvent être marquées sur des années exceptionnelles (cas de l'année 1958).

Figure 26. Nombre des cassures sur les années



Cette méthode a été utilisée aussi pour détecter les années non homogènes pour les hauteurs des débits (F. ZUMSTEIN *et al.* 1985). Pour utiliser cette méthode pour les données pluviométriques, il faudrait plus d'expérience pour déterminer le seuil de détermination par exemple. Nous nous contenterons seulement d'essayer cette méthode sur nos données pour le seuil d'acceptation 90 %, 95% et 99%. Comme nous pouvons voir dans l'ANNEXE XIV pour le seuil de 99 %, les années non homogènes sont détectées aux environs de l'année 1976.

Les paramètres statistiques obtenus en considérant séparément séquences sèches d'une part (1953-1964 et 1971-1976) et séquences humides d'autre part (1950-1952, 1965-1970 et 1977-1987), sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau N°17b: Les paramètres statistiques

séquences	nombre d'années	moyenne	écart-type	coefficient de variabilité
humides	20	820.0	99.7	0.12
sèches	18	656.1	106.8	0.16
ensemble (57-87)	35	735.7	131.9	0.18

Un certain nombre de remarques s'imposent :

- les écart-types respectifs des séquences sont nettement inférieurs à celui de l'ensemble, mais ne sont cependant pas identiques et n'ont pas la même signification : en effet, les séquences sèches montrent une plus grande variabilité.
- les observations les plus extrêmes sont situées à 2.08σ pour les séquences humides et à 2.46σ pour les séquence sèche.
- l'écart entre les moyennes des deux séries de séquences est de 164 mm ce qui les situe à 0.62σ de la moyenne de l'ensemble.

CONCLUSION

Cette analyse statistique simple tend donc à montrer que la pluviométrie annuelle ne répond pas de manière franche à une loi normale. Si l'on considère la statistique d'une longue série, les valeurs des paramètres donnent l'impression que la pluviométrie est aléatoire. En fait pour les périodes 1953-1987, ils masquent une réalité climatique non négligeable : l'organisation en séquences sèches et humides.

On notera que durant une séquence sèche, les années pluvieuses, qui apparaissent exceptionnelles, sauf l'année 1958 (919 mm), sont nettement moins pluvieuses que les années pluvieuses exceptionnelles des séquences humides (1960, séquence sèche : 845 mm - 1985, séquence humide : 945 mm). La même remarque peut se faire pour les séquences humides (1985, séquence humide : 612 mm - 1964, séquence sèche : 500 mm).

Les données dont nous disposons pour St. Nicolas de Port (1941-1987), semblent montrer pour la période 1941-1952, la même organisation : 1942-1949, séquence sèche, 1950-1952, séquence humide.

Il nous est cependant pas possible de tirer des conclusions définitives de cette trop courte analyse qui n'a traité qu'une station, ni de les généraliser. Il n'en demeure pas moins que la probabilité de connaître une année pluvieuse exceptionnelle est sensiblement plus forte après une année pluvieuse qu'après une année sèche; et réciproquement pour une année sèche exceptionnelle.

CHAPITRE V - SPATIALISATION DES PRECIPITATIONS DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES

Pour calculer les précipitations d'un bassin, on utilise couramment soit la méthode de Thiessen, soit celle dite des isohyètes. La première ne tient compte que de la distribution spatiale en plan des postes, et ne fait intervenir aucune donnée du milieu physique. En revanche la deuxième méthode se prête naturellement à plus d'interprétations, puisque le tracé des courbes ne peut pas se restreindre à une méthode unique.

A - Méthode de Thiessen

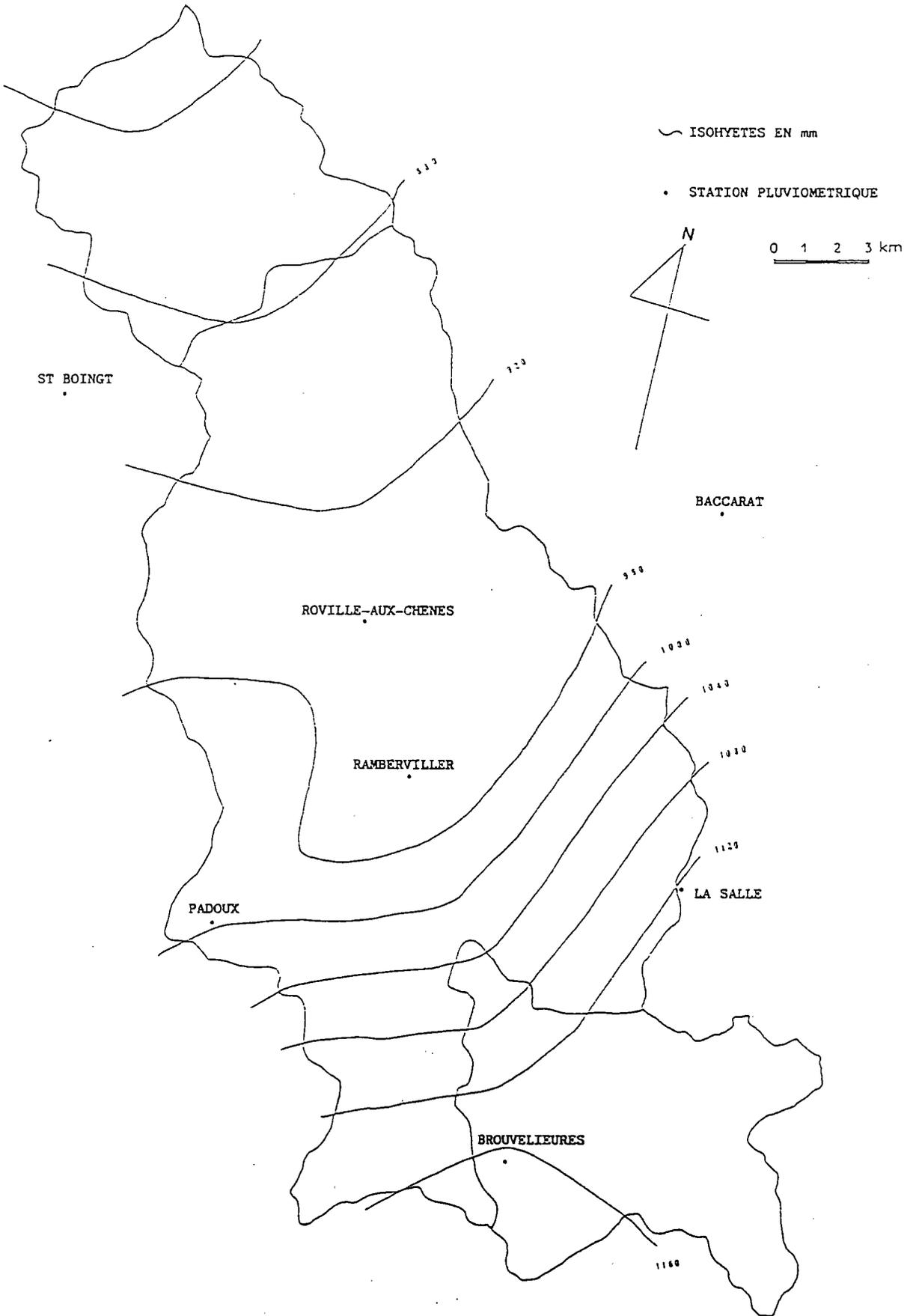
1. stricte (médiatrice)

Nous avons essayé la méthode de Thiessen pour calculer la précipitation moyenne du bassin de la manière suivante (voir également la carte Fig. 27) :

* Les stations disponibles étant reportées sur une carte, on trace une série de droites reliant les stations adjacentes. Au milieu de chacune de ces droites on élève une perpendiculaire; les intersections de ces médiatrices déterminent un certain nombre de polygones, pour chacun desquels la hauteur de précipitation moyenne est prise égale à celle relevée à la station comprise à l'intérieur du polygone qui l'entoure ; s'il y a lieu, certains côtés du polygone sont remplacés par les limites du bassin étudié.

En général, on calcule la surface du polygone élémentaire, ainsi affecté à chaque station, en «pour cent» de la surface totale du bassin ; c'est ce pourcentage qui sert de coefficient de pondération propre à chaque station. * (G. REMENIERAS, 1986)





ST DIE

La pluie moyenne interannuelle du bassin (P_m) est donc :

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^8 P_i \cdot S_i}{\text{Surface totale}}$$

où P_i : précipitation mensuelle
interannuelle du poste i .

S_i : Surface du polygone
du poste i .

Les surfaces élémentaires, ainsi calculées pour le bassin de la station de Gerbéviller sont portées dans le tableau N° 18:

Tableau N° 18. Les surfaces entourées par les médiatrices de Thiessen

Poste	Précipitation moyenne (mm)	Thiessen strict	Thiessen aménagé
St. Boingt	912	31.9	31.9
Roville-aux-Chênes	943	139.6	139.6
Rambervillers	917	83.0	97.1
Baccarat	972	6.9	6.9
Padoux	995	42.2	53.0
La Salle	1128	69.3	61.1
Brouvelieures	1163	109.6	92.9
St. Dié	1119	7.5	7.5
pluie moyenne du bassin		1034	1008

surface total du bassin : 487 km²

2. Thiessen aménagé en tenant compte de la topographie

Seuls les postes de Brouvelieures et de la Salle (éventuellement celui du St. Dié) sont représentatifs de la partie amont du bassin qui correspond aux affleurements des grès du Trias inférieur, où l'on note des altitudes nettement plus élevées que sur l'ensemble du bassin (voir première partie). La topographie, dans cette partie du bassin, prend l'aspect d'un massif montagneux.

Il paraît donc justifié de chercher à ajuster les limites des polygones de Thiessen aux limites de cette partie montagneuse dont l'effet sur l'accroissement de la pluviométrie a été montré plus haut (effet orographique, cf. présentation du climat). Aussi nous avons repris les limites des polygones des stations du Massif gréseux (Brouvelieures et la Salle), pour les ajuster sur la courbe de niveau 400 m qui constitue une altitude repère entre la partie aval du bassin-versant, plus plane, et le secteur montagneux de l'affleurement des grès du Trias inférieur, à l'amont. (cf annexe XV)

B - Ischyètes

Comme pour la méthode de Thiessen, nous avons le choix entre la méthode stricte (divisions proportionnelles de l'espace entre deux postes en fonction de leur différence de pluviométrie),

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^8 P_c * S_i}{\text{Surface totale}}$$

où P_c = moyenne des précipitations des ischyètes $i-1$ et i

S_i = surface entre les ischyètes $i-1$ et i

et un aménagement qui tienne compte de la topographie et de l'effet orographique d'accroissement des précipitations. Puisque cet effet orographique a bien été mis en évidence dans l'introduction, il aurait pu paraître logique d'adapter également le tracé des courbes aux limites du massif et éventuellement de les resserrer sur cette altitude repère de 400 m.

Tableau N° 19 : Les surfaces entre deux courbes isohyètes

isohyète	valeur centrale p(mm)	surface (km ²)
840-880	860	2.9
880-920	900	64.3
920-960	940	139.3
960-1000	980	62.2
1000-1040	1020	37.1
1040-1080	1060	36.0
1080-1120	1100	37.6
1120-1160	1140	90.5
1160-1200	1180	18.5
précipitation moyenne du bassin : 1008		

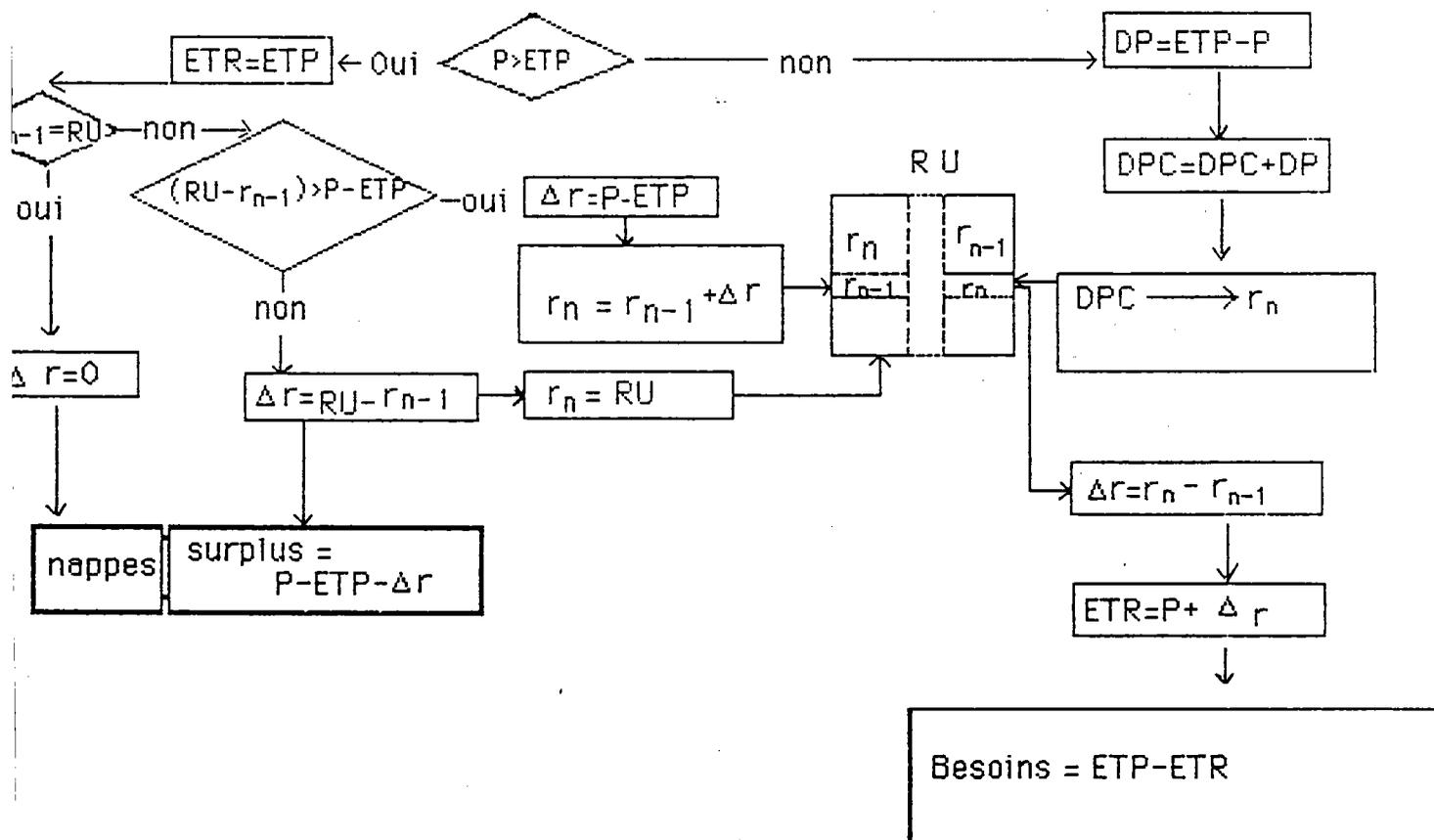
Cependant, la hauteur de pluie moyenne calculée à partir des isohyètes établis de façon systématique par intervalle de 40 mm, est la même que celle calculée par Thiessen aménagé. Aussi, en l'absence d'arguments incitant à redessiner les isohyètes, nous nous en tenons à cette représentation qui présente le double intérêt d'être cohérente avec la méthode de Thiessen et de s'appuyer sur une méthode simple et systématique.

CHAPITRE VI - ESSAI DE BILAN HYDRIQUE

La quantité totale d'eau précipitée sur le bassin pendant une certaine durée d'années, connaît tous les aspects du cycle de l'eau. Parmi ces aspects, nous relevons d'abord le phénomène principal qui est l'évapotranspiration. Nous pouvons tenter de représenter le comportement hydrique moyen mensuel du bassin en comparant les quantités précipitées à la demande en eau du système biosphère-atmosphère.

A - La méthode du bilan

La méthode utilisée est celle de Thornthwaite et peut être résumé dans l'algorithme ci-dessous.



Le calcul de l'état de la réserve (r_n) se fait à l'aide d'une formule (voir ANNEXE XV) proposée par Thornthwaite à partir du déficit pluviométrique cumulé. Ce calcul organise une vidange logarithmique du réservoir du sol qui se justifie par l'observation : les plantes prélèvent d'abord sans difficulté dans le sol lorsque celui-ci est ressuyé (notion de Réserve Facilement Utilisable, en général, RFU = 50 mm). Au-delà de cette RFU, la tension exercée par les plantes augmente de façon exponentielle par rapport à la diminution des réserves du sol. Le déficit pluviométrique cumulé est donc utilisé pour exprimer l'accroissement de cette tension.

L'eau précipitée au sol qui n'a pas participé au bilan hydrique (lorsque la pluie est supérieure à ETP et que la réserve du sol est reconstituée) constitue la part "efficace" des précipitations qui va alimenter le débit des cours d'eau, directement ou par l'intermédiaire des nappes souterraines : c'est le "surplus". Il sera donc intéressant de confronter les résultats de ce bilan hydrique avec les données d'observation pour nous assurer de la cohérence de notre approche du fonctionnement du bassin-versant.

B - Résultats

L'ensemble des calculs et des résultats figurent dans le tableau ci-dessous.

Tableau 20 : Bilan hydrique

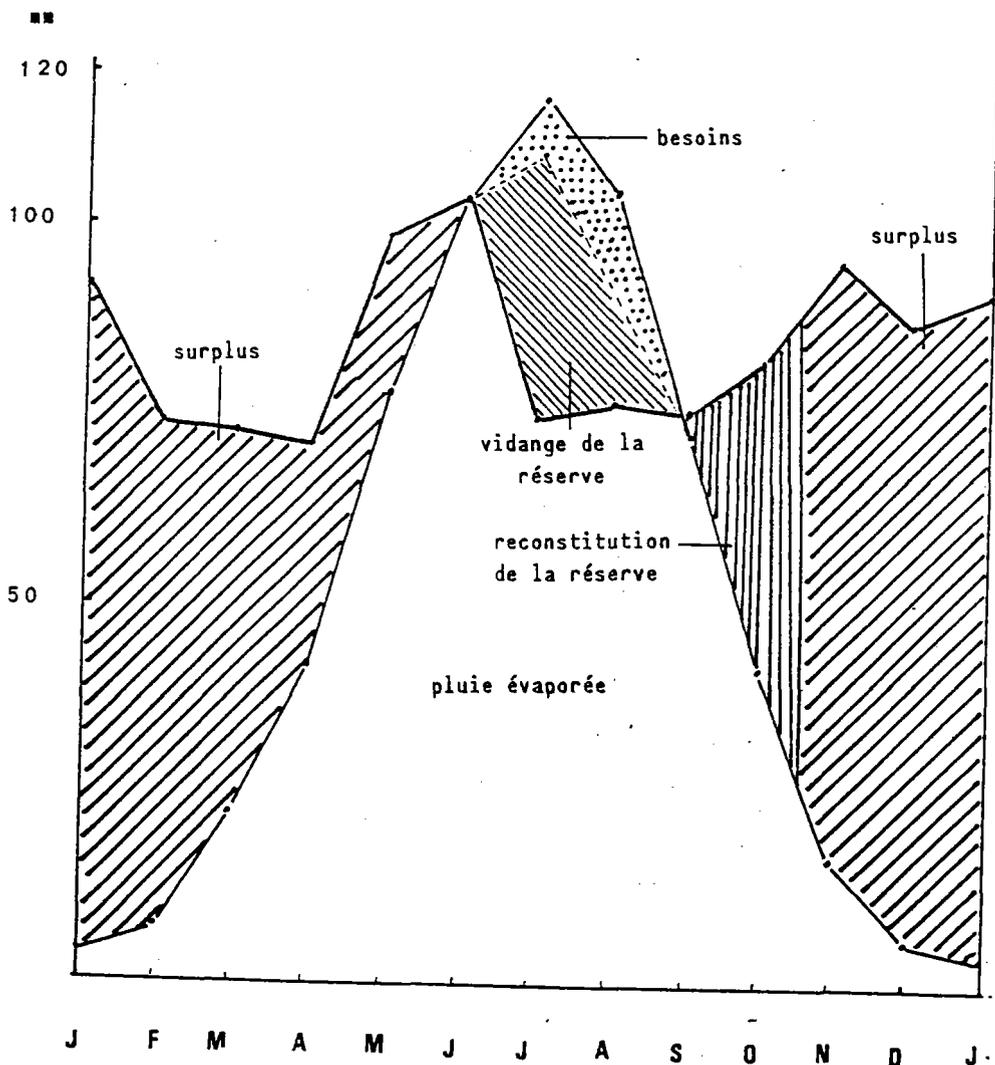
1970-1987

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOY	DEC	ANNEE
P	92	74	73	71	99	104	75	77	76	83	96	88	1008
E.T.P.	4	7	22	42	78	104	117	105	73	42	17	6	617
D.P	-88	-67	-51	-29	-21	0	42	28	-3	-41	-79	-82	
D.P.C.							42	70					
dr							-35	-16	3	41	7		
r	100	100	100	100	100	100	65	49	52	93	100	100	
E.T.R.	4	7	22	42	78	104	110	93	73	42	17	6	598
besoin							7	12					19
surplus	88	67	51	29	21	0	0	0	0	0	72	82	410
Qmes	50	55	41	37	37	27	18	14	14	22	29	46	390

Réserve du sol : La réserve fluctue peu en année moyenne et elle n'est mise à contribution que durant les mois de juillet-août. En fait, en année moyenne les prélèvements ne touchent que la réserve facilement utilisable.

Evapotranspiration réelle : L'ETR est quasiment égale à la demande maximum possible du système sol-atmosphère, correspondant aux conditions thermiques du bassin-versant. Les besoins non-satisfaits, en lame d'eau, ne s'élèvent, selon cette estimation, qu'à une vingtaine de millimètres.

Fig. 29 : Bilan mensuel (1970-1987)



C - Critique

Ce bilan hydrique présente à la fois des faiblesses et un intérêt certain ; mais justement parce qu'on les connaît et qu'on peut les analyser, les faiblesses de cet algorithme, conjuguées ainsi à l'avantage d'une représentation des processus hydriques, permettent de faire progresser la connaissance d'un bassin-versant.

1. L'hétérogénéité du milieu physique du bassin-versant

Pour bien faire, il aurait fallu établir plusieurs bilans hydriques correspondant aux différentes parties du bassin : Les distinctions qu'il faudrait introduire concernent au moins :

- la pluviométrie, qui montre deux grandes aires à peu près homogènes : le bassin amont (Autrey) et le reste du bassin.
- les sols, qui comptent au moins trois grands types :
 - les calcaires : peu de réserve utile et infiltrants.
 - les grès : grande réserve, infiltrants
 - les terrains argileux ou marneux, imperméables. (voir première partie)

2 L'écoulement de crue

La représentation du ruissellement en cas d'averses fortes n'est pas intégrée à ce schéma ; en fait, une certaine quantité d'eau échappe en réalité au sol et donc au bilan hydrique. Cependant, l'hiver, compte tenu de la faible ETP, il n'y a pas d'incidence sur le bilan.

L'été, cette approximation n'a pas de réelles conséquences, dans la mesure où les coefficients d'écoulement de crue expérimentaux sont généralement très faibles (< 5 %), et parce que des épisodes pluvieux générateurs de crues ne s'observent pas tous les ans.

Par contre, durant les saisons intermédiaires et notamment l'automne, l'écoulement de crue est un phénomène qu'on ne peut pas négliger dans un essai de bilan hydrique. On le voit en octobre, où l'excédent pluviométrique (41 mm) est entièrement consacré à la reconstitution de la réserve utile, tandis que l'écoulement mesuré montre un accroissement par rapport au mois de septembre de 7 mm (+50 %).

3. La comparaison entre écoulement mesuré et surplus du bilan hydrique

Ce type de bilan simple offre cependant l'avantage d'une cohérence d'ensemble. Les données d'observations ou de calcul (pluie moyenne, écoulements mesurés, température, ETP) n'en ont pas parce qu'elles proviennent de sources indépendantes. Aussi, ce bilan hydrique est le moyen de critiquer les données d'un bassin.

Le surplus, on l'a vu plus haut, correspond à la quantité d'eau qui doit passer à la station hydrométrique. Les chiffres du surplus annuel (410 mm) et l'écoulement mesuré (392 mm) sont finalement voisins (+4 %) ce qui nous permet un certain nombre d'estimations et de confirmations.

- Le calcul de la pluie moyenne sur le bassin commande bien un aménagement du découpage de Thiessen dans le sens où nous l'avons fait et peut être faudrait-il encore réduire les zones des pluviomètres de montagne. La carte des isohyètes doit sans doute alors montrer un resserrement plus fort des courbes dans le secteur de contact entre massif gréseux et "plaine" autour de l'isohypse 400 m, ce qui diminuerait également un peu la pluie moyenne calculée (1008 mm).
- L'ETR-déficit d'écoulement : En année moyenne, l'ETR correspond au déficit d'écoulement et le calcul du bilan contribue à en fixer l'ordre de grandeur : 580-600 mm.

Tableau N° 21 : comparaison des données calculées

Pluie moyenne	Débit mesuré	Déficit d'écoulement	ETR bilan hydrique	ETP Thornthwaite	ETR Turc
1008	392	615	598	617	489

Formule de calcul de l'ETR Turc :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{p^2}{L^2}}}$$

où P : précipitations annuelles en mm
 $L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$
 T : la température moyenne annuelle

Même si le chiffre que nous proposons était un peu trop fort, il n'en reste pas moins que la valeur obtenue par la formule de Turc est vraiment trop basse : une telle ETR supposerait une pluie moyenne de 880 mm, total inférieur à celui de la station la moins humide.

CONCLUSION

Ce bilan hydrique n'est bien sûr qu'une approche simplifiée d'une partie des phénomènes hydrologiques d'un bassin-versant. Mais les dernières remarques montrent bien que les informations à en retirer sont nombreuses. On pourrait enfin se demander si l'ETP Thornthwaite elle-même n'est pas sous-estimée au vu de ces résultats. Peut-être faudrait-il ajouter au pouvoir évaporant de l'atmosphère, et de biosphère, qu'on essaie d'intégrer dans les formules, celui de l'activité humaine qui se traduit par une consommation d'eau toujours croissante aboutissant à une évaporation forcée de moins en moins négligeable.

CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE

On retiendra de cette étude du climat du bassin de la Mortagne :

- une station d'enregistrement des températures bien représentatives du bassin-versant.
- des données de pluies qui laissent apparaître deux types d'hétérogénéité.

La première, spatiale, divise le bassin en deux parties : l'amont, qui inclue le bassin d'Autrey, où la pluie moyenne annuelle est supérieure à 1100 mm, et l'aval où la pluie moyenne est comprise entre 900 et 1000 mm.

La seconde est d'ordre chronologique et se manifeste par une répartition des années sèches et des années humides en séquence.

- Enfin le bilan hydrique qui confirme les calculs de pluie moyenne pour le bassin et situe le déficit d'écoulement moyen annuel environ 600 mm.

Ces informations sont loin d'être exhaustives quant aux renseignements qu'on peut obtenir d'une étude climatique, mais elles vont permettre d'aborder les problèmes hydrologiques proprement dits à partir de données dont la fiabilité a été reconnue, et surtout elles nous font progresser dans notre objectif de connaissance du bassin et de son fonctionnement au travers de l'approche de la compréhension et de la quantification des phénomènes naturels.

TROISIEME PARTIE
LE REGIME HYDROLOGIQUE
DE LA MORTAGNE

INTRODUCTION

Le régime hydrologique de la Mortagne sera étudié à différentes échelles de temps : les débits moyens annuels ou modules et les débits moyens mensuels (les débits moyens relatifs à des échelles de temps plus courtes seront abordés dans une quatrième partie concernant les débits extrêmes).

L'étude des modules nous permettra de connaître les variations interannuelles des débits. Ces variations sont liées aux variations climatiques étudiées dans la partie précédente ("le climat du bassin-versant de la Mortagne").

Avec les débits moyens mensuels, il sera possible de caractériser le régime de la Mortagne (au sens strict). Ce type de cours d'eau à régime océanique est surtout caractérisé par la variabilité de ses débits. Nous nous efforcerons donc de trouver des méthodes qui permettent de cerner davantage ses caractéristiques propres.

Le bassin de la Mortagne est relativement bien équipé puisque l'on dispose de deux stations hydrométriques qui enregistrent en continue et depuis relativement longtemps, les débits. Ces deux stations sont d'autre part représentatives de "milieux" différents du bassin-versant de la Mortagne (cf. première partie).

CHAPITRE I - LES ECOULEMENTS DANS LE BASSIN DE LA MORTAGNE

Les débits de la Mortagne sont enregistrés à deux stations limnimétriques :

- Autrey Sainte Hélène, gérée par le S.R.A.E.L., qui draine un bassin versant de 98 km² (cf Première partie).
- Gerbéviller : située en aval, gérée par le Service de la Navigation de Nancy qui contrôle un bassin de 490 km² (cf Première partie)

Afin de comparer, le comportement de ces 2 stations, nous utiliserons les débits enregistrés pendant leur période de fonctionnement commune : 1970-87, et à différentes échelles de temps : à l'échelle annuelle (les modules) puis à l'échelle mensuelle.

A - Les débits annuels

Une critique préalable des modules est nécessaire; elle permettra de tester la fiabilité des débits enregistrés aux stations et de comparer leur comportement avant d'aborder les variations interannuelles .

Les modules ont, tout d'abord, été calculés dans les limites d'une année civile. L'application d'une échelle calendaire, au régime des débits n'est pas satisfaisante car elle ne tient pas compte des saisons hydrologiques. C'est pourquoi des modules particuliers, calculés à partir d'un découpage saisonnier, rendant compte du comportement hydrologique du bassin, ont aussi été utilisés.

1 Critique des données

Deux méthodes permettent de déceler des anomalies dans une série de données chronologiques :

- la méthode des doubles cumuls
- la méthode des simples cumuls

a) Méthode des doubles cumuls

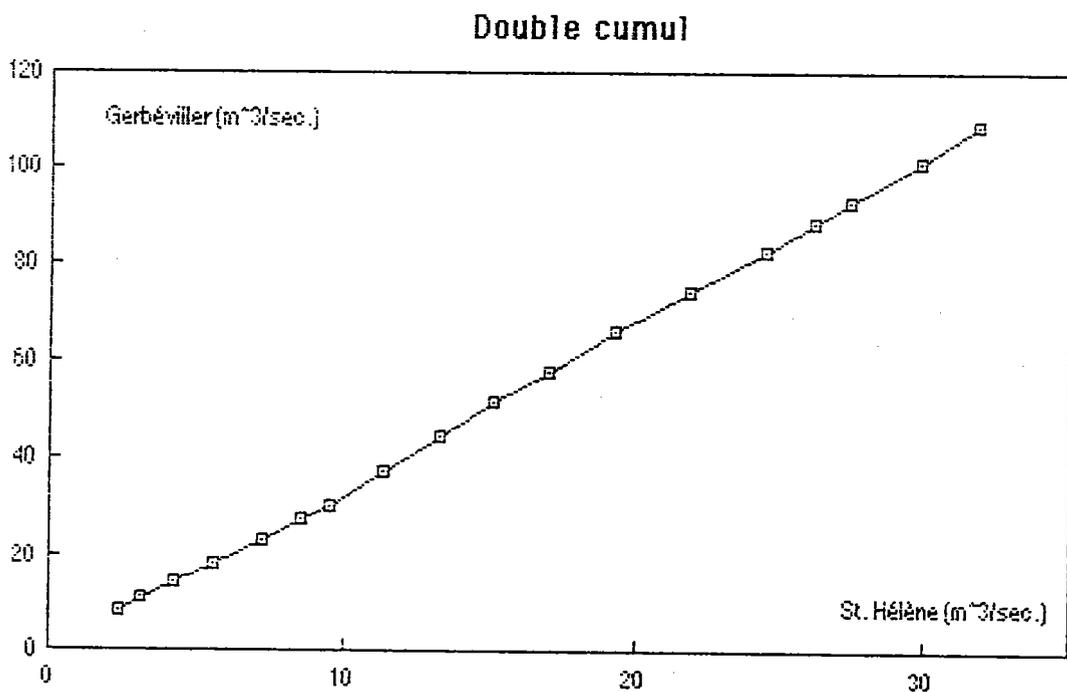
Cette méthode permet de détecter les changements de condition d'enregistrement des débits de l'une ou de l'autre de deux stations.

Elle consiste à reporter sur un graphique les valeurs cumulées d'une

station (en ordonnée : $\sum_{i=1}^n x_i$) en fonction des valeurs cumulées de

l'autre station (en abscisse : $\sum_{i=1}^n y_i$).

Figure N° 30 : Double cumul



Si les deux stations réagissent de la même manière aux variations interannuelles des modules, les points doivent s'aligner de manière parfaite. Par contre si une des deux stations connaît des modifications : déplacement de la station, modification de la section, problème de tarage..., des cassures apparaissent dans l'alignement des points.

Cette méthode permet d'éprouver la fiabilité des débits mesurés.

Sur la figure N° 30 les points s'alignent presque parfaitement et témoignent d'une très bonne concordance entre les modules de la station d'Autrey Sainte Hélène et ceux de Gerbéviller.

On pourrait cependant déterminer plusieurs alignements très certainement liés à des fluctuations climatiques, comme par exemple de 1970 à 1976, où la pente de la droite est très légèrement inférieure à celle de toute la période. Ce segment de droite correspond à une succession d'années sèches de 1971 à 1976. Le comportement des bassins-versants des deux stations diffère au cours de cette série d'années (cf. première partie).

Pour Autrey la sécheresse relative de ces années est beaucoup moins sévère qu'à Gerbéviller ; son bassin-versant est plus élevé et dispose d'aquifères puissants.

En aval Gerbéviller est plus sensible à ces années sèches. Les caractéristiques physiographiques de son bassin en aval d'Autrey Ste. Hélène sont déterminantes. C'est pourquoi l'augmentation des débits cumulés est proportionnellement plus rapide à Autrey Ste. Hélène, qu'à Gerbéviller.

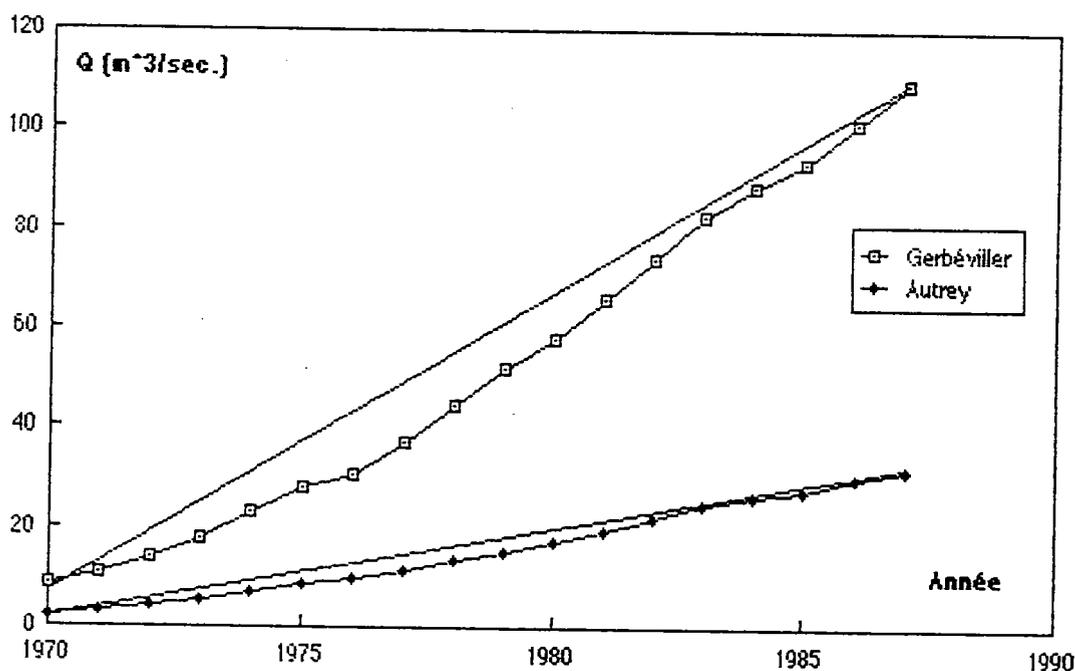
Un segment de droite dont la pente est supérieure à la pente de la droite de toute la chronique, apparaît ensuite de 1977 à 1979. Il correspond à une série d'années humides qui cette fois est plus marquée à Gerbéviller qu'à Autrey Saint Hélène. On peut penser que les grès temporisent les fluctuations climatiques dans le bassin-versant de la station d'Autrey Saint Hélène. En aval ce phénomène s'estompe avec une part croissante de terrains imperméables où les potentialités aquifères sont réduites.

La méthode des simples cumuls permet de mettre en évidence ces fluctuations climatiques.

b) La méthode des simples cumuls

Cette méthode consiste à reporter sur un graphique l'évolution des débits cumulés au cours de la période étudiée.

Figure N° 31 : Simple cumuls



La courbe qui relie les débits cumulés décrit des segments de droite qui comparés à la droite de la moyenne cumulée correspondent à des séries d'années sèches ou à des séries d'années humides. Ainsi si un segment a une pente supérieure à la droite moyenne, les années composant ce segment sont des années plus humides que la moyenne de la période.

Inversement si la pente du segment est inférieure à la droite moyenne, les années correspondantes sont plus sèches que la moyenne de la période.

Sur la figure N° 31 sont représentées les courbes des modules cumulés des deux stations hydrométriques.

Les débits de Gerbéviller sont plus élevés que ceux d'Autrey Saint Héléne, les deux courbes sont donc très espacées et les variations de débit de Gerbéviller sont en valeur absolue plus importantes qu'à Autrey Sainte Héléne.

Malgré ces quelques différences les deux courbes présentent des caractéristiques communes.

Elles sont toutes les deux situées sous leur droite moyenne respective. Au cours de cette période les deux stations ont connu une brusque série d'années sèches relativement courte, suivie d'une période humide plus longue et dont le caractère est moins brusque de sorte que les courbes "rattrapent" juste les droites moyennes (en 1987) en les dépassant rarement (uniquement en 1970).

Les deux stations connaissent simultanément les mêmes séries d'années sèches et d'années humides. Il est alors possible de découper la période 1970-87 en périodes sèches et en périodes humides.

1970 est une année humide (puisque située au dessus de la droite). Les deux courbes marquent un "creux" entre 1971 et 1983. Il s'agit d'une série d'années sèches : de 1971 à 1976, suivie d'une série d'années humides : de 1977 à 1983.

Cette dernière série d'années humides est interrompue en 1984 par un module moyen, et une année sèche 1985.

1986 et 1987 sont très humides.

La période 1970-87 est donc caractérisée par des contrastes interannuels importants qui seront étudiés plus tard. Il en résulte une hétérogénéité relative des modules qui concerne de la même manière les deux stations. En effet, une année où une série d'années a le même caractère sec ou humide à Autrey Sainte Hélène et à Gerbéviller.

L'étude du régime interannuel permettra de préciser l'identité de comportement entre ces deux stations.

2. Régime interannuel des débits

Les modules connaissent une variabilité importante liée aux variations climatiques. (Fig. N° 32)

Une régression linéaire entre les modules des stations d'Autrey Ste. Hélène et de Gerbéviller permettra d'évaluer les similitudes et les différences dans l'évolution des modules des deux stations.

Il sera alors possible d'étudier la variabilité des modules et de faire une étude fréquentielle.

a) Corrélation entre les modules des deux bassins

Le module interannuel de la station d'Autrey Sainte Hélène sur la période 1970-87 est de $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ soit un débit spécifique de 18.1 l/s/km^2 .

Ce débit spécifique est relativement élevé et caractéristique d'un bassin vosgien presque exclusivement gréseux (87 % du bassin-versant est composé de grès). On peut comparer ce bassin-versant à celui de la station de la Trouche, situé sur la Plaine, et qui sur la même période enregistre un module interannuel en débit spécifique de 20.5 l/s/km². Il est constitué à 87 % de Grès mais il a une altitude moyenne supérieure (523 m contre 469 pour Autrey Sainte Hélène), il est donc plus arrosé ce qui explique les 2.3 litre de différence.

A Gerbéviller, le module interannuel est de 6.1 m³/s, d'où un débit spécifique de 12.7 l/s/km². La part des formations imperméables et semi-perméables est plus importante : 25 % du bassin-versant, les grès ne représentent plus que 37 %.

Il n'existe pas de station hydrométrique qui contrôle un bassin-versant comparable en surface et en caractéristiques géologiques dans le bassin de la Moselle. Le débit moyen annuel d'Autrey Sainte Hélène représente 29 % de celui de Gerbéviller, alors que son bassin-versant représente 20 % de celui de Gerbéviller.

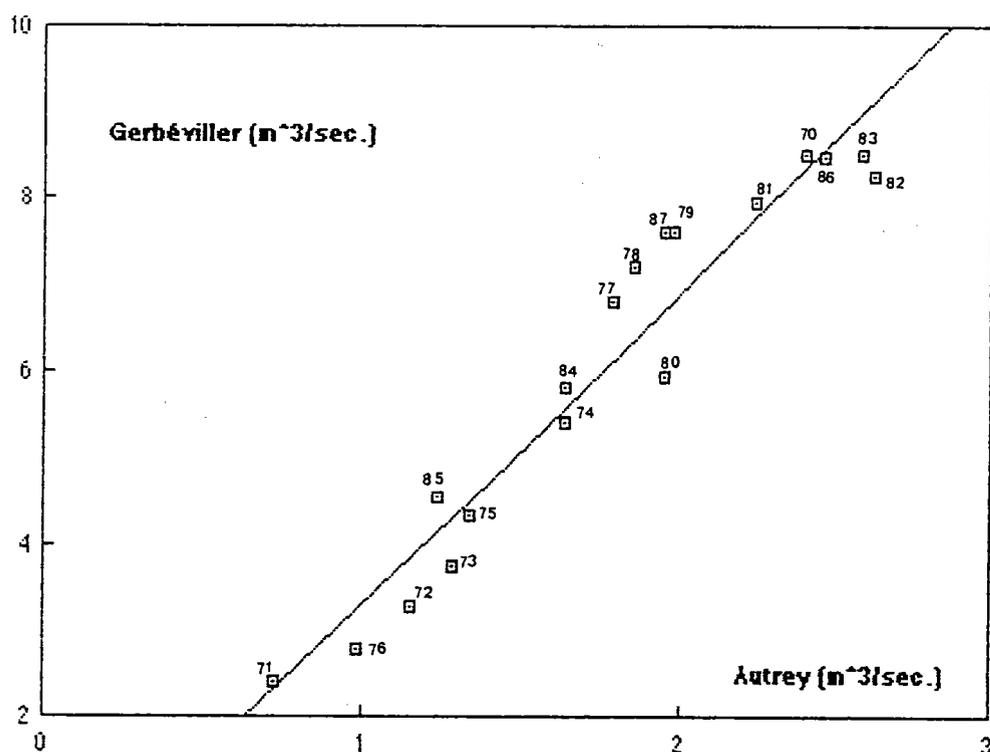
Tableau N° 22 : Données annuelles aux stations (1970-1987)

Station	Surface	Module	Ecart-type	C.V. %	Q _{spec.}	E (mm)
Autrey	98	1.771	0.551	31.1	18.1	570.3
Gerbéviller	490	6.088	2.066	33.9	12.4	392.1

surface : km² Module : m³/s Débit spécifique (Q_{spec.}) : l/s/km²

Il existe aussi quelques différences dans la variabilité des modules entre les deux stations. Ainsi le coefficient de variation (C.V.) d'Autrey Ste. Hélène est de 31 % (26 % pour la Trouche) alors que celui de Gerbéviller est plus élevé : 34 %. Le bassin amont semble donc avoir des écoulements plus réguliers en relation avec la part prépondérante des grès. A l'inverse en aval, à Gerbéviller, le rôle "modérateur" des grès s'estompe avec l'apparition de formations aux possibilités aquifères réduites.

Fig.N° 32 Régression linéaire entre les modules
d'Autrey Ste. Hélène et de Gerbéviller(1970-1987)



La corrélation entre les deux stations est bonne. Le coefficient de corrélation atteint 0.96.

Le module à Gerbéviller peut être estimé à partir de celui d'Autrey Ste. Hélène :

$$\text{Module Gerbéviller} = 3.609 * \text{Module Autrey} - 0.304$$

La répartition des points autour de la droite de régression est aussi significative des différences de comportement des deux bassins-versants. Ainsi nombre d'années sèches sont situées sous la droite (1976, 1972, 1973, 1975), c'est à dire que ces années sont proportionnellement moins sèches à Autrey Ste. Hélène (en abscisse) qu'à Gerbéviller (en ordonnée) (rôle réservoir des grès).

Par contre certaines années humides (1970, 1977, 1978, 1979, 1981, 1987) sont situées au dessus de la droite, elles sont donc proportionnellement plus humides qu'à Autrey Ste. Hélène. Pour les années les plus humides, on constate que 1970 est le module le plus élevé à Gerbéviller alors qu'à Autrey c'est 1982. Le bassin-versant d'Autrey Ste. Hélène plus élevé est aussi plus arrosé et semble plus sensible aux années pluvieuses : 1982, 1983 et 1986.

Les modules de la période de référence de cette étude semblent donc extrêmement contrastés pour les deux stations. Une étude des années sèches et des années humides permettra de définir de manière plus précise le régime interannuel de la Mortagne dans ces deux bassins-versants.

b) Des modules contrastés

Le rapport entre le module le plus élevé, et le module le plus faible est révélateur du contraste des modules. 1971 est l'année la plus sèche aux deux stations, 1970 à Gerbéviller et 1982 à Autrey Ste. Hélène sont les années les plus humides (voir plus haut).

Tableau N° 23 : Rapport des modules extrêmes.

Station	Module le plus faible		Module le plus élevé		Q _S /Q _H (%)
	Q _S (m ³ /s)	Année	Q _H (m ³ /s)	Année	
Autrey	0.725	1971	2.63	1982	27.6
Gerbéviller	2.40	1971	8.63	1970	27.8

Pour les deux stations, le module le plus faible représente 28 % du module le plus élevé (ou à l'inverse le module le plus élevé est 3.6 fois supérieur au module le plus faible).

Figure N° 33 Régime interannuel des débits (m³/s)

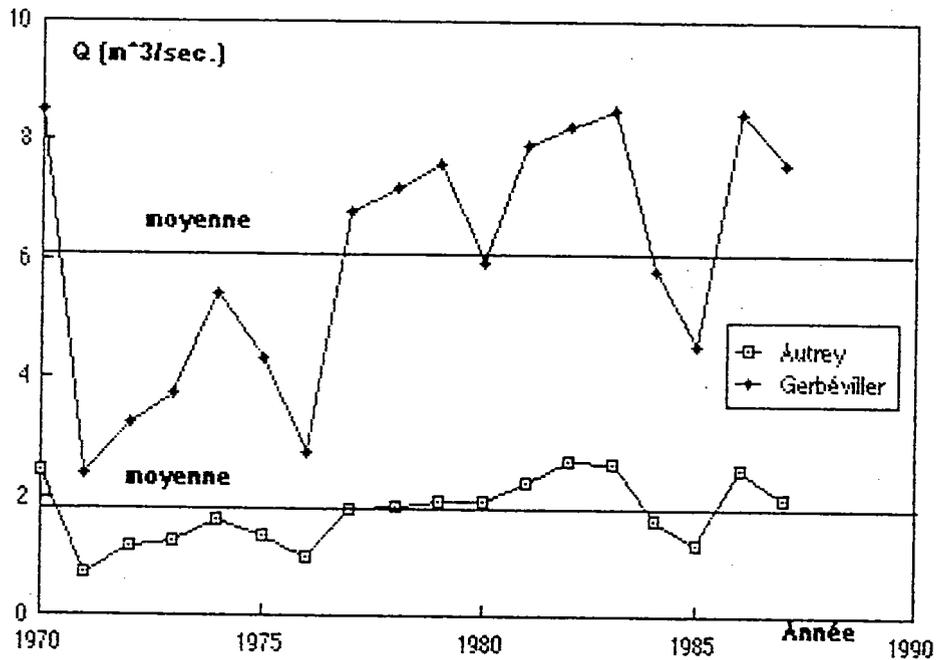
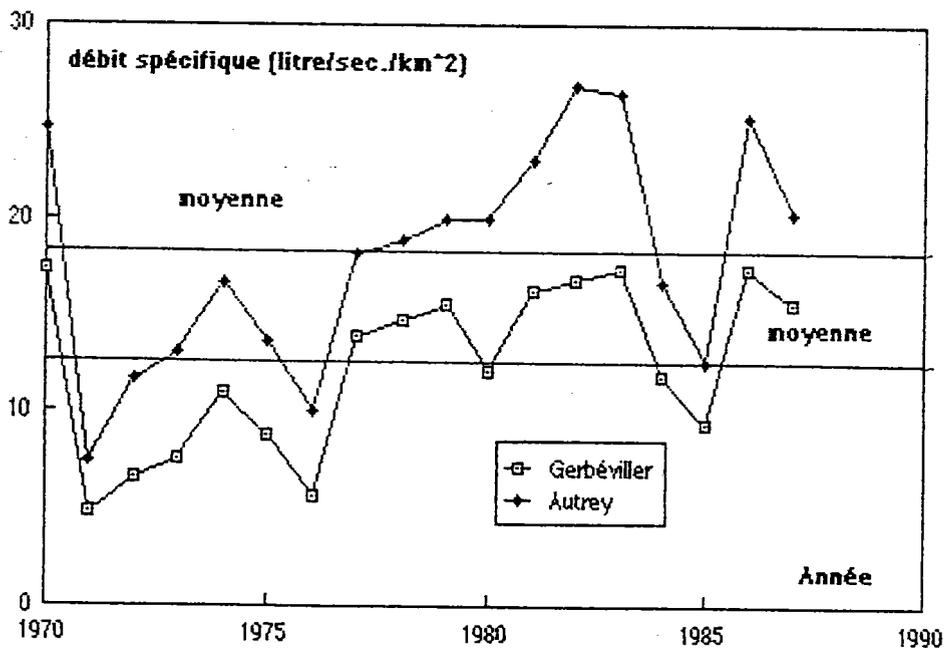


Figure N° 34 Régime interannuel des débits (l/s/km²)



Ces écarts entre les modules extrêmes sont comparables aux deux stations. Les fluctuations climatiques responsables de ces contrastes ont la même ampleur et le même impact pour les deux bassins-versants. On sait cependant qu'en moyenne la station de Gerbéviller enregistre davantage de fluctuations qu'Autrey Ste. Hélène (cf plus haut a), coefficient de variation).

Le graphique du régime interannuel des débits (cf Fig. N° 33) rend bien compte des contrastes annuels et du régime plus modéré de la station d'Autrey Ste. Hélène.

En débit spécifique (cf Fig. N° 34), les différences dans le régime interannuel entre les deux stations apparaissent de manière plus visible. Ainsi 1980 (qui se corrèle mal, cf. plus haut a)) marque un "creux" à Gerbéviller, de même 1982 apparaît comme beaucoup plus humide à Autrey Ste. Hélène. L'écart en débit spécifique entre les deux courbes n'est pas constant, il existe des différences dans l'alimentation de la Mortagne entre les deux stations. Les apports pluviométriques se font, pour certaines années, davantage au profit du bassin amont plus élevé.

En reprenant le découpage en années sèches et en années humides (effectué à partir de la méthode des simples cumuls cf 1.b)), il est possible de traiter statistiquement et séparément les deux séries d'années.

Pour chacune des deux séries de modules on obtient une moyenne et un écart-type, caractéristiques d'un comportement hydrologique spécifique aux années sèches et aux années humides.

Il est alors possible de comparer les moyennes entre elles. A Autrey Ste. Hélène la moyenne de la série d'années sèches représente 57 % de la moyenne des années humides. A Gerbéviller ce même rapport atteint 52 %.

Tableau N° 24 : Série d'années sèches et série d'années humides

Autrey Saint Hélène					
Série humide		Série sèche		1970-1987	
Année	Qm ³ /s	Année	Qm ³ /s	Effectif	
1970	2.38	1971	0.73	Effectif	18
1977	1.80	1972	1.16	Q	1.77
1978	1.86	1973	1.28	tn-1	0.55
1979	1.97	1974	1.64		
1980	1.95	1975	1.33		
1981	2.25	1976	0.98		
1982	2.63	1984	1.63		
1983	2.59	1985	1.23		
1986	2.47	Effectif	8		
1987	1.98	Q	1.25		
Effectif	10	tn-1	0.3		
Q	2.19				
tn-1	0.31				

Gerbéville					
Série humide		Série sèche		1970-1987	
Année	Qm ³ /s	Année	Qm ³ /s	Effectif	
1970	8.63	1971	2.4	Effectif	18
1977	6.91	1972	5.28	Q	1.77
1978	7.26	1973	3.77	tn-1	0.55
1979	7.68	1974	5.39		
1980	5.97	1975	4.34		
1981	7.95	1976	2.79		
1982	8.25	1984	5.8		
1983	8.52	1985	4.55		
1986	8.47	Effectif	8		
1987	7.63	Q	4.04		
Effectif	10	tn-1	1.21		
Q	7.73				
tn-1	0.84				

L'écart entre ces moyennes est donc conséquent et témoigne de l'ampleur des contrastes interannuels des débits.

Le module interannuel de toute la chronique (1970-1987) se situe entre les moyennes sèches et humides. Le nombre d'années humides étant plus important, il tend cependant davantage vers l'humidité. On compte 10 années humides contre 8 années sèches.

Les écarts-types des deux séries d'années sont comparables à Autrey Ste. Hélène. Pour cette station il y a donc une même dispersion des valeurs autour des moyennes de la série sèche et de la série humide. A Gerbéviller les écarts-types ne sont pas aussi rapprochés. C'est surtout la série sèche qui semble assez peu homogène. Ainsi son coefficient de variation est de 30 % alors qu'à Autrey Ste. Hélène ce même coefficient est de 24 %. A l'inverse la série humide de Gerbéviller apparaît comme très homogène avec un coefficient de variation de 11 % (contre 14 % à Autrey Ste. Hélène). Ces différences entre les deux stations étaient déjà perceptibles sur la corrélation entre les modules.

A Gerbéviller les années très humides ont des modules très proches, d'où un coefficient de variation très faible. A Autrey Ste. Hélène ces années humides sont beaucoup plus "étalées". A l'inverse les années sèches ont des modules très proches à Autrey Ste. Hélène alors qu'à Gerbéviller elles sont davantage contrastées.

Tableau N° 25 : Comparaison des moyennes et des écarts-types des séries sèches et des séries humides

Station	Série sèche			Série humide			Q _S /Q _H	σ _S /σ _H
	Q _S	σ _S	C.V.	Q _H	σ _H	C.V.		
Autrey	1.25	0.30	24 %	2.19	0.31	14 %	57 %	97 %
Gerbéviller	4.04	1.21	30 %	7.73	0.84	11 %	52 %	144 %

Q_S : moyenne de la série sèche (m³/s)

Q_H : moyenne de la série humide (m³/s)

σ_S : écart-type

C.V. : coefficient de variation

C'est pour la station d'Autrey Ste. Hélène que le découpage en années sèches et en années humides semble le plus approprié. Son bassin est très homogène (il y a peu de contrastes lithologiques : 87 % de grès, ou d'occupation du sol : 73 % sous couvert forestier) et relativement élevé (469 m d'altitude moyenne), il répercute bien les fluctuations climatiques.

En aval, à Gerbéviller, des contrastes lithologiques et d'occupation du sol apparaissent (roches imperméables et semi-perméables, zones de culture), la combinaison de caractéristiques physiographiques aussi variées font que les influences sont multiples (le bassin a une altitude moyenne plus basse : 331 m). Tous ces facteurs concourent à produire un régime interannuel plus complexe, qui s'adapte mal au découpage "arbitraire" en années sèches et humides.

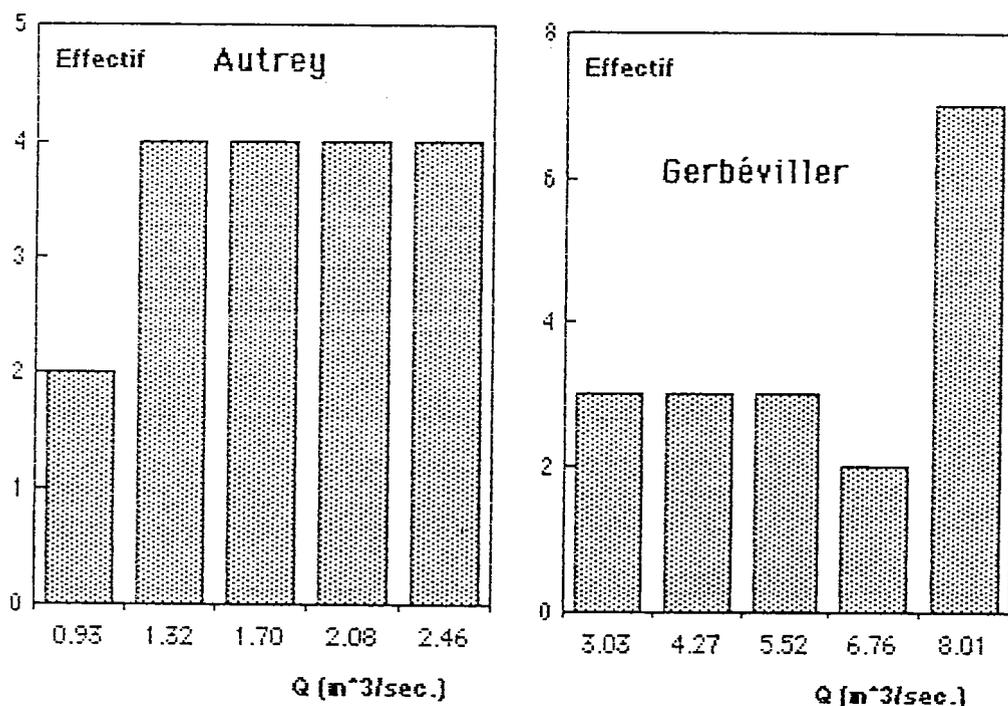
Cependant la totalité du bassin-versant connaît un phénomène de "basculement" visible sur la figure N° 33. C'est à dire que les modules se situent soit nettement au delà ou nettement en dessous du module interannuel (figuré par une droite cf Fig. N° 33). Entre 1971 et 1983 ce basculement s'effectue sur des années consécutives. Avec une série d'années sèches de 1971 à 1976 et une série d'années humides de 1977 à 1983. Sur cette période il n'y a pas d'années alternativement sèches et humides. De telles fluctuations ont déjà été mises en évidence dans l'étude climatologique. Il ne s'agit pas d'un phénomène spécifique à notre période de référence (1970-1987), car les stations pluviométriques plus anciennes enregistrent aussi des variations climatiques avant 1970 (voir deuxième partie). D'autre part ce n'est pas une originalité du bassin de la Mortagne, mais une caractéristique du domaine climatique dans lequel il se situe. Il s'agit d'un climat "charnière" pris entre des influences océaniques et continentales.

Cette variabilité des modules a aussi des conséquences importantes sur le calcul des modules fréquentiels.

c) Les modules fréquentiels

Le calcul de valeurs fréquentielles nécessite une étude préalable de la distribution des échantillons.

Figure N° 35 Distribution des modules



Sur les histogrammes de fréquence des modules aux deux stations (cf. Fig. N° 35), on ne reconnaît pas de distribution en cloche caractéristique d'une distribution normale. C'est pourtant ce type de distribution auquel les modules s'ajustent le mieux (P. Dubreuil 1974).

De plus les distributions des deux stations ne se ressemblent pas. A Autrey Ste. Hélène, la répartition des modules est très étalée. Quatre classes ont un effectif de quatre années, la classe des modules les plus secs ne comprend que deux années. Il n'y a donc pas de centrage de l'échantillon autour de la moyenne, celui-ci est très dispersé.

A Gerbéviller les modules les plus humides sont extrêmement concentrés. La distribution des modules de Gerbéviller est donc biaisée à droite.

Tableau N° 26 : Distribution des modules

Autrey Ste. Hélène			Gerbéviller		
Classe	Effectif	Effectif %	Classe	Effectif	Effectif %
0.74-1.12	2	11.1 %	2.4-3.65	3	16.6 %
1.12-1.51	4	22.2 %	3.65-4.89	3	16.6 %
1.51-1.88	4	22.2 %	4.89-6.14	3	16.6 %
1.88-2.27	4	22.2 %	6.14-7.38	2	11.1 %
2.27-2.65	4	22.2 %	7.38-8.63	7	39.9 %
Coefficient d'assymétrie	-0.10		Coefficient d'assymétrie	-0.41	
Coefficient d'aplatissement	2.54		Coefficient d'aplatissement	2.20	

Ce biais négatif est d'ailleurs commun aux deux stations. La chronique que nous étudions est donc bien marquée par un nombre élevé d'années humides (voir plus haut), et par des contrastes interannuels importants. Ces deux caractéristiques sont révélées cette fois par les coefficients d'assymétrie (qui doit tendre vers 0 pour une distribution normale parfaite) et d'aplatissement (égale à 3 pour une distribution normale).

Le coefficient d'assymétrie rend compte du biais plus important à Gerbéviller qu'à Autrey Ste. Hélène, de même que le coefficient d'aplatissement est révélateur d'une très faible concentration des valeurs autour de la moyenne à Gerbéviller. Pour cette dernière station, on peut estimer que la distribution est bimodale avec une concentration très importante pour les modules très humides (voir plus haut, et Tableau N° 26) et une concentration plus étalée pour les années plus sèches. Il n'y a que deux modules compris entre 6 et 7.3 m³/s.

Malgré ces distributions particulières, les tests d'ajustement utilisés, acceptent la loi normale.

Tableau N° 27 : Tests d'ajustement des modules à une loi normale

Modules de Autrey Ste. Hélène

Calcul de	:	W2	U2	A2
Niveau probabilité	:	0.7940	0.7527	0.7930
Seuil de rejet	:	0.1000	0.1000	0.1000
RESULTAT	:	LOI ACCEPTEE	LOI ACCEPTEE	LOI ACCEPTEE

Modules de Gerbéviller

Calcul de	:	W2	U2	A2
Niveau probabilité	:	0.8399	0.8504	0.8694
Seuil de rejet	:	0.1000	0.1000	0.1000
RESULTAT	:	LOI ACCEPTEE	LOI ACCEPTEE	LOI ACCEPTEE

W2 est appelé statistique de Cramer-Von-mises

U2 est appelé statistique de Watson

A2 est appelé statistique d'Anderson-Darling

On peut donc utiliser la loi normale pour calculer des modules fréquentiels. Sur le tableau N° 28 apparaissent les modules des deux stations classés par ordre croissant. A chacun de ces module correspond une fréquence expérimentale d'équation : $F = \frac{n-0.5}{N}$, où n est le rang du module et N le nombre d'années traitées (l'effectif de l'échantillon). Chacun des modules a été reporté sur un graphique à échelle gausso-arithmétique, avec les fréquences expérimentales en abscisse (échelle gaussienne) et les débits en ordonnée (échelle arithmétique) (cf. Fig. N° 36 et N° 37).

Sur les deux graphiques, on remarque une disposition particulière des points autour de la droite de Henri.

Les modules les plus secs, dont la fréquence expérimentale est inférieure à 0.5, se situent pour la plupart en dessous de la droite de Henri. A l'inverse les modules humides, dont la fréquence expérimentale est supérieure à 0.5, se situent au dessus de la droite de Henri.

Tableau N°28 : Fréquences expérimentales des modules

Modules d'Autrey				Modules de Gerbéviller			
Année	Q(m ³ /s)	Rang	Fréquence	Année	Q(m ³ /s)	Rang	Fréquence
1971	0.725	1	2.8	1971	2.40	1	2.8
1976	0.980	2	8.3	1976	2.79	2	8.3
1972	1.15	3	13.9	1972	3.28	3	13.9
1985	1.23	4	19.4	1973	3.77	4	19.4
1973	1.28	5	25.0	1975	4.34	5	25.0
1975	1.33	6	30.6	1985	4.55	6	30.6
1974	1.63	7	36.1	1974	5.39	7	36.1
1984	1.63	8	41.7	1984	5.80	8	41.7
1977	1.78	9	47.2	1980	5.87	9	47.2
1978	1.85	10	52.8	1977	6.91	10	52.8
1979	1.95	11	58.3	1978	7.26	11	58.3
1980	1.95	12	63.9	1987	7.62	12	63.9
1987	1.98	13	69.4	1979	7.68	13	69.4
1981	2.25	14	75.0	1981	7.95	14	75.0
1970	2.41	15	80.6	1982	8.25	15	80.6
1986	2.47	16	86.1	1986	8.47	16	86.1
1983	2.59	17	91.7	1983	8.57	17	91.7
1982	2.63	18	97.2	1970	8.63	18	97.2

Tous ces points s'organisent en "S" autour de la droite de Henri. Cette organisation est davantage marquée pour Gerbéviller que pour Autrey Ste. Hélène, et est très certainement liée aux variations interannuelles des débits.

Figure n°36: Ajustement des modules d'Autrey
Ste Hélène à une loi normale

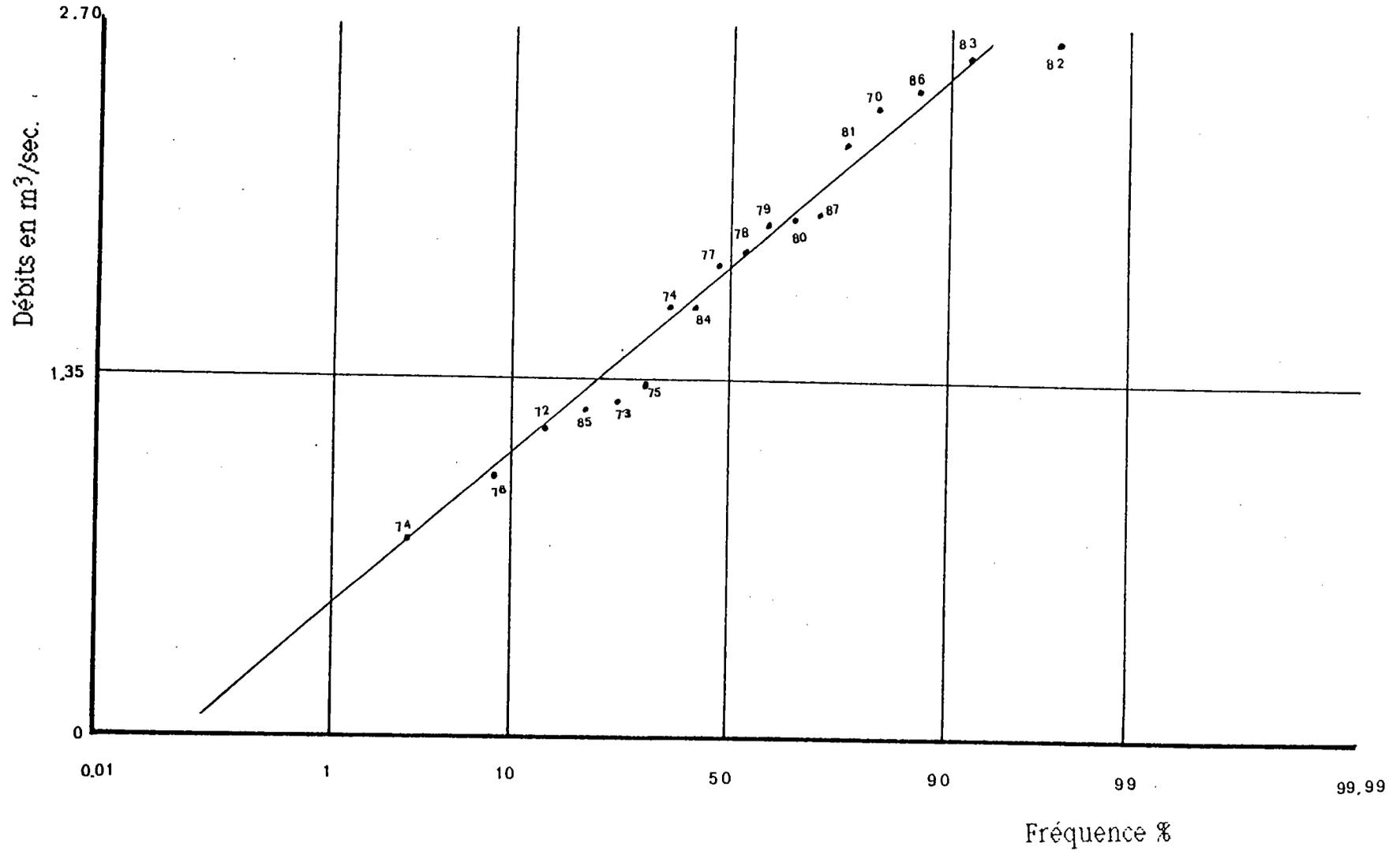
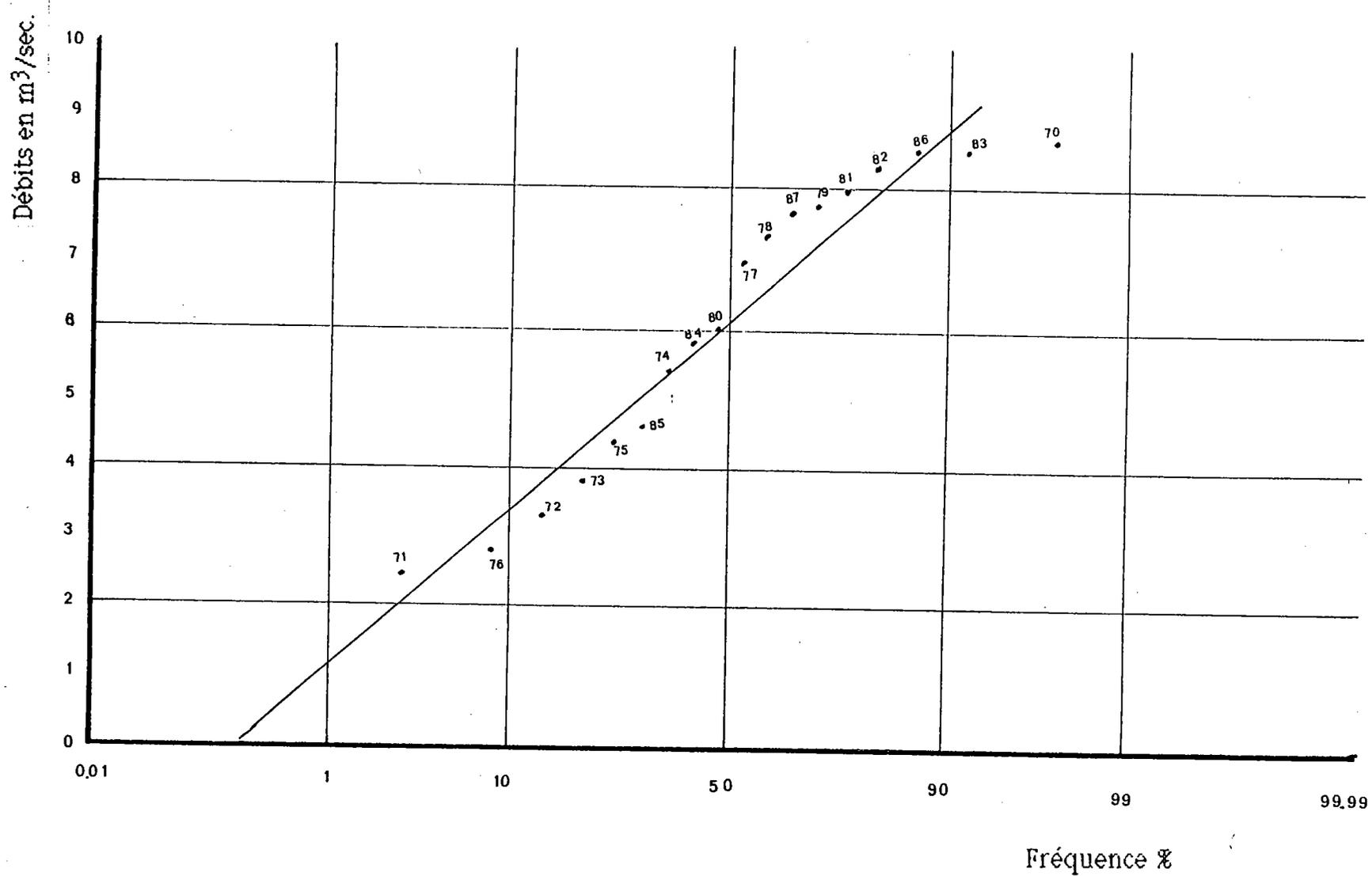


Figure n°37: Ajustement des modules de Gerbéviller à une loi normale



Il existe deux types de modules correspondant aux années sèches et aux années humides. Si on les traite statistiquement ensembles, l'écart-type de la série entière représente le double de celui de la série d'années sèches ou d'années humides. D'où la pente très importante de la droite de Henri qui n'est pas représentative du comportement du bassin en année sèche ou en année humide. En année sèche, la fréquence expérimentale d'un module est supérieur à sa fréquence théorique, en année humide c'est l'inverse, la fréquence expérimentale d'un module est inférieure à sa fréquence théorique. Les années sèches et les années humides sont beaucoup trop différenciées pour qu'un traitement global de la série 1970-1987 soit satisfaisant.

D'autre part les débits extrêmes semblent former des paliers, des limites qu'ils ne peuvent dépasser. C'est surtout le cas à Gerbéviller où 1971 et 1976 sont des années exceptionnellement sèches qui ont des modules comparables, très certainement proches d'un minimum absolu correspondant au rendement des aquifères. Les années les plus humides s'alignent aussi (1970, 1986, 1983 et 1982) et tendent vers un module maximum lié à un maximum pluviométrique annuel. Les tests d'ajustement statistique (voir plus haut), tolèrent cette organisation des points, la loi normale semble donc être la plus adaptée à cette distribution (des essais d'anamorphoses, ou d'ajustements avec d'autres lois n'ont pas donné de résultats satisfaisants). On peut donc calculer des modules fréquentiels, et déterminer la durée de retour de certaines années exceptionnelles.

Tableau N°29 : Modules caractéristiques

Stations	Q _{0.1}	Q _{0.5}	Q _{0.9}	Q _{0.1} /Q _{0.9}
Autrey	1.065	1.771	2.476	43 %
Gerbéviller	3.443	6.088	8.733	39 %

Q_{0.1} : débit décennal sec (m³/s)

Q_{0.5} : débit moyen (m³/s)

Q_{0.9} : débit décennal humide (m³/s)

Le rapport entre les modules fréquentiels décennaux montre une pente de la droite de Henri plus forte à Autrey Ste. Hélène qu'à Gerbéviller. Cette différence entre les deux stations avait déjà été perçue lors de la corrélation des modules (voir plus haut) où on avait constaté une plus grande dispersion des modules sans pour autant que son régime soit plus contrasté. Pour Gerbéviller, c'est le phénomène de "basculement" qui provoque un écart-type élevé.

Les durées de retour des modules à Autrey Ste. Hélène (cf. Tableau N° 30) sont donc plus élevées qu'à Gerbéviller (la pente de la droite de Henri est plus importante à Autrey Ste. Hélène, voir plus haut).

Ainsi des années extrêmement sèches ou humides n'ont pas le même caractère exceptionnel à Autrey qu'à Gerbéviller.

Tableau N° 30 : Durée de retour des modules extrêmes.

Stations	Années très sèches			Années très humides			
	1971	1976	1972	1970	1986	1983	1982
Autrey	33 ans	12 ans	8 ans	8 ans	10 ans	14 ans	17 ans
Gerbéviller	25 ans	20 ans	11 ans	9 ans	8 ans	8 ans	7 ans

En raison du nombre élevé d'années humides au sein de la chronique 1970-1982, les modules humides ont des durées de retour beaucoup plus faibles. Dans ce cas c'est la sécheresse qui est exceptionnelle. 1971 a une durée de retour de 33 et 25 ans respectivement à Autrey Ste. Hélène et à Gerbéviller.

Tableau N° 31 : Fréquences des débits moyens annuels

Année	Autrey Ste. Hélène			Gerbéviller		
	Q m ³ /s	α	F.	Q m ³ /s	α	F.
1970	2.39	1.12	0.869	8.63	1.23	0.89
1971	0.736	-1.88	0.03	2.40	-1.78	0.04
1972	1.16	-1.11	0.13	3.28	-1.36	0.09
1973	1.28	-0.89	0.19	3.77	-1.12	0.13
1974	1.64	-0.24	0.41	5.39	-0.34	0.37
1975	1.33	-0.80	0.21	4.43	-0.85	0.20
1976	0.981	-1.43	0.08	2.79	-1.60	0.05
1977	1.80	0.05	0.52	6.91	0.40	0.66
1978	1.86	0.16	0.56	7.26	0.57	0.72
1979	1.97	0.36	0.64	7.68	0.77	0.78
1980	1.95	0.32	0.63	5.97	-0.06	0.48
1981	2.25	0.87	0.81	7.95	0.90	0.82
1982	2.63	1.56	0.94	8.25	1.05	0.85
1983	2.59	1.49	0.93	8.52	1.18	0.88
1984	1.63	-0.26	0.40	5.80	0.46	0.68
1985	1.23	-0.98	0.16	4.55	-0.74	0.23
1986	2.47	1.27	0.90	8.47	1.15	0.87
1987	1.98	0.38	0.65	7.62	0.74	0.77

 α : variable réduite

F : Fréquence théorique des modules

On peut donc s'interroger sur la représentativité de la période de référence que nous avons choisie : 1970-1987. Elle paraît excessivement humide, mais aussi en raison de l'ampleur des variations des modules elle est peut-être exceptionnellement contrastée. Dans ce cas les durées de retour calculées sont peut-être sous estimées. L'étude des pluies sur une plus longue période permet de constater que des années de la période 1970-1987 comptent parmi les plus sèches ou les plus humides : pour la période 1941-1987, 1986 est l'année la plus humide à la station pluviométrique de Brouvelieures, de même 1971 est la plus sèche après 1949.

Cependant on peut penser que la distribution des modules s'ajusterait davantage si ceux-ci étaient calculés dans les limites d'une année hydrologique. Dans sa thèse R. Frécaut (1971) affirme :

"Selon les statisticiens, l'année hydrologique moyenne la meilleure est celle qui permet la distribution la plus régulière des modules particuliers".

3. Traitement statistique des modules en année hydrologique

Il convient tout d'abord de définir les limites d'une année hydrologique adaptée au régime annuel des écoulements dans le bassin de la Mortagne.

a) Choix du découpage

Pour R. Frécaut (1971) "La détermination de l'année hydrologique doit tenir compte des trois facteurs des débits fluviaux que sont l'accumulation en eaux souterraines [...], leur restitution et surtout l'évapotranspiration, entraînant une réduction marquée de l'écoulement en saison chaude."

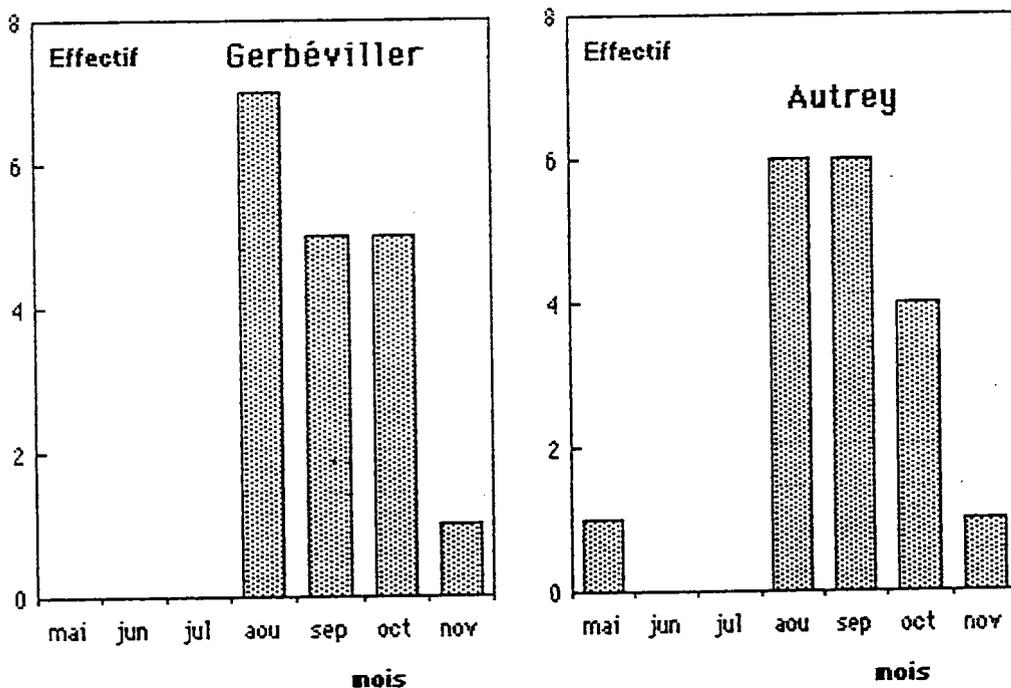
A Autrey Ste. Hélène, comme à Gerbéviller les hautes eaux vont de décembre à mai (régime déterminé à partir des débits moyens mensuels de la période 1970-1987, cf. Fig. N° 45), et les basses eaux concernent les mois de juin à novembre. En tenant compte des observations de R. Frécaut, il serait judicieux de faire commencer l'année hydrologique le mois suivant le mois d'étiage, dès que débute la recharge des nappes. Ce découpage permettrait de minimiser le décalage entre la pluie tombée au cours d'une année, et son écoulement.

Ainsi une année hydrologique commence par la recharge des nappes, puis un écoulement maximum correspondant aux précipitations hivernales, et s'achève par la période de basses eaux liée à une forte évapotranspiration et à un écoulement principalement d'origine souterraine.

Le découpage en année civile survient au milieu de la saison des hautes eaux, il ne tient donc pas compte du cycle et du comportement hydrologique du bassin.

A Autrey Ste. Hélène, c'est le mois de septembre qui en moyenne connaît les débits les plus bas, à Gerbéviller c'est le mois d'août. Cependant ces moyennes masquent des disparités importantes ainsi les débits mensuels d'étiage s'étendent du mois de mai jusqu'au mois de novembre à Autrey Ste. Hélène, et du mois d'août au mois de novembre à Gerbéviller.

Fig. N° 38 : Fréquence de mois d'étiage à Gerbéviller
et à Autrey Ste. Hélène



A Autrey Ste. Hélène le mois d'août comme le mois de septembre a, dans 33 % des cas, le débit moyen mensuel le plus faible de l'année. A Gerbéviller c'est le mois d'août qui est le plus souvent le mois d'étiage (dans 44 % des cas). L'étiage plus tardif d'Autrey Ste. Hélène s'explique par le soutien de la Mortagne par la nappe des grès. A l'aval ce soutien s'estompe (voir plus bas), et l'étiage survient dès le mois d'août à Gerbéviller.

Il est aussi important de constater que le mois d'octobre est aussi très souvent le mois d'étiage (dans 28 % des cas à Gerbéviller et dans 22 % des cas à Autrey Ste. Hélène).

En commençant l'année hydrologique au mois de novembre, on est pratiquement assuré (dans 94 % des cas aux deux stations) que l'étiage est déjà passé et que la recharge des nappes ne fait que commencer. Ceci même si l'étiage survient très tôt dans l'année, le débit moyen mensuel du mois d'octobre se situe très rarement en hautes eaux, et est principalement alimenté par les nappes.

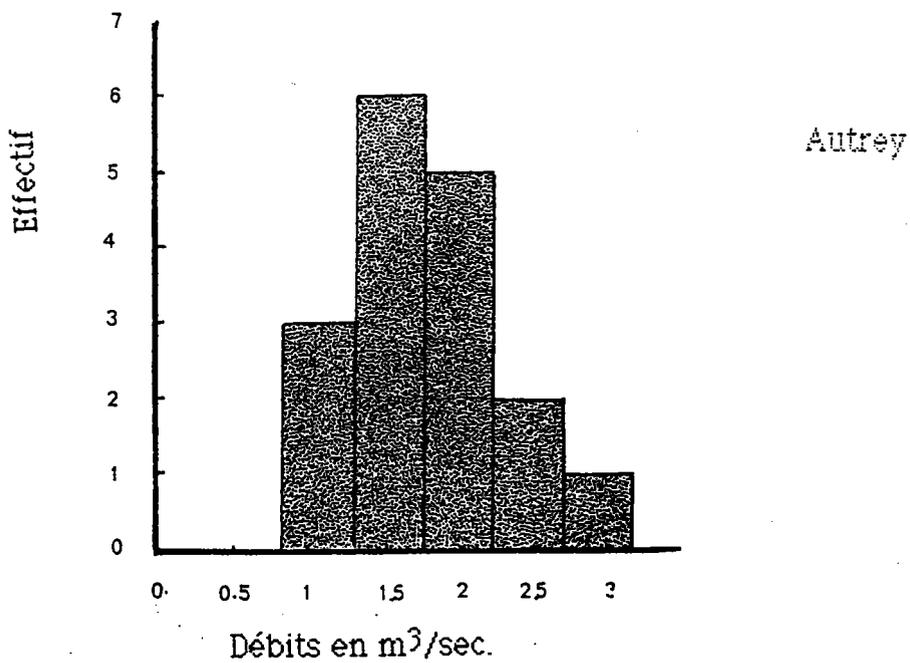
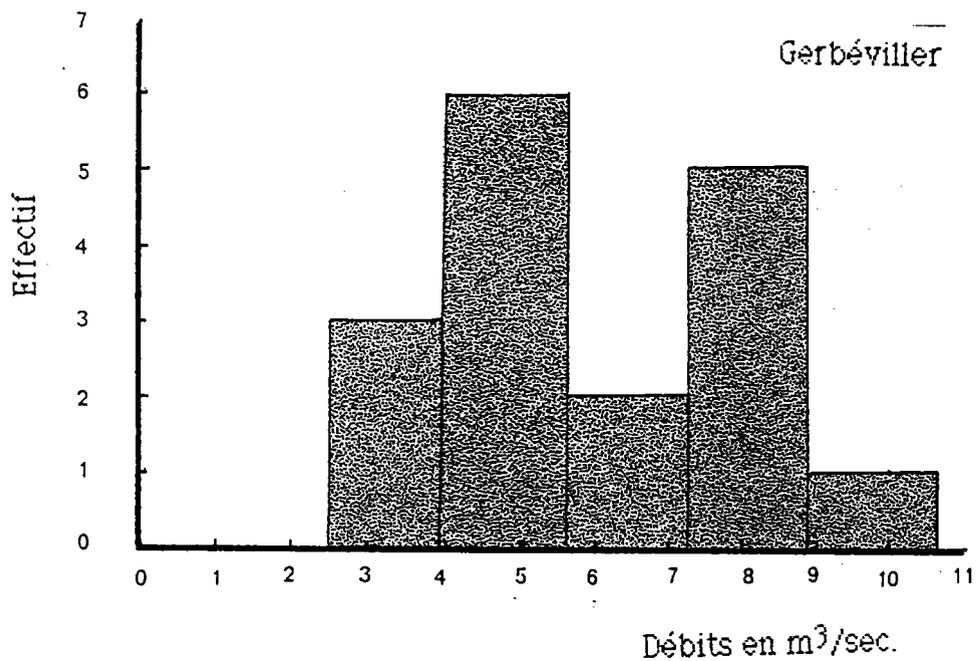
Ce choix du mois de novembre comme commencement de l'année hydrologique est de plus (et pour ces mêmes raisons) partagé par la plupart des hydrologues, c'est celui que nous avons adopté.

En année hydrologique les modules n'ont plus la même signification et leur distribution est plus régulière.

b) Distribution des modules des années hydrologiques

La distribution des modules des années hydrologiques n'est pas normale au sens strict . Cependant comparativement à la distribution des modules des années civiles (cf. Fig. N° 39) elle paraît davantage s'ajuster à une loi normale.

Fig. N° 39 : Distribution des modules des années hydrologiques



A Autrey Ste. Hélène une classe modale apparait pour les valeurs comprises entre 1.60 et 1.75 m³/s, les modules sont donc moins dispersés et plus concentrés qu'en année civile. Pour Gerbéviller, par contre, on retrouve une distribution bimodale avec une concentration pour les valeurs sèches (4 à 5.5 m³/s) et une concentration autour des valeurs humides (7.3 à 8.9 m³/s).

Pour les deux stations, la distribution des modules en année hydrologique est biaisée positivement (à l'inverse des modules en année civile cf. Tableau N° 32). De même les coefficients d'aplatissement sont tous les deux supérieurs à 3 et témoignent d'une concentration importante des valeurs.

Tableau N° 32 : Coefficient d'ajustement et d'aplatissement

Stations	Gerbéviller	Autrey
Coeff. d'aplatissement	3.17	3.94
Coeff d'assymétrie	0.19	0.60

Pour Gerbéviller les coefficients caractérisant les modules des années hydrologiques semblent proches d'une distribution normale. Comparativement aux modules des années civiles, le biais de la distribution est moins important, et les modules sont plus concentrés. Mais ces coefficients ne tiennent pas compte de la distribution bimodale. Les modules d'Autrey Ste. Hélène en année hydrologique ont une distribution davantage biaisée que ceux des années civiles. Cette fois ce sont les années sèches qui semblent plus nombreuses (biais positif). Par contre les modules des années hydrologiques sont plus concentrés.

Les tests d'ajustement à une loi normale sont meilleurs pour les modules des années hydrologiques.

Tableau N° 33 : Tests d'ajustement des modules des années hydrologiques à une loi normale

Station de Autrey Ste. Hélène

Calcul de	:	W2	U2	A2
Niveau probabilité	:	0.8589	0.8807	0.8033
Seuil de rejet	:	0.1000	0.1000	0.1000
RESULTAT	:	LOI ACCEPTEE	LOI ACCEPTEE	LOI ACCEPTEE

Station de Gerbéviller

Calcul de	:	W2	U2	A2
Niveau probabilité	:	0.8935	0.8794	0.8890
Seuil de rejet	:	0.1000	0.1000	0.1000
RESULTAT	:	LOI ACCEPTEE	LOI ACCEPTEE	LOI ACCEPTEE

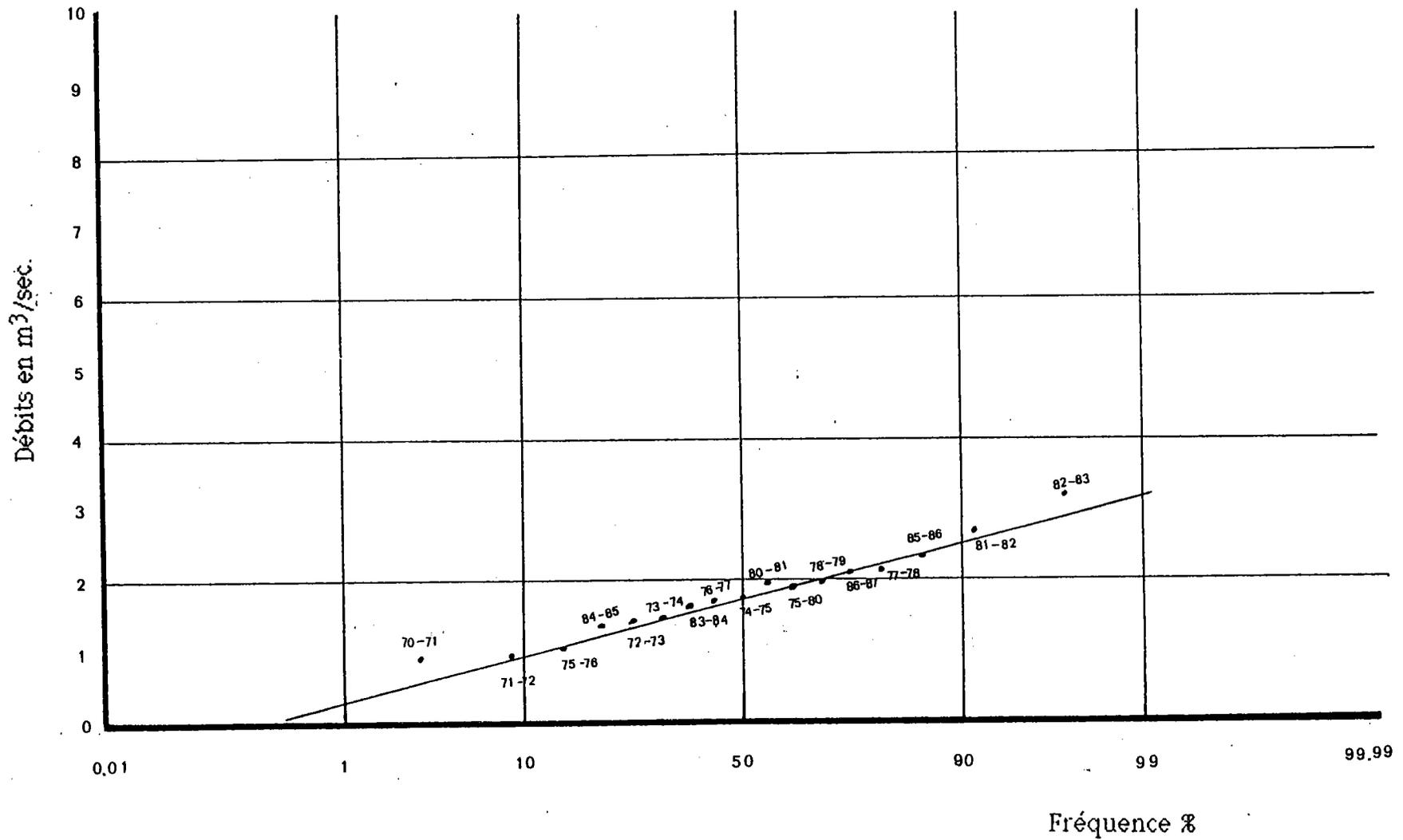
W2 est appelé statistique de Cramer-Von-mises

U2 est appelé statistique de Watson

A2 est appelé statistique d'Anderson-Darling

Sur les graphiques représentant cet ajustement, les points sont beaucoup plus proches de la droite de Henri. La disposition des points en "S" est moins évidente quoique tout de même sensible à Gerbéviller. Cette disposition des points en "S" est très certainement liée à la distribution bimodale des années hydrologiques. Compte tenu de cet ajustement, le découpage en année hydrologique que nous avons effectué paraît judicieux (de novembre à octobre). D'autre part les épisodes hydrologiques exceptionnels tels que les crues de 1982 et 1983 se retrouvent dans la même année hydrologique, d'où une dispersion plus importante des modules qui se répercute sur les écarts-types et les coefficients de variation.

Figure n°40: Ajustement des modules d'Autrey
en année hydrologique à une loi
normale



Gerbéville en année hydrologique
à une loi normale

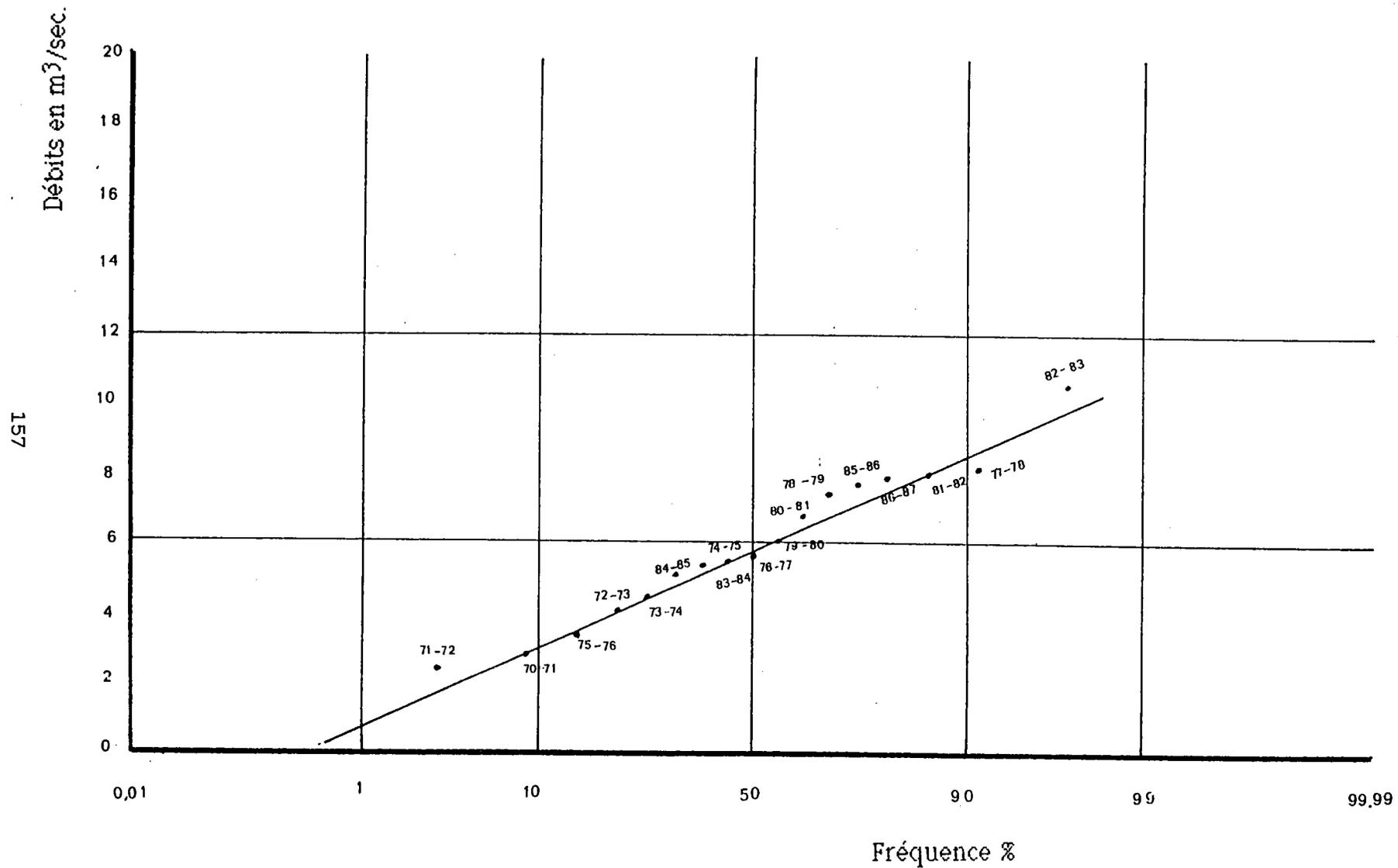


Tableau N° 34 : Dispersion des modules en année hydrologique et en année civile

Station	module	Année Civile		Année Hydrologique	
		σ_{n-1}	C.V%	σ_{n-1}	C.V%
Autrey	1.771	0.551	31.1	0.611	35.2
Gerbéviller.	6.088	2.066	33.9	2.231	37.9

Le découpage en année hydrologique "normalise" la distribution des modules et accentue les écarts entre les années les plus sèches et les années les plus humides. Ainsi à Gerbéviller le rapport entre les modules extrêmes (module le plus sec/module le plus humide) passe de 28 % pour les années civiles à 21 % pour les années hydrologiques.

C'est surtout l'année 1982-1983 qui paraît exceptionnelle (son module est de 10.6 m³/s). A Autrey Ste. Hélène les modules des années hydrologiques sont plus dispersés (le coefficient de variation, passe de 31 % à 35 %). 1982-1983 s'individualise bien.

Tableau N° 35 : Durée de retour des modules extrêmes

Station	Années sèches			Années humides				
	1971 -1972	1970 -1971	1975 -1976	1985 -1986	1986 -1987	1981 1982	1977 -1978	1982 -1983
Autrey	13 ans	14 ans	8 ans	12 ans	3 ans	15 ans	3 ans	98 ans
Gerbéviller	20 ans	13 ans	8 ans	5 ans	5 ans	6 ans	7 ans	56 ans

En année civile les durées de retour les plus importantes étaient de 25 ans pour Gerbéviller et 33 ans pour Autrey Ste. Hélène ; pour les années hydrologiques les durées de retour sont bien plus élevées et atteignent 56 ans et 98 ans respectivement à Gerbéviller et à Autrey Ste. Hélène pour l'année 1982-1983. Les crues d'octobre 1982, d'avril et mai 1983 explique le caractère exceptionnel de ce module.

Il apparait donc que les modules des années hydrologiques sont davantage représentatifs du comportement hydrologique de nos deux stations hydrométriques, car d'une part ils s'ajustent mieux à la loi normale et d'autre part le caractère humide ou sec d'une année est plus marqué pour une année hydrologique que pour une année civile (cf. rapport des modules extrêmes).

Ces contrastes entre les modules sont bien sûr liés aux fluctuations climatiques (voir plus haut) et sont aussi sensibles dans le régime annuel des années sèches et dans le régime annuel des années humides.

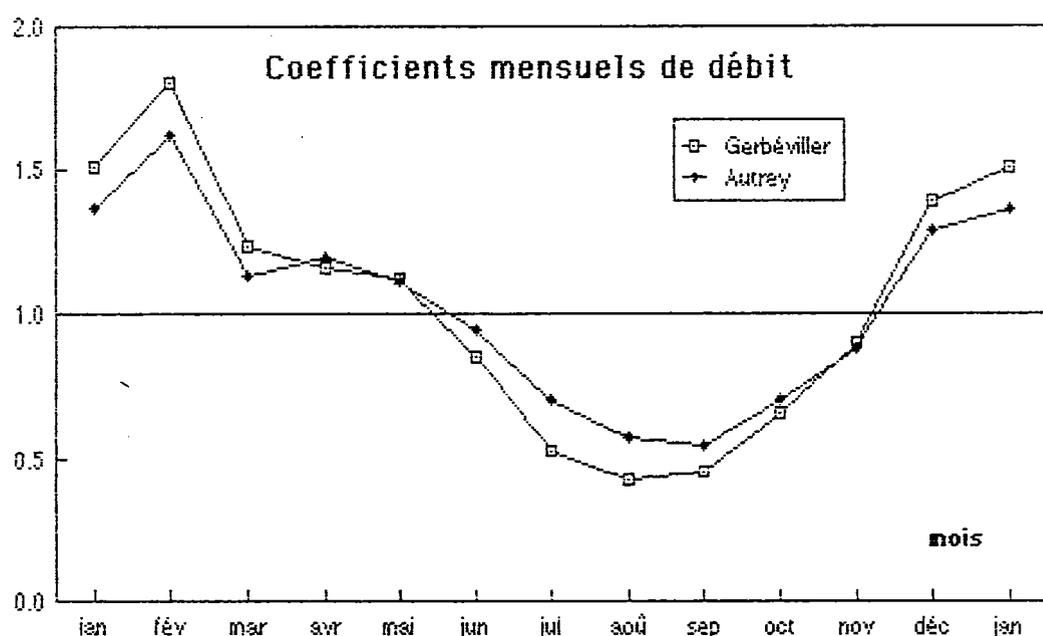
Il est donc nécessaire d'étudier les débits à l'échelle mensuelle ce qui permettra d'élaborer un régime pour les années sèches et un régime pour les années humides.

CHAPITRE - II LE REGIME ANNUEL DES ECOULEMENTS

DANS LE BASSIN DE LA MORTAGNE

Les variations saisonnières des débits ont déjà été abordées pour déterminer les limites de l'année hydrologique. En année moyenne, les hautes eaux vont du mois de décembre au mois de mai et les basses eaux du mois de juin au mois de novembre (cf. Figure N° 42).

Figure N° 42 Coefficients mensuels de débit



Le régime de la Mortagne est de type pluvial océanique. Cependant on remarque une influence nivale qui explique les coefficients mensuels de débit modérés du mois de janvier. Aux inter-saisons l'influence des nappes est sensible.

En avril et en mai elles soutiennent le débit de la Mortagne. En octobre et en novembre, les coefficients mensuels de débit tardent à remonter.

La recharge des aquifères limite la croissance des débits.

Durant la période estivale, l'évapotranspiration joue un rôle essentiel, et les débits diminuent malgré une pluviométrie importante. Les températures et donc la période végétative sont à leur maximum.

On peut donc caractériser le régime de la Mortagne de manière plus précise en le qualifiant de pluvio-évaporal avec une tendance nivale peu marquée.

Cette introduction à l'étude du régime de la Mortagne est très générale et ne prend en compte qu'un régime moyen. Elle fait donc abstraction de la variabilité importante que connaissent les débits moyens mensuels.

D'autre part il existe des nuances entre le régime de la Mortagne à Autrey Ste. Hélène et le régime de la Mortagne à Gerbéviller.

A - Comparaison des régimes des deux stations

Le régime des deux stations n'est pas différent, la répartition des hautes eaux et des basses eaux est identique (voir plus haut).

Le graphique des coefficients mensuels de débit permet de mettre en évidence le régime pondéré du bassin-versant de la station d'Autrey Ste.-Hélène en comparaison de celui de Gerbéviller (cf. Fig. N°42).

A Autrey Ste. Hélène les coefficients mensuels de débit s'échelonnent de 0.547 à 1.618, à Gerbéviller les écarts sont plus importants : le coefficient minimum est de 0.432 et le plus élevé atteint 1.811.

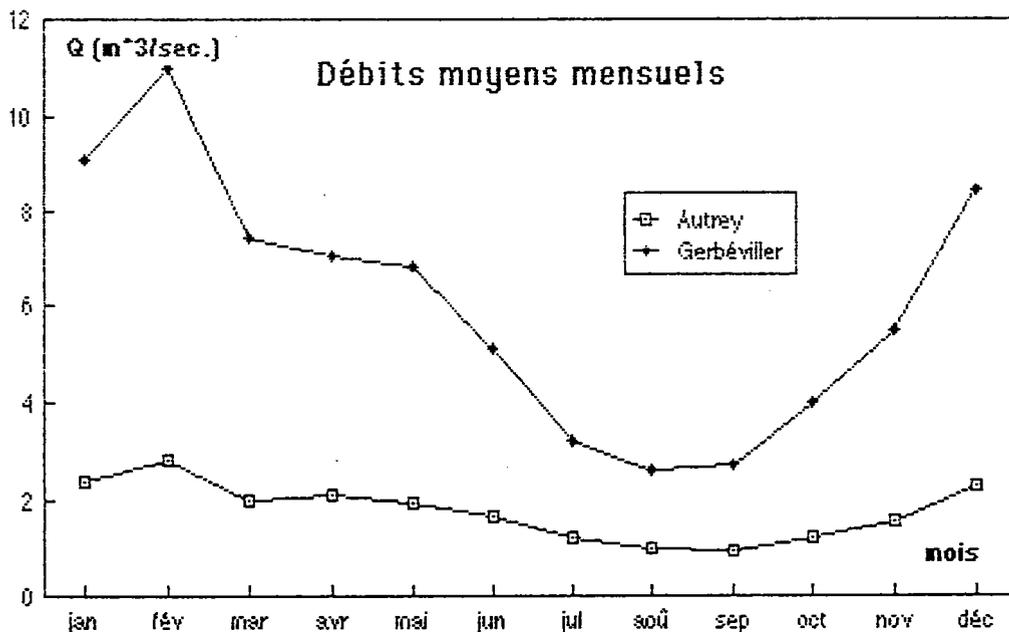
Les grès du bassin-versant d'Autrey Ste.Hélène tempèrent le régime du bassin amont de la Mortagne. A Gerbéviller les terrains imperméables accentuent les contrastes saisonniers.

D'autre part le soutien des nappes est plus important à Autrey Ste. Hélène qu'à Gerbéviller en avril. Cette augmentation du débit au mois d'avril est aussi très certainement liée à une pluviométrie importante plus sensible dans le bassin amont.

De même que l'étiage apparaît plus tardivement à Autrey Ste. Hélène qu'à Gerbéviller (le soutien des grès est ici aussi prépondérant. cf CHAP. I.A.3.a)).

En débit brut les contrastes saisonniers sont aussi importants à Gerbéviller (cf Fig. N° 43).

Figure N° 43 Débits moyens mensuels

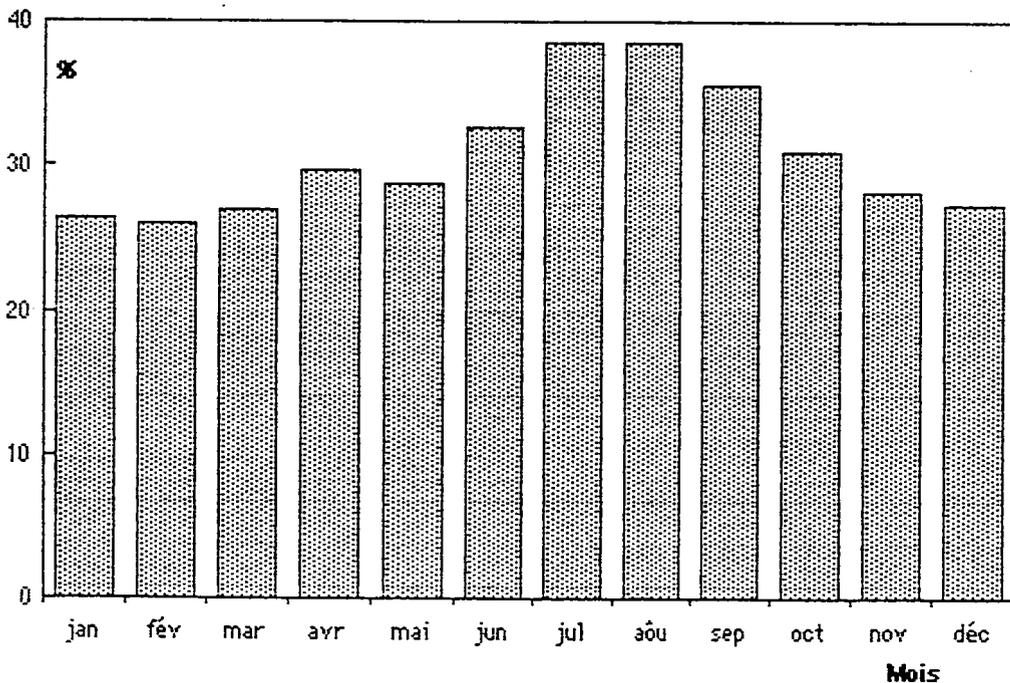


Ainsi le débit moyen mensuel du mois d'août représente 24 % du débit moyen mensuel du mois de février à Gerbéviller. A Autrey Ste. Hélène le contraste entre les débits moyens mensuels est moins marqué et le débit moyen mensuel du mois de septembre représente 34 % du débit moyen mensuel de février.

La part du débit du bassin amont d'Autrey Ste. Hélène dans le débit mesuré à la station de Gerbéviller évolue au cours de l'année.

Figure n°44: Rapport entre les débits moyens mensuels des deux stations

(débit d'Autrey/débit de Gerbéviller)



En basses-eaux la part des débits du bassin amont (exclusivement des grès) est très importante. Elle représente 38.5 % aux mois de juillet et d'août. Avec la remontée des eaux ce pourcentage diminue dès le mois de septembre.

Le minimum est atteint en février et correspond aux plus hautes eaux de l'année (26 ‰). Cependant ce pourcentage est toujours supérieur à la surface que représente le bassin d'Autrey Ste. Hélène par rapport au bassin de Gerbéviller (21.6 ‰).

Les débits spécifiques du bassin amont sont toujours supérieurs, aux débits spécifiques de la station de Gerbéviller. En saison humide, le bassin amont plus élevé et plus exposé est davantage arrosé. En basses eaux le "réservoir" des grès assure des débits réguliers et élevés à la Mortagne dans son bassin amont. En aval ces influences s'estompent et les débits spécifiques diminuent.

Toutes ces valeurs sont des moyennes de la période 1970-1987. Durant cette période les variations des débits moyens mensuels peuvent être importantes.

B - Variabilité des débits moyens mensuels

La variabilité des débits moyens mensuels de la période 1970-1987 est très certainement liée aux séries d'années sèches et aux séries d'années humides décrites dans la première partie.

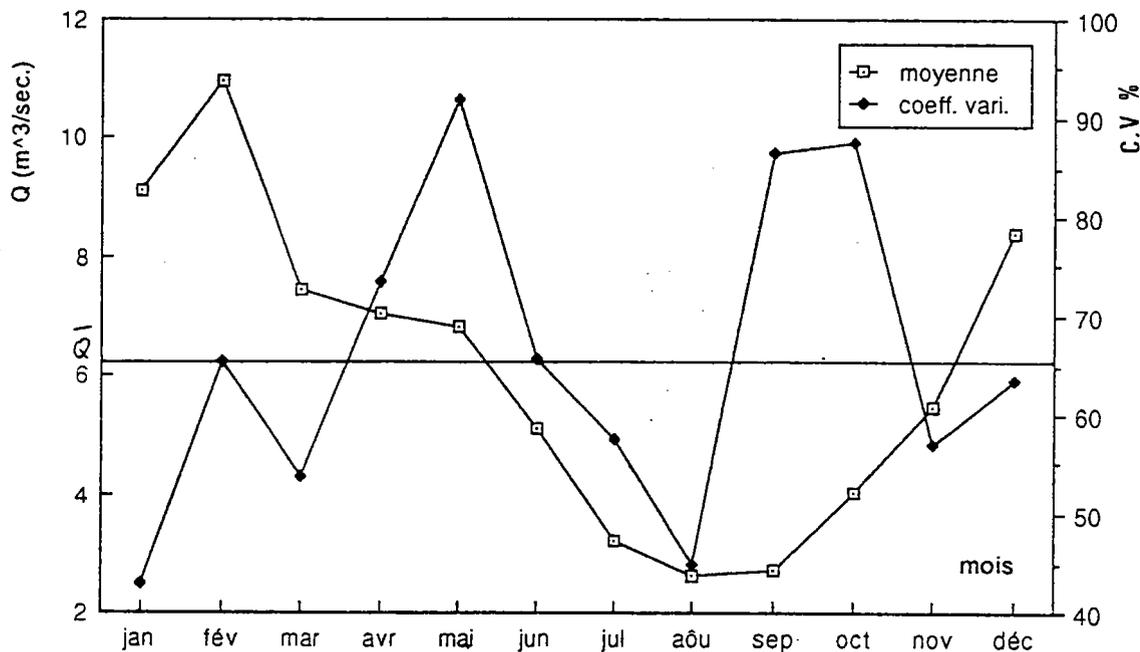
1. variabilité des débits moyens mensuels

de la période 1970-1987

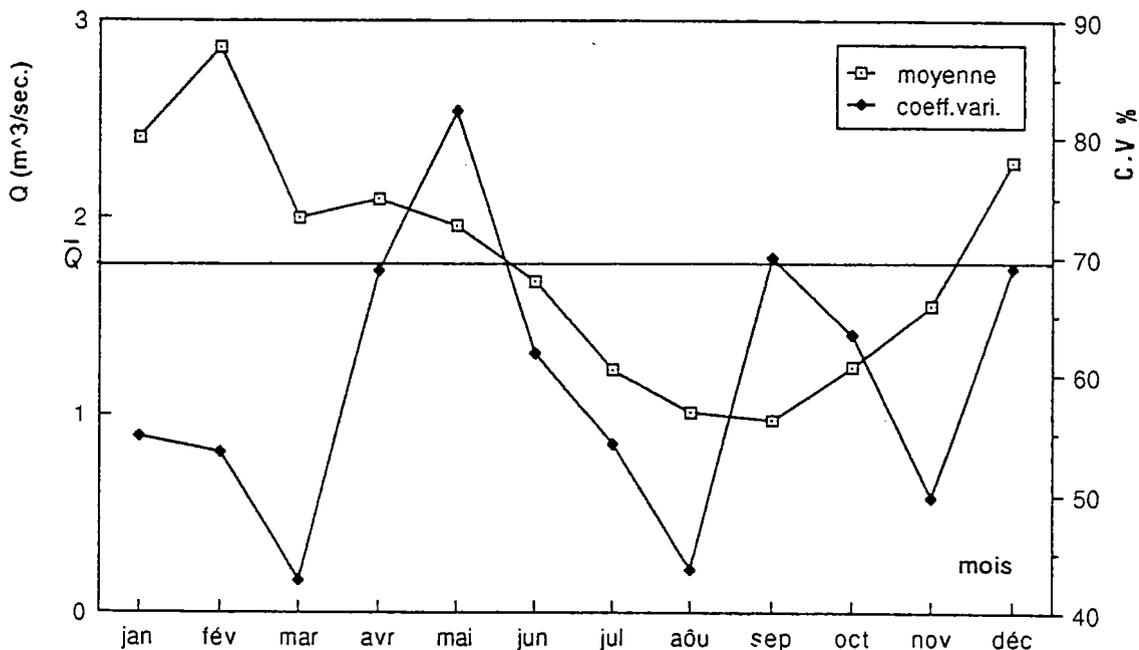
Les coefficients mensuels de variation sont en moyenne plus élevés à Gerbéviller qu'à Autrey Ste. Hélène (voir Chapitre I).

Figure N° 45 : Variabilité des débits moyens mensuels

GERBEVILLER (1970-1987)



AUTREY (1970-1987)



Pour les deux stations, ce sont les débits moyens mensuels des intersaisons qui connaissent les coefficients de variation les plus élevés. Ainsi le mois de mai connaît une variabilité maximum, liée à la pluviométrie elle aussi très variable pour ce mois. Suivant les années le mois de mai se situe en hautes eaux ou en basses eaux. En mai 1983 une crue est apparue, "gonflant" considérablement le débit moyen de ce mois. A l'inverse le débit moyen de mai 1980 constitue le débit moyen mensuel d'étiage de cette année.

Les mois d'étiage que sont septembre et octobre connaissent aussi une variabilité importante. Car des précipitations abondantes peuvent tomber durant ces mois, de sorte que l'étiage se produit plus tôt dans l'année et est nettement moins sévère. Le mois d'octobre, qui dans 28 % des cas à Gerbéviller et 22 % à Autrey est le mois d'étiage, a connu une crue importante en 1982.

A l'opposé de ces mois de transition, il existe des mois où la variabilité des débits moyens mensuels est moindre.

Le mois d'août connaît le plus faible coefficient de variation aux deux stations. Le débit moyen mensuel de ce mois est assurément faible, et les quelques pluies orageuses d'été qui peuvent survenir ne profitent que très peu au ruissellement. Une partie importante s'infiltré ou est évapotranspirée. Pour les mois suivants; septembre et octobre, la période végétative touche à sa fin, les pluies peuvent être plus abondantes et une part plus importante ruisselle (d'où un coefficient de variation plus élevé).

Les mois d'hiver ont aussi des coefficients modestes, les précipitations durant cette période sont régulières. Le débit de la Mortagne dépend alors intégralement des précipitations (de décembre à mars).

Tous les autres mois connaissent une variabilité moyenne. L'étude du régime des années sèches et du régime des années humides permet d'expliquer ces variations.

2. Le régime des années sèches

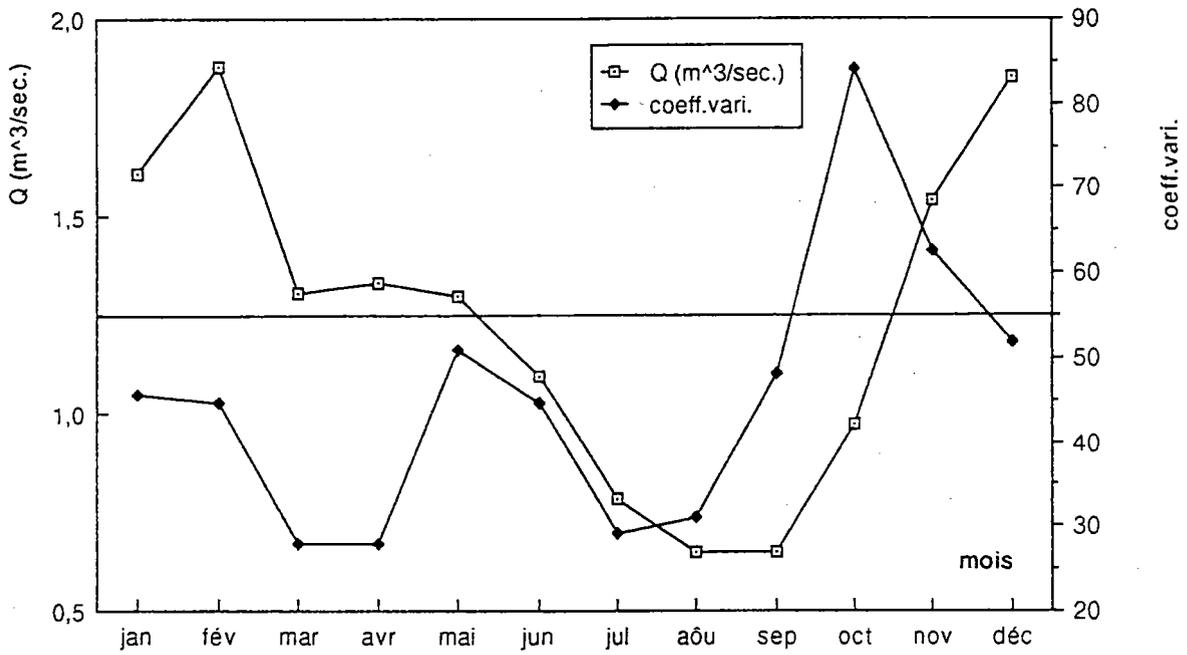
En année sèche il n'y a pas véritablement de changement du régime de la Mortagne. On remarque cependant un décalage d'un mois dans la répartition des hautes eaux et des basses eaux à Gerbéviller. Ainsi la période des hautes eaux commence dès novembre et s'achève au mois d'avril. Le mois de mai connaît des débits déjà très faibles ($3 \text{ m}^3/\text{s}$ en moyenne). La remontée des eaux est précoce et commence au mois de novembre.

Pour Autrey Ste. Hélène, le mois de mai se situe en hautes eaux. Mais son coefficient de variation est relativement élevé (comparativement à celui de Gerbéviller du mois de mai) et montre qu'en année sèche le mois de mai connaît aussi des débits très faibles. A l'image du régime de la station de Gerbéviller le mois de novembre a un débit moyen mensuel très élevé.

Pour les deux stations le mois d'octobre connaît une variabilité extrême déjà sensible dans le régime de toute la chronique 1970-1987. Ce coefficient élevé est caractéristique des mois d'étiage. De même les mois de mai et juin (mois d'intersaison) ont des débits moyens mensuels contrastés. Mais ces dernières caractéristiques ne sont pas uniquement propres aux années sèches, elles apparaissent aussi dans le régime des années humides.

Figure N° 46 : Régime des débits moyens mensuels en année sèche

AUTREY (ANNEES SECHES)



GERBEVILLER (ANNEES SECHES)

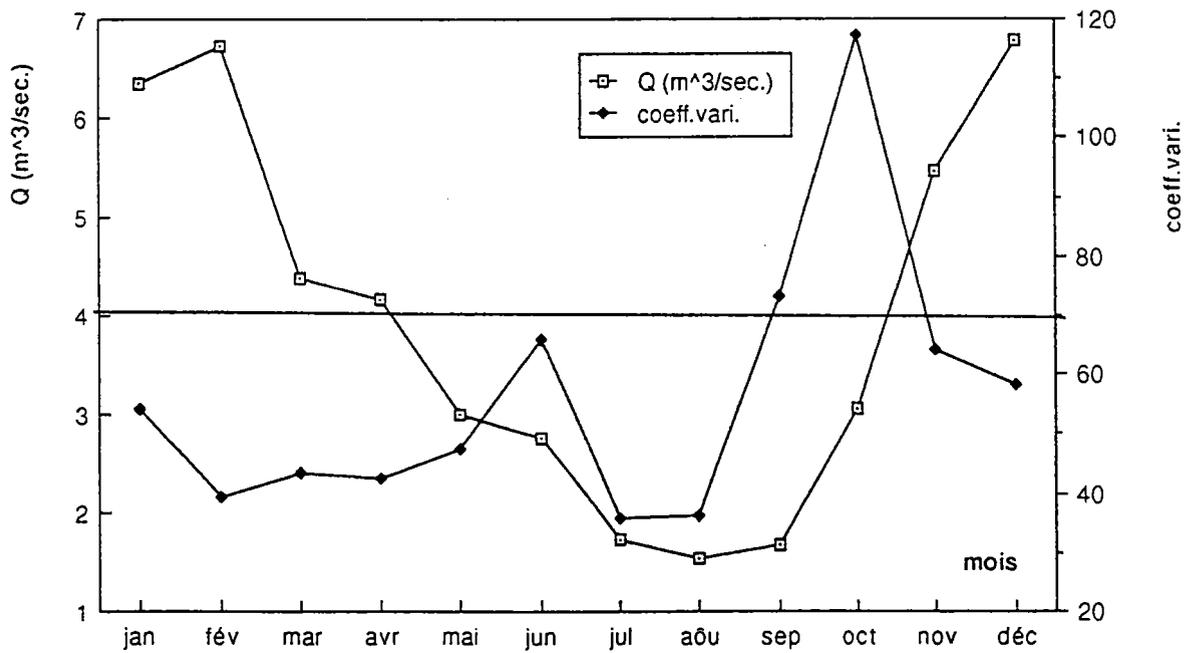
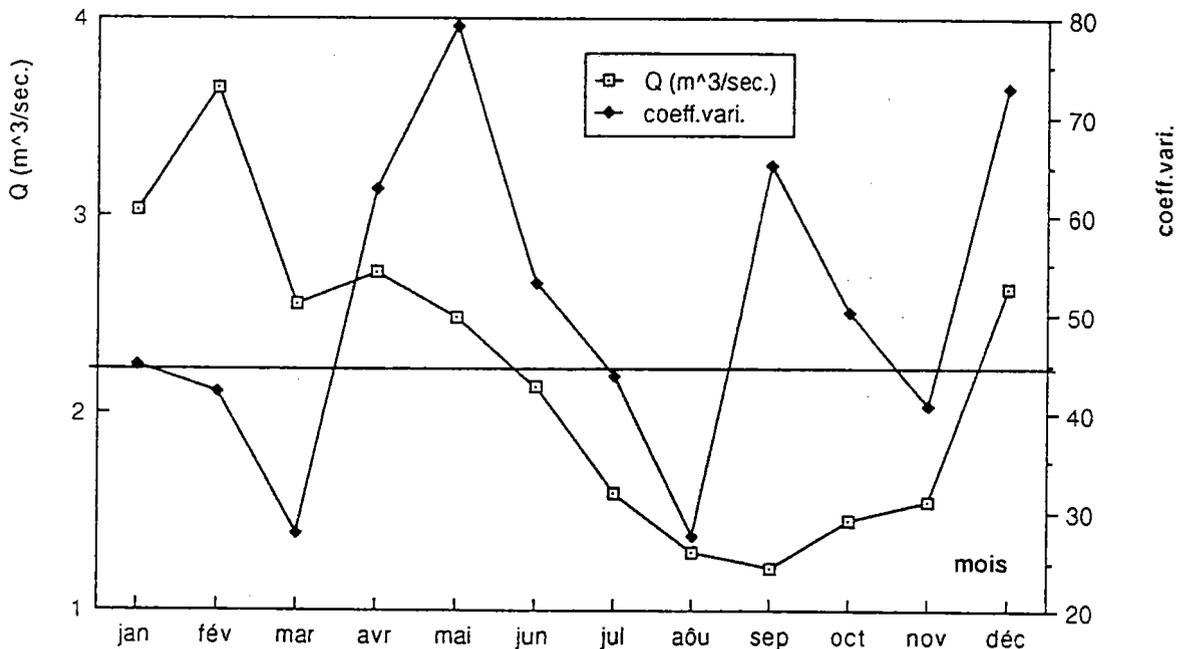
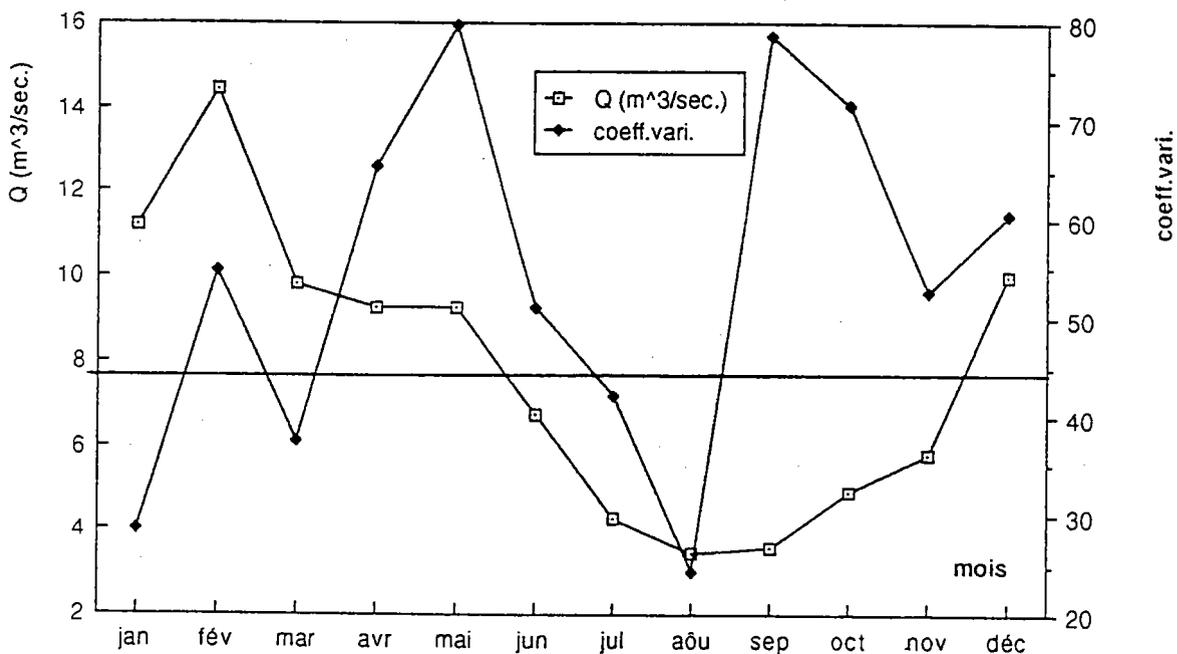


Figure N° 47 : Régime des débits moyens mensuels en année humide

AUTREY (ANNEES HUMIDES)



GERBEVILLER (ANNEES HUMIDES)



3. Le régime des années humides

Le régime moyen des années humides est comparable à celui de toute la chronique. De plus le nombre d'années humides étant plus élevé (10 contre 8 années sèches) le régime moyen de toute la période est donc davantage influencé par les années humides.

Ce régime se caractérise tout de même par une variabilité importante au mois de mai aux deux stations. A Autrey Ste. Hélène le mois de décembre est aussi très contrasté. Les types de temps anticycloniques hivernaux apparaissent aussi lors d'années humides contrastant avec les mois de décembre excessivement pluvieux.

Les écarts entre les débits moyens mensuels de la série d'années sèches et ceux de la série d'années humides peuvent être importants.

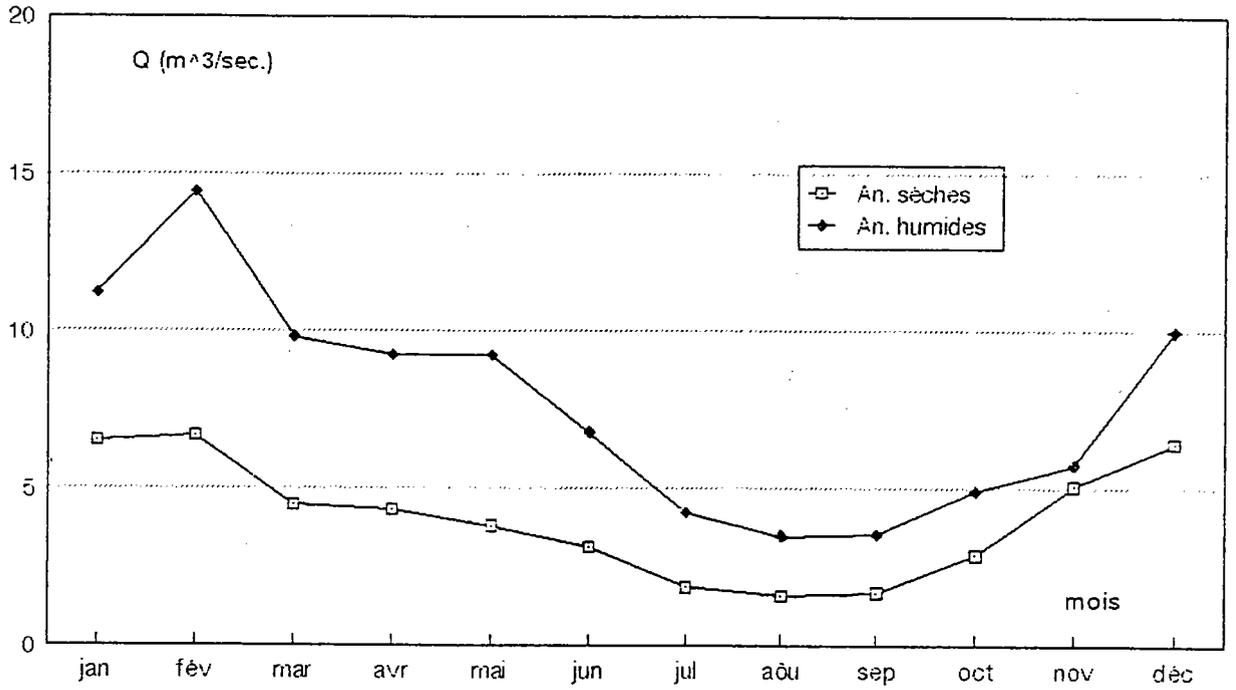
4. Comparaison des deux régimes

Les différences les plus importantes entre les deux régimes se situent en hautes eaux (cf. Fig. N°48). En basses eaux les écarts diminuent et les débits moyens mensuels du mois de novembre pour les deux séries d'années sont très proches. Le mois de novembre se situe en basses eaux en année humide mais appartient déjà aux hautes eaux en année sèche (voir plus haut).

Sur les graphiques représentant le régime de l'année la plus humide (1970 à Gerbéviller et 1982 à Autrey Ste. Hélène), il apparaît que l'humidité ne concerne que les mois de hautes eaux. Ainsi janvier 1982 à Autrey Ste. Hélène et février 1971 à Gerbéviller connaissent des écoulements extrêmement élevés avec des crues importantes.

Figure n°48: Comparaison du régime des années sèches et du régime des années humides

Gerbéviller



Autrey

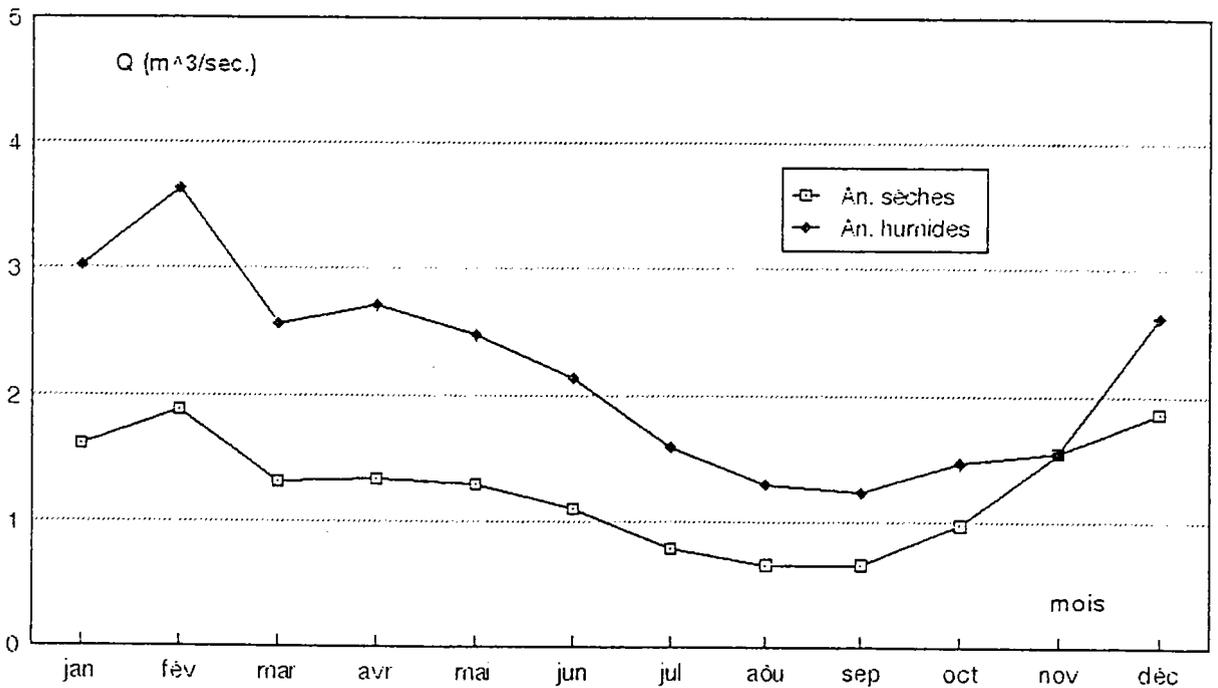
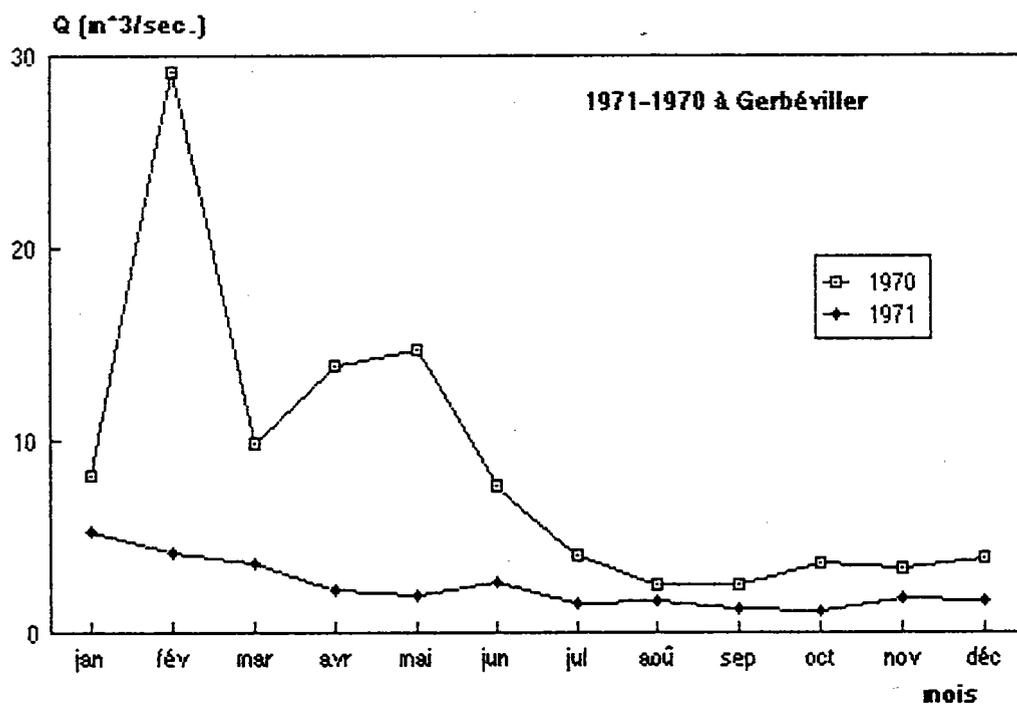
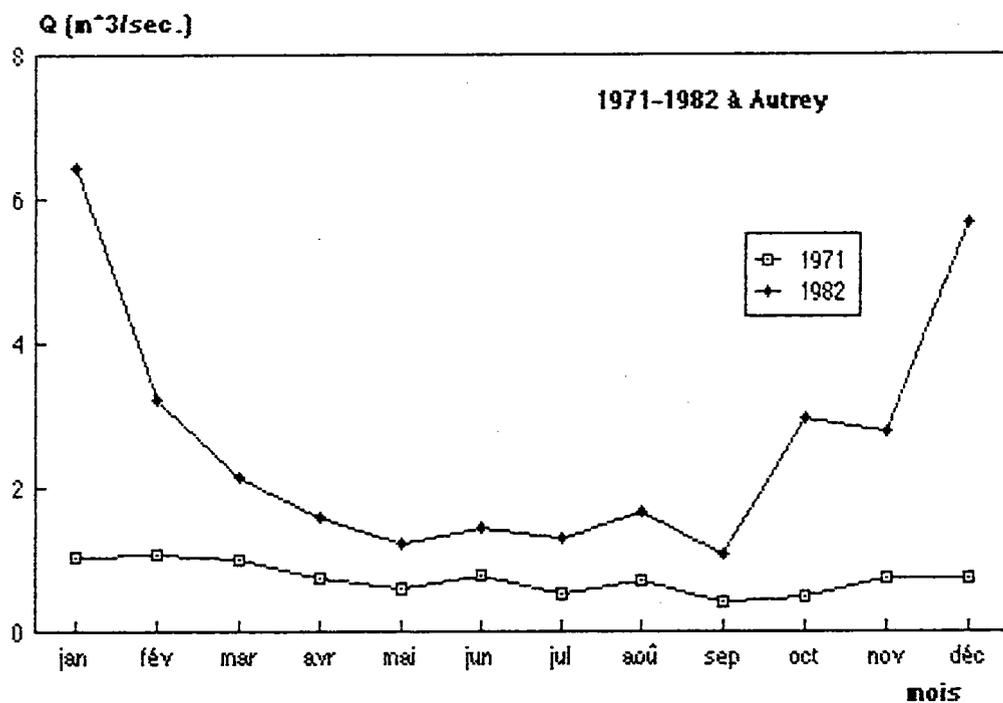


Fig.N° 49 : Régimes des années extrêmes



A l'inverse, les mois d'hiver de 1971 aux deux stations ont connu des débits particulièrement indigents. Il existe donc deux types de temps à l'origine des années humides et des années sèches avec des mois d'hiver particulièrement pluvieux (janvier 1982 et février 1970) donnant lieu à des crues, et des hivers où domine un temps anticyclonique froid et sec qui limite les écoulements.

Compte tenu de la variabilité importante des débits moyens mensuels, il paraît judicieux d'élaborer un régime des débits moyens mensuels fréquentiels pour caractériser le régime de la Mortagne.

C - Régimes des débits moyens mensuels fréquentiels

Ces débits fréquentiels ont été calculés à partir d'une loi log-normale. La distribution des débits moyens mensuels étant fortement biaisée l'anamorphose logarithmique paraît la mieux adaptée.

Ce régime rend compte des écarts importants qui peuvent exister entre des débits moyens mensuels d'un même mois pour des années différentes (cf. Fig. N° 50).

Les écarts les plus importants entre les débits moyens mensuels des différentes fréquences se situent en hautes eaux. Cependant en faisant le rapport entre les débits fréquentiels décennaux secs et humides, les valeurs les plus élevées concernent les mois à forte variabilité (voir coefficient de variation) : mai, juin et octobre. Autrey Ste. Hélène se distingue par un mois d'août très variable. Les rapports de chacun des mois (cf. Fig. N° 51) sont compris entre 3.0 et 6.0 et à Gerbéviller entre 3.8 et 8.4. La variabilité importante des débits moyens mensuels à Gerbéviller apparaît aussi dans ces rapports. La différence des caractéristiques physiographiques des deux bassins (lithologie, altitude, occupation du sol) est ici aussi déterminante.

Cette présentation du régime de la Mortagne à l'aide des débits moyens mensuels fréquentiels paraît la plus représentative et la plus adaptée à ce type de cours d'eau à régime océanique. Elle permet de plus d'opposer de manière plus satisfaisante les conditions des écoulements dans les bassins-versants, très différenciés, de nos deux stations hydrométriques.

CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE

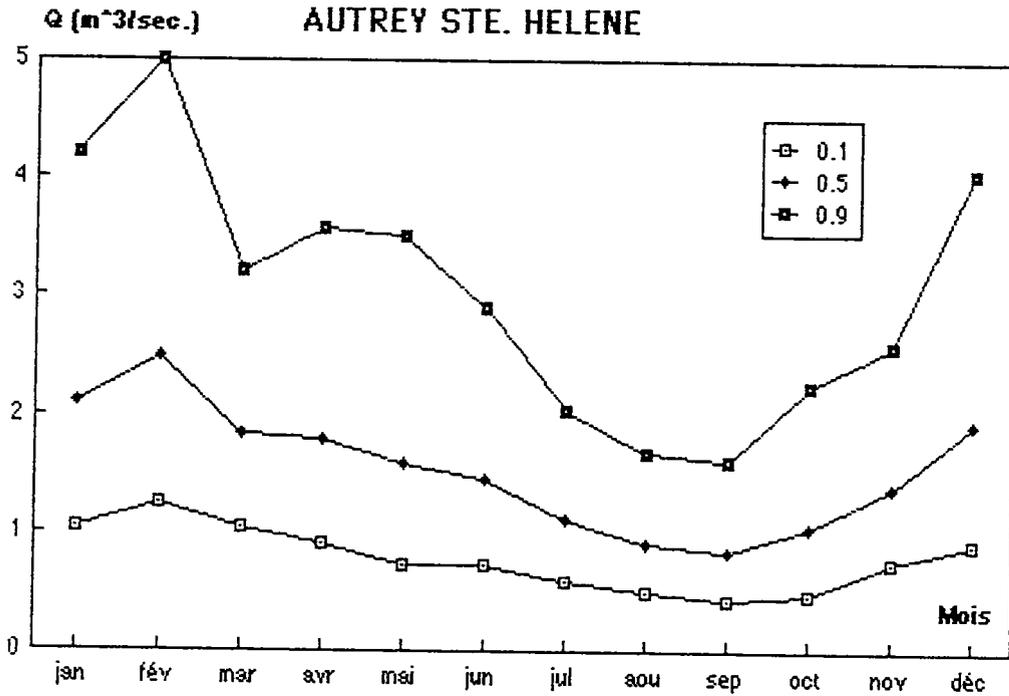
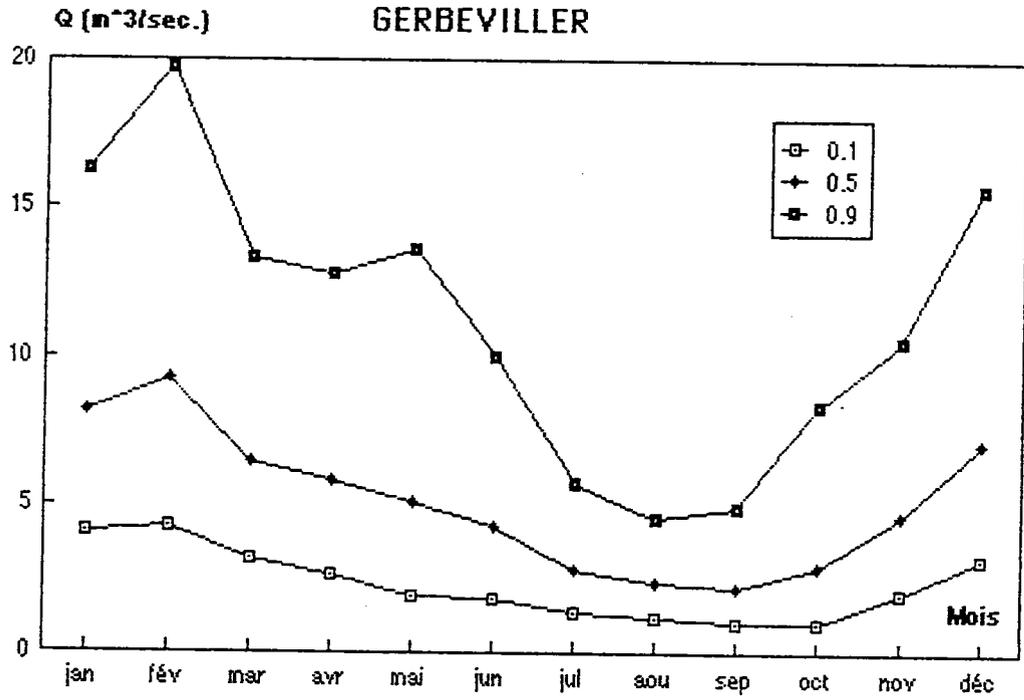
Malgré la variabilité des débits, il est possible de caractériser le régime interannuel et annuel de la Mortagne, en différenciant les années sèches, des années humides.

A l'intérieur de chacune des séries ainsi constituées, la variabilité des débits est toute relative, car beaucoup moins importante. Nous avons donc défini deux régimes pour la Mortagne : une régime représentatif d'une année sèche et un régime représentatif d'une année humide.

Il serait d'ailleurs peut être souhaitable de traiter statistiquement de manière séparée les années sèches et les années humides pour déterminer des valeurs fréquentielles annuelles et mensuelles.

Le troisième aspect fondamental que recouvre le régime fluvial d'un cours d'eau (R. Frécaut 1971) est constitué par les fréquences des extrêmes : les étiages et les crues. Ce dernier aspect fera l'objet de la quatrième partie.

Fig N° 50 : Débits moyens mensuels fréquentiels



QUATRIEME PARTIE
LES DEBITS EXTREMES

INTRODUCTION

Afin de caractériser différents types d'écoulements, dans le bassin de la Mortagne, nous avons extrait des débits des chroniques d'observations des deux stations hydrométriques. Ces débits correspondent à des écoulements de basses eaux (ou d'étiage) et de hautes eaux (ou de crue) et à des échelles de temps différentes.

Le traitement statistique des valeurs extraites constituera une référence quant à la probabilité de réalisation d'un débit en crue ou en étiage.

Pour les hautes eaux nous traiterons les débits moyens mensuels maximums. Les crues sont des phénomènes fréquents et répétitifs. C'est pourquoi nous utiliserons les débits moyens journaliers voire les débits maximaux instantanés. Certains épisodes de crue remarquables seront étudiés plus précisément.

Les étiages se déroulent sur des durées beaucoup plus longues. Le débit moyen mensuel d'étiage et le débit journalier non dépassé sur 10 jours consécutifs sont représentatifs de l'étiage.

Ces débits fréquentiels d'étiage permettront de caractériser les débits d'étiage mesurés par le C.E.G.U.M. dans le bassin-versant de la Mortagne en 1989.

Une spatialisation des débits mesurés par des profils hydrologiques lissés, et par une cartographie des débits d'étiage, permettront de connaître davantage et de manière plus précise le comportement du bassin : par une approche géographique.

CHAPITRE - I : CARACTERISTIQUES GENERALES DES DEBITS EXTREMES

L'étude des hautes eaux et des crues comprend essentiellement un traitement statistique des débits. Une analyse plus précise de certains épisodes de crue a aussi été menée.

A - Débits caractéristiques des hautes eaux

Pour proposer des débits de référence des hautes eaux nous avons utilisé les débits moyens mensuels maximums de chacune des années de notre période de référence 1970-1987.

1. Etude statistique des débits moyens mensuels maximums

Les débits moyens mensuels maximums rendent compte de la variabilité des débits moyens mensuels. Ainsi on s'aperçoit que ces débits peuvent apparaître de décembre à juin à Autrey Ste. Hélène et de novembre à juin à Gerbéviller (cf. Fig. 52). C'est le mois de février qui, aux deux stations, est le plus souvent le maximum mensuel annuel (dans 33 % des cas à Autrey et dans 38 % des cas à Gerbéviller).

D'une manière générale les débits mensuels maximums se déroulent dans plus de 70% des cas entre décembre et février inclus. L'apparition de ces débits maximums est donc concentrée sur ces trois mois. Leur distribution est biaisée positivement avec une concentration importante des débits autour des valeurs les plus faibles (cf. Fig. N° 53). Ce biais est davantage marqué pour la station de Gerbéviller où le tiers des valeurs est concentré dans la classe des débits les plus faibles. Cette distribution s'ajuste à une loi log-normale,

FIG.52 FRÉQUENCES DES MAXIMUMS MENSUELS EN FONCTION DES MOIS

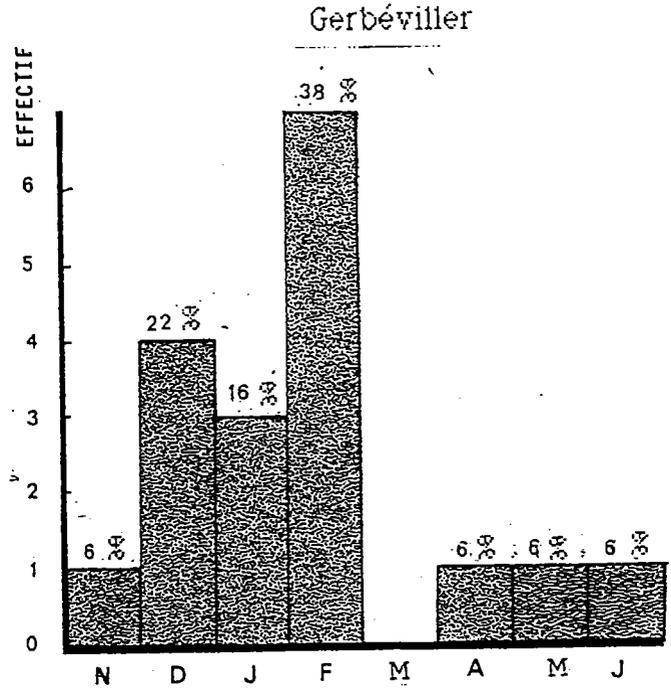
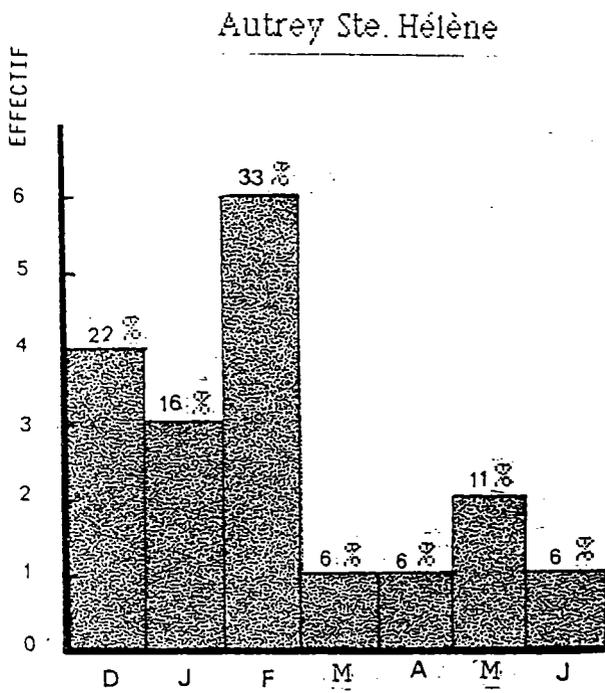


FIG:53 DISTRIBUTION DES DÉBITS MOYENS MENSUELS MAXIMUMS

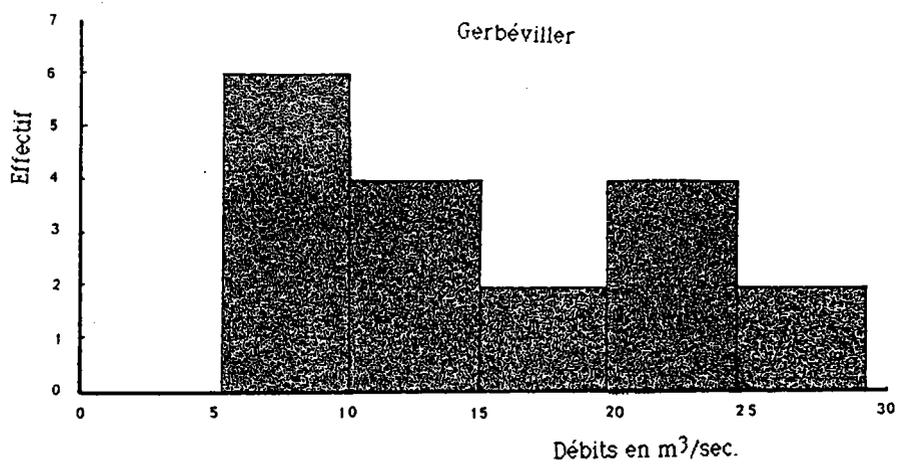
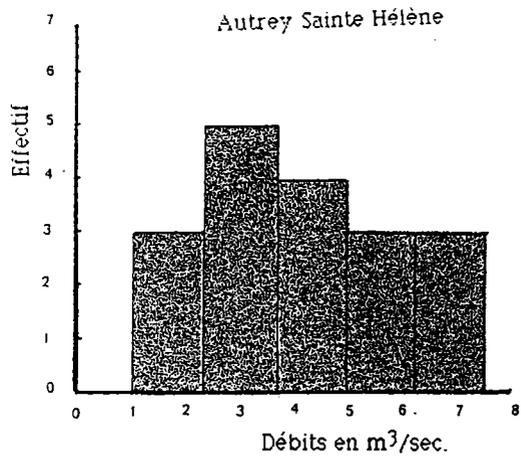


Tableau 36 : Débits mensuels maximums

Autrey Sainte Hélène			Gerbéville			F
Qm 3/s	Année	Mois	Qm 3/s	Année	Mois	Fréquence expérimentale
1.07	1971	Février	5.30	1971	Janvier	0.03
2.10	1972	Décembre	8.10	1985	Janvier	0.08
2.17	1976	Janvier	8.50	1976	Février	0.14
2.44	1985	Mai	8.90	1973	Décembre	0.19
2.75	1975	Janvier	9.65	1972	Novembre	0.25
2.87	1973	Décembre	10.0	1975	Janvier	0.31
3.53	1978	Mars	11.4	1984	Février	0.36
3.57	1974	Décembre	13.3	1980	Février	0.42
3.66	1984	Février	13.9	1986	Avril	0.47
3.87	1980	Février	14.3	1974	Décembre	0.53
4.42	1986	Avril	15.4	1987	Juin	0.58
4.90	1987	Juin	16.9	1978	Février	0.64
5.25	1977	Février	20.5	1981	Décembre	0.69
5.65	1979	Février	20.9	1982	Décembre	0.75
5.95	1970	Février	21.4	1979	Février	0.81
6.45	1982	Janvier	22.9	1977	Février	0.86
6.60	1981	Décembre	27.7	1983	Mai	0.92
7.50	1983	Mai	29.2	1970	Février	0.97

et nous avons représenté sur un graphique à échelle gaussio-logarithmique les débits en fonction de leur fréquence expérimentale d'équation (F) :

$$F = \frac{n-0.5}{N}$$

où n : rang du débit

N : effectif total de l'échantillon.

(cf ANNEXE XVIII)

Sur les graphiques des deux stations les points s'alignent de manière correcte. L'ajustement à une loi log-normale paraît donc satisfaisant. Certaines années apparaissent comme exceptionnelles comme les débits mensuels maximums de 1971 qui sont inférieurs au module interannuel aux deux stations. Cette année est donc extrêmement sèche car si l'étiage est particulièrement sévère (cf. étude des débits mensuels d'étiage), le maximum de l'année n'est même pas représentatif d'un débit de hautes eaux. A l'inverse les années connaissant des crues importantes (en volume et en durée) ont également des maximums mensuels extrêmement élevés. Le débit moyen mensuel de mai 1983 représente 4.5 fois le module interannuel à Autrey et Gerbéviller.

Compte tenu de l'ajustement relativement satisfaisant des logarithmes des valeurs à une loi de Gauss, nous pouvons proposer des volumes fréquentiels pour les débits mensuels maximums.

Tableau N° 37 : Débits mensuels maximums fréquentiels

	Autrey	Gerbéviller
Q _{0.1}	1.97	7.65
Q _{0.2}	2.45	9.40
Q _{0.5}	3.74	13.98
Q _{0.8}	5.70	20.79
Q _{0.9}	7.09	25.55

débits en m³/s

Cependant ces débits sont des moyennes mensuels et ne sont donc pas représentatifs de phénomènes plus ponctuels et limités dans le temps que sont les crues. L'étude des crues nécessite des données saisies à un pas de temps réduit (débits journaliers, voire débits instantanés).

B - Les débits de crue

Nous avons extrait des chroniques d'observations aux stations hydrométriques, un débit moyen journalier maximum par mois et un débit instantané maximum par mois.

1. Les débits moyens journaliers maximums

Sur une période 1970-1987 (18 ans d'observation), un débit moyen journalier par mois constitue un échantillon statistique relativement important soit 216 valeurs. Le traitement statistique d'un tel échantillon est très certainement plus aisé que sur les 18 valeurs traitées jusqu'à présent (modules, débits moyens mensuels d'étiage et maximums).

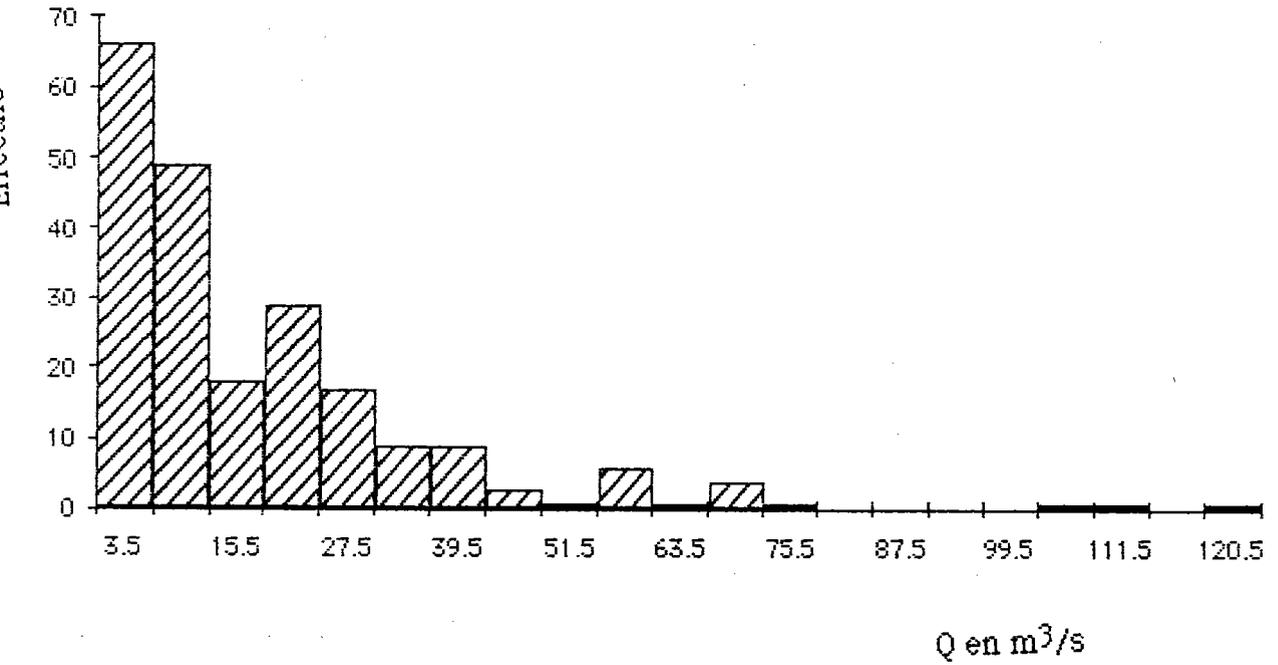
Les débits moyens journaliers maximums de tous les mois de notre période de référence vont de 0.53 à 21.2 m³/s à Autrey, et de 2.56 à 112 m³/s à Gerbéviller. Il est évident qu'avec un tel écart entre les valeurs minimums et maximums et les critères de sélection des valeurs (une valeur par mois), l'échantillon que nous avons constitué n'est pas homogène et que tous ces débits ne sont pas représentatifs des écoulements de la Mortagne en crue.

La distribution de tous les débits moyens journaliers maximums (cf. Fig. N° 54) est très déséquilibrée avec un biais positif très important. Le mode se situe dans la première classe à Gerbéviller et dans la deuxième à Autrey. Les débits appartenant à ces classes sont d'autre part très proches du module interannuel. Ils sont relativement nombreux, il convient donc de trier les débits afin de ne traiter que des valeurs représentatives des débits de crue.

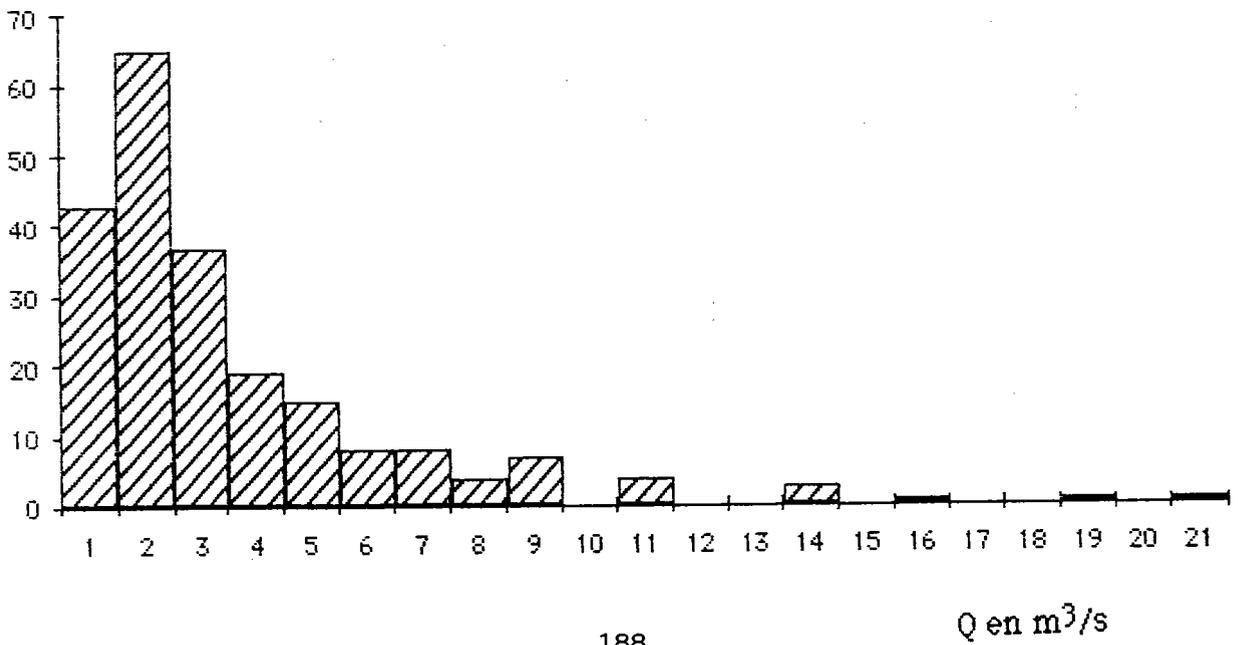
FIG.54

DISTRIBUTION DES DÉBITS JOURNALIERS MAXIMAUX

DÉBITS JOURNALIERS MAXIMAUX (GERBEVILLER 1970-1987)



DÉBITS JOURNALIERS MAXIMAUX (AUTREY 1970-1987)

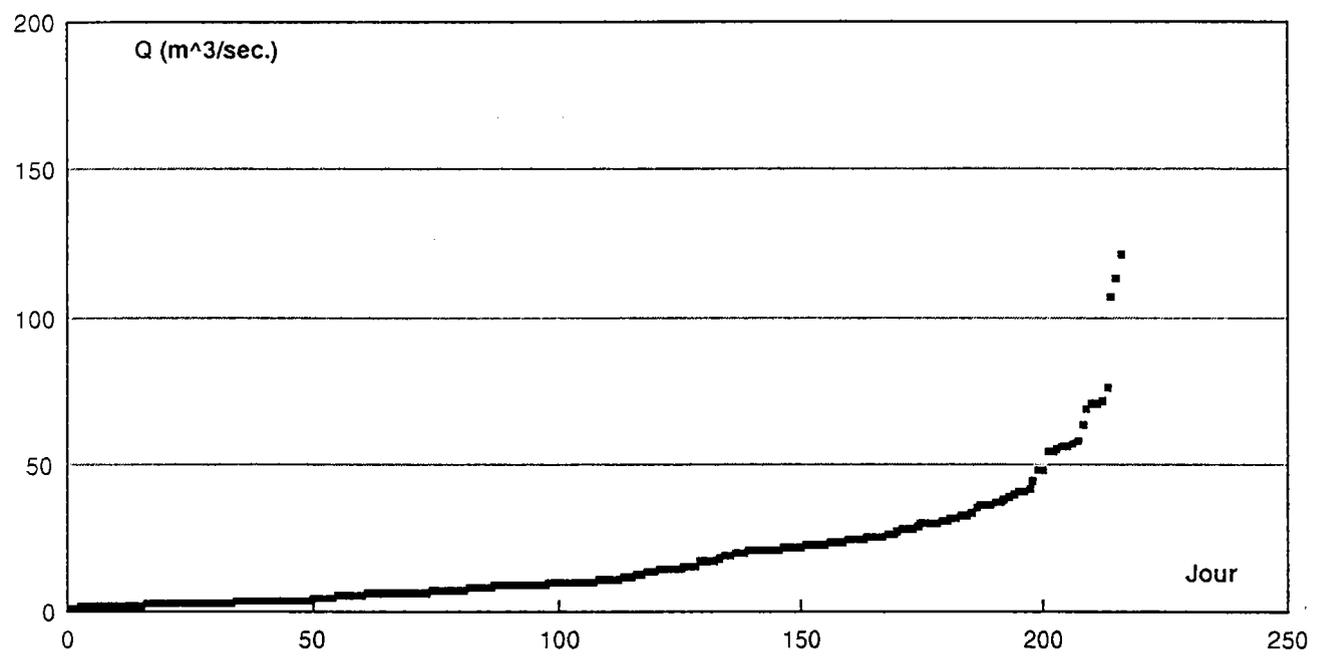


Pour trier ces débits nous les avons classés par ordre croissant et reportés sur un graphique en fonction de leur rang (cf. Fig.55). Pour les valeurs les plus faibles les points s'alignent, par contre on remarque des ruptures dans l'alignement des points vers des débits qui représentent environ le double du module interannuel. Ces ruptures ont donc lieu vers $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ à Autrey et $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$ à Gerbéviller. Ces valeurs pour chacune des deux stations constituent des seuils à partir desquels les débits sont très certainement représentatifs de situation de crue.

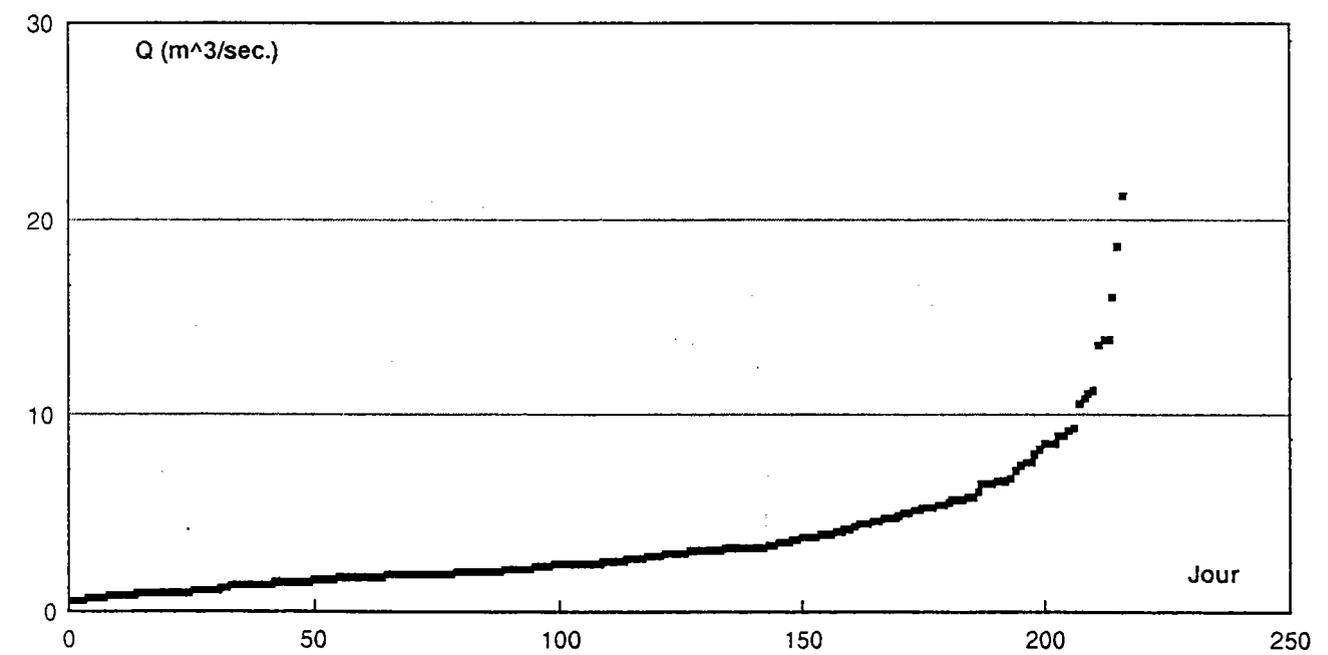
A Autrey, l'échantillon que nous étudions a des débits compris entre 3.56 et $21.2 \text{ m}^3/\text{s}$ soit 70 valeurs et à Gerbéviller entre 12.5 et $121 \text{ m}^3/\text{s}$ soit 100 valeurs. Ces deux nouveaux échantillons ont encore des effectifs relativement conséquents.

La loi de Gumbel (loi des valeurs extrêmes) semble être la plus appropriée pour traiter ce type de données. Cependant en prenant les données brutes, l'ajustement n'est pas satisfaisant. Une "transformée" est nécessaire car en prenant la racine carrée des valeurs de débit l'ajustement à une loi de Gumbel est très satisfaisant (cf. ANNEXE XIX) à la fois à Autrey et à Gerbéviller. Les débits fréquentiels issus de ce traitement sont significatifs de débits de crue et peuvent constituer une référence. Le traitement statistique des débits maximums instantanés permettra de fournir des valeurs fréquentielles représentatives de débits maximums absolus, des pointes de crue.

Débits journaliers maximaux (Gerbéviller 1970-1987)



Débits journaliers maximaux (Autrey 1970-1987)



2. Les débits maximums instantanés

La constitution de l'échantillon statistique des débits maximums instantanés est identique à celle des débits moyens journaliers maximums.

Nous avons extrait le débit maximum instantané de chaque mois, soit une série statistique de 216 valeurs qui s'échelonnent de 0.645 m³/s à 22 m³/s à Autrey, et de 1.08 m³/s à 162 m³/s à Gerbéviller. La distribution de ces débits est identique à celle des débits maximums journaliers avec un biais important vers les valeurs les plus basses.

Ce sont bien sûr les valeurs les plus élevées qui, comme pour les débits journaliers, nous intéressent. Cette allure de la distribution est très certainement liée à un "mélange" de données. Beaucoup de maximums instantanés ne sont pas représentatifs de pointes de crue.

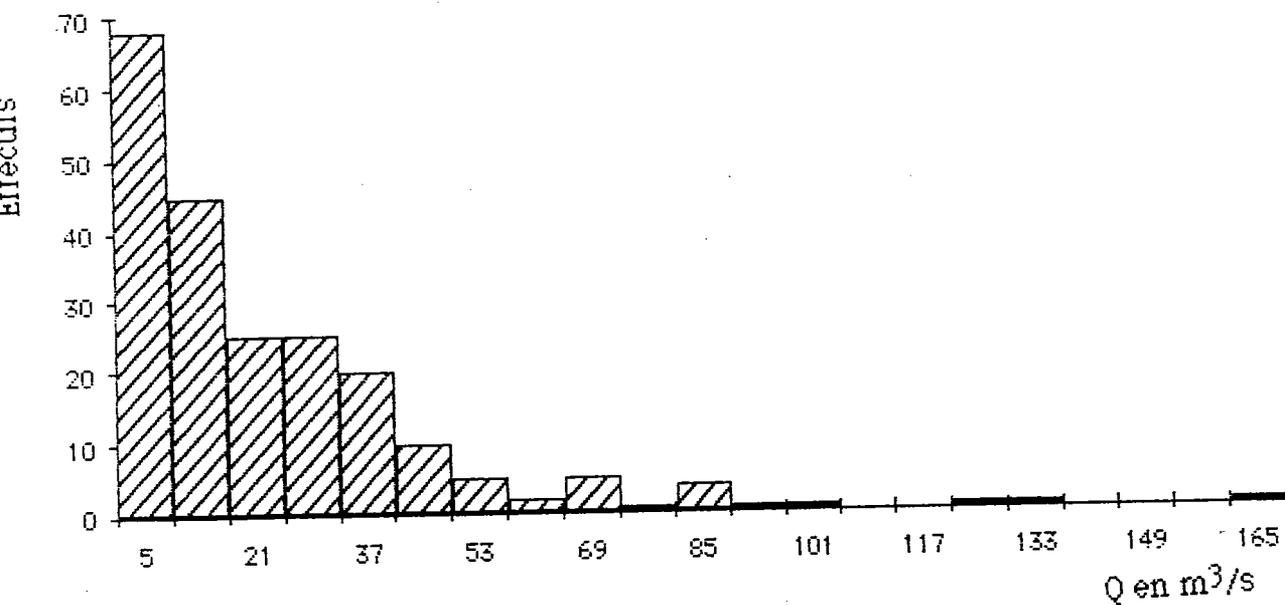
Un classement de ces débits permet de déterminer une limite inférieure pour les maximums journaliers. Cette limite se situe elle aussi vers le double du module aux deux stations soit 12 m³/s à Gerbéviller et 3.6 m³/s à Autrey.

Les séries statistiques que nous allons traiter sont alors réduites à 100 valeurs à Autrey et à 125 valeurs à Gerbéviller. Pour déterminer des débits fréquentiels significatifs de pointes de crue, nous avons utilisé une loi de Gumbel en prenant ici aussi la racine carrée des débits. La similitude entre les distributions des débits maximums instantanés et celle des débits moyens journaliers a justifié le choix de cette "transformée".

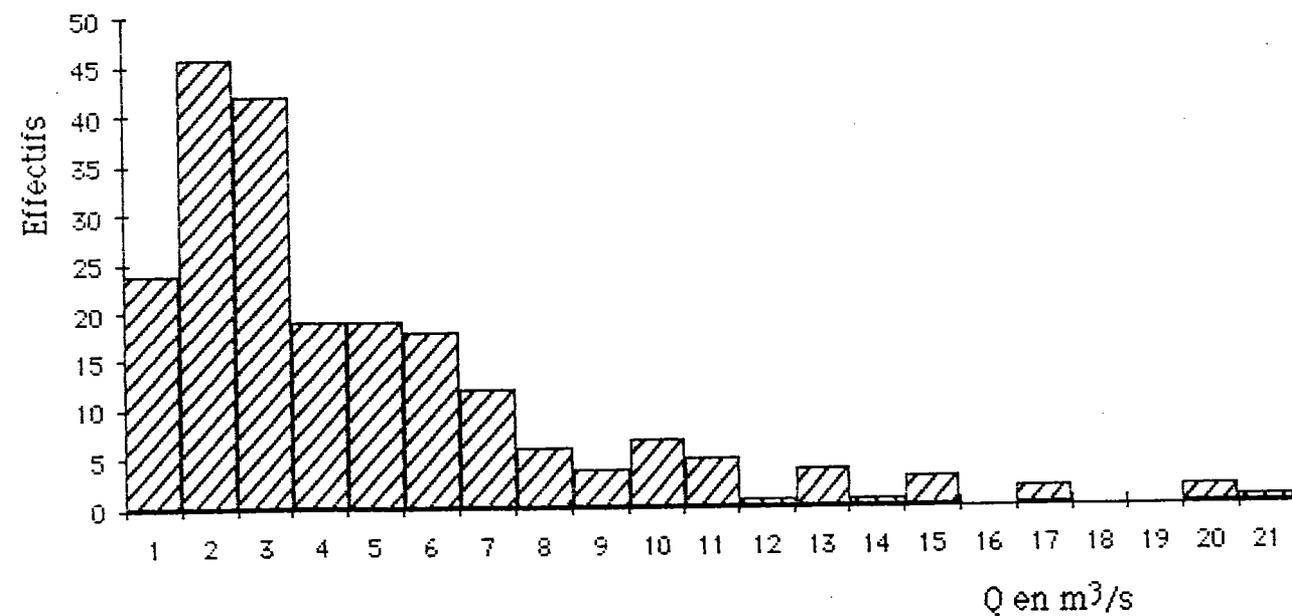
L'ajustement de la racine carrée des débits maximums instantanés à une loi de Gumbel est tout aussi satisfaisant. Les débits fréquentiels provenant de cet ajustement peuvent être considérés comme représentatifs.

FIG.56 DISTRIBUTION DES DÉBITS INSTANTANÉS MAXIMAUX

DEBITS INSTANTANES MAXIMAUX (GERBEVILLER 1970-1987)



DEBITS INSTANTANES MAXIMAUX (AUTREY 1970-1987)

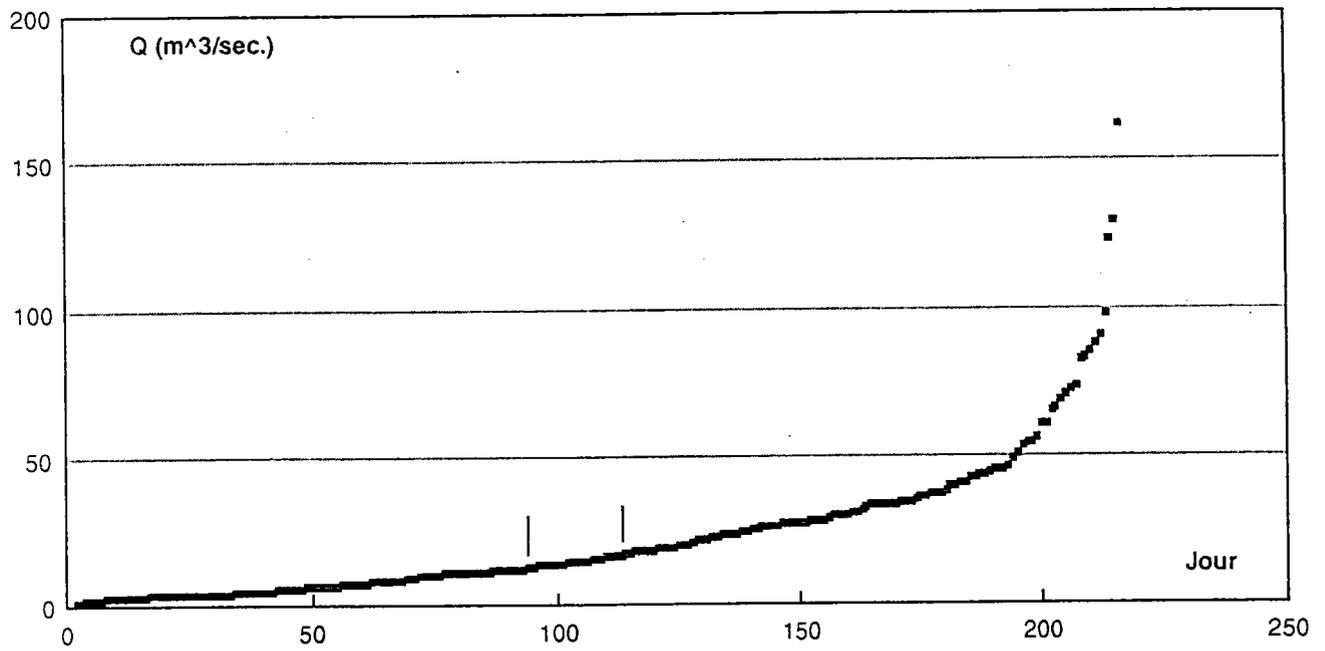


La probabilité de réalisation des écoulements maximums de la Mortagne peut donc être estimée de manière satisfaisante (cf. ANNEXE XX).

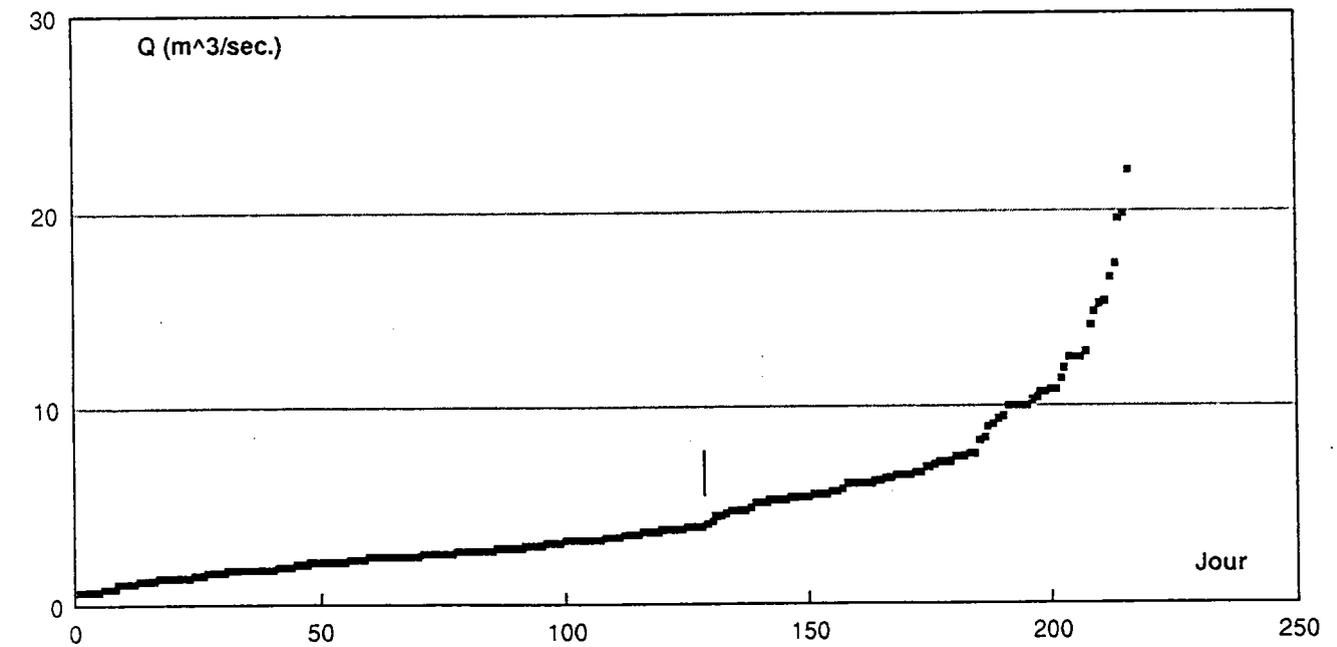
L'étude de quelques épisodes de crue permettra d'éprouver la fiabilité des débits fréquentiels ainsi déterminés.

FIG.57

Débits instantanés maximaux (Gerbéviller 1970-1987)



Débits instantanés maximaux (Autrey 1970-1987)



C - Etude de quelques épisodes de crues

Les données rassemblées dans le tableau ci-dessous proviennent de deux sources : celles concernant Gerbéviller sont tirées d'une «Etude hydrologique des crues de la Moselle et de la Sarre, 1970-1983» de E. GILLE (1991) ; celles d'Autrey ont été calculées par nos soins à partir des limnigrammes et des courbes de tarage fournies par le Service Régional d'Aménagement des Eaux de Lorraine. Les premières sont issues de la banque nationale ; les secondes ne sont pas officielles.

Ces données concernent quelques unes des plus fortes crues de la période 1970-1983.

1. Les volumes de crues

A partir des hydrogrammes, nous avons d'abord repéré le début et la fin de la crue. Si le début de la crue est toujours facilement identifiable, il n'en est pas de même de la fin qui doit beaucoup à une reprise ou non de la pluie, à la part subjective de l'appréciation visuelle, à la qualité des enregistrements.

Dans un second temps sur la période de crue ainsi définie, nous avons distingué deux types d'écoulement : l'écoulement de base dont l'origine sont les nappes souterraines ; et l'écoulement de crue qui correspond au ruissellement superficiel et à l'écoulement dit "hypodermique", soit le ressuyage de la tranche du sol la plus proche de la surface. Les valeurs du tableau 37 sont exprimées en millions de mètres cubes (ou hm^3) et en mm (lame d'eau équivalente). La plus forte valeur a été obtenue en mai 1983 (du 26 au 31) : 33 hm^3 soit 67 mm, l'écoulement de crue représentant 77 % de l'écoulement total de ces cinq jours. Notre intention première était de confronter ces estimations des volumes d'écoulement de crue avec les estimations des pluies moyennes de ces épisodes de crues pour proposer quelques coefficients d'écoulement.

TABLEAU 50:Tableau récapitulatif des épisodes de

crue

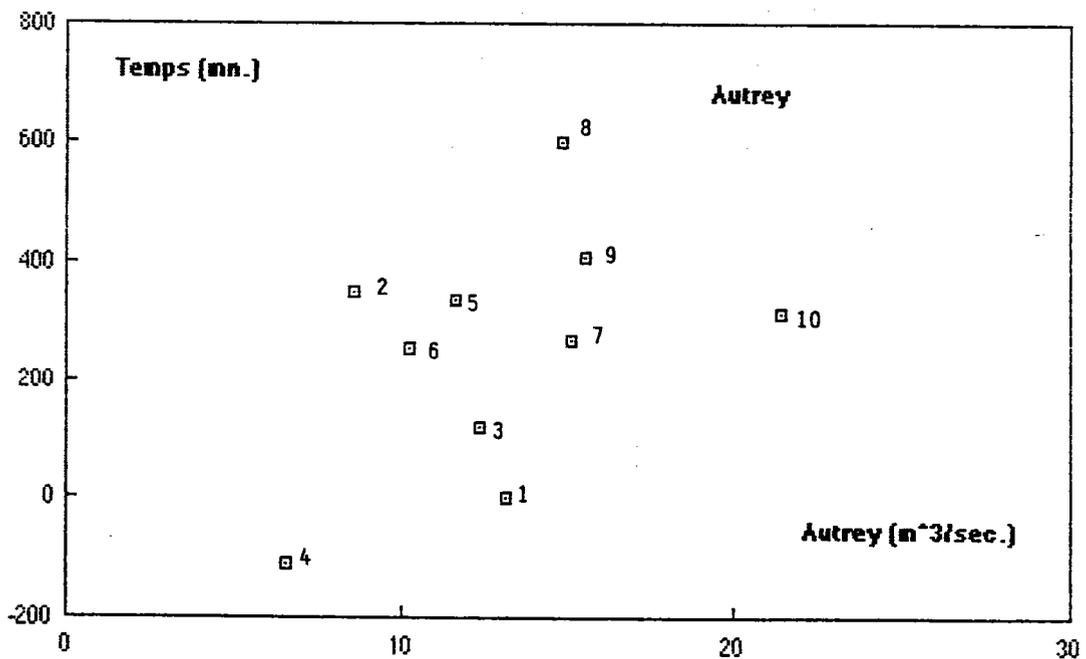
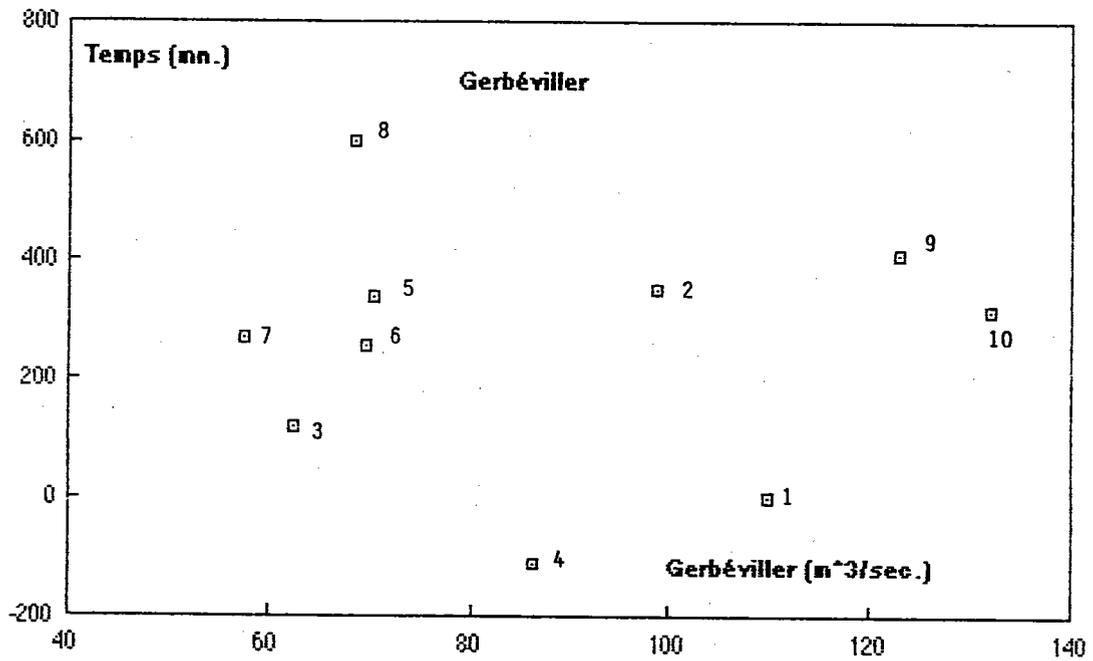
N°	Anné	station	pointe date heure	débit (m3/s)	début crue date heure	débit base	fin crue date heure	débit base	volumes				écarts de temps
									total	base	crue	(%)	
1	1970	Autrey	9/2 23:00	13,1	2/2 7:00	2,15	19/2 10:00	3,33	9,12 93 40	4,29 44 13	4,83 49 27	53	0:03
		Gerbéviller	9/2 23:03	110	2/2 22:00	8,26	15/2 2:12	15,8	20,07 40	6,58 13	13,49 27	67	
2	1972	Autrey	17/11 11:30	8,54	10/11 4:00	0,47	30/11 3:30	2,26	6,95 71	2,36 24	4,60 47	66	5:51
		Gerbéviller	17/11 17:21	98,8	14/11 13:49	3,78	24/11 19:17	8,9	19,55 39	5,6 11	13,95 28	71	
3	1977	Autrey	21/2 6:00	12,3	19/2 12:00	3,04	25/2 16:00	5,24	4,06 41	2,21 23	1,85 19	46	2:03
		Gerbéviller	21/2 8:03	62,4	19/2 10:32	12,4	26/2 3:40	16	18,24 37	8,26 17	9,98 20	55	
4	1978	Autrey	24/2 20:00	6,52	19/2 7:30	2,25	3/3 12:00	3,4	4,20 43	2,97 30	1,22 12	29	-1:52
		Gerbéviller	24/2 18:08	86,3	19/2 11:06	3,41	2/3 10:19	12,3	21,75 44	7,47 15	14,28 29	66	
5	1980	Autrey	4/2 11:30	11,6	30/1 16:00	1,73	12/2 6:00	3,97	6,39 65	3,09 32	3,30 34	52	5:36
		Gerbéviller	4/2 17:06	70,3	30/1 10:10	6,23	10/2 16:48	12	24,12 49	8,91 18	15,21 31	63	
6	1981	Autrey	16/12 14:00	10,2	14/12 2:00	5,7	21/12 10:00	6,35	5,94 61	4,12 42	1,82 19	31	4:14
		Gerbéviller	16/12 18:14	69,4	14/12 5:16	12,5	20/12 3:07	13	12,69 26	6,52 13	6,17 13	49	
7	1982	Autrey	10/1 2:00	15,1	8/1 18:00	4,18	17/1 12:00	6,09	7,53 77	4,03 41	3,49 36	46	4:28
		Gerbéviller	10/1 6:28	57,4	9/1 3:14	11,5	14/1 10:48	15,7	13,92 76	6,26 34	7,66 42	55	
8	1982	Autrey	14/10 2:00	14,8	6/10 15:00	1,08	22/10 10:00	2,6	5,24 53	4,16 42	1,08 11	21	10:00
		Gerbéviller	14/10 12:00	68,4	6/10 22:04	2,83	22/10 18:43	5,44	19,38 39	5,67 11	13,71 28	71	
9	1982	Autrey	17/12 23:00	15,6	15/12 15:00	2,8	27/12 18:00	4,49	9,65 99	4,08 42	5,57 57	58	6:45
		Gerbéviller	17/12 5:45	123	15/12 18:00	9,81	25/12 15:36	12,6	32,64 66	9,62 19	23,02 47	71	
10	1983	Autrey	26/5 13:00	21,4	23/5 17:00	4,18	4/6 20:00	2,5	12,56 128	3,37 34	9,19 94	73	5:14
		Gerbéviller	26/5 18:14	132	23/5 18:33	9,81	31/5 18:57	19	43,01 88	10 20	33,01 67	77	

moyenne de temps entre début de crue et fin de crue

Autrey	:	1054140 (N° 4 et N° 8 exclus)
Gerbéviller	:	605247 (N° 4 et N° 8 exclus)

Figure 58 :

Relation entre débit de pointe et écart de temps entre pointes



2. Le transfert de la pointe de crue entre Autrey et Gerbéviller

L'écart de temps entre les passages de la pointe de la crue aux deux stations rend compte de deux phénomènes.

- le transfert de l'onde de crue
- la hiérarchisation du réseau et la plus ou moins bonne concomittance des apports des affluents avec l'onde de crue de la Mortagne.

Pour 6 de ces 10 crues, l'écart entre pointes de crue oscille entre 4 heures 15 minutes et 6 heures 45 minutes, soit une moyenne de l'ordre de 5 heures 30 minutes, ce qui correspond à une vitesse moyenne de 6.5 km/h.

En février 1977 (crue N° 3) cependant, l'écart n'est que de 2 heures, tandis qu'en octobre 1982 (crue N° 8), il atteint 10 heures.

Enfin en février 1970 (crue N° 1) la pointe passe en même temps aux deux stations, et en février 1978 (crue N° 4) le maximum est atteint à Gerbéviller 2 heures avant Autrey.

Nous retiendrons de cette analyse, que la vitesse moyenne du transfert de l'onde de crue de la Mortagne avoisine les 6.5 km/heure, et que dans un certain nombre de cas, les apports des affluents peuvent intervenir de façon efficace dans le débit maximum à Gerbéviller.

On notera, par ailleurs, qu'il n'existe aucune relation entre débit de pointe et écart de temps entre pointes ni pour Autrey ni pour Gerbéviller (voir Fig. 58)

3. Les débits de pointe : Relation entre Autrey et Gerbéviller

Nous avons cherché à reconnaître parmi ces dix crues celles qui se représentaient comme des crues où tout le bassin participait de façon à peu près homogène. Nous avons ainsi mis en relation les débits maxima instantanés aux deux stations (Fig.59).

Sur la figure 59 (voir ci-dessous) apparaissent deux groupes de cinq crues :

- le premier (crues 4, 2, 1, 9, 10) montre une tendance qu'on peut exprimer en première analyse par une relation linéaire :

$$Q_{\text{max.inst.Gerb.}} = 3.2 Q_{\text{max.inst.Aut.}} + 67 \text{ m}^3/\text{s}$$

Toutes ces crues sont supérieures à 85 m³/s à Gerbéviller, jusqu'à 132 m³/s. et s'étalent de 6 à 21 m³/s à Autrey. Cette tendance détruit toute idée d'une production de la crue proportionnelle à la surface du bassin considéré : en effet, pour 10 m³/s à Autrey, elle donne 100 m³/s à Gerbéviller, soit un rapport de 10 ; pour 20 m³/s à Autrey, 130 m³/s à Gerbéviller, soit un rapport de 6.5. Or le rapport des surfaces de bassin est de 5.

Cependant, la tendance qui se dégage des crues 4, 2, 1, 9 et 10, ne saurait faire figure de loi. S'il est remarquable que ces 5 points s'alignent, on ne pourrait écarter l'hypothèse d'une coïncidence qu'en accumulant d'autres observations.

- le deuxième groupe (crues 3, 5, 6, 7, 8), n'affiche aucune tendance et peut être caractérisé par ses moyennes puisque les valeurs s'échelonnent de 10 à 15 m³/s à Autrey et de 57 à 70 à Gerbéviller :

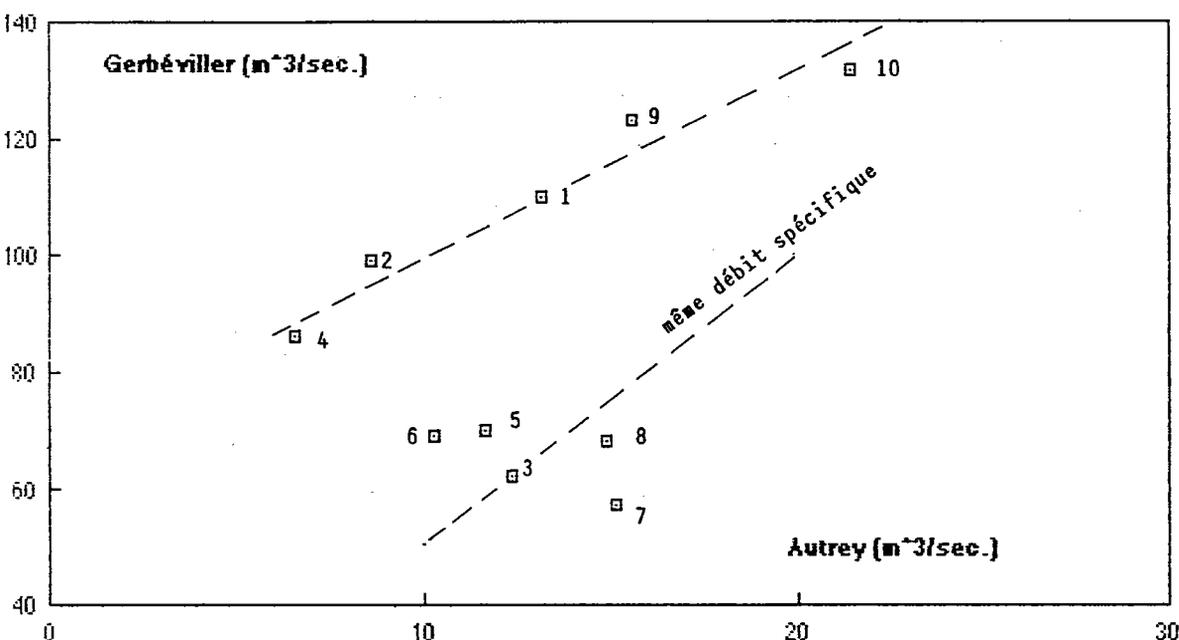


FIG.59 RELATION ENTRE LES DÉBITS DE POINTE À AUTREY ET GERBEVILLER

- moyenne des crues 3, 5, 6, 7, 8 à Autrey
= 12.8 m³/s 131 l/s/km²
- moyenne des crues 3, 5, 6, 7, 8 à Gerbéviller
= 65.6 m³/s 134 l/s/km²

Le rapport des moyennes est de 5.1 ce qui est tout à fait proche du rapport des surfaces du bassin (5).

Un point au moins de cette analyse mérite un commentaire :

Le rapport entre les débits de pointes est toujours égal ou supérieur au rapport des surfaces, c'est à dire que le débit spécifique instantané est en général plus faible à Autrey qu'à Gerbéviller, ce qui va à l'encontre de toutes les conclusions qu'on peut tirer des études de pentes, de formes des bassins, et de répartition de la pluviométrie.

Le bassin d'Autrey connaît des pentes largement plus fortes que celles que l'on trouve sur le bassin intermédiaire d'Autrey à Gerbéviller. La forme plus dense du bassin d'Autrey est beaucoup plus favorable à la formation de crues pointues que celle du bassin de Gerbéviller, très allongé. Enfin, la pluviométrie moyenne est supérieure de près de 150 mm sur le bassin d'Autrey, et l'effet orographique n'est pas moindre lors des grands épisodes pluvieux de saison froide ou intermédiaire que l'été (voir ANNEXE XV).

A l'explication de ce phénomène peuvent être proposées deux hypothèses :

- nous ne pouvons écarter une mauvaise connaissance de la relation hauteur-débit à la station d'Autrey se traduisant par une sous-estimation des débits maximaux (les courbes de tarage de Gerbéviller ont fait l'objet d'une critique systématique en 1986 par E. GILLE). Mais cette hypothèse est peu satisfaisante (et peu élégante).
- Il semble beaucoup plus raisonnable de chercher une explication naturaliste. Le bassin d'Autrey est en effet constitué essentiellement dans les grès largement recouverts de forêts de conifères. La relative faiblesse des débits maximaux à Autrey tient sans doute à ces deux aspects de la physiographie du bassin : les grès sont perméables, notamment en surface dans la zone d'altération, et le manteau d'aiguilles d'épicéas au sol n'autorise que le développement de formations pédologiques de type podzol, lessivé, très infiltrant. Il se constitue donc une sorte de réservoir de subsurface où l'eau des pluies peut s'accumuler en attendant de s'infiltrer en profondeur lorsque l'intensité des précipitations est supérieure au débit d'infiltration.

L'effet modérateur de la forêt sur les pointes de crue serait donc illustré ici de façon remarquable et notamment pour la crue de Mai 1983 (219 l/s/km² à Autrey et 269 l/s/km² à Gerbéviller).

4. Les débits de pointe : étude fréquentielle

Les épisodes de crues qui sont analysés ici, font partie de la série des débits maximums instantanés mensuels, et l'étude qui a été menée plus haut permet d'en proposer leurs caractéristiques fréquentielles.

Les valeurs de fréquence des tables des quantiles (cf. ANNEXE XX) doivent être interprétées en raison du choix que nous avons fait de ne retenir que les valeurs supérieures à deux fois le module. La méthode pourrait être la suivante.

Soit un débit maximum instantané à Autrey de $Q = 3.53 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$Q \rightarrow \sqrt{Q} = 1.878$$

table des quantiles : $\sqrt{Q} \rightarrow 0.05$

Ce 0.05 signifie que la probabilité pour qu'un débit instantané maximum mensuel soit inférieur à $3.53 \text{ m}^3/\text{s}$ est de 5 %. A condition que ce débit soit supérieur à deux fois le module. Pour simplifier, puisque la loi "Racine Gumbel" ne concerne que les 100 valeurs les plus élevées de la série des 216 valeurs mensuelles (18 ans), soit 46 %, nous dirons que la probabilité de non-dépassement de cette valeur de $3.55 \text{ m}^3/\text{s}$ ramenée à l'échantillonnage mensuel (P_{em}) est :

$$P_{em}(3.53) = 0.54 + [0.05 \cdot 0.46] = 0.563$$

Ce quantile 0.563 peut être alors traduit en fréquence de retour : la valeur de $3.53 \text{ m}^3/\text{s}$ devrait être dépassée entre 6 et 7 mois par an.

Cet arrangement entre fréquence expérimentale et fréquence calculée par ajustement statistique ne se justifie que pour proposer une expression annuelle des valeurs de fréquence afin de les comparer avec les résultats d'autres études.

Les échantillons ajustés par "Racine-Gumbel" représentent 46 % de la série mensuelle totale pour Autrey (100 valeurs) et 58 % pour Gerbéviller (125 valeurs). Sachant que le seuil a été fixé à deux fois le module dans l'un et l'autre cas, cette différence confirme tout à fait les remarques que nous faisons plus haut à propos du débit spécifique instantané de crue : les forts débits sont modérés à Autrey, en raison vraisemblablement, comme on l'a vu, de la physiographie du bassin (en compensation, comme nous le verrons plus loin, les débits d'étiage y sont plus soutenus).

Les valeurs des fréquences du tableau ci-dessous (Tableau 38) ont donc été calculées selon la "méthode indiquée) :

Tableau 38 : Caractéristiques fréquentielles de dix crues

N°	Année	Autrey			Gerbéviller		
		Q	\sqrt{Q}	Pem	Q	\sqrt{Q}	Pem
1	1970	13.1	3.6	0.96	110	10.5	0.989
2	1972	8.5	2.9	0.86	98.8	9.9	0.98
3	1977	12.3	3.5	0.95	62.4	7.9	0.94
4	1978	6.5	2.6	0.77	86.3	9.3	0.98
5	1980	11.6	3.4	0.94	70.3	8.4	0.96
6	1981	10.2	3.2	0.91	69.4	8.3	0.95
7	1-82	15.1	3.9	0.98	57.4	7.6	0.93
8	10-82	14.8	3.8	0.97	68.4	8.3	0.95
9	12-82	15.6	3.9	0.98	123.0	11.1	0.993
10	1983	21.4	4.6	0.994	132.0	11.5	0.996

Pem : Probabilité de non dépassement ramenée à l'échantillonnage mensuel

5. Critique

La crue de mai 1983 aurait, selon cette manière de calculer, une fréquence de retour de 14 ans à Autrey et 21 ans à Gerbéviller, la crue de décembre 1982, 4 ans à Autrey, 12 ans à Gerbéviller.

Une étude réalisée en 1985 (Mosella tome XV) sur les maximums annuels de la période 1919-1984 a affecté les durées de récurrence suivantes à Malzéville (Meurthe, 2900 km² dont le bassin de la Mortagne) : décembre 1982 : 10 ans- mai 1983 : 30 ans. Pour décembre 1982 le chiffre est tout à fait comparable à celui de Gerbéviller, pour mai 83, la différence n'est pas négligeable et montre les limites de notre étude mensuelle : En effet, pour revenir en fréquence annuelle la probabilité d'occurrence doit être multipliée par 12 et en dessous de 1 % (ce qui correspond à 8-9 ans), la précision devient délicate voire illusoire.

Conclusion de l'étude des débits maximaux

Nous retiendrons de cette étude qu'une étude statistique des données mensuelles peut permettre de caractériser de façon satisfaisante une série trop courte pour une analyse annuelle. L'évidente concordance entre les fréquences de retour estimées à Gerbéviller et celles reconnues à Malzéville pour une série de données annuelles s'appuyant sur d'autres observations valide ainsi la démarche de notre analyse.

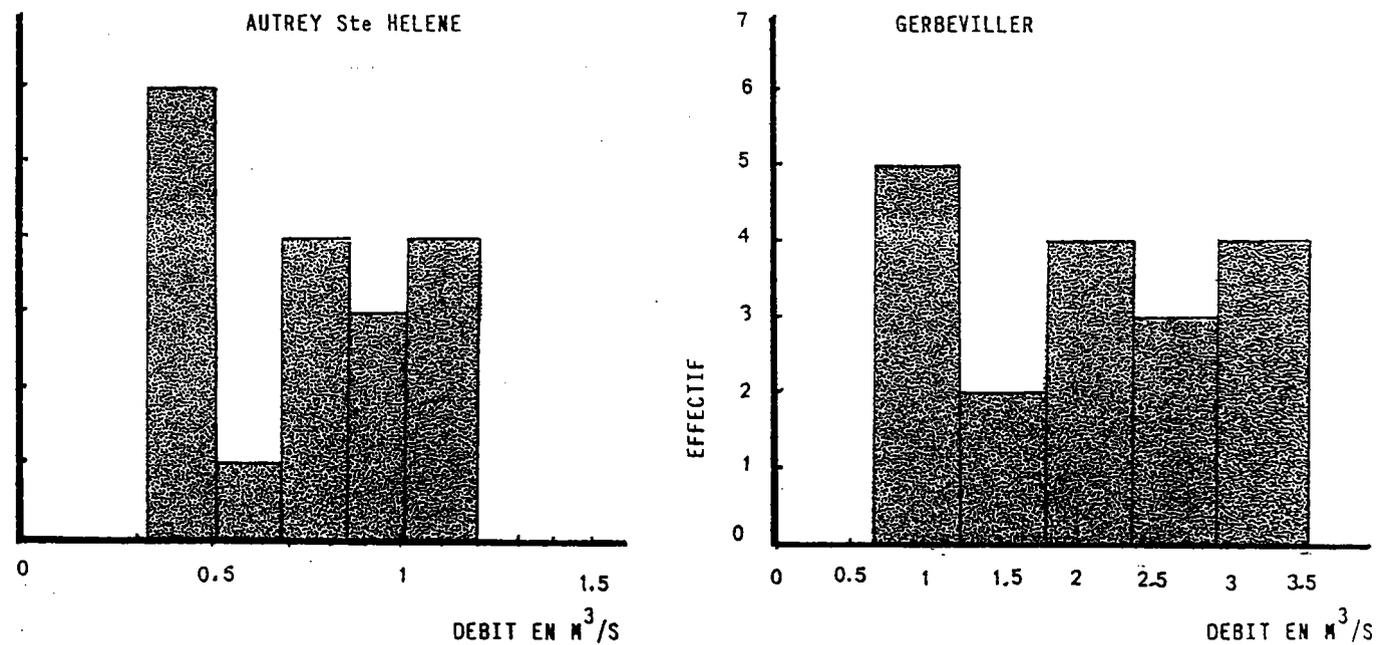
D - Les débits d'étiage

1. Etude statistique des débits moyens mensuels d'étiage

Les débits moyens mensuels minimums de chacune des années de notre période de référence sont représentatifs des débits de la Mortagne en période d'étiage.

Ces valeurs sont intéressantes à utiliser car elles s'obtiennent facilement. Il n'est pas nécessaire de faire un classement préalable des débits moyens journaliers. D'autre part l'étiage se déroule sur une période relativement longue et la durée d'un mois correspond relativement bien à cette durée.

Figure 60 : Distribution des débits mensuels d'étiage



Cependant on peut opposer à ce choix que l'échelle calendaire ne s'adapte pas bien au comportement de la rivière. Ainsi sur la durée d'un mois, des pluies peuvent influencer le débit de sorte que l'écoulement n'est plus exclusivement soutenu, par les nappes. Certains mois ne seront donc pas représentatifs d'un étiage.

La distribution des débits moyens mensuels d'étiage montre cette disparité (cf. Fig. 60) entre les débits réellement représentatifs d'un étiage et les débits moyens mensuels influencés par des précipitations.

Tableau 39 : Indice de sévérité des débits moyens

$$\text{mensuels d'étiage : SN \%} = \frac{Q_{\text{étiage}}}{\text{module}} * 100$$

Autrey Sainte Hélène			Gerbéville			F (Fréquence expérimentale)
Qm 3/s	Année	S N %	Qm 3/s	Année	S N %	
0.336	1976	19	0.685	1976	11	0.03
0.402	1971	23	0.875	1972	14	0.08
0.438	1974	25	1.060	1971	17	0.14
0.446	1973	25	1.090	1973	18	0.19
0.490	1972	28	1.110	1974	18	0.25
0.510	1985	29	1.610	1985	26	0.31
0.695	1975	39	1.710	1975	28	0.36
0.725	1977	41	1.850	1983	30	0.42
0.755	1983	43	2.040	1979	34	0.47
0.825	1978	47	2.200	1977	36	0.53
0.845	1979	48	2.290	1982	38	0.58
0.920	1987	52	2.400	1978	39	0.64
0.925	1981	52	2.420	1984	40	0.69
1.000	1984	56	2.540	1970	42	0.75
1.080	1970	61	3.130	1986	51	0.81
1.090	1982	62	3.130	1980	51	0.86
1.200	1986	68	3.170	1987	52	0.97
1.210	1980	68	3.520	1981	58	0.97

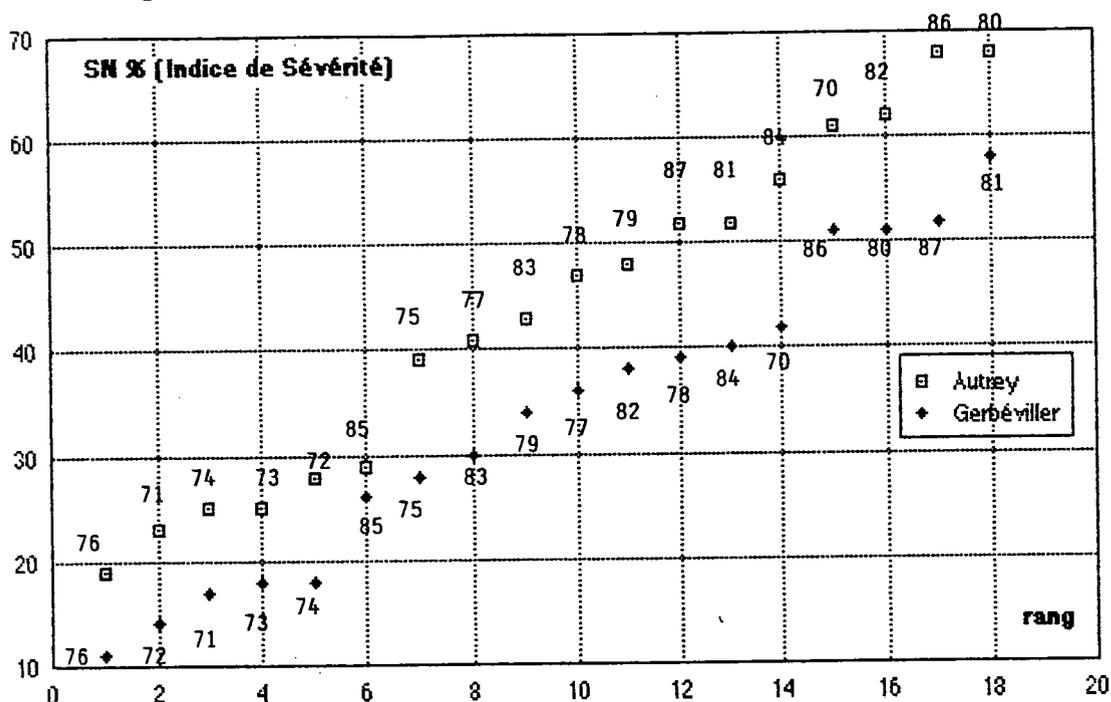
Les indices de sévérité rendent compte aussi de l'hétérogénéité des débits mensuels d'étiage (cf. Tableau N° 39). Ils s'échelonnent de 19 à 68 % à Autrey et de 11 à 58 % à Gerbéviller. Les étiages sont donc proportionnellement au module interannuel plus sévères à Gerbéviller qu'à Autrey (les débits de cette station sont soutenus de manière importante par la nappe des grès en étiage). Il est évident qu'un débit mensuel d'étiage, dont l'indice de sévérité atteint 68 % est peu caractéristique d'une situation d'étiage.

On peut donc considérer que les échantillons statistiques constitués des débits moyens mensuels d'étiage aux stations d' Autrey Saint Hélène et Gerbéviller comprennent deux types de données suivant l'importance de l'influence des précipitations durant les mois d'étiage.

Cet échantillon a donc une distribution bimodale (cf. Fig. 60) avec une première concentration autour des étiages très sévères (entre 10 et 20 % du module à Gerbéviller et entre 20 et 30 % du module à Autrey), puis une classe où les effectifs sont très peu nombreux (entre 20 et 30 % du module à Gerbéviller, et entre 30 et 40 % du module à Autrey). Le reste des débits est compris entre 40 et 70 % du module à Autrey et entre 30 et 70 % du module à Gerbéviller, et constitue une deuxième concentration plus étalée que la première et donc plus hétérogène.

Cette distribution particulière apparaît aussi sur le graphique des débits moyens mensuels d'étiage triés (voir ci-après cf. Fig. 61). Le troisième groupe d'étiages est constitué de valeurs relativement élevées peu représentatives d'une situation d'étiage. Par exemple le débit le plus élevé à Autrey correspond au débit d'étiage de 1980 enregistré au mois de mai. Cet étiage paraît particulièrement précoce, la fin du printemps et l'été très arrosés n'ont pas permis une baisse des débits après le mois de mai.

Figure N°61: Débits moyens mensuels d'étiage classé



On remarque des ruptures dans l'alignement des points avec un premier groupe d'étiages particulièrement sévères (1976, 1972, 1971, 1973 et 1974 à Gerbéviller et 1976, 1971, 1974, 1972 et 1985 à Autrey) qui constituent la première classe des histogrammes de distribution, les autres étiages sont beaucoup moins sévères et s'alignent jusqu'au quatrième rang à Gerbéviller et jusqu'au dix-septième rang à Autrey.

Compte tenu de la distribution particulière des débits moyens mensuels d'étiage (biais positif lié à la concentration des débits d'étiage les plus sévères), nous utiliserons une loi log-normale à deux paramètres. Pour chacun des débits mensuels d'étiage nous prendrons son logarithme. Les débits fréquentiels seront déterminés à partir de l'équation de la droite de Henri :

$$Q_F = Q + \mu \sigma_n$$

avec Q égal à la moyenne des logarithmes des débits, μ représente la variable de Gauss et σ_n l'écart-type des logarithmes. La fréquence expérimentale (F) des débits mensuels d'étiage est définie par :

$$F = \frac{n-0.5}{N}$$

où n : rang du débit

N : l'effectif total de l'échantillon.

(ANNEXE XVIII)

Sur les graphiques représentant les fréquences des débits mensuels d'étiage sur un papier à échelle gaussio-logarithmique (ANNEXE XVIII), on remarque une disposition particulière des points autour de la droite de Henri avec les groupes de débits d'étiage déjà décrits auparavant. Sur le graphique N° 61, relatif aux débits d'étiage d'Autrey, les débits d'étiage de 1976 à 1985 s'alignent, ainsi que ceux de 1975 à 1982.

Pour Gerbéviller les alignements sont moins bien réalisés, mais les groupes de débit existent (de 1976 à 1974, de 1985 à 1970 et de 1986 à 1981).

Les fréquences théoriques ne sont donc pas représentatives.

Les difficultés d'ajustement de l'échantillon des débits mensuels d'étiage à une loi statistique proviennent vraisemblablement de la disparité des valeurs qui peut être corrigée par une anamorphose simple.

Tableau 40 : débits mensuels d'étiage fréquentiels déterminés
à l'aide d'une loi log normale

Autrey					Gerbéviller				
Q _{0.1}	Q _{0.2}	Q _{0.5}	Q _{0.8}	Q _{0.9}	Q _{0.1}	Q _{0.2}	Q _{0.5}	Q _{0.8}	Q _{0.9}
0.426	0.510	0.718	1.010	1.207	0.994	1.230	1.851	2.785	3.445

débits : m³/s

D'autre part, un échantillon de 18 valeurs est relativement restreint pour un traitement statistique élaboré. Avec davantage de valeurs il eut été possible de trier les débits et ne prendre en compte que les débits représentatifs d'une situation d'étiage.

2. Les débits journaliers non dépassés sur 10 jours consécutifs

Ces débits sont très certainement plus représentatifs d'une situation d'étiage, cependant ils nécessitent un traitement préalable des débits (classement).

D'autre part il est préférable de prendre un "débit limite" sur une durée de dix jours, car le minimum absolu de l'année est très peu fiable. En effet pour les faibles hauteurs les courbes de tarage des stations hydrométriques ont une marge d'erreur relativement importante. Avec ce type de donnée, les erreurs relatives aux hauteurs d'eau les plus basses de l'année risquent moins d'être prises en compte.

L'échantillon statistique que nous allons traiter est donc constitué de 18 valeurs (un débit par an) qui vont de 0.360 m³/s à 1.09 m³/s à Autrey, et de 0.670 m³/s à 3.41 m³/s à Gerbéviller. Ces maximums et ces minimums correspondent respectivement à 1980 et 1976 à Autrey et à 1976 et 1987 à Gerbéviller.

Comparativement au module interannuel des deux stations ces débits sont particulièrement indigents. Compte tenu de la faible dispersion des données, nous avons ajusté la racine carrée des valeurs à une loi de Gauss. Le biais de la distribution est relativement faible et c'est une "transformée" en racine carrée qui a donné l'ajustement le plus satisfaisant. Nous pouvons donc proposer des débits fréquentiels pour les situations d'étiage les plus sévères (cf ANNEXE XX).

CHAPITRE - II SPATIALISATION DES DEBITS D'ETIAGE DE 1989

Dans ce qui précède, les débits de la Mortagne ont été étudiés d'après les stations d'Autrey et de Gerbéviller.

Dans cette partie, nous complétons l'analyse des étiages de la Mortagne par une étude de la répartition des écoulements à l'intérieur du bassin en basses eaux.

Cette étude comprend l'interprétation des mesures de débit, réalisées au cours de l'été 1989, sur toutes les branches du réseau hydrographique (Campagnes de mesures d'étiage du C.E.G.U.M. effectuées pour le compte de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse) et notamment :

- caractéristiques et significations des profils hydrologiques (réalisés pour les principales artères du réseau hydrographique) : relation débits-surface et débits-longueur du réseau hydrographique.
- cartographie des débits d'étiage.

A.- Les Mesures

Une centaine de jaugeages ont été effectués sur la Mortagne et ses affluents lors de 3 campagnes.

Ces campagnes permettent en plus d'une critique des résultats obtenus, un suivi de la baisse des débits entre juin et octobre. Elles sont complétées par une cinquantaine de mesures réalisées à la fin de l'étiage 1989 et qui ne concernent que le réseau hydrographique principal (4^e campagne).

Les points de mesures figurent sur les cartes ANNEXE XXI.

Les résultats des jaugeages ainsi que les surfaces de bassins versants drainés à chaque point sont reportés en ANNEXE XXII.

1. Situation hydrologique des campagnes de mesure

a) Caractéristiques de l'étiage 1989 par rapport à ceux de la période étudiée précédemment

L'étude fréquentielle que nous avons effectuée à partir des débits caractéristiques d'étiage aux stations hydrométriques d'Autrey Ste. Hélène et de Gerbéviller, nous permet de caractériser les débits d'étiage que nous avons mesurés.

Tableau 41 : Débits mesurés aux stations hydrométriques et fréquences

	1 ^e camp.	2 ^e camp.	3 ^e camp.	4 ^e camp.
Débits à Autrey	0.671	0.512	0.544	0.479
Indice de sévérité	39 %	30 %	32 %	28 %
Fréquence des Q_d	0.5-0.6	0.2-0.3	0.3-0.4	0.2-0.3
Fréquence des Q_m	0.4-0.5	0.2-0.3	0.2-0.3	0.1-0.2

Débits à Gerbéviller	0.615	1.274	1.346	1.144
Indice de sévérité	26 %	21 %	22 %	18 %
Fréquence des Q_d	0.4-0.5	0.2-0.3	0.3	0.1-0.2
Fréquence des Q_m	0.3-0.4	0.1-0.2	0.2-0.3	0.1-0.2

Q_d : débits non-dépassés sur 10 jours consécutifs

Q_m : débits mensuels

Les deux stations réagissent de manière similaire lors des différentes campagnes que nous avons effectuées. Les indices de sévérité et certaines fréquences sont, malgré tout, plus élevés à Autrey qu'à Gerbéviller (d'une manière générale la station d'Autrey subit moins sévèrement les étiages grâce au soutien de la nappe des grès. cf. troisième partie).

C'est la quatrième campagne effectuée au mois d'octobre qui a permis de mesurer les débits d'étiage les plus bas (entre les fréquences 0.1 et 0.2). A l'inverse lors de la première campagne du mois de juin, les débits étaient encore relativement élevés (entre les fréquences 0.5 et 0.6 à Autrey et entre 0.4 et 0.5 à Gerbéviller). Les deuxième et troisième campagnes sont assez proches et se situent entre les fréquences 0.2 et 0.3 (sauf à Autrey pour la 3^e campagne avec les débits non-dépassés sur 10 jours consécutifs où la fréquence est un peu plus faible).

Suivant la sévérité des étiages mesurés dans le bassin de la Mortagne, l'équilibre des nappes est différent et on pourra déceler quelques petites différences dans la spatialisation des débits d'étiage lors des 4 campagnes.

b) Les fluctuations limnigraphiques au moment des mesures

Les campagnes de jaugeages ont été réalisées au cours de périodes globalement stables au plan hydrologique.

Dans le détail, la situation hydrologique peut être appréciée à partir des enregistrements limnigraphiques de la station de Ste. Hélène (cf. ANNEXE N° XXIII). Ceux-ci montrent que les hauteurs d'eau, généralement faibles, comprennent parfois quelques fluctuations, en liaison avec des manipulations d'eau d'origine anthropique ou avec des averses.

Les perturbations les plus importantes concernent la première campagne. Aux autres campagnes, les limnigrammes sont à peu près plats.

La première campagne (20 - 22 juin 1989)

Le limnigramme d'Autrey

enregistre une hauteur d'eau s'abaissant lentement entre le 18 et le 21 juin (0.21 à 0.20 m). Du fait d'une averse orageuse, cette hauteur augmente de 4 cm dans la matinée du 22 juin. Les points de jaugeages susceptibles d'être influencés du fait de ces pluies figurent dans le tableau 42 ci-dessous.

Tableau 42 : Les points de jaugeage susceptibles d'être surestimés
(Date de jaugeage : le 22 juin 1989)

N° du points	Heure	Débit (l/sec.)
MT23d10	10 : 10	83
MT23d5	10 : 30	60
MT23d4	10 : 45	140
MT23d3	11 : 00	2 (estimé)
MT23d2	11 : 20	16
MT26d10	09 : 25	28
MT26d9	09 : 45	67
MT26d8		3.2 (bassine)
MT26d7		4.8 (bassine)
MT26d6	10 : 15	80
MT26d5	10 : 30	122
MT26d4		5
MT26d3		0.75(bassine)
MT26d2	11 : 00	181
MT26d1	11 : 50	168
PA2d	09 : 25	46
PA1	09 : 45	104
PA4	10 : 15	75
PA7	11 : 00	86
PA9	12 : 05	81
20 points de jaugeage		

Ces points concernent le ruisseau de Gaindrupt (MT23), le ruisseau de Monseigneur (MT26) et certains points du Padozel (PA). Mais aucun point sur la Mortagne n'a été jaugé ce jour-là (jaugeages datant de la veille).

c) Correction des données influencées à la première campagne

Les données non influencées par les pluies, collectées lors des autres campagnes, peuvent servir à corriger celle du 22 juin.

L'influence des pluies peut être perçue à travers les débits spécifiques. Le tableau 43 contient, pour chacune des campagnes de mesure la moyenne des débits spécifiques de la Mortagne amont, du ruisseau de Gaindrupt, du ruisseau de Monseigneur et du Padozel.

Tableau 43 : Les moyennes des débits spécifiques

Points	1 ^{re} camp.	2 ^e camp.	3 ^e camp.
Réseau principal	7.22	5.51	5.74
Gaindrupt	12.26	2.50	3.72
Monseigneur	5.84	3.02	2.72
Padozel	3.95	0.44	0.46

débit spécifique : l/sec./km²

A partir de ces moyennes, on calcule le rapport entre la moyenne des débits spécifiques de chaque ruisseau, et celle de la Mortagne amont épargnée par les pluies

Tableau 44 : Les rapports des débits spécifiques

Points	1 ^{re} camp.	2 ^e camp.	3 ^e camp.
Gaindrupt	1.70	0.45	0.65
Monseigneur	0.81	0.55	0.47
Padozel	0.55	0.08	0.08

On constate ainsi que les rapports sont peu variables pour les deuxième et troisième campagnes.

Par contre, pour le ruisseau de Gaindrupt et le Padozel, leur valeur élevée est bien la traduction de l'influence des pluies.

Les résultats des campagnes de jaugeages de 1989 correspondent donc à un étiage de sévérité moyenne.

Mais on constate à la lecture du tableau général des résultats d'autres anomalies, non associées aux fluctuations inscrites sur les limnigrammes. Elles sont dues à des erreurs de mesures ou à des influences anthropiques ponctuelles. Elles nécessitent l'utilisation d'autres méthodes de correction.

B - Corrélation-reconstitution des données

«A part les perturbations par des précipitations orageuses, les erreurs peuvent être nombreuses et importantes, sans qu'on puisse toujours en déterminer la cause essentielle. Il est donc nécessaire de corriger les erreurs les plus flagrantes.»

«La correction des données aberrantes peut être effectuée en utilisant la méthode du double cumul. En effet, on peut considérer que le profil hydrologique représente le cumul des débits, d'amont en aval, qui transitent dans la rivière principale. La similitude entre l'évolution relative des débits d'une campagne à l'autre traduit une variation homogène des rendements hydrologiques dans le bassin, pour des situations hydrologiques d'étiage différentes. Il y a donc une relation étroite entre les débits mesurés aux mêmes points pour différentes campagnes. De ce fait, il est possible de corrélérer les résultats des campagnes prises deux à deux.»(J. DECLoux, M.SARY 1988)

1. Reconstitution des données de la Mortagne

Nous avons effectué six graphiques de corrélations à partir des résultats des campagnes, prises deux à deux (ANNEXE XXV). Pour chaque graphique, la droite de régression passe à proximité de l'origine, ce qui justifie cette méthode.

On y observe pour toutes les campagnes, un meilleur ajustement des points amont (amont MT22) que des points aval. Les déviations des points ne sont pas toujours très significatives. Les plus faibles peuvent être associées au comportement du substratum (écoulement karstique dans les calcaires du Muschelkalk), ou aux rejets des agglomérations que la Mortagne traverse (nombreux villages situés dans le fond de la vallée). Mais des écarts plus importants peuvent être observés avec des variations de débit pouvant aller jusqu'à plus de 50 % d'un point à l'autre. Ce sont ces points là que nous nous proposons de corriger.

a) Méthode de correction

C'est à partir des points MT24 et MT33 que nous expliquons la méthode de correction utilisée.

- le tableau 43 donne pour ces points, le débit mesuré à chaque campagne (colonne "débit") et pour chacune de ces campagnes, le débit "projeté" à la droite de régression qui traduit la tendance moyenne du nuage des points pour les campagnes prises deux à deux (colonne "1^e camp.", "2^e camp.", "3^e camp.", "4^e camp").

- la figure N° 62 (qui est un extrait du graphique ANNEXE XXV) réalisée pour la première et deuxième campagne, montre que le point MT24 s'écarte considérablement de la droite. Le débit y est surestimé à la première campagne, et sous-estimé à la deuxième campagne de telle sorte que les écarts entre ces débits et les débits "projetés" sont élevés.

- Pour corriger valablement ce point, il faut utiliser les corrélations entre les deux premières campagnes et les deux suivantes. (cf. Tableau N° 43 qui contient les résultats ainsi obtenus et propose 4 valeurs).

Le Tableau N° 44 contient les écarts entre débits mesurés et débits projetés pour les points MT24 et MT33.

Tableau N° 43 : Les données calculées de la corrélation
entre les campagnes

MT24					
campagne	débit	1^{re} camp.	2^e camp.	3^e camp.	4^e camp.
1 ^{re} camp.	1375	0	435	790	820
2 ^e camp.	327	1035	0	575	595
3 ^e camp.	596	1035	340	0	625
4 ^e camp.	569	950	315	545	0
MT33					
1 ^{re} camp.	1289	0	1305	1315	1450
2 ^e camp.	983	970	0	950	1045
3 ^e camp.	989	970	1020	0	1010
4 ^e camp.	999	895	950	900	0

débit : 1/sec.

Figure 62 : Exemple de correction (MT24)

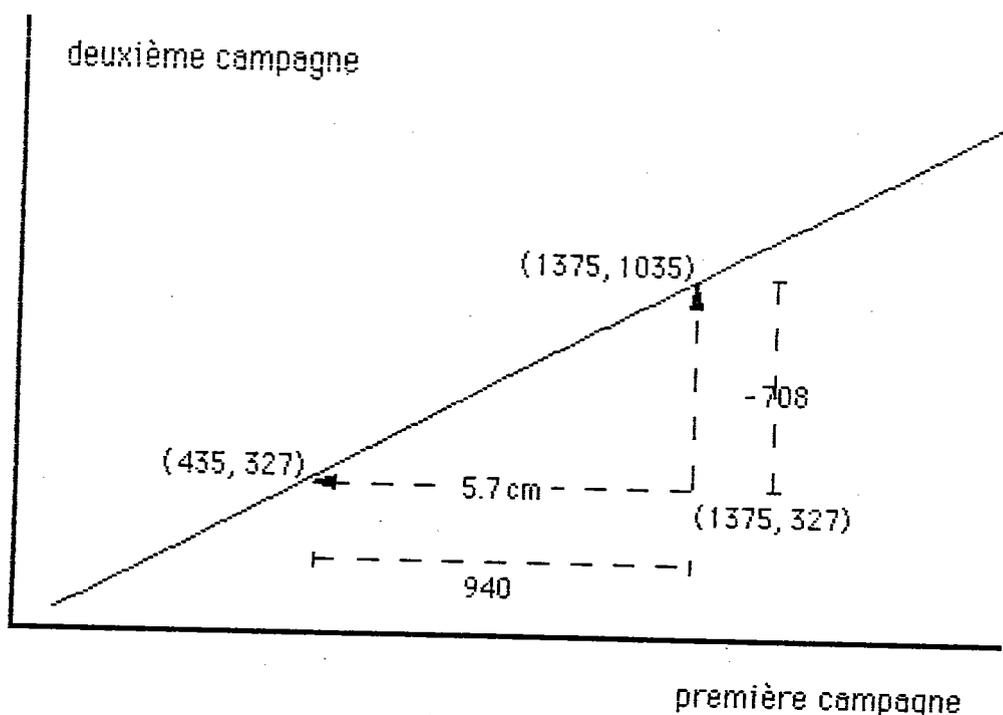


Tableau 44 : Les différences entre les débits mesurés et les débits calculés

MT24					
campagne	débit	1 ^{re} camp.	2 ^e camp.	3 ^e camp.	4 ^e camp.
1 ^{re} camp.	1375	0	940	585	555
2 ^e camp.	327	-708	0	-248	-268
3 ^e camp.	596	-439	256	0	-29
4 ^e camp.	569	-381	254	24	0
MT33					
1 ^{re} camp.	1289	0	-16	-26	-161
2 ^e camp.	983	13	0	33	-62
3 ^e camp.	989	19	-31	0	-116
4 ^e camp.	999	104	49	99	0

débit : l/sec.

b) Les résultats

Les écarts entre débit mesuré et débit projeté ont été calculés pour tous les points aberrants, s'écartant anormalement des droites de régression, ce qui correspond à environ 10 % des débits mesurés et représente près de 150 l/sec.

Pour ces points, le débit "projeté" considéré comme le plus juste est défini à partir de la somme des écarts absolus (D) entre la valeur la plus vraisemblable (\bar{X}) et les différents débits "projetés", classés par ordre décroissant.

$$D = |\bar{X} - Q_{c1}| + |\bar{X} - Q_{c2}| + |\bar{X} - Q_{c3}|$$

où Q_{ci} : débit "projeté"

pour que D soit le plus petit possible, $\bar{X} = Q_{c2}$.

Ex : pour MT33 à la quatrième campagne

$$Q_{c1} = 950 \text{ l/sec.}$$

$$Q_{c2} = 900 \text{ l/sec.} \quad D = |\bar{X} - 950| + |\bar{X} - 900| + |\bar{X} - 895|$$

$$Q_{c3} = 895 \text{ l/sec.}$$

Pour $\bar{X} = 999 \text{ l/sec.}$ (débit mesuré à la quatrième campagne)

$$D = 49 + 99 + 104 = 252$$

Pour $\bar{X} = 895 \text{ l/sec.}$ (débit "projeté" obtenu par corrélation entre quatrième et premier campagne)

$$D = 55 + 5 + 0 = 60$$

Pour $\bar{X} = 950 \text{ l/sec.}$ (débit "projeté" obtenu par corrélation entre quatrième et deuxième campagne)

$$D = 0 + 50 + 55 = 105$$

Pour $X = 900$ l/sec. (débit "projeté" obtenu par corrélation entre quatrième et troisième campagne)

$$D = 50 + 0 + 5 = 55$$

Ainsi au point MT 33, le débit le plus vraisemblable de la quatrième campagne est de 900 l/sec. ($D = 55$).

Le Tableau ANNEXE XXV comprend la liste des jaugeages effectués sur la Mortagne, les débits "projetés" pour chaque point aberrant et les débits retenus, évalués à partir de la méthode ci-dessus.

Cette méthode de correction est en fait une sorte d'optimisation mathématique, proche de méthodes statistiques utilisant un intervalle de confiance et l'écart-type des résidus.

Elle est cependant moins rigoureuse. Plus empirique mais aussi plus simple, elle présente l'avantage de respecter le plus fréquemment possible les données de terrain.

2. Reconstitution des données des affluents principaux

Nous avons appliqué la même reconstitution des données pour l'Arentèle et la Belvitte. Pour le Padozel, la méthode n'a pas pu être appliquée. Le nombre des points de jaugeage est insuffisant (5 points) et seules 2 campagnes de mesures sont utilisables (les débits pour la première campagne sont surestimés)

Sur tous les graphiques ANNEXE XXVI et XXVII, les points des corrélations sont plutôt dispersés et la méthode de correction devient délicate à appliquer. Malgré tout, nous avons effectué cette reconstitution car la comparaison entre les débits bruts et les débits corrigés peut être significative.

a) l'Arentèle (cf. graphique ANNEXE N° XXVI)

A première vue, la corrélation des résultats des campagnes prises 2 à 2, semble être impossible, car les points sont bien dispersés et on peut difficilement juger quels sont les points susceptibles d'être aberrants. Par exemple, pour la corrélation entre les débits mesurés à la première campagne et les débits mesurés à la troisième campagne, on peut présumer deux droites. L'une relie les points AR 1, AR2, AR 12 et AR 10 et l'autre relie AR5, AR4 et AR7. Ce problème peut être débrouillé en tenant compte des autres corrélations. Cependant il est encore possible de choisir une autre droite. Mais, nous choisirons la droite qui passe le plus près de l'origine, car la progression logarithmique sur le profil hydrologique pour chaque campagne suppose que la droite de corrélation entre les débits pour deux campagnes passe le point original (ce n'est pas toujours valable comme nous allons voir dans le prochain paragraphe).

Nous pouvons donc présumer que les premiers points (AR 1, AR2, etc.) sont plus cohérents que les suivants (AR5, AR4, etc.).

Ainsi nous analysons les corrélations par ordre de cohérence :

- la corrélation entre les débits de la troisième campagne et les débits de la quatrième campagne, parce que les points sont les mieux alignés.
- la corrélation entre les débits de la deuxième campagne et les débits de la troisième campagne, et ainsi de suite.

Nous pouvons définir le seuil de fiabilité à 10 l/sec pour des débits toujours inférieurs à 150 l/sec. Les débits "projetés" et les débits retenus comme satisfaisants, conformément à la méthode appliquée précédemment à la Mortagne, figurent sur le tableau ANNEXE XXVI.

b) la Belvitte (graphiques ANNEXE XXVII)

Nous avons effectué les mêmes types de corrélations pour la Belvitte. Mais cette fois-ci les points sont encore plus dispersés. De ce fait, nous devons définir un seuil de fiabilité à 25 l/sec. (seuil plus important que celui de l'Arentèle : 10 l/sec.). De plus, l'analyse des débits de la Belvitte, révèle des problèmes particuliers :

- les débits de la quatrième campagne sont quasi constants à partir de BE9, alors que pour toutes les autres campagnes, ils progressent. Ceci confère une pente très faible aux droites de corrélation entre ces derniers et les débits des autres campagnes. Ainsi, le point BE9 pour la corrélation entre la deuxième et la quatrième campagne est assez proche de la droite de corrélation, alors que le débit à ce point est surestimé de 62 l/sec. à la deuxième campagne. Le même problème s'est posé pour le point BE13.
- Les points BE1 et BE2 ne sont pas jaugés lors de la quatrième campagne. Le point BE2 à la deuxième campagne est apparemment aberrant et il ne peut être corrigé qu'à partir des mesures réalisées à la première campagne et à la troisième campagne. Ceci pose un problème de méthodologie puisque selon notre définition, la somme de trois écarts absolus entre le débit corrigé et débit calculé est nécessaire pour estimer le débit vraisemblable (le débit retenu doit être dans l'intervalle de deux débits calculés)

CONCLUSION

Les données de terrain ont été critiquées selon deux méthodes.

- la situation hydrologique des campagnes et les enregistrements limnigraphiques de la station de Ste. Hélène.

- les corrélations des résultats de mesures des campagnes prises deux à deux.

Cette deuxième méthode donne de meilleurs résultats sur la Mortagne que sur ses affluents où le nombre des jaugeages est fréquemment insuffisant.

Ce sont les débits critiqués et corrigés dans certains cas, qui seront utilisés pour l'élaboration des profils hydrologiques.

C - Les profils hydrologiques

Ces profils ont été réalisés pour la Mortagne et ses principaux affluents en corrélant pour chaque campagne les débits (critiqués) avec :

- la surface du bassin-versant correspondante
- la longueur du réseau hydrographique à chacun des points

1. Les profils hydrologiques débit/surface

Selon une loi générale déjà appliquée par plusieurs auteurs, le débit est une fonction exponentielle de la surface du bassin-versant correspondante :

$$Q = hA^g$$

L'exposant g dépend des modalités du bassin-versant dans sa totalité, ou selon plusieurs parties. On obtient aussi, entre A et Q une ou plusieurs droites de corrélation sur graphique logarithmique.

Cette loi a été appliquée aux résultats des mesures des campagnes d'étiages (Mortagne et affluents). Les caractéristiques des bassins, restant constantes d'une campagne à l'autre, on obtient bien, pour une rivière donnée un ou plusieurs segments de droite parallèles reliant les points débit/surface.

h, ordonnée à l'origine des segments de droite, varie en fonction de l'état hydrique des bassins (sans influence des précipitations).

En coordonnées arithmétiques les profils hydrologiques se traduisent par des courbes.

a) Profils débit/surface de la Mortagne

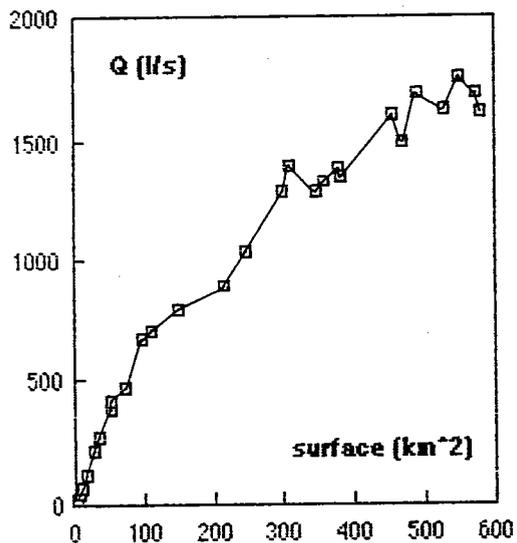
1) En coordonnées arithmétiques

On trouve sur le graphique figure 63 les profils hydrologiques représentés selon des coordonnées arithmétiques. Plusieurs remarques peuvent être faites à partir de ces courbes :

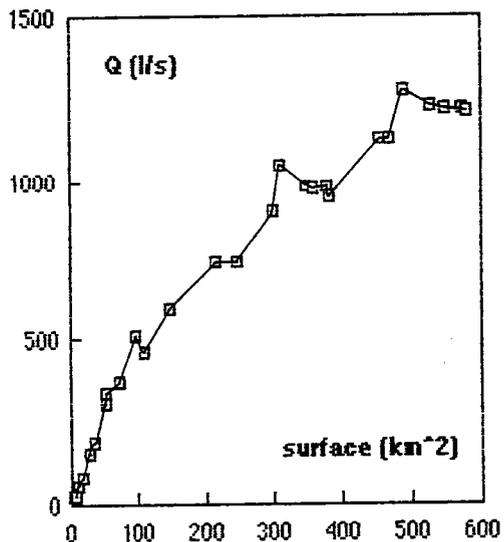
- les débits sont généralement plus élevés lors de la première campagne de mesures. Les campagnes 2, 3 et 4 donnent des résultats très rapprochés.
- deux modes de croissance des débits y sont décelables :
 - de l'amont jusqu'au point MT15 ($A=72.9 \text{ km}^2$) le débit augmente rapidement à toutes les campagnes.
 - du point MT20 jusqu'à l'aval, l'augmentation est plus modérée.

Figure 63 : Profil hydrologique (arithmétique)

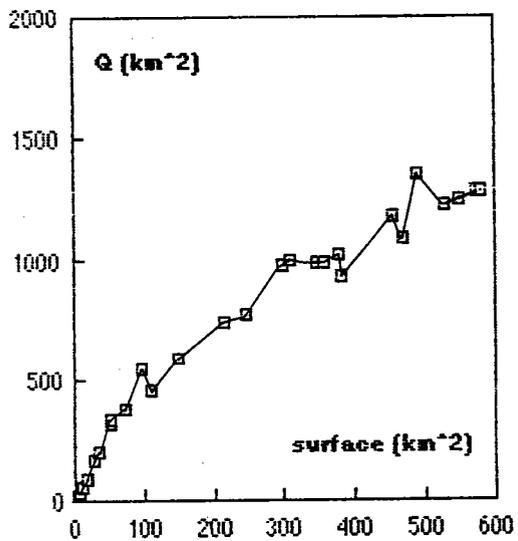
Première campagne



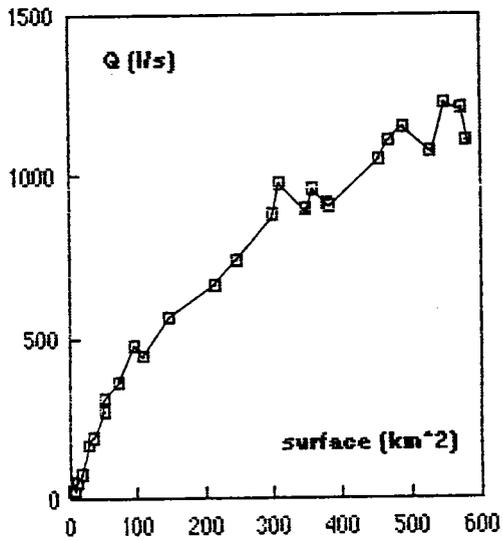
Deuxième campagne



Troisième campagne

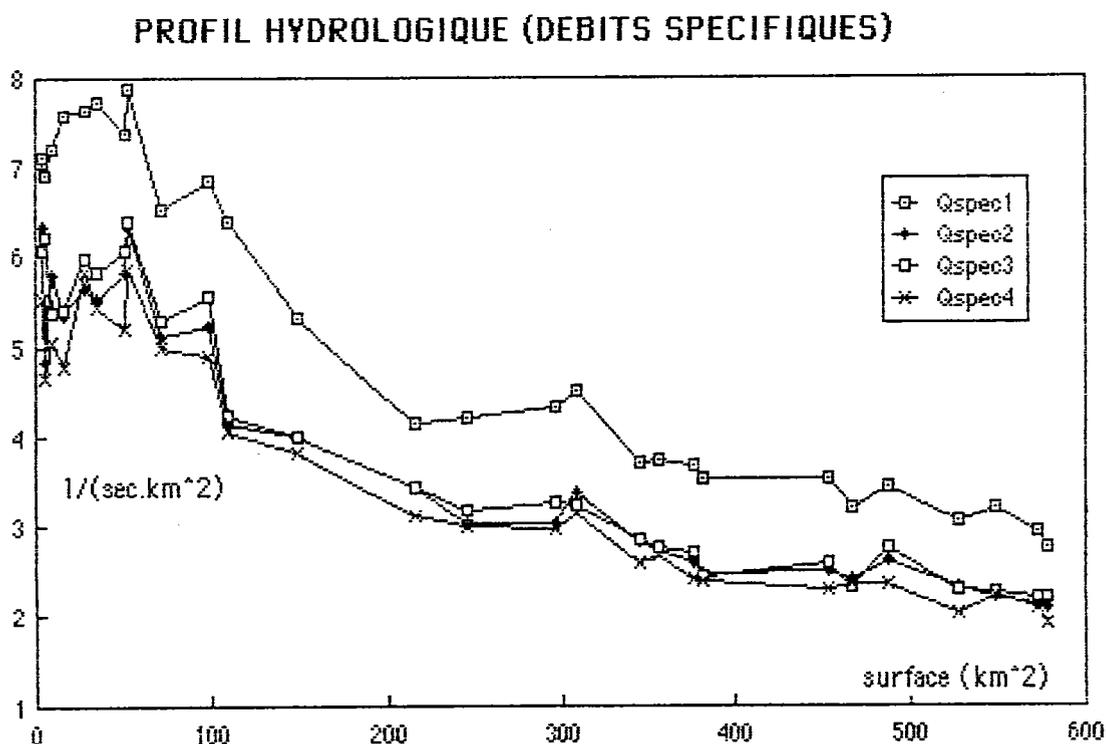


Quatrième campagne



Le graphique figure 64 représente les profils hydrologiques de la Mortagne à partir des débits spécifiques. L'opposition amont aval y est plus accusée.

Figure 64 : Profil hydrologique (débits spécifiques)



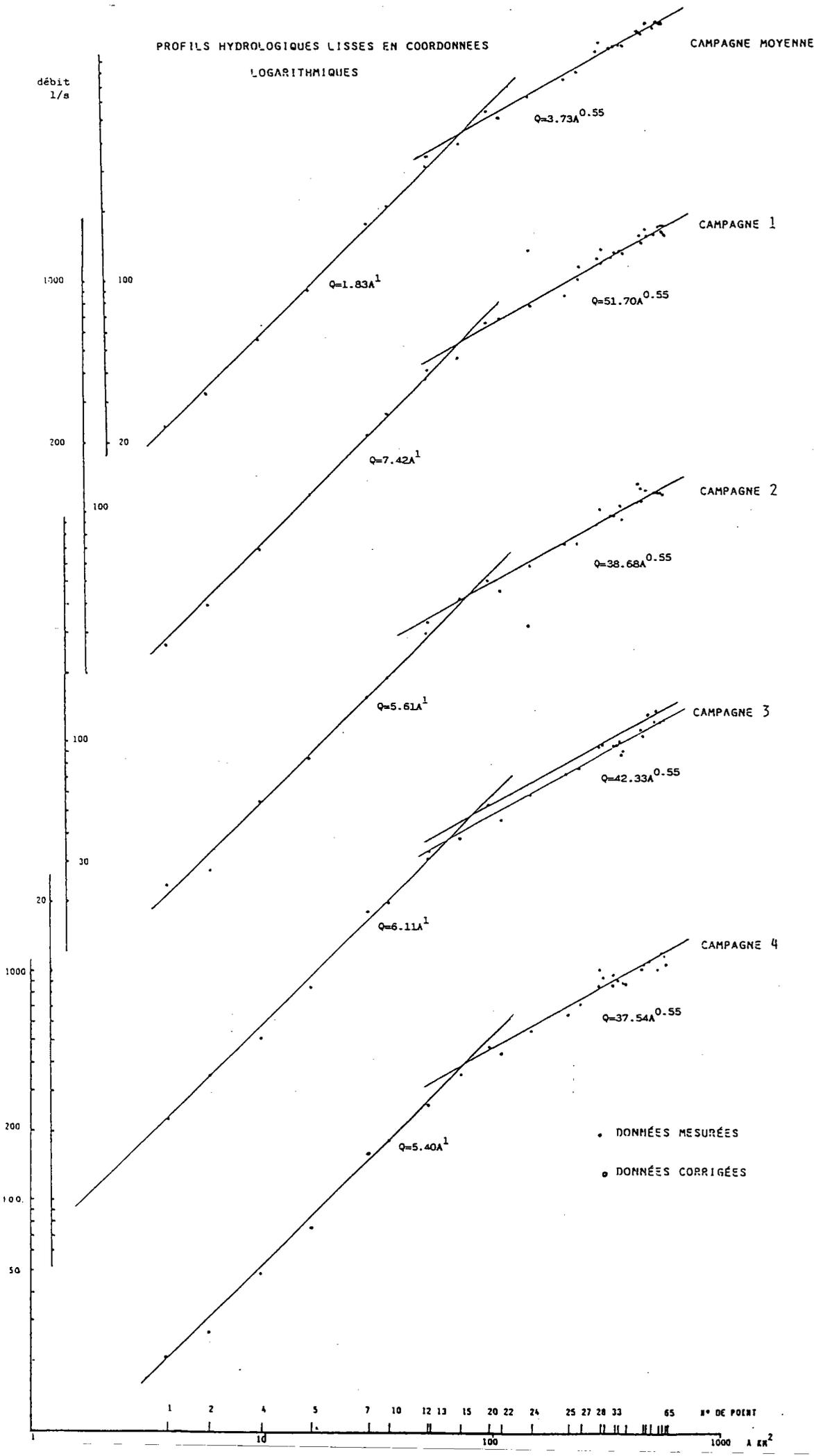
- jusqu'au point MT 15, les débits spécifiques sont de 7 à 7.5 l/sec./km² à la première campagne, de 5 à 6 l/sec./km² aux trois autres campagnes.

- vers l'aval, ils s'abaissent assez rapidement (de 7 à 3 l/sec./km² à la première campagne, de 5 à 2 l/sec./km² aux autres campagnes).

Ces observations montrent de toute évidence, que la Mortagne comprend deux secteurs contrastés, correspondant à des parties de bassin-versant aux ressources en eaux différentes :

- une partie amont établie dans les grès du Trias, riche en réservoir d'eau .

Fig65 Profil hydrologique du réseau principal



- une partie aval établie dans les terrains marno-calcaires, dont les réserves plus indigentes (moindre perméabilité, mais aussi moindre alimentation du fait de pluies plus faibles qu'en amont) participent moins au soutien des débits en étiage.

2) En coordonnées logarithmiques

Les profils hydrologiques (cf. Fig. 65) en coordonnées logarithmiques apportent les mêmes renseignements que les précédents. Mais l'opposition amont et aval de la Mortagne y est plus affirmée.

Elle apparaît très nettement dans les pentes des segments de droites qui expriment alors ces profils hydrologiques.

Ainsi, pour la partie amont, $Q = hA^{0.99}$

et pour la partie aval, $Q = hA^{0.55}$

On constate donc qu'à l'amont la pente du profil hydrologique est deux fois plus élevée qu'à l'aval. En d'autres termes, la progression des débits est presque arithmétique à l'amont. L'augmentation régulière des débits en même temps que les surfaces, traduit l'importance du soutien des débits en étiage par les réserves stockées dans les grès du Trias.

On trouve des valeurs similaires de g pour d'autres rivières vosgiennes qui drainent des secteurs de moyenne montagne dégagés dans un substratum gréseux : c'est le cas de la Plaine aval ou de la Vezouze amont qui dissèquent les flancs ouest et nord-ouest du massif du Donon à l'Est de Raon l'Etape.

Cependant, cette partie amont ne correspond qu'à 1/8 de la superficie totale du bassin de la Mortagne.

Vers l'aval (7/8 du bassin) les apports en provenance du substratum vont en diminuant, la surface du B.V augmente plus rapidement que les débits. La relative dispersion des points débits/surface sur les profils, montre d'ailleurs que dans le détail, les apports ne sont constants ni dans l'espace, ni dans le temps (la dispersion des points n'est pas la même pour chacune des campagnes). Cependant, à l'échelle de l'ensemble de la Mortagne, ils ne sont pas suffisamment marqués pour permettre le tracé d'un segment de droite supplémentaire. Nous admettrons donc que dans cette grande partie aval, le bassin-versant se caractérise par un même type de comportement en accord avec la nature marno-calcaire du substratum. On mesure des valeurs similaires de g sur les rivières voisines, qui drainent comme la Mortagne aval un plateau dégagé dans les mêmes sédiments (Vezouze moyenne, Meurthe moyenne) (C. PETIT. 1989).

L'ordonnée à l'origine h des segments de profils, donnent des renseignements complémentaires.

Tableau 45 : Valeur de h pour les 2 segments du profils de la Mortagne

campagne	segment inférieur (amont)	segment supérieur (aval)
première camp.	7.42	51.70
deuxième camp.	5.61	38.68
troisième camp.	6.11	42.33
quatrième camp.	5.4	37.54

h traduit l'état hydrique du bassin et souligne donc l'écart entre les campagnes. Celui-ci indique que les débits se sont globalement abaissés de 25 % entre la première et la deuxième campagne. Ils varient de 10 à 12 % entre les trois autres campagnes. Ainsi dès juillet, les débits de la Mortagne ont atteint leur niveau le plus bas de l'étiage 1989. Leur abaissement est gêné par les pluies estivales qui regonflent les écoulements à la troisième campagne, de sorte qu'en octobre (à la fin de l'étiage) les débits sont à peine inférieurs à ceux de juillet.

On peut donc considérer que :

- g traduit l'influence du bassin-versant, de sa lithologie, et donc de sa perméabilité et dans une moindre mesure celle des pentes et du couvert végétal. g répond à une commande spatiale.
- h qui fluctue selon l'état hydrique du bassin versant et surtout selon le niveau des réservoirs souterrains (mais on peut supposer qu'ils se rechargent peu en été), est étroitement associé aux pluies qui, même en été, peuvent provoquer des fluctuations hydrologiques. h répond à une commande temporelle, aléatoire (selon les pluies).

b) Profils débit/surface des affluents

Comme les points de jaugeages sont moins nombreux sur les affluents que sur la Mortagne elle-même, les profils hydrologiques sont plus délicats à tracer et surtout à interpréter.

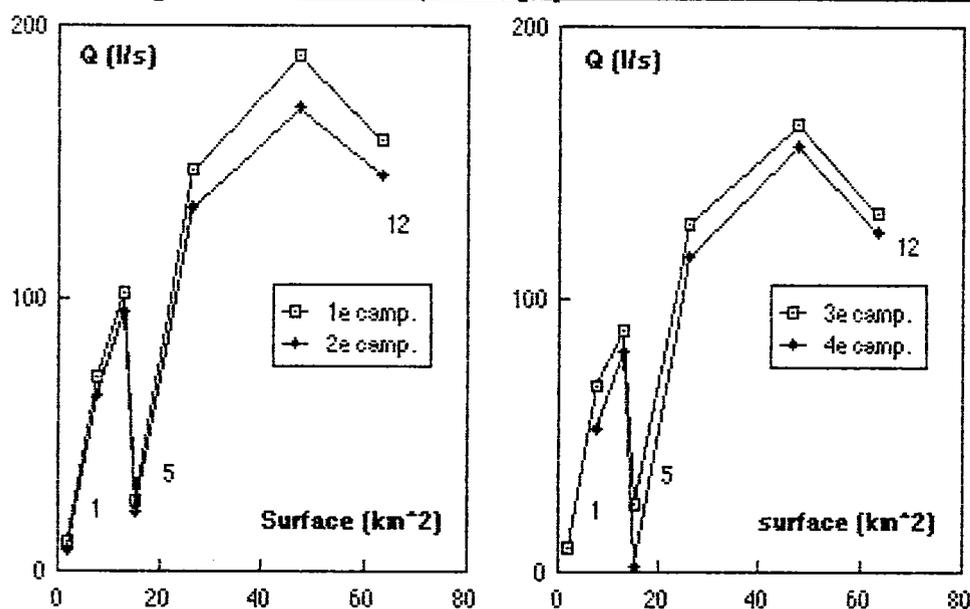
1) L'Arentèle

On observe sur les profils hydrologiques de l'Arentèle la dispersion irréductible des résultats de mesures (déjà évoquée dans la critique des données).

Cependant, les figures suivantes (Fig. 66) montrent que les 4 campagnes font apparaître les mêmes fluctuations.

Sur les profils hydrologiques en coordonnées logarithmiques (Fig. 67), 2 segments de droite peuvent être tracés :

Figure 66 : Profils hydrologiques de l'Arentèle (arithmétique)



- un segment amont, pour lequel $g = 1.32$, qui est peu significatif du fait du nombre insuffisant de mesures dans cette partie.
- un segment aval dont la pente g (0.54) est peu différente de celle de la partie aval de la Mortagne. L'Arentèle draine en effet le même substratum.

Les valeurs de h se répartissent par contre selon une distribution différente.

Pour chacune des campagnes, les valeurs de h pour le segment aval du profil sont les suivantes :

première campagne	25
deuxième campagne	22.5
troisième campagne	22.2
quatrième campagne	19.6

ARENTELE

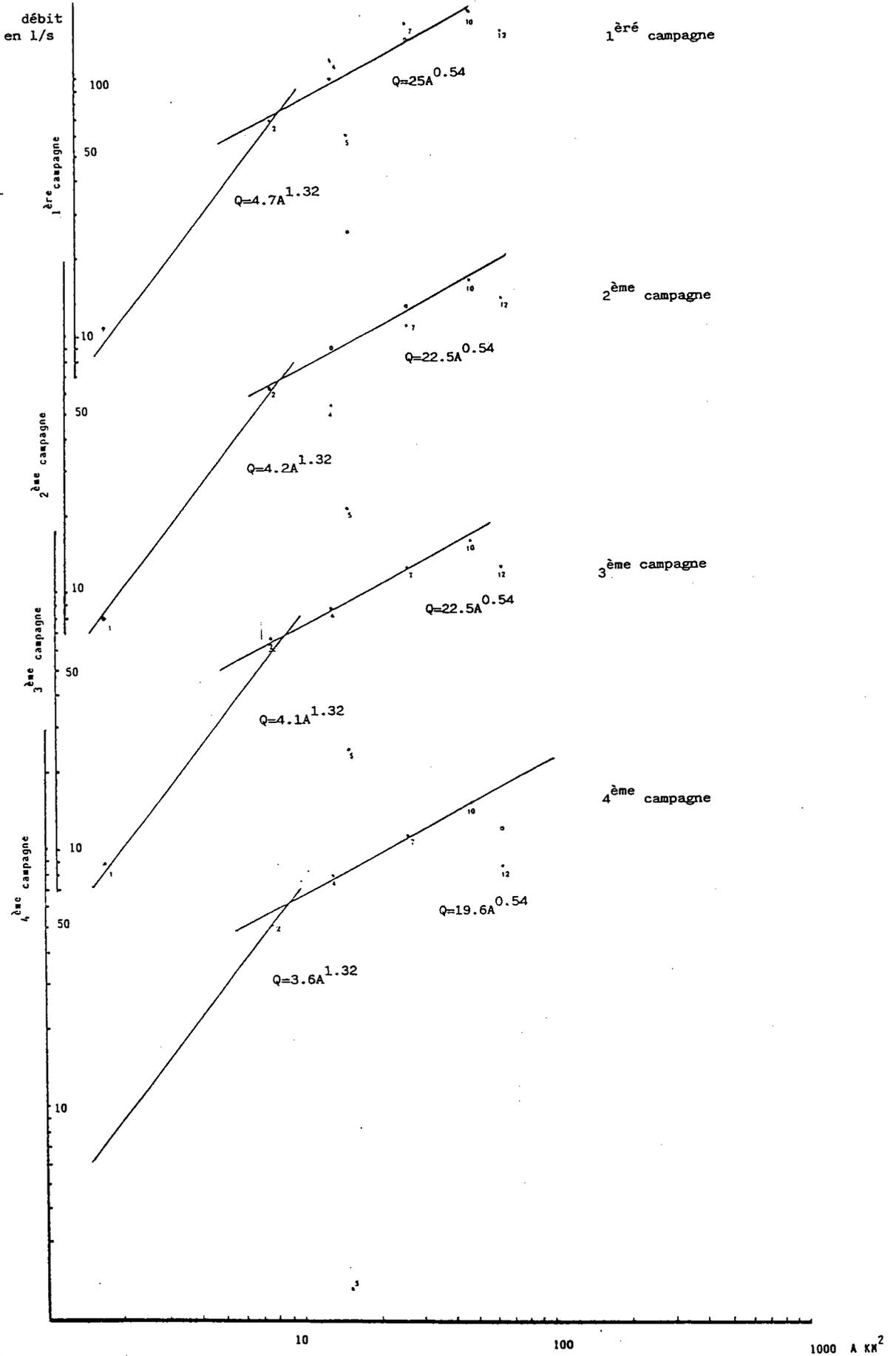
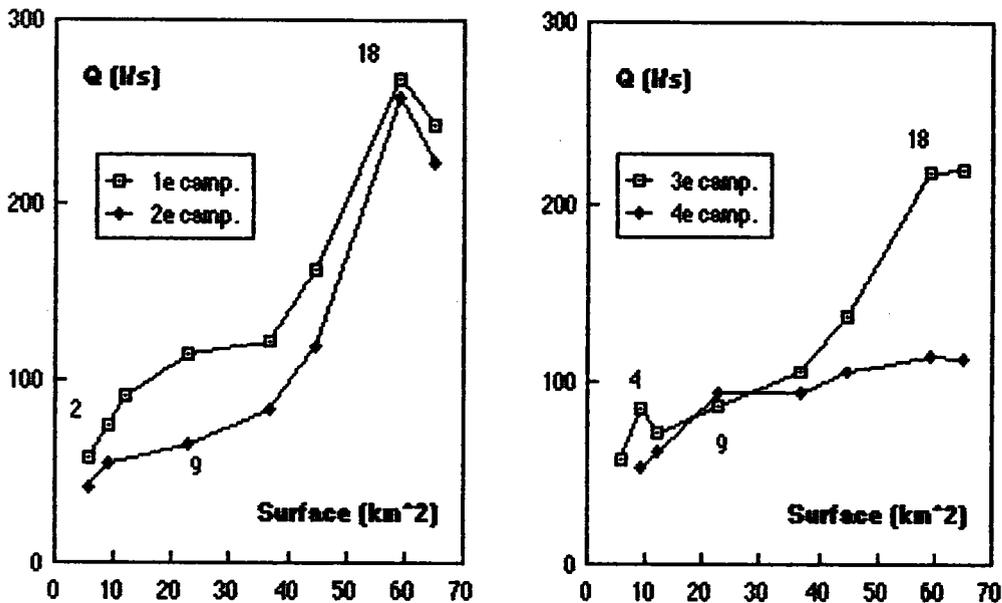


Fig 67 Profil hydrologique de l'Arenteles (logarithmique)

On constate que d'une campagne à l'autre, les débits diminuent plus régulièrement au cours de l'été 89, avec une stagnation entre la deuxième et la troisième campagne (déjà observée sur la Mortagne). L'écart le plus net se situe entre la première et la quatrième campagne. Il est de 25 % sur l'Arentèle, alors qu'il s'élève à plus de 30 % sur la Mortagne pour ces mêmes campagnes. Ces différences sont à mettre sur le compte de la répartition spatiale des pluies orageuses et sur le volume de ces pluies (la réponse du bassin-versant étant la même puisque g a la même valeur pour la Mortagne aval et l'Arentèle)

2) La Belvitte

Figure 68 : Profils hydrologiques en coordonnées arithmétiques



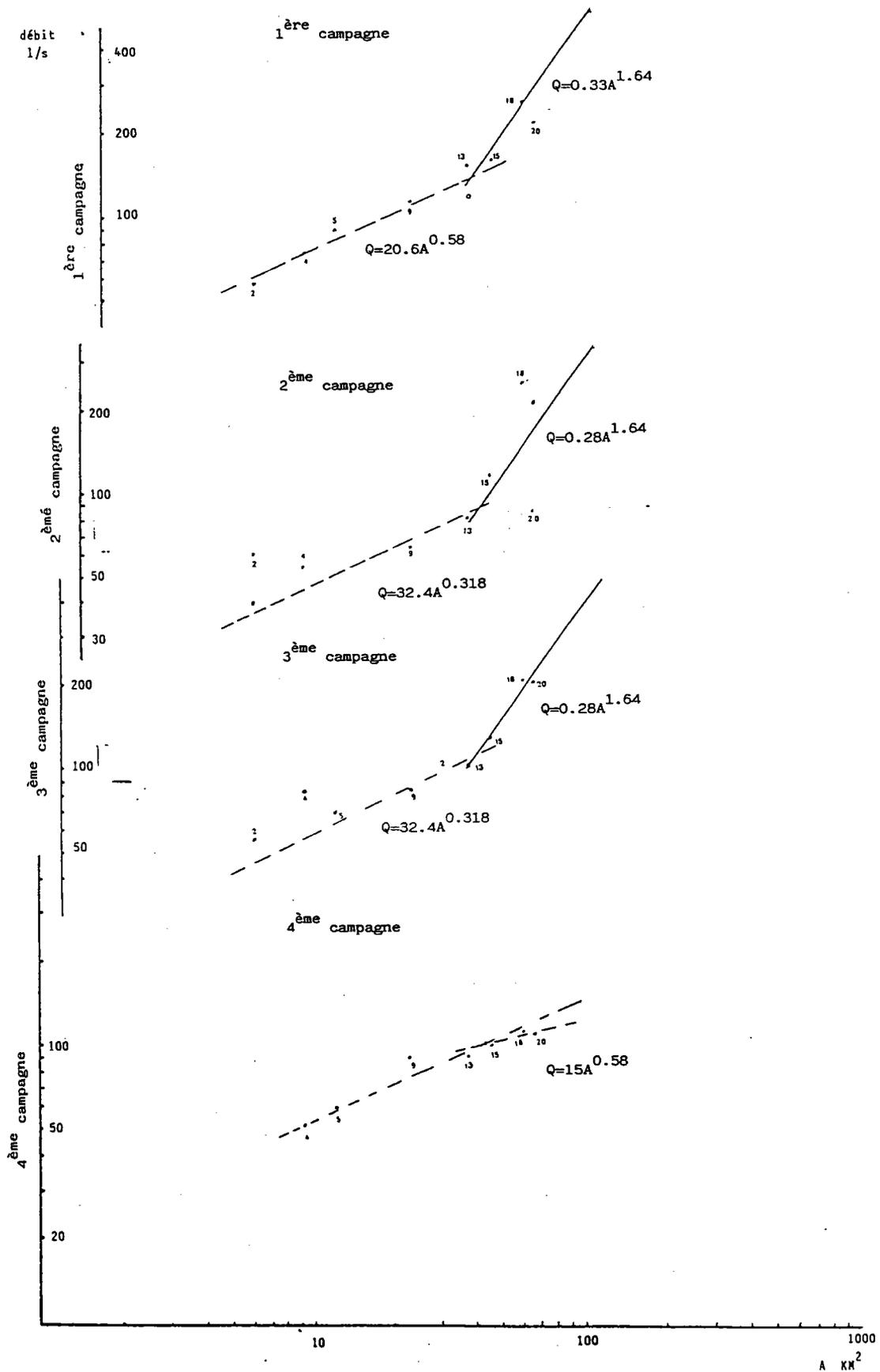
On observe sur les profils hydrologiques en coordonnées arithmétiques que les points sont plus dispersés.

Sur les profils en coordonnées logarithmiques, les points débit/surface s'ajustent sur deux segments de droite mais quelques particularités doivent être soulignées

Fig.69 : profil hydrologique de la Belvitte (Logarithmique)

PROFIL HYDROLOGIQUE

BELVITTE



- à l'amont du point BE13, les débits de la Belvitte progressent assez lentement. La pente du profil (0.46) est plus faible que celle de la Mortagne aval. Mais elle ne traduit qu'une tendance moyenne, valable pour les points BE5, BE9 et BE13, les points BE2 et BE4 s'écartant des droites aux deuxième et troisième campagnes. Les grès du Buntsandstein supérieur et du Muschelkalk inférieur que la Belvitte draine dans ce secteur moins montagneux du bassin, semblent moins riches en réserves d'eau (partie moins arrosée en moyenne, influence de la tectonique, proximité à l'Est de la Meurthe ...).
- à l'aval, les débits augmentent plus rapidement. Les points BE15, BE18 et BE20 permettent de tracer un segment de droite dont la pente est de 1.4. Mais cette pente n'est pas valable pour les résultats obtenus lors de la quatrième campagne de mesure. Pour celle-ci, les points aval s'alignent sur le segment amont, prolongé au delà du point BE13. On peut donc supposer que les réserves stockées dans les calcaires du Muschelkalk qui doivent soutenir les débits pendant tout l'été, sont proches de l'épuisement.

Pour chacune des campagnes, les valeurs de h sont reportés dans le tableau suivant (Tableau N° 46).

Tableau 46 : Valeur de h pour les 2 segments du profils de la Belvitte

campagne	segment amont	segment aval
première camp.	25.96	0.82
deuxième camp.	16.20	0.49
troisième camp.	20.67	0.65
quatrième camp.	18.9	-

A l'amont, la répartition de h est similaire à celle observée sur la Mortagne. L'écart est important entre la première et la deuxième campagne (qui est ici la plus basse), et les variations sont plus faibles entre les trois autres. Mais on observe en plus, une nette remontée des débits à la troisième campagne (précipitations orageuses). Les mesures de la dernière campagne correspondent alors à des débits plus élevés qu'en juillet (deuxième campagne). Les pluies de l'été 89 ont dues être suffisamment abondantes pour gonfler les écoulements de la Belvitte en septembre et octobre.

A l'aval, h a la même répartition qu'à l'amont sauf à la dernière campagne. Les débits restent bas en octobre malgré la recharge sensible à l'amont (infiltration dans les calcaires ?)

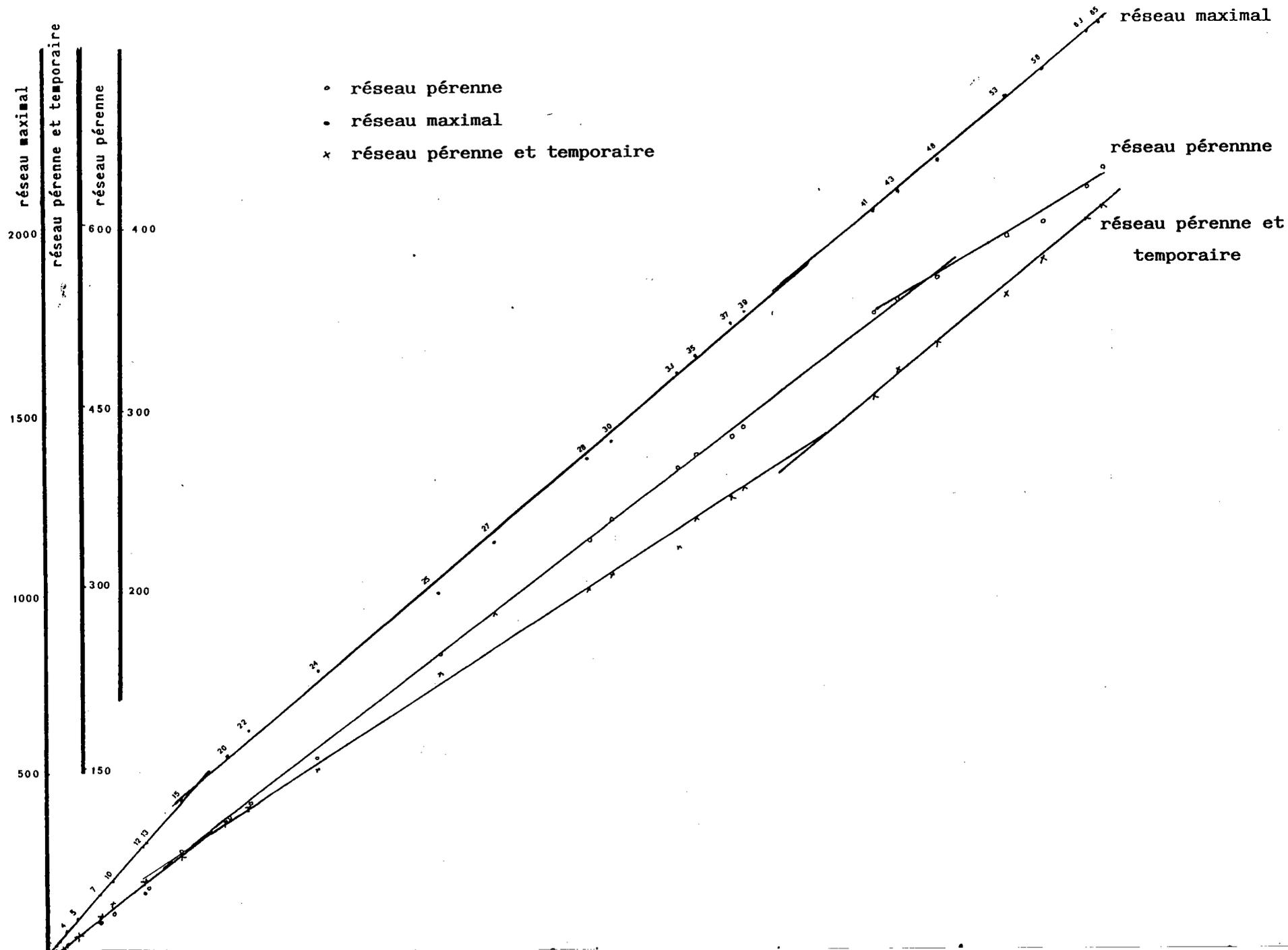
CONCLUSION

L'étude des profils débit/surface permet de souligner pour l'ensemble du bassin-versant, les contrastes amont-aval déjà inscrits dans la physiographie (cf première partie) et dont g est la traduction.

A l'intérieur du bassin-versant, des différences existent. Elles apparaissent dans la répartition des débits des affluents de la Mortagne. A ce titre, l'étude des profils de l'Arentèle et de la Belvitte, montrent que les rendements hydrologiques varient dans l'espace : dans le bassin de l'Arentèle les sédiments du Muschelkalk supérieur ont des réserves d'eau plus abondantes du fait de pluies plus importantes dans cette région et dans le temps : les pluies estivales ont des incidences variables sur les débits d'étiage comme le montre l'étude de h , et dont il faudrait corréliser les valeurs avec la hauteur des pluies sur chaque sous-bassin.

Ainsi l'analyse des profils hydrologiques représente une première étape dans la spatialisation des débits d'étiage en vue de leur cartographie.

Fig. 70 : corrélation réseau/surface arithmétique



2. Les profils hydrologiques débit/longueur des réseaux

Nous commençons leur étude par une analyse préalable des liaisons longueur du drainage/surface afin d'en préciser les caractéristiques à chaque point de mesure des débits d'étiage. Les liaisons débit/longueur du drainage seront analysées ensuite.

Cette étude ne concerne que la Mortagne. Elle n'a pas été faite pour l'Arentèle et la Belvitte où le nombre des points de mesure est trop peu élevé.

a) Surface de bassin-versant et longueur du réseau

Comme dans la première partie de ce travail, trois types de réseau ont été pris en compte :

- le réseau pérenne
- le réseau pérenne et temporaire
- le réseau maximal (incluant les vallons secs)

Le graphique figure 70 représente en coordonnées arithmétiques la corrélation longueur de réseau/surface de bassin-versant, pour les trois types de drainage (cf données Tableau ANNEXE N° XXVIII). Il montre un alignement des points selon des droites ou des segments de droite.

Pour les 3 corrélations, les résultats obtenus sont similaires. On constate que :

- les droites auraient pu être fragmentées en segments qui se recoupent à peu près aux mêmes endroits pour le réseau maximal et le réseau pérenne et temporaire (aval du point MT15 et point MT30). Ces points d'intersection sont un peu différents pour le réseau pérenne (aval de MT10 et MT22).

Mais les pentes de ces segments sont trop peu contrastées pour être significatives.

- la pente des droites moyennes de corrélation augmente lorsque la longueur du réseau de drainage diminue. Elle est plus forte pour le réseau pérenne (1.036) que pour le réseau pérenne et temporaire (0.975) et le réseau maximal (0.925) en général entre 4 et 6 fois plus long que les deux autres. Cette pente n'est autre que le reflet des densités de drainage. Celles-ci sont les plus contrastées pour le réseau maximal et diminuent de l'amont (6.7) vers l'aval (4.4) ; relativement uniformes pour les autres réseaux (1 à 1,1 pour le réseau pérenne et temporaire, 0.7 à 0.77 pour le réseau pérenne).

Ces résultats seraient surtout intéressants dans le cadre d'une comparaison du bassin de la Mortagne avec d'autres bassins.

Ils montrent néanmoins que les densités de drainage sont homogènes à l'intérieur du bassin de la Mortagne en ce qui concerne le réseau fonctionnel et dont l'alimentation est assurée actuellement par les précipitations et les sources. C'est ce réseau là qu'il serait le plus logique de corrélérer avec les débits d'étiage, étant donné que le réseau maximal tient compte de vallons secs, exceptionnellement actif à l'issue de longues périodes pluvieuses, mais toujours inactif en été.

b) Les profils hydrologiques

débit/longueur de drainage

Les graphiques figure 71

représentent les corrélations débit/longueur du réseau selon des coordonnées logarithmiques.

Lp longueur du réseau pérenne

Lpt longueur du réseau pérenne et intermittent

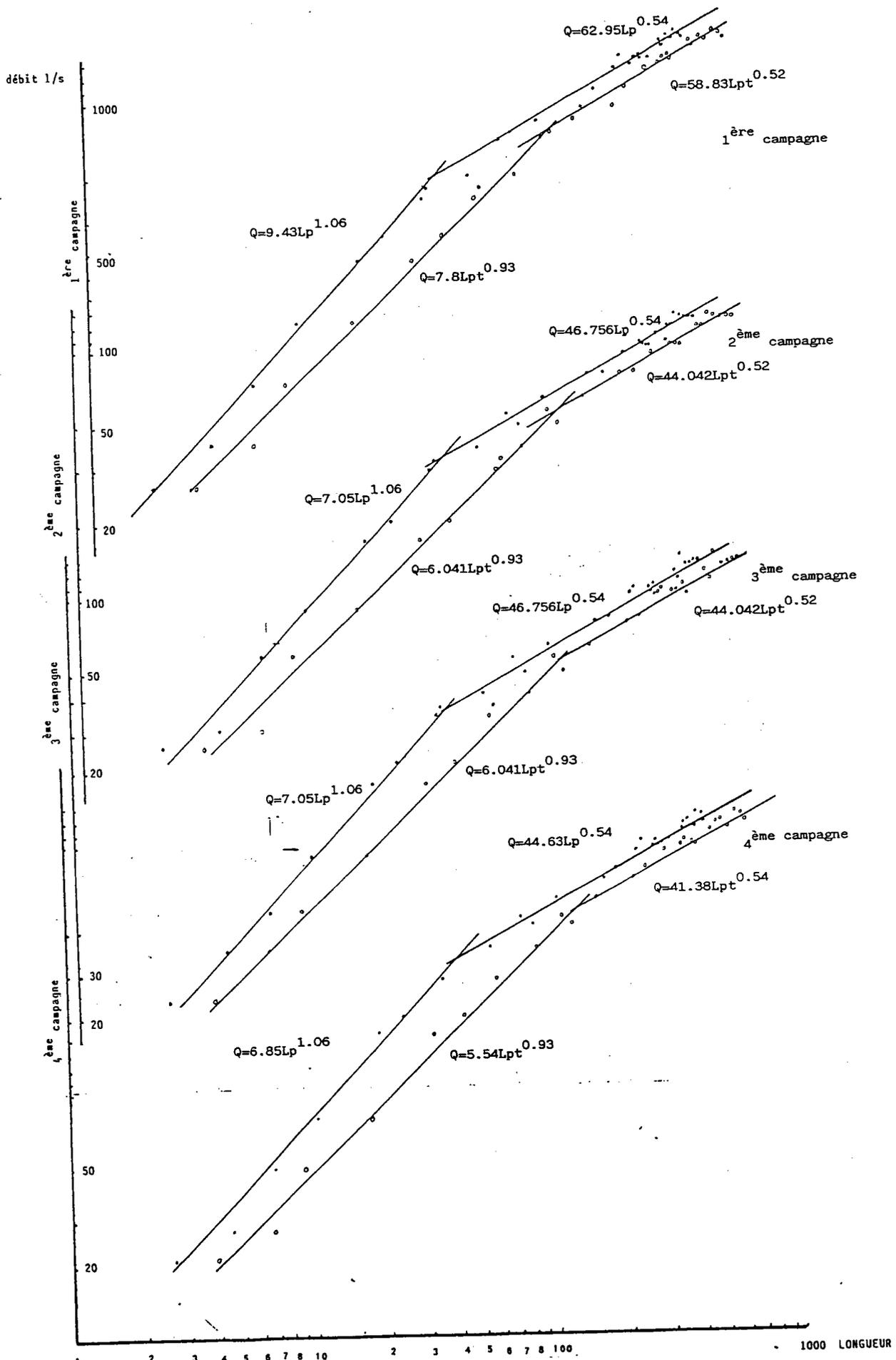


Fig 71 : corrélation débits/longueur logarithmique

Comme pour les profils débit/surface de bassin-versant, les points s'alignent pour les trois types de réseau sur deux segments de droites, parallèles pour les quatre campagnes (les droites ont les mêmes caractéristiques pour les deuxième et troisième campagnes). Le débit est donc toujours bien corrélé avec les longueurs de réseau (qui augmentent en même temps que la surface).

Le tableau ci-dessous renferme les caractéristiques des différents segments de corrélation.

Tableau 47 : Caractéristiques des droites de corrélation débit/longueur du drainage

Type de réseau	N° du point	long.	surface de B.V.	pente		ordonnée à l'origine		
				amont	aval	campagne	amont	aval
Maximal	MT15	400	70	1.04	0.64	1 ^e camp.	0.982	10.21
						2 ^e et 3 ^e camp.	0.754	8.11
						4 ^e camp.	0.651	6.84
Pérenne et temp.	MT22	120	110	0.93	0.52	1 ^e camp.	7.80	58.8
						2 ^e et 3 ^e camp.	6.04	44.04
						4 ^e camp.	5.54	41.38
Pérenne	MT 13	40	56	1.06	0.54	1 ^e camp.	9.43	62.95
						2 ^e et 3 ^e camp.	7.05	46.75
						4 ^e camp.	6.85	44.63

longueur : km

surface : km²

Comme pour les corrélations débit/surface, les pentes des segments amont sont deux fois plus élevées que celles des segments aval sauf pour le réseau pérenne et temporaire.

- à l'amont, le débit augmente en même temps que la longueur du réseau (pente proche de 1) maximal et du réseau pérenne. Pour le réseau pérenne et temporaire, la pente du segment de droite, plus faible (0.93) indique que la longueur de ce réseau augmente plus vite que le débit.

Ceci est dû à la longueur du réseau temporaire (il représente 30 à 40 % du réseau temporaire et pérenne) dont le développement peut être associé aux précipitations ainsi qu'aux pentes plus fortes de cette partie amont (qui facilitent le ruissellement saisonnier ou épisodique). Mais il faut ajouter que la longueur de ce réseau temporaire n'a que la précision des cartes topographiques qui ont servi à la mesurer (longueurs variables selon les éditions !).

- A l'aval, pour les trois types de réseau, les pentes des segments de corrélations varient peu (le réseau temporaire ne représente plus que 20 à 25 % du réseau temporaire et pérenne). Cependant, dans cette partie, le cumul des longueurs contribue à atténuer les différences.

CONCLUSION

Les profils hydrologiques débit/surface et débit/longueur du réseau donnent des résultats concordants.

Ils montrent que le bassin de la Mortagne comprend bien deux parties, définies par les rendements hydrologiques du substratum, qui renferment des réserves plus ou moins abondantes. Ce substratum, malgré sa lithologie et sa perméabilité variable, se prête à une dissection similaire dans tout le bassin (pente des droites de corrélation surface/longueur du réseau proche de 1).

L'opposition amont/aval est donc bien le fait des débits. Mais des hétérogénéités spatiales plus fines peuvent être mises en évidence à travers l'analyse détaillée des rendements hydrologiques et des densités de drainage par tranche, définies par l'espace drainé entre chaque point de mesure. On devrait alors mieux percevoir la répartition spatiale des écoulements.

D - REPARTITION SPATIALE DES ECOULEMENTS ET CARTOGRAPHIE

Il est possible d'analyser la répartition spatiale des écoulements à partir des débits spécifiques, calculés pour chaque campagne, entre deux points de jaugeages successifs :

$$\Delta Q = \frac{\text{Ecart de débit entre deux points successifs } \Delta Q}{\text{Surface du B.V. correspondant } \Delta S}$$

Cette méthode a été expérimentée en 1985 sur la Haute Meurthe (J. CORBONNOIS *et al.*, 1985). Elle intègre les écarts de débits dus à des variations naturelles ainsi qu'à d'autres influences, surtout sur les petits ruisseaux (problème des sections de mesures souvent de qualité médiocre, erreurs de mesures, rejet des agglomérations, jaugeages trop peu nombreux pour une critique par double cumul). Les cartes ainsi réalisées mettent en évidence une trop grande hétérogénéité spatiale des écoulements.

Nous proposons ici, une méthode de spatialisation fondée sur les profils hydrologiques qui permettent de calculer pour les rivières principales des débits "lissés". Nous verrons ensuite comment il est possible d'y associer les mesures réalisées sur les affluents.

A titre d'exemple, nous traiterons les résultats de la première campagne de jaugeages. Les données spatialisées permettront de réaliser une carte des débits.

1. Spatialisation des écoulements

a) Spatialisation des écoulements de la Mortagne

Le tableau 47 comprend pour les jaugeages réalisés sur la Mortagne :

Tableau 49 : Tableau de débits calculés "lissés"

N° point	Qc 1/s	ΔQc 1/s	ΔQcs 1/s/km ²	N° point	Qc 1/s	ΔQc 1/s	ΔQcs 1/s/km ²
Mortagne				Belvitte			
MT1	27	27	7.1	BE1	51.3	51.3	11.6
MT2	43	16	8.0	BE2	59.2	7.9	4.9
MT4	72	29	7.4	BE4	72.0	12.8	4.0
MT5	119	47	7.4	BE5	81.4	9.4	3.5
MT7	211	91	7.4	BE9	109.4	28.0	2.6
MT10	259	48	7.4	BE13	136.7	27.3	1.9
MT12	386	127	7.4	BE15	168.3	31.6	4.0
MT13	396	10	7.4	BE18	248.3	80.0	5.6
MT15	541	145	7.4	BE20	282.4	34.1	6.0
MT20	644	103	4.1	Arentèle			
MT22	685	41	4.1	AR2	74.7	74.7	9.8
MT24	809	124	3.5	AR4	99.5	24.8	4.7
MT25	991	182	2.7	AR7	144.6	45.1	3.5
MT27	1065	75	2.5	AR10	200.4	55.8	2.6
MT28	1185	119	2.3	AR12	235.0	34.6	2.1
MT30	1212	28	2.3	Padozel			
MT33	1288	77	2.1	PA1	34.7	34.7	2.06
MT35	1328	39	3.7	PA4	47.7	13.0	2.3
MT37	1351	23	1.12	PA7	76.8	29.1	2.03
MT39	1361	11	1.96	PA9	93.2	16.4	1.9
MT41	1495	133	1.88	Monseigneur			
MT43	1519	24	1.79	26d10	31.0	31.0	7.2
MT48	1556	37	1.77	26d9	57.6	26.6	7.4
MT53	1624	68	1.72	26d6	84.6	27.0	4.1
MT58	1658	34	1.68	26d5	102.2	17.6	4.4
MT63	1699	41	1.65	26d2	130.1	27.9	4.0
MT65	1709	10	1.64	26d1	150.7	20.6	4.3

Qc : Débit calculé à l'aide des équations du profil hydrologique

ΔQc : Ecart de débit entre deux points de mesure successifs

ΔQcs : ΔQc/ΔS

Il devrait exister une bonne corrélation entre ΔS et ΔQ_c . La figure 72 fait apparaître un nuage de points mais à travers lequel plusieurs segments de droite peuvent être tracés.

Chaque segment correspond à une partie du bassin où les rendements hydrologiques, traduits par ΔQ_{sc} , sont sensiblement identiques. Ceci revient à redécouper le profil hydrologique.

Ainsi, quatre régions peuvent être différenciées. Dans ces régions les rendements sont essentiellement définis par la lithologie.

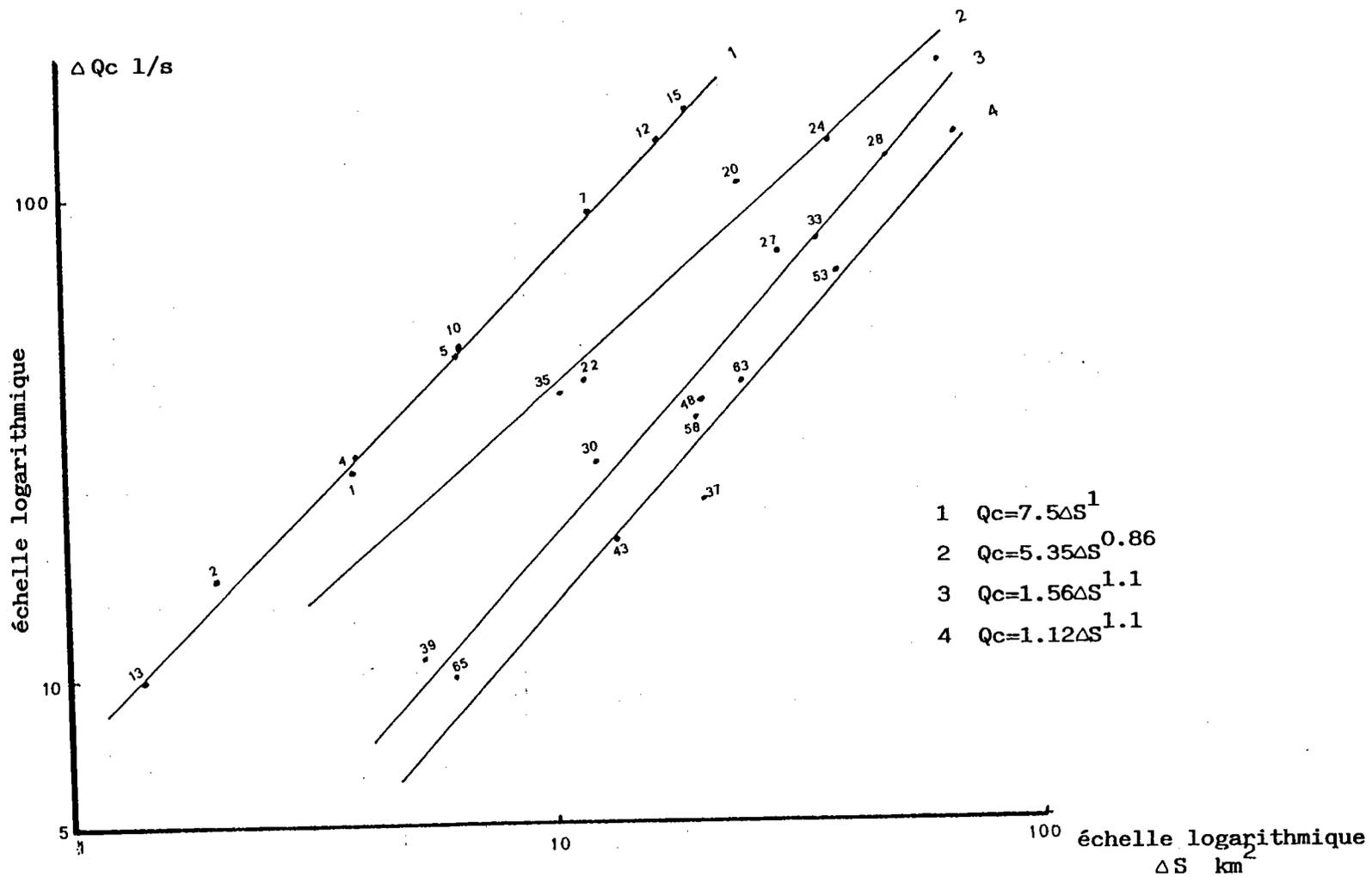
Tableau N° 47 : Corrélations $\Delta Q_c/\Delta S$

N° segments de droite	Points de mesure	Equation	coefficient de corrélation
1	1 à 15	$\Delta Q_c = 7.4\Delta S^1$	1
2	20, 22, 24, 25, 35	$\Delta Q_c = 5.35\Delta S^{0.86}$	0.987
3	27, 28, 30, 33, 39, 65	$\Delta Q_c = 1.56\Delta S^{1.1}$	0.995
4	37, 41, 43, 48, 53, 58	$\Delta Q_c = 5.35\Delta S^{1.1}$	0.96
3 + 4		$\Delta Q_c = 1.609\Delta S^1$	0.96

Le tableau ci-dessus contient les équations des différents segments de corrélation :

- le segment 1, correspond comme sur les profils hydrologiques à la région amont du bassin de la Mortagne, établis dans les grès vosgiens. Les débits spécifiques γ sont quasi constants.
- le segment 2, correspond à une zone de transition où la rivière draine les grès du Buntsandstein supérieur et du Muschelkalk inférieur. La pente (0.86) du segment de droite indique que les débits spécifiques diminuent légèrement lorsque les surfaces augmentent. Ce secteur, inclut l'Arentèle qui draine également cette région et s'étend jusqu'à Rambervillers. Sur le segment 2, se place le point 35, situé plus en aval à Deinviller, dans une zone où le rendement hydrologique est ponctuellement élevé

1,2,3,4 n° de segment de droite



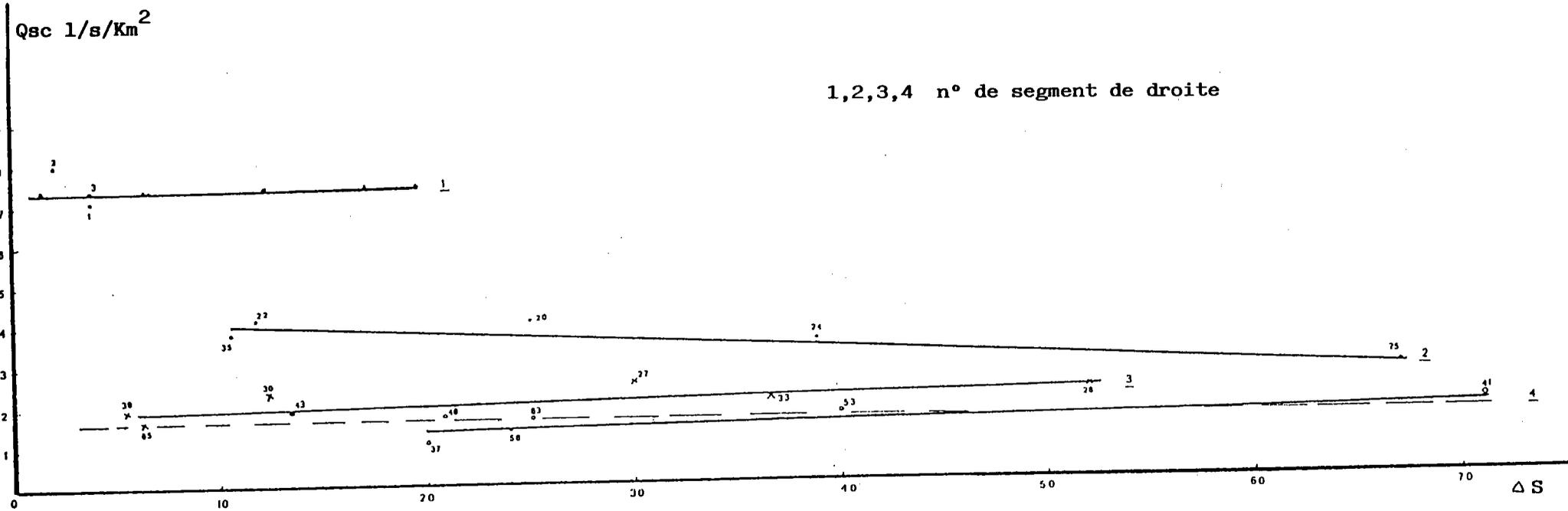
au contact des argiles et des calcaires qui affleurent en fond de vallée et dont la nappe est drainée par la rivière. Les débits spécifiques sont de l'ordre de 4 l/s/km^2 (2.5 à 4.1 l/s/km^2)

- les segments 3 et 4 ont des équations peu différentes et correspondent aux 2/3 aval du bassin. Leur pente est légèrement supérieure à 1.
- Le segment 3 correspond à la zone qui s'étend entre Rambervillers et Magnières. Elle comprend le Padozel et la Nauve, ainsi que le Ruisseau de Monseigneur. Les cours d'eau drainent une région dans laquelle le substratum affecté de quelques failles, présente une répétition de strates de calcaires et de marnes, tapissées d'alluvions étendues. Seul l'amont du Monseigneur draine les grès vosgiens. Les débits spécifiques sont de l'ordre de 2.2 l/s/km^2 (2.5 à 1.9 l/s/km^2) sur ce segment se placent également les points 39 et 65. Le segment 4 correspond à la partie aval du bassin-versant. La Mortagne y reçoit le Belvitte et draine les calcaires du Muschelkalk, progressivement recouverts par les argiles du Keuper. Les débits spécifiques sont faibles. Les calcaires y sont moins aquifères que dans le secteur situé immédiatement en amont. Ils affleurent à des altitudes plus basses à proximité du fond alluvial (rares sources et zone de perte)
($Q_s = 1.6 \text{ l/s/km}^2$)

Le graphique figure 73 visualise les bassins ΔS et ΔQ_{sc} . Il traduit assez bien l'homogénéité du Q_{sc} pour chaque région.

Il montre également que les segments 3 et 4 de la figure 73 concernent les mêmes familles de débits spécifiques (valeur moyenne 1.6 l/s/km^2). Regroupés, tous les points aval s'ajustent sur un segment de droite unique, dont la pente est égale à 1. Mais nous avons choisi de ne pas retenir cette variation linéaire du débit fonction des surfaces,

Fig. 73 : Liaison $\Delta S/\Delta Q_{sc}$ pour la Mortagne



qui aurait atténué toutes les hétérogénéités des rendements hydrologiques.

Le traitement de ΔQ_c montre donc que le bassin de la Mortagne comprend quatre "régions" hydrologiques et non deux comme le faisait apparaître le profil hydrologique.

Ces régions, à l'intérieur desquelles les débits spécifiques varient peu, ne sont pas parfaitement homogènes (le point 35, situé au milieu du bassin s'ajuste sur le segment 2, caractéristique de l'amont). Cela indique que la lithologie n'est pas le critère unique de spatialisation des écoulements. Il faut y ajouter :

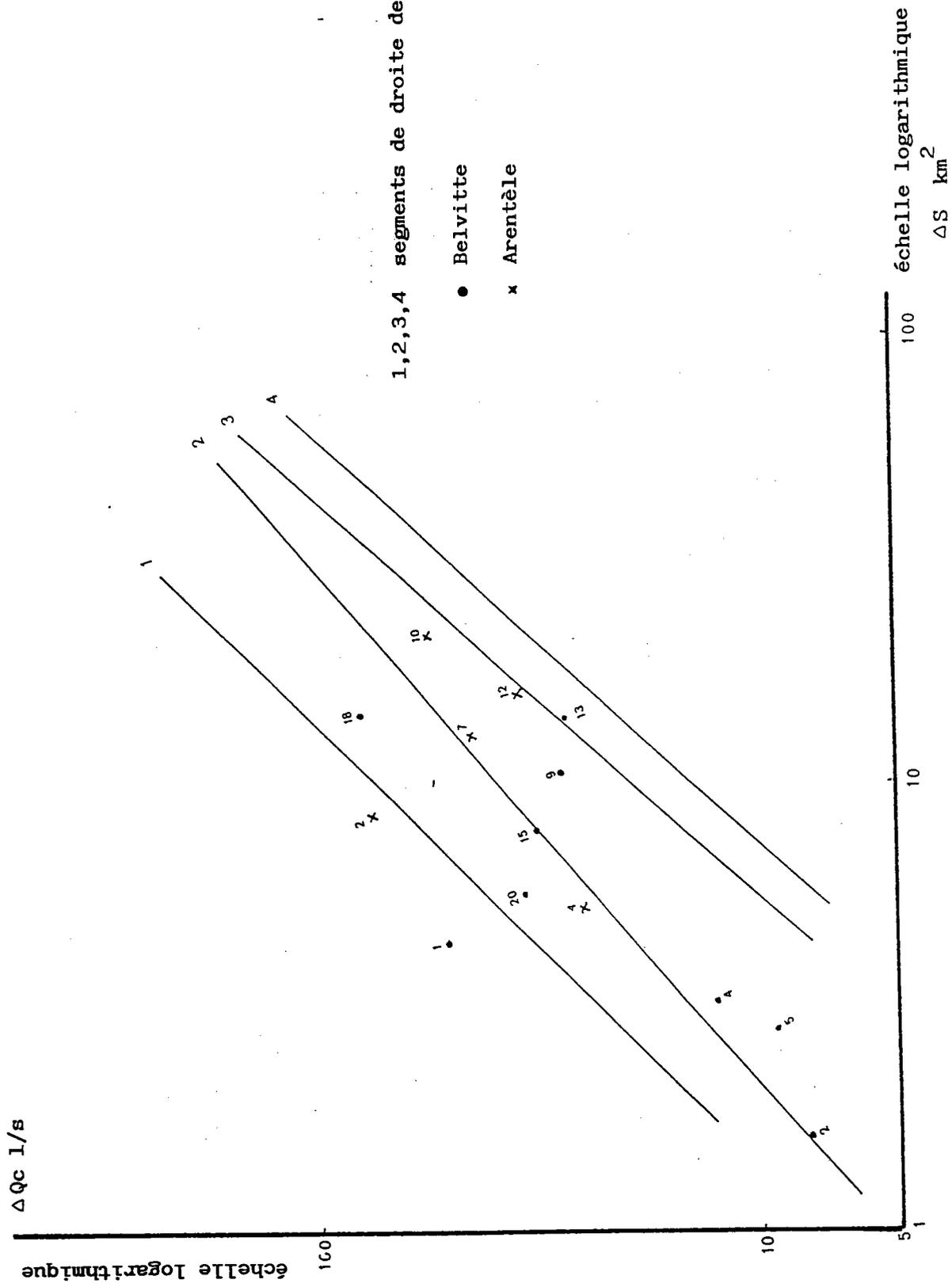
- les déformations tectoniques qui localement influencent les conditions hydrologiques
- les précipitations, qui jouent un rôle important dans la constitution des réserves.

b) Spatialisation des écoulements

de la Belvitte et de l'Arentèle

Grâce aux profils hydrologiques, il est possible de calculer pour ces affluents de la Mortagne, des débits "lissés".

On s'aperçoit, sur la figure 74 que les points $\Delta S/\Delta Q_c$ s'ajustent à peu près sur les segments de droite tracés à partir des données de la Mortagne, généralement selon les caractéristiques lithologiques du substratum drainé par les cours d'eau à ces points.



1,2,3,4 segments de droite de la figure.

- Belvitte
- × Arentèle

L'Arentèle

A l'amont, AR2 est assez proche du segment 1, mais le débit spécifique y est plus élevé que celui de la Mortagne amont (9.8 l/s/km²).

Il s'agit d'une erreur ou d'un surplus d'eau stocké soit dans les placages d'alluvions qui tapissent les grès à cet endroit à la limite de l'étroite zone de partage des eaux entre les bassins du Durbion de la Vologne et de la Mortagne, soit dans les grès, particulièrement fracturés dans ce secteur.

Vers l'aval, les points AR4, 7 et 10 sont proches du segment 2 conformément à la lithologie de leur bassin-versant.

Il en est de même pour le point AR12 qui se place sur le segment 3.

La Belvitte

Les points $\Delta S/\Delta Qc$ se rangent moins bien sur les 4 segments de droite. Cependant, les différences peuvent être expliquées.

A l'amont, le point BE1 est proche du segment 1 avec un débit spécifique assez élevé (*idem* Arentèle amont). Vers l'aval, se rangent sur le segment 2 les points BE2, 4 et 5, mais également 15. Le point 15 est l'équivalent sur la Belvitte du point 35 de la Mortagne (alimentation préférentielle par la nappe des calcaires du Muschelkalk).

Les points BE9 et 13 qui correspondent à la partie marno-calcaire du bassin-versant, se placent sur le segment 3.

Mais vers l'aval, les points BE18 et 20 se caractérisent par des débits anormalement élevés. Proches du segment 1 ($Q_{1c} = 5.6$ et 6 l/s/km²) leur rendement hydrologique est surestimé. On peut admettre que la Belvitte draine là une partie des eaux de la Mortagne, dont les débits sont trop bas avec les points MT37 et 39 du fait d'infiltrations dans les alluvions ou de pertes dans les calcaires du Muschelkalk, relevés à cet endroit par une flexure.

L'étude des débits de la Belvitte et de l'Arentèle montre qu'à l'intérieur du bassin de la Mortagne, et pour des espaces plus petits, on retrouve les mêmes liaisons $\Delta S/\Delta Q_c$ que pour l'ensemble du bassin. Ainsi, à lithologie équivalente, les débits spécifiques varient peu. Mais les particularités observées sur la Belvitte devront être prises en compte dans le cadre d'une cartographie des débits.

c) Analyse des débits des autres affluents

On ne dispose pas pour ces affluents de profils hydrologiques permettant de calculer des débits "lissés". Il s'agit de vérifier cependant si les rendements γ sont conformes à ceux mis en évidence précédemment.

Les débits peuvent être calculés à partir des équations des segments de droite de la figure 72, selon la lithologie du substratum drainé par ces affluents (segment 1 - ruisseaux drainant les grès vosgiens, segment 2 - ruisseau drainant les grès du Buntsandstein supérieur ...). Mais la méthode néglige obligatoirement les particularités ponctuelles liées à la tectonique.

Les écarts entre les débits mesurés ΔQ , et les débits calculés ΔQ_c , sont parfois élevés (cf. Tableau 49).

Mais la méthode permet d'harmoniser les résultats avec ceux obtenus précédemment.

CONCLUSION

Ainsi, l'étude de la répartition spatiale des débits montre le poids de la lithologie dans la valeur plus ou moins élevée des débits spécifiques, calculés pour chaque partie de bassin-versant, située entre deux points de mesure successifs.

La prise en compte des autres paramètres qui influencent les débits spécifiques n'est possible que pour les rivières, pour lesquelles on dispose d'un profil hydrologique.

Mais cette étude aboutit malgré tout à une certaine harmonisation des résultats de mesures. Celle-ci passe par deux étapes :

- une définition des principales classes de débits spécifiques correspondant à des régions hydrologiques
- un découpage de ces régions à partir de l'analyse des débits des affluents.

2. Cartographie des écoulements

Trois types de cartes peuvent être réalisées :

a) Une carte générale (ANNEXE XXIX)

La légende de cette carte reprend les grandes classes de débits, définies à partir de l'unique profil hydrologique de la Mortagne.

Cette carte n'est pas entièrement satisfaisante.

- d'après la légende, il n'existerait aucun débit spécifique compris entre 7.5 et 4.1 l/s/km². Ce hiatus est la conséquence du calcul des débits à l'aide des équations du profil hydrologique de la Mortagne (opposition très accusée entre la pente amont = 1- et la pente aval = 0.55) mais dans la réalité il n'existe pas.
- cette carte néglige complètement les débits spécifiques élevés de l'amont des affluents (Belvitte) et elle propose une organisation des rendements hydrologiques de l'amont vers l'aval, qui n'est pas entièrement conforme aux caractéristiques physiographiques, pluviométriques et structurales du bassin de la Mortagne.

b) Une carte plus détaillée (ANNEXE XXX)

Elle tient compte des débits spécifiques calculés à partir des équations des profils hydrologiques de la Mortagne, de l'Arentèle et de la Belvitte. Elle est plus précise que la précédente.

La légende de cette carte intègre des classes supplémentaires de débits et notamment :

- $Q_s \geq 8 \text{ l/s/km}^2$ observés à l'amont des cours d'eau
- $8 > Q_s \geq 7.4 \text{ l/s/km}^2$ y sont intégrés les débits calculés à partir du segment 1.
- $7.4 > Q_s \geq 4.1 \text{ l/s/km}^2$
- $4.1 > Q_s \geq 2.5 \text{ l/s/km}^2$
- $2.5 > Q_s \geq 1.7 \text{ l/s/km}^2$ par rapport à la carte précédente, la borne inférieure de cette classe a été modifiée. Elle peut contenir ainsi les Q_s compris entre 1.9 et 1.7 l/s/km^2 et dont la séparation en 2 classes n'est pas justifiée.
- $1.7 > Q_s > 0$
- sur l'Arentèle, la carte surestimait largement les débits. On y observe des débits élevés à l'extrême amont du bassin qui a en commun avec celui de la Mortagne une substratum gréseux (grès vosgiens) et des altitudes encore élevées. Mais vers l'aval, ces débits diminuent rapidement.
- sur la Belvitte, les débits se caractérisent par une répartition originale déjà évoquée dans le paragraphe précédent. Cependant, du fait des renseignements proposés par les profils hydrologiques, les débits qui se relèvent vers l'aval du bassin sont attribués à des espaces bien trop étendus.
- ailleurs, cette carte est le reproduction de la figure de l'ANNEXE XIX et ne propose aucun renseignement pour les ruisseaux de rive droite de la Mortagne à Rambervillers (MT23d et MT26d).

c) Une carte de tous les débits spécifiques (ANNEXE XXXI)

Elle tient compte de tous les renseignements collectés sur le terrain lors des campagnes de jaugeages.

A chaque point, le débit spécifique a été calculé à l'aide des équations des segments de droites de la figure 72 et comparé au débit spécifique effectivement mesuré. C'est le Q_s le plus vraisemblable qui a été cartographié.

Ainsi, ont été représentés tous les débits spécifiques proches au égaux à 0 (correspondant sur le terrain à des filets d'eau non jaugeables ou à des ruisseaux à sec) non visualisés sur les cartes précédentes.

Cette carte, qui reprend la légende de la carte de l'ANNEXE XXX est donc plus détaillée. La répartition spatiale des débits q est assez conforme aux caractéristiques du bassin de la Mortagne.

- à l'amont, jusqu'à la station d'Autrey, les débits spécifiques sont relativement élevés. Les valeurs les plus fortes concernent l'extrême amont des affluents de la Mortagne.
- d'Autrey à Magnières, on peut opposer les écoulements de rive gauche de la Mortagne, qui drainent les marno-calcaires et les argiles ($Q_s < 2.5 \text{ l/s/km}^2$) à ceux de rive droite qui remontent jusqu'aux grès vosgiens. Les débits spécifiques q sont plus élevés, mais également plus contrastés. Il semble ainsi que les ruisseaux qui drainent les versants exposés au nord des vallées du Monseigneur et de la Belvitte amont, bénéficient d'écoulements mieux soutenus que les autres (effet du pendage ?). Dans ce secteur le fond de la vallée de la Mortagne se caractérise également par des débits spécifiques très variables, selon les caractéristiques géologiques et géomorphologiques du fond alluvial.
- à l'aval de Magnières, on retrouve un secteur au rendement hydrologique homogène, caractérisé par des débits spécifiques très bas.

Ainsi quatre régions apparaissent dans le bassin mais dont l'organisation est différente de celle proposée par la carte de L'ANNEXE XXX.

La comparaison des 3 cartes montre donc :

- que les classes de débits retenues semblent adaptées au bassin de la Mortagne, puisqu'elles rendent assez bien compte de la variété des écoulements en accord avec les spécificités du bassin-versant.
- qu'à l'échelle d'un bassin comme la Mortagne, l'utilisation des profils hydrologiques pour une cartographie des débits est insuffisante. Mais elle est justifiée pour la réalisation de cartes à des échelles plus petites.

Il est possible que le traitement des autres campagnes de mesures aurait donné des résultats similaires à ceux obtenus à partir de la première campagne (profils hydrologiques des principaux cours d'eau étant parallèles).

Cependant, les cartes proposées restent des cartes par plages. Le tracé d'isolignes de rendements hydrologiques ne semble possible qu'en sacrifiant une certaine précision, même si cette dernière n'est que relative.

CONCLUSION

On peut souligner au terme de cette analyse que la spatialisation des débits dans un bassin-versant ainsi que la cartographie de ces débits imposent le traitement préalable des données de terrain.

Après un lissage (homogénéisation à partir des profils hydrologiques) des résultats de jaugeage, l'analyse des ΔQ_c et des surfaces correspondantes, restitue en grande partie l'hétérogénéité des écoulements en étiage.

Les cartes obtenues peuvent être comparées aux cartes lithologiques et pluviométriques du bassin de la Mortagne.

On s'aperçoit ainsi que :

- à l'amont du bassin, les régions aux débits spécifiques élevés, sont légèrement plus étendues que les affleurements gréseux. Cela peut être attribué aux caractéristiques des fonds de vallées où les rivières drainent la nappe des grès du Buntsandstein (devenant captive vers l'aval) ainsi qu'une nappe alluviale bien alimentée du fait des précipitations (> 1000 mm). Ces mêmes phénomènes caractérisent le centre-est du bassin drainé par les affluents de rive droite de la Mortagne.
- vers l'aval, les caractéristiques structurales et les caractéristiques climatiques s'associent pour expliquer les faibles rendements hydrologiques.

Cependant, ces cartes des débits, ne peuvent prendre leur réelle signification, qu'intégrées à un espace plus vaste, comprenant une représentation des rendements hydrologiques des bassins voisins de ceux de la Mortagne.

CONCLUSION DE LA QUATRIEME PARTIE

Cette dernière partie de notre étude nous a permis de mettre à l'épreuve tous les paramètres physiques décrits dans les parties précédentes.

On a pu ainsi mettre en évidence le rôle prédominant du substratum dans les étiages et dans les crues, et celui de l'occupation du sol, notamment la forêt, dans les crues.

D'autre part le phénomène pluviométrique majeur du bassin-versant, l'effet orographique, a pu être précisé puisque l'accroissement des précipitations n'est pas suivi dans tous les cas du même accroissement des écoulements qui se fait ressentir d'abord sur les modules et les étiages.

En outre le bassin apparaît comme un milieu combinant tous ces paramètres physiques et l'étude des écoulements révèle l'aspect caractéristique ou cumulatif de leurs actions sur le cycle de l'eau.

CONCLUSION GENERALE

La Mortagne, affluent de la Meurthe, est une rivière caractéristique du plateau lorrain au substratum essentiellement marno-calcaire. Cependant, son cours amont s'inscrit dans les Vosges gréseuses qui bordent la dépression permienne de Saint-Dié. La station hydrométrique d'Autrey (98 km²) est représentative de ce bassin amont gréseux, alors que celle de Gerbéviller (490 km²) est représentative de l'ensemble du bassin (580 km²).

L'étude climatique du bassin a été facilitée du fait de l'existence de nombreuses stations de mesure, surtout pluviométriques. Le climat du bassin est océanique avec une nuance de continentalité qui se caractérise par une amplitude moyenne des températures (17°C) et une répartition des précipitations tout au long de l'année (80 à 110 mm).

Ces précipitations sont cependant variables dans l'espace et dans le temps. L'effet orographique se fait sentir dans la partie amont du bassin où les précipitations dépassent 1100 mm, alors que sur le plateau lorrain elles sont comprises entre 900 et 1000 mm. La variabilité interannuelle importante se caractérise par une succession de séquences plus ou moins sèches ou humides. L'essai de bilan hydrique confirme les calculs de pluie moyenne pour le bassin (méthode de isohyètes et de Thiessen). Pour une pluie moyenne de l'ordre de 1000 mm, le déficit d'écoulement est d'environ 600 mm, ce qui est une valeur élevée, proche de l'ETP de Thornthwaite.

Le régime hydrologique de la Mortagne est étudié à l'échelle annuelle et à l'échelle mensuelle aux deux stations hydrométriques (période 1970-1987). La différence est très nette entre les deux bassins. Le module spécifique interannuel à Autrey, de 18 l/s/km^2 , témoignent du soutien des écoulements par les nappes souterraines des grès vosgiens. Ce module n'est plus que de 12 l/s/km^2 à Gerbéviller, les possibilités aquifères du plateau lorrain étant réduites. La variabilité des écoulements annuels répond à celle de la pluviométrie, avec une correspondance des séquences sèches et humides. La comparaison du régime annuel aux deux stations montre bien l'influence du substratum. Le contraste entre les hautes eaux et les basses eaux est moins important à Autrey qu'à Gerbéviller du fait de l'existence des grès (meilleure infiltration hivernale et soutien des débits estivaux par les nappes). La plus faible variabilité des débits mensuels à Autrey s'explique également par cet effet tampon des grès dans la transformation des précipitations en écoulement.

Les débits extrêmes ont fait principalement l'objet d'un traitement statistique (débits fréquentiels). Quelques épisodes de crues ont également été étudiés. Cependant, le travail a surtout été orienté vers la spatialisation des débits d'étiage (campagnes de mesures de 1989). La méthode mise au point par le C.E.G.U.M., a été utilisée pour la critiques des données et l'établissement des profils hydrologiques. L'étude de ces profils permet de souligner les contrastes spatiaux analysés précédemment. Un essai de cartographie des rendements hydrologiques du bassin permet de compléter cette étude.

Il est certain, qu'au terme de cette étude, il apparaît que tous les thèmes hydrologiques n'ont pas été traités de manière approfondie (cas des crues par exemple). Mais notre ambition était d'apprendre à utiliser avec rigueur la critique et les méthodes de traitement des données significatives de la diversité géographique du bassin-versant.

TABLE DES FIGURES

- PREMIERE PARTIE

- Fig. 1 : Contexte régional du bassin-versant de la Mortagne
Bassins-versants de la Mortagne, ordonnés en fonction de la surface
- Fig. 2 : Bassins-versants affluents directs
- Fig. 3 : Bassins-versants affluents directs et indirects
Bassins-versants affluents directs
- Fig. 4 : Surfaces moyennes des bassins
- Fig. 5 : Nombre de bassins
Bassins-versants affluents directs et indirects
- Fig. 6 : Surfaces moyennes des bassins
- Fig. 7 : Nombre de bassins
- Fig. 8 : Bassins-versants de la Mortagne aux stations hydrométriques
- Fig. 9 : Histogramme des fréquences
- Fig. 10 : Courbes des fréquences cumulées
- Fig. 11 : Echelle stratigraphique et lithologique
- Fig. 12 : Coupe géologique générale
- Fig. 13 : La vallée de la Mortagne entre Autrey et Gerbéviller
- Fig. 14 : Profils en long de la Mortagne et de ses principaux affluents
- Fig. 15 : Hiérarchisation des réseaux hydrographiques de la Mortagne
- Fig. 16 : Hiérarchisation des réseaux hydrographiques des affluents de la Mortagne

- DEUXIEME PARTIE

- Fig. 17 : Localisation des stations hydrométriques et des postes climatiques
- Fig. 18 : Courbes ombrothermiques
- Fig. 19 : Effet orographique sur la pluie
- Fig. 20 : Climogramme
- Fig. 21 : Climogramme
- Fig. 22 : L'évolution des données thermiques (1970-1987)
- Fig. 23 : Les corrélations des données thermiques entre les postes
- Fig. 24 : Nombre d'apparition des cassures
- Fig. 25 : Histogrammes des fréquences des totaux pluviométriques annuels (1950-1987)
- Fig. 26 : Nombre des cassures sur les années
- Fig. 27 : Carte des polygones de Thiessen
- Fig. 28 : Carte des isohyètes
- Fig. 29 : Bilan mensuel (1970-1987)

- TROISIEME PARTIE

Fig. 30 : Double cumul

Fig. 31 : Simple cumul

Fig. 32 : Régression linéaire entre les modules d'Autrey et de Gerbéviller (1970-1987)

Fig. 33 : Régime interannuel des débits (m^3/s) (Autrey et Gerbéviller)

Fig. 34 : Régime interannuel des débits ($l/s/km^2$) (Autrey et Gerbéviller)

Fig. 35 : Distribution des modules

Fig. 36 : Ajustement des modules d'Autrey à une loi normale

Fig. 37 : Ajustement des modules de Gerbéviller à une loi normale

Fig. 38 : Fréquence de mois d'étiage à Gerbéviller et à Autrey.

Fig. 39 : Distribution des modules des années hydrologiques

Fig. 40 : Ajustement des modules d'Autrey en année hydrologique à une loi normale

Fig. 41 : Ajustement des modules de Gerbéviller en année hydrologique à une loi normale

Fig. 42 : Coefficients mensuels de débit

Fig. 43 : Débits moyens mensuels

Fig. 44 : Rapport entre les débits moyens mensuels des deux stations

- QUATRIEME PARTIE

Fig. 45 : Variabilité des débits moyens mensuels

Fig. 46 : Régime des débits moyens mensuels en années sèches

Fig. 47 : Régime des débits moyens mensuels en années humides

Fig. 48 : Comparaison du régime des années sèches et du régime des années humides

Fig. 49 : Régimes des années extrêmes

Fig. 50 : Débits moyens mensuels fréquentiels

Fig. 51 : Rapport entre les débits moyens mensuels décennaux secs et humides : $Q_{0.9}/Q_{0.1}$

Fig. 52 : Fréquences des maximums mensuels en fonction des mois

Fig. 53 : Distribution des débits moyens mensuels maximums

Fig. 54 : Distribution des débits journaliers maximums

Fig. 55 : Débits journaliers maximums

Fig. 56 : Distribution des débits instantanés maximums

Fig. 57 : Débits instantanés maximums

Fig. 58 : Relation entre débits de pointes et écart de temps entre pointes

Fig. 59 : Les débits de pointes, relation entre Autrey et Gerbéviller

Fig. 60 : Distribution des débits mensuels d'étiage

- Fig. 61 : Débits moyens mensuels d'étiage classés
- Fig. 62 : Exemple de correction (MT24)
- Fig. 63 : Profil hydrologique (arithmétique)
- Fig. 64 : Profil hydrologique (débits spécifiques)
- Fig. 65 Profil hydrologique du réseau principal (logarithmique)
- Fig. 66 : Profil hydrologique de l'Arentèle (arithmétique)
- Fig. 67 : Profil hydrologique de l'Arentèle (logarithmique)
- Fig. 68 : Profils hydrologiques en coordonnées arithmétiques
- Fig. 69 : profil hydrologique de la Belvitte (Logarithmique)
- Fig. 70 : corrélation réseau/surface arithmétique
- Fig. 71 : corrélation débits/longueur logarithmique
- Fig. 72 : Liaison $\Delta S/\Delta Q_c$ pour la Mortagne
- Fig. 73 : Liaison $\Delta S/\Delta Q_{sc}$ pour la Mortagne
- Fig. 74 : Liaison $\Delta S/\Delta Q_c$ pour les affluents

LISTE DES TABLEAUX

PREMIERE PARTIE

- Tableau 1 : Détermination des classes de bassins
- Tableau 2 : Nombre et surface moyenne des bassins-versants par classe
- Tableau 3 : Indices de forme
- Tableau 4 : Caractéristiques hypsométriques
- Tableau 5 : Pentés moyennes et indice de pente
- Tableau 6 : Classification des perméabilités
- Tableau 7 : Types de roches de perméabilité
- Tableau 8 : Répartition des perméabilités des bassins
- Tableau 9 : Occupation du sol
- Tableau 10 : Caractéristiques du lit mineur et du lit majeur
- Tableau 11 : Caractéristiques essentielles des bassins aux stations hydrométriques d'Autrey et Gerbéviller

DEUXIEME PARTIE

- Tableau 12 : Les moyennes des températures interannuelles
- Tableau 13 : Les pentes de corrélation entre les données thermiques
- Tableau 14 : Coefficient de correction pour Roville-aux-Chênes
- Tableau 15 : ETP du bassin-versant de la Mortagne
- Tableau 16 : Les plus grands coefficients correctifs
- Tableau 17 : Découpage de la série d'années
- Tableau 17^{bis} : Les paramètres statistiques
- Tableau 18 : Les surfaces entourées par les médiatrices de Thiessen
- Tableau 19 : Les surfaces entre deux courbes isohyètes
- Tableau 20 : Bilan hydrique
- Tableau 21 : Comparaison des données calculées

TROISIEME PARTIE

- Tableau 22 : Données annuelles aux stations
- Tableau 23 : Rapport des modules extrêmes
- Tableau 24 : Série d'années sèches et série d'années humides
- Tableau 25 : Comparaison des moyennes et des écart-types des séries sèches et des séries humides

- Tableau 26 : Distribution des modules
- Tableau 27 : Tests d'ajustement des modules à une loi normale
- Tableau 28 : Fréquence expérimentale des modules
- Tableau 29 : Modules caractéristiques
- Tableau 30 : Durée de retour des modules extrêmes
- Tableau 31 : Fréquences des débits moyens annuels
- Tableau 32 : Coefficient d'ajustement et d'aplatissement
- Tableau 33 : Tests d'ajustement des modules des années hydrométriques à une loi normale
- Tableau 34 : Dispersion des modules en année hydrologique et en année civile
- Tableau 35 : Durée de retour des modules extrêmes

QUATRIEME PARTIE

- Tableau 36 : Débits mensuels maximums
- Tableau 37 : Débits mensuels maximums fréquentiels
- Tableau 38 : Caractéristiques fréquentielles de dix crues
- Tableau 39 : Indice de sévérité des débits moyens mensuels d'étiage
- Tableau 40 : Débits d'étiage fréquentiels déterminés à l'aide d'une loi normale
- Tableau 41 : Débits mesurés aux stations hydrométriques et fréquences
- Tableau 42 : Les points de jaugeage susceptibles d'être surestimés
- Tableau 43 : Les moyennes des débits spécifiques
- Tableau 44 : Les rapports des débits spécifiques
- Tableau 45 : Valeur de h pour les 2 segments du profil de la Mortagne
- Tableau 46 : Valeur de h pour les 2 segments du profil de la Belvitte
- Tableau 47 : Caractéristiques des droites de corrélation débit/longueur du drainage
- Tableau 48 : Corrélations $\Delta Q_c / \Delta S$
- Tableau 49 : Tableau de débits calculés "lissés"
- Tableau 50 : Tableau récapitulatif des épisodes de crue

BIBLIOGRAPHIE

- J. BAUDET et R. CORDA
1976 Aménagement de la Mortagne. Essai d'insertion de travaux hydrauliques dans le milieu. S.R.A.E.L.
- P. BIROT
1981 Les processus d'érosion à la surface des continents. Masson.
- G. CASTANY
1982 Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod, Paris
- CEMARA
1986 Statistique appliquée à l'exploitation des mesures Masson
- A. CHAMPOUX et C. TOUTANT
1988 Eléments d'hydrologie. Le Griffon d'argile
- H. CHAMUSSY, J. CHARRE, P. DUMOLARD, M-G. DURAND et M. Le BERRE
1974 Initiation aux méthodes statistiques en géographie
- M. CHAUMONT
1968 Les influences des régimes climatiques en France, en Espagne et en Afrique du nord et leurs conséquences hydrologiques. Blida.
- D. CHIGOT, R. CORDA, F. LETOUZE et A. YACOUBI
1981 Le Vair et son bassin versant. S.R.A.E.L.-D.E.D.S.
- J. CORBONNOIS, M. SAINTPE et M. SARY
1985 Valorisation des catalogues de débits mensuels d'étiage. Bassin de la Meurthe en amont de Raon-l'Etape.
- J. CORBONNOIS et M. SARY
1985 Etude de la vitesse du courant et de la dynamique fluviale de la Mortagne. S.R.A.E.L.-D.E.D.S.
- J. CORBONNOIS et M. SARY
1986 Etude hydrologique du bassin du Brénon. C.E.G.U.M.
- J-P. DECLoux, E. GILLE, P. PARIS et M. ZUMSTEIN
1989 L'atlas de la lithologie, perméabilité et sensibilité à la pollution des formations affluentes du bassin Rhin-Meuse
- J-P. DECLoux, M.SARY
1989 Campagnes d'étiage (objectifs, traitement et valorisation des données) Assises de l'hydrométrie. Paris

- M. DERRUAU
1988 Précis de géomorphologie. 6^e ed. Masson.
- N. DRAPER et H. SMITH
1981 Applied regression analysis, 2^e ed. John Wiley & Sons, Inc.
- P. DUBREUIL
1974 Initiation à l'analyse hydrologique. Paris, Masson.
- H. ELHAI
1968 Biogéographie. Armand Colin
- M. R. EMBRY, J.F. SCHELL et J.P. THOMAS
1972 Calculus and linear algebra. W.B. Saunders Co.
- G. ESCOURROU
1981 Climat et environnement. Collection Géographie. Masson.
- M. ESTEVES
1989 Mesure des débits par intégration des cours d'eau (Normalisation des méthodes de traitement des données). Agence de l'eau Rhin-Meuse.
- M. ESTEVES
1989 Etude et modélisation des relations aquifères - rivière dans le Ried de Colmar (Haut-Rhin, France)
- D. FRANCOIS et M. SARY
1990 Etude méthodologique des basses eaux. Agence de l'eau Rhin-Meuse
- R. FRECAUT
1971 La Moselle et son bassin
Thèse de doctorat d'Etat. Université de Lille III.
- R. FRECAUT
1983 Géographie de la Lorraine. Editions Serpenoise.
- R.V. GILES
1975 Mécanique des fluides et hydraulique. Série Schaum. McGraw-Hill
- E. GILLE
1991 Etude hydrologique des crues de la Moselle et de la Sarre, 1970-1983
- M. HALLER
1988 Hydroclimatologie du haut bassin de la Saone. Mémoire de Maîtrise, C.E.G.U.M. Université de Metz.
- F. HIRSCH et J. TRICART
1960 Relation entre le débit et la superficie des bassins fluviaux, Annales de Géogr. 375, p. 449-461

- F. HIRSCH
1963 Estimation des débits des cours d'eau. Reprint of Bulletin of the I.A.S.H. VIIIe Année N° 4.
- P.G. HOEL
1966 Elementary Statistics. 2^e ed. John Wiley & sons, Inc.
- J. HUMBERT, A.R. CLOOTS et G. MAIRE
1987 Crues et inondations, Actes du colloque de Strasbourg. Université de Strasbourg.
- E. JACQUES
1990 Méthode globale optimisant le mesurage des débits en rivière. V.A. hydraulique et environnement.
- J.F. KENNEY et E.S. KEEPING
1954 Mathematics of statistics (part one). 3e edition. D. Van Nostrand Company, Inc.
- E. KREYSZIG
1985 Advanced engineering mathematics. John Wiley & Sons.
- J.P. LABORDE
1980 Synthèse cartographique des pluies journalières extrêmes dans l'Est de la France. S.R.A.E.L., D.E.D.A.
- J.P. LABORDE
1981 Hauteurs des précipitations journalières décennales de la France du Nord-Est. Mission Déléguée du Bassin Rhin-Meuse.
- R. LAMBERT
1975 Recherches hydrologiques dans le sud-est du bassin garonnais. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Toulouse-le Mirail.
- G. MAIRE et A. GOBERT
1981 Stabilisation du lit de la Moselle entre Epinal et Neuves-Maisons. Centre de Géographie appliquée, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg.
- W. MASIERI
1988 Statistique et calcul des probabilités. 6^e ed. Sirey
- A. MEBARKI
1982 Le bassin du Kébir-Rhumel. Thèse de doctorat. Université de Nancy II.
- A. MENTRE-HILDENBRAND
1986 Contribution à l'étude de phénomènes hydro-climatiques. Le cas du bassin de la Meuse. Thèse Doct. Univ. Nancy II.

- C. van der MER WE
1978 Physique générale. Série Schaum. McGraw-Hill.
- P. OZENDA
1964 Biographie végétale Editions Doin.
- C. PETIT
1989 Etude hydrogéographique des débits d'étiage.
La Meurthe à Lunéville et ses affluents. Maîtrise de
géographie. Université de Metz
- CH. POMEROL, CL. BABIN, Y. LANCELOT, X. Le PICHON, P. RAT
et M. RENARD
1987 Stratigraphie. Doin.
- H. REICHARDT
1980 Petite encyclopédie des mathématiques. Didier.
- G. REMENIERAS
1976 L'hydrologie de l'ingénieur. Editions Eyrolles.
- M. ROCHE
1963 Hydrologie de surface. Paris, Gauthier-Villars.
- M. ROCHE
1986 Dictionnaire français d'hydrologie de surface. Masson
ed., Paris
- H. SCHOELLER
1962 Les eaux souterraines. Masson & Cie.
- J.-C. SCHERER
1973 Les facteurs de l'écoulement dans le bassin de
l'Allier. Thèse de Doctorat de IIIe Cycle. Université
L. Pasteur. Strasbourg
- C. SONWOO
1986 L'hydrologie, Dongmyong.
- M.R. SPIEGEL
1972 Statistique. Série Schaum, McGraw-Hill.
- M.R. SPIEGEL
1987 Analyse. Série Schaum, McGraw-Hill.
- Y. TARDY
1986 Le cycle de l'eau, Masson
- D.K. TODD
1980 Ground water hydrology. 2^e ed. John Wiley & Sons.
- J. TRICART
1949 La partie orientale du bassin de Paris. Société d'édition
d'enseignement supérieur
- J. TRICART
1968 Précis de géomorphologie. Tome I. Société d'édition
d'enseignement supérieur

- J. TRICART
1977 Précis de géomorphologie. Tome II. Société d'édition
d'enseignement supérieur
- D.R. WEYMAN
1975 Runoff processes and streamflow modeling. Oxford
university press
- J.F. ZUMSTEIN, E. GILLE, J. ABELE, M. ANGAUD, C. MARTIN
1985 Analyse critique des longues séries de hauteurs de
crue aux échelles d'Epinal, Toul et Metz sur la Moselle
et de Malzéville sur la Meurthe.
Validation des séries brutes, établissement des séries
homogènes et reconstitution de séries de débits.
Mosella.

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS	1
INTRODUCTION GENERALE.....	3

PREMIERE PARTIE

LE BASSIN-VERSANT ET LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

<u>INTRODUCTION</u>	9
---------------------------	---

CHAPITRE I - CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES

DU BASSIN-VERSANT

A - <u>Superficie et forme</u>	
1. Superficie.....	11
2. Forme	17
B - <u>Relief</u>	
1. Données hypsométriques.....	22
2. Indices de pente et de relief	25
<u>CONCLUSION</u>	27

CHAPITRE II - CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES

ET COUVERT VEGETAL

A - <u>Structure géologique</u>	
1. Stratigraphie et lithologie.....	29
2. Tectonique.....	34
B - <u>Perméabilité du substratum</u>	
1. Définition des classes de perméabilité.....	36
2. Application aux bassins-versants	39

C - Occupation du sol	
1. Types d'occupation du sol et répartition.....	44
2. Conséquences hydriques.....	45
CONCLUSION	48
CHAPITRE III - CARACTERISTIQUES HYDROGRAPHIQUES	
A - Implantation du réseau hydrographique	
1. Réseau hydrographique et entaille des vallées.....	52
2. Plaine alluviale et dynamique du lit mineur	56
B - Morphométrie des réseaux hydrographiques	
1. Profils en long.....	62
2. Hiérarchisation	63
3. Densités	68
CONCLUSION	70
CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE	72

DEUXIEME PARTIE

LE CLIMAT DU BASSIN-VERSANT

INTRODUCTION	79
CHAPITRE I - PRESENTATION DU CLIMAT DU BASSIN VERSANT	
A - Régime des Températures	81
B - Régime des pluies	81
C - Définition du climat du bassin-versant	85

<u>CHAPITRE II - LA TEMPERATURE</u>	87
<u>CONCLUSION</u>	89
<u>CHAPITRE III - LE CALCUL D'UNE EVAPOTRANSPIRATION</u>	91
<u>CHAPITRE IV - LES DONNEES DE PRECIPITATIONS</u>	
<u>A - Les séries des données</u>	
1. Données de série longue.....	93
2. Données de série courte.....	94
<u>B - Critique des données</u>	
1. Le double cumul.....	95
2. Corrélation poste à poste.....	98
3. Remplacement des données manquantes.....	100
<u>C - Analyse des variations pluviométriques annuelles</u>	
1. Méthode visuelle.....	101
2. Simple cumul.....	104
<u>CONCLUSION</u>	107
<u>CHAPITRE V - SPATIALISATION DES PRECIPITATIONS</u> <u>DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES</u>	
<u>A - Méthode de Thiessen</u>	
1 stricte (médiatrice).....	109
2. Thiessen aménagé en tenant compte de la topographie.....	113
<u>B - Isohyètes</u>	113
<u>CHAPITRE VI - ESSAI DE BILAN HYDRIQUE</u>	
<u>A - La méthode du bilan</u>	115
<u>B - Résultats</u>	116

C - Critique	
1. L'hétérogénéité du milieu physique du bassin-versant	118
2 L'écoulement de crue.....	118
3. La comparaison entre écoulement mesuré et surplus du bilan hydrique.....	119
<u>CONCLUSION</u>	120
<u>CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE</u>	121

TROISIEME PARTIE

LE REGIME HYDROLOGIQUE

DE LA MORTAGNE

<u>INTRODUCTION</u>	125
----------------------------------	-----

CHAPITRE I - LES ECOULEMENTS DANS LE BASSIN DE LA MORTAGNE

A - Les débits annuels

1 Critique des données	
a) Méthode des doubles cummuls	128
b)La méthode des simples cumuls	130
2. Régime interannuel des débits	
a) Corrélation entre les modules des deux bassins	132
b) Des modules contrastés.....	135
c) Les modules fréquentiels	140
3. Traitement statistique des modules en année hydrologique	
a) Choix du découpage	150
b) Distribution des modules des années hydrologiques.....	152

CHAPITRE - II LE REGIME ANNUEL DES ECOULEMENTS
DANS LE BASSIN DE LA MORTAGNE

A - <u>Comparaison des régimes des deux stations</u>	162
B - <u>Variabilité des débits moyens mensuels</u>	
1. variabilité des débits moyens mensuels de la période 1970-1987.....	165
2. Le régime des années sèches.....	168
3. Le régime des années humides.....	171
4. Comparaison des deux régimes.....	171
C - <u>Régimes des débits moyens mensuels fréquentiels</u>	174
<u>CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE</u>	177

QUATRIEME PARTIE

LES DEBITS EXTREMES

<u>INTRODUCTION</u>	181
---------------------------	-----

CHAPITRE - I : CARACTERISTIQUES GENERALES
DES DEBITS EXTREMES

A - <u>Débits caractéristiques des hautes eaux</u>	
1. Etude statistique des débits moyens mensuels maximums.....	183
B - <u>Les débits de crue</u>	
1. Les débits moyens journaliers maximums.....	187
2. Les débits maximums instantanés.....	191

C - <u>Etude de quelques épisodes de crues</u>	
1. Les volumes de crues	195
2. Le transfert de la pointe de crue entre Autrey et Gerbéviller	198
3. Les débits de pointes	199
4. Les débits de pointe : étude fréquentielle	202
5. Critique	203
<u>Conclusion de l'étude des débits maximaux</u>	204

D - <u>Les débits d'étiage</u>	
1. Etude statistique des débits moyens mensuels minimums	205
2. Les débits journaliers non dépassés sur 10 jours consécutifs	210

CHAPITRE - II SPATIALISATION DES DEBITS D'ETIAGE DU 1989

A - <u>Les Mesures</u>	
1. Situation hydrologique des campagnes de mesure	
a) Caractéristiques de l'étiage 1989 par rapport à ceux de la période étudiée précédemment	214
b) Les fluctuations hydrographiques au moment des mesures	215
c) Correction des données influencées à la première campagne	217
B - <u>Corrélation-reconstitution de données</u>	
1. Reconstitution des données de la Mortagne	
a) Méthode de correction	219
b) Les résultats	222
2. Reconstitution des données des affluents principaux	
a) l'Arentèle (cf graphique ANNEXE XXVI)	224
b) la Belvitte (graphiques ANNEXE XXVII)	225
<u>CONCLUSION</u>	225

C - Elaboration des profils hydrologiques

1. Les profils hydrologiques débit/surface	
a) Profils débit/surface de la Mortagne	
1) En coordonnées arithmétiques.....	227
2) En coordonnées logarithmiques.....	231
b) Profils débit/surface des affluents	
1) L'Arentèle.....	233
2) La Belvitte.....	236
<u>CONCLUSION</u>	239

2. Les profils hydrologiques débits/longueurs des réseaux	
a) Surface de bassin-versant et longueur du réseau.....	241
b) Les profils hydrologiques débit/longueur de drainage.....	242
<u>CONCLUSION</u>	245

D - Répartition spatiale des écoulements et cartographie

1. Spatialisation des écoulements	
a) Spatialisation des écoulements de la Mortagne.....	246
b) Spatialisation des écoulements de la Belvitte et de l'Arentèle.....	252
c) Analyse des débits des autres affluents.....	255
<u>CONCLUSION</u>	256

2. Cartographie des écoulements	
a) Une carte générale (ANNEXE XIX).....	257
b) Une carte plus détaillée (ANNEXE XXX).....	257
c) Une carte de tous les débits spécifiques (ANNEXE XXXI).....	257
<u>CONCLUSION</u>	261

<u>CONCLUSION DE LA QUATRIEME PARTIE</u>	262
--	-----

<u>CONCLUSION GENERALE</u>	263
----------------------------------	-----

Table des figures	267
Liste des tableaux	271
Bibliographie	273
Table des matières	279