

**Agence de l'Eau Rhin-Meuse**

*"Le Longeau" - Route de Lessy  
Rozérieulles - B.P. 19  
57161 Moulins-lès-Metz*

**Cartographie des écoulements caractéristiques  
Etude méthodologique  
Application aux bassins de la Meuse et de la Moselle françaises  
1<sup>ère</sup> phase : Etude méthodologique**

**RAPPORT**

**JUILLET 1997**

**Centre d'Etudes Géographiques  
de l'Université de Metz**

*Ile du Saulcy  
57045 METZ Cedex 1*

**Cartographie des écoulements caractéristiques.  
Etude méthodologique  
Application aux bassins de la Meuse et de la Moselle Française  
1<sup>ère</sup> phase : Etude méthodologique**

1. Recherches bibliographiques . . . . .	1
1. 2. Cartographie les lames d'eau annuelles écoulées . . . . .	1
1. 2. Cartographie des étiages et des modules dans le Bassin Rhin-Meuse . . . . .	2
1. 3. Cartographie automatique et Systèmes d'Information Géographique . . . . . * . . . . . * *	3
2. Cartographie des données aux stations . . . . .	3
2. 1. Données utilisées . . . . . ** * . . . . . * . . . . . ** * *	3
2. 2. Réseau hydrométrique . . . . .	4
2. 3. Cartographie des débits caractéristiques d'étiage . . . . .	5
2. 3. 1. Cartes des débits spécifiques . . . . .	5
2. 3. 2. Cartes des rendements des débits caractéristiques d'étiage . . . . .	6
2. 3. 3. Cartes des modules . . . . . * . . . . . * * *	7
3. Cartographie des débits caractéristiques du bassin de la Moselle amont (Meurthe incluse) . . . . .	8
3. 1. Données utilisées . . . . .	9
3. 2. Cartes des rendements du bassin de la Moselle amont . . . . .	9
3. 2. 1. Cartes des rendements des débits mensuels d'étiage aux trois fréquences caractéristiques . . . . .	9
3.2. 2. Carte des rendements des modules du bassin de la Meurthe . . . . .	10
3. 3. Représentation cartographique des pentes des profils hydrologiques . . . . . ** . . . . .	11
4. Cartographie des écoulements par modèle Raster . . . . .	12
4. 1. Méthode utilisée pour la cartographie des modules du bassin de la Meurthe . . . . .	13
4. 2. Commentaire . . . . .	14
4. 3. Critique . . . . .	15
Conclusion . . . . .	15
Bibliographie . . . . .	17

**Cartographie des écoulements caractéristiques.**  
**Etude méthodologique**  
**Application aux bassins de la Meuse et de la Moselle françaises**  
**1<sup>ère</sup> phase : Etude méthodologique**

La spatialisation des données hydro-climatologiques constitue un aspect fondamental de la gestion et de la maîtrise de la ressource en eau. ~~Grâce à~~ des études financées par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, les champs de précipitations moyennes annuelles ~~sont connus~~ avec une précision satisfaisante. Dans les catalogues des débits caractéristiques des cours d'eau [1] figurent des valeurs de débits en des points particuliers du réseau hydrographique du bassin Rhin-Meuse. La cartographie réalisée dans le cadre de cette étude représente ces différentes valeurs de débits et constitue une base de données synthétique des catalogues,

Dans cette première phase, des recherches bibliographiques ont été réalisées. Outre la représentation des données aux stations hydrométriques et aux zones de la codification hydrographique (issues des catalogues) les méthodes exposées dans les différents travaux consultés ont permis de réaliser une cartographie ~~des modules~~ plus précise que le découpage spatial induit par les zones de la codification hydrographique.

## 1. Recherches bibliographiques

Les articles et ouvrages consultés pour cette recherche peuvent être regroupés en fonction des thèmes abordés et par ordre chronologique. Les outils utilisés constituent également un critère de différenciation majeur. Les deux premiers paragraphes présentent les travaux réalisés par des méthodes manuelles, le troisième recense les ouvrages récents utilisant la cartographie automatique et les Systèmes d'Information Géographique.

### 1. 2. Cartographie des lames d'eau annuelles écoulées

La cartographie des lames d'eau annuelles écoulées constitue très certainement la plus ancienne forme de cartographie hydrologique. Dans son "Traité de Géographie Physique" E. de Martonne [6] présente les travaux de H. Baulig [2] sur les Etats-Unis. Ce dernier avait réalisé une carte de "L'écoulement fluvial aux Etats-Unis" à partir d'une relation entre les précipitations moyennes annuelles et les écoulements correspondants mesurés. Cette relation a d'ailleurs un caractère régional puisqu'une courbe est établie pour les Etats-Unis au nord du 40<sup>ème</sup> parallèle, une autre concerne la partie sud dans laquelle il distingue les plaines des montagnes. Dans l'ouvrage de de Martonne, une courbe est proposée pour l'Europe centrale d'après Keller [10] et une autre carte représente "L'indice d'écoulement en Europe centrale". A. Coutagne [4] synthétise toutes les recherches concernant le déficit d'écoulement notamment celles de Thornwaite [14], Turc [15] et Wundt [17].

Les méthodes qu'if" expose permettent de réaliser une carte des lames d'eau annuelles écoulées à partir d'une carte des précipitations annuelles, des températures et éventuellement de la nature du sol.

D'autres cartes des lames d'eau écoulées reposent sur l'utilisation de méthodes plus simples pour lesquelles les données hydrométriques ne sont pas utilisées. R. Lambert [12] propose une carte de "l'écoulement potentiel" dans le bassin garonnais où :

$$E = P - 50 T$$

E : écoulement moyen annuel potentiel en mm  
P : précipitations moyennes annuelles en mm  
T : température moyenne annuelle en degrés C.

En s'inspirant de ces différents ouvrages, une cartographie des lames d'eau annuelles écoulées a été réalisée (Cf. 4.).

## **1. 2. Cartographie des étiages et des modules dans le Bassin Rhin-Meuse**

Deux auteurs, R. Frécaut et J-F. Zumstein, ont travaillé sur la cartographie des débits dans le Bassin Rhin-Meuse.

Dans sa thèse, R. Frécaut [8] propose un nombre important de cartes représentant différents types d'écoulements : les modules, les étiages et les crues. La principale caractéristique de toutes ces cartes est que la représentation ne porte que sur le linéaire des cours d'eau. Les débits y sont exprimés en  $m^3/s$  ou en  $l/s/km^2$ . La largeur du tracé du cours d'eau est proportionnelle aux valeurs de débit. Celles-ci sont issues directement des stations hydrométriques et sont interpolées entre deux sites de station. Ce type de représentation est très courant dans les ouvrages hydrologiques de l'époque et n'est pas très satisfaisant notamment pour les représentations en débits absolus de la partie aval des bassins-versants où la largeur du cours d'eau est très grande. Ce même auteur propose une carte particulièrement intéressante des "Nuances régionales du régime fluvial dans le bassin de la Moselle". Il s'agit d'une carte synthétique où des valeurs de modules et de coefficients mensuels de débits sont représentées sur le linéaire des cours d'eau. Les types de régimes sont figurés par des trames occupant l'aire des bassins-versants correspondants (représentation surfacique).

J.-F. Zumstein [18] étudie très précisément des étiages particuliers et en propose une cartographie où les débits spécifiques issus des stations hydrométriques sont représentés de manière surfacique (notion de rendement, Cf. 2.). C'est une cartographie déterministe car les cartes sont interprétées grâce à une carte des précipitations de la période d'étude et une carte des paramètres physiographiques. Les classes de débits spécifiques utilisées sont caractéristiques de la géologie, du climat et des paramètres physiographiques. Sur une autre carte, la fréquence de l'étiage 1971 est représentée pour différentes stations. Cette carte montre la variabilité importante de la fréquence des étiages et explique les difficultés

rencontrées pour la cartographie des débits caractéristiques d'étiage (Cf. 2.). Cet article constitue le véritable point de départ de nombreux travaux d'étudiants du CEGUM sur la spatialisation des débits et est à l'origine de la présente étude.

### **1. 3. Cartographie automatique et Systèmes d'Information Géographique**

Les ouvrages traitant de l'utilisation de la cartographie automatique et des SIG dans le domaine de l'hydrologie sont relativement nombreux [13]. Nous ne citerons ici que ceux dont nous avons utilisé les méthodes ou qui ont un intérêt direct pour cette étude.

J. P. Laborde [11] propose un modèle de spatialisation des précipitations utilisant des données topographiques appliqué à la région lorraine. Les données de débits ne sont pas spatialisées par cartographie automatique. J. Humbert [9] a réalisé un modèle de quantification spatiale des précipitations utilisant un modèle numérique de terrain. Le CEGUM a appliqué cette méthode dans le cadre d'une étude avec l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse [7]. Ce modèle constitue le premier élément de la cartographie des débits dans la mesure où toutes les pluies utilisées en sont issues. P. CARREGA [3] utilise un modèle proche pour la spatialisation des températures.

A. Wesselink et Al. [16] ont tenté d'expliquer les débits d'étiage de la région de Bade-Württemberg par la pluviométrie, la perméabilité des sols et l'occupation du sol sur une base de données Raster. Les résultats obtenus sont décevants mais les méthodes exposées sont séduisantes et mériteraient d'être appliquées à notre secteur d'étude.

La spatialisation des précipitations et des températures associée à des paramètres physiographiques devraient permettre, dans la seconde phase de l'étude, de proposer une cartographie des débits d'étiage plus précise que celle présentée ci-après pour les données aux stations et les données des catalogues des débits d'étiage.

## **2. Cartographie des données aux stations**

### **2. 1. Données utilisées**

Les données aux stations sont représentées sous la forme d'une cartographie thématique. La carte est constituée d'un fond de type vecteur représentant les limites topographiques des bassins-versants contrôlés par des stations hydrométriques. Ce fond de carte a été digitalisé par le CEGUM sur la base du fichier des limites des zones de la codification hydrographique fourni par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse. Le réseau hydrographique est également issu d'une digitalisation effectuée par nos soins.

Tous les débits représentés sur les cartes (n°2 à 11) et dans le tableau n°1 sont issus des travaux réalisés lors de la première phase de la réalisation des

Tableau n°1

Débits caractéristiques aux stations hydrométriques des bassins de la Moselle et de la Meuse  
Période de référence 1971-1990

Code Hydro	Surface de bassin-versant en km <sup>2</sup>		Station	Cours d'eau	Débits mensuels d'étiage								
	partiel	total			Module		F 1/2		F 1/5		F 1/10		
					m3/s	l/s/km <sup>2</sup>	m3/s	l/s/km <sup>2</sup>	m3/s	l/s/km <sup>2</sup>	m3/s	l/s/km <sup>2</sup>	
A402006A	68.8	68.8	Fresse	Moselle	3.40	49.4	0.51	7.4	0.30	4.3	0.23	3.3	
A405006A	81.0	152.0	Rupt/Moselle	Moselle	7.12	46.8	0.97	6.4	0.56	3.7	0.42	2.8	
A414020A	183.2	183.2	Zainvillers	Moselotte	8.27	45.1	1.67	9.1	1.05	5.7	0.83	4.5	
A417030A	66.3	66.3	Cleurie	Rupt de Cleurie	2.34	35.3	0.65	9.8	0.47	7.1	0.40	6.1	
A420006A	216.6	628.7	Noirgueux	Moselle	24.00	38.2	4.06	6.5	2.29	3.6	1.70	2.7	
A436020A	356.2	356.2	Chéniménil	Vologne	9.43	26.5	2.66	7.5	1.83	5.1	1.50	4.2	
A443006A	242.8	1222.2	Epinal	Moselle	39.20	32.1	8.41	6.9	5.26	4.3	4.13	3.4	
A454020A	144.2	144.2	Vaxoncourt	Durbion	1.93	13.4	0.36	2.5	0.27	1.8	0.23	1.6	
A463020A	103.5	103.5	Basse-Frizon	Avière	1.26	12.2	0.34	3.3	0.26	2.5	0.23	2.2	
A501020A	93.5	93.5	Froville	Euron	0.93	9.9	0.14	1.5	0.09	1.0	0.07	0.8	
A511006A	415.2	1998.2	Tonnoy	Moselle	46.40	23.2	10.00	5.0	6.36	3.2	5.02	2.5	
A526010A	380.5	380.5	Mirecourt	Madon	4.83	12.7	0.98	2.6	0.70	1.8	0.59	1.5	
A542020A	145.7	145.7	Autrey/Brénon	Brenon	1.29	8.9	0.05	0.3	0.02	0.2	0.02	0.1	
A543010A	423.2	944.5	Pulligny	Madon	10.40	11.0	1.57	1.7	1.15	1.2	0.98	1.0	
A571006A	479.8	3348.5	Toul	Moselle	63.40	18.9	11.60	3.5	7.57	2.3	6.06	1.8	
A600010A	67.0	67.0	Fraize	Meurthe	2.11	31.5	0.74	11.1	0.56	8.4	0.49	7.3	
A605010A	300.9	370.7	St-Dié	Meurthe	7.89	21.3	2.19	5.9	1.56	4.2	1.31	3.5	
A614020A	150.5	150.5	Moyenmoutier	Rabodeau	3.49	23.2	1.28	8.5	0.96	6.4	0.82	5.5	
A615010A	205.9	743.0	Raon	Meurthe	14.84	20.0	4.37	5.9	3.11	4.2	2.60	3.5	
A623020A	116.5	116.5	La Trouche	Plaine	2.32	19.9	0.90	7.7	0.64	5.5	0.54	4.7	
A645033A	37.0	37.0	Barbas	Vacon	0.41	11.2	0.04	1.1	0.02	0.6	0.02	0.4	
A657011A	522.3	559.7	Lunéville	Vezouze	6.54	11.7	1.44	2.6	1.03	1.8	0.86	1.5	
A662012A	100.3	100.3	Autrey-Sainte-Hélène	Mortagne	1.71	17.0	0.69	6.9	0.50	5.0	0.43	4.2	
A664012A	397.6	464.0	Gerbeville	Mortagne	5.84	12.6	1.80	3.9	1.28	2.8	0.98	2.1	
A667010A	413.0	2306.7	Damelevieres	Meurthe	34.07	14.8	8.86	3.8	6.21	2.7	5.17	2.2	
A681020A	71.8	71.8	Lagarde	Sanon	0.88	12.3	0.20	2.8	0.12	1.7	0.09	1.3	
A690038A	22.8	22.8	St-Nicolas-de-Port	Petit-Rhone	0.13	5.7	0.02	1.0	0.01	0.6	0.01	0.4	
A694010A	518.3	2917.1	Malzéville	Meurthe	39.66	13.6	9.89	3.4	7.05	2.4	5.92	2.0	
A695030A	85.5	85.5	Lay-St-Christophe	Amezule	0.69	8.1	0.06	0.7	0.04	0.5	0.04	0.4	
A701006A	420.0	6835.7	Custines	Moselle	112.00	16.4	26.00	3.8	17.80	2.6	14.60	2.1	
A712020C	230.0	230.0	Jezainville	Esch	1.44	6.3	0.14	0.6	0.07	0.3	0.05	0.2	
A735020A	364.5	364.5	Onville	Rupt-de-Mad	3.49	9.6	0.54	1.5	0.35	1.0	0.28	0.8	
A764020A	143.0	143.0	Chateau-Salins	Petite Seille	1.27	8.9	0.37	2.6	0.27	1.9	0.23	1.6	
A782010A	772.3	930.5	Nomeny	Seille	7.66	8.2	1.41	1.5	1.04	1.1	0.88	1.0	
A788010A	345.5	1277.7	Metz	Seille	9.71	7.6	1.76	1.4	1.26	1.0	1.05	0.8	
A792006A	701.8	9402.7	Hauconcourt	Moselle	133.00	14.1	29.70	3.2	20.20	2.1	16.60	1.8	
A807010A	411.7	411.7	Boncourt	Orne	3.81	9.3	0.27	0.6	0.13	0.3	0.09	0.2	
A818020A	383.0	383.0	La Cartoucherie	Yron	3.68	9.6	0.32	0.8	0.15	0.4	0.10	0.3	
A832020A	75.8	75.8	Briey	Woigot	1.40	18.5	0.45	5.9	0.30	4.0	0.25	3.3	
A843010A	368.7	1236.7	Rosselange	Orne	12.00	9.7	2.44	2.0	1.71	1.4	1.42	1.1	
A852020A	81.8	81.8	Maisons-Neuves	Fensch	2.17	26.5	1.29	15.8	1.12	13.7	1.05	12.8	
A871020A	19.8	19.8	Bettelainville	Canner	0.21	10.4	0.03	1.6	0.02	0.9	0.01	0.6	
A873020A	81.3	107.8	Koignismacker	Canner	0.92	8.5	0.26	2.4	0.18	1.6	0.14	1.3	
A890020A	22.1	22.1	Audun-le-Tiche	Alzette	0.44	20.0	0.19	8.4	0.15	6.7	0.13	6.0	
B022000A	361.5	361.5	Goncourt	Meuse	4.14	11.5	0.16	0.4	0.08	0.2	0.06	0.2	
B109020C	405.0	405.0	Villars	Mouzon	4.59	11.3	0.16	0.4	0.08	0.2	0.06	0.1	
B115000A	257.5	1033.0	Domrémy	Meuse	15.70	15.2	1.30	1.3	0.77	0.7	0.59	0.6	
B128020C	442.7	442.7	Soulesse	Vair	4.80	10.8	0.58	1.3	0.44	1.0	0.39	0.9	
B134000A	248.5	1730.2	Chalaines	Meuse	21.00	12.1	2.09	1.2	1.44	0.8	1.19	0.7	
B204020C	191.2	191.2	Vannes-le-Chatel	Aroffe	0.65	3.4	0.04	0.2	0.03	0.1	0.02	0.1	
B205020C	66.8	261.0	Rigny-St-Martin	Aroffe	0.73	2.8	0.08	0.3	0.05	0.2	0.04	0.1	
B222000A	553.1	2546.7	St-Mihiel	Meuse	29.90	11.7	3.56	1.4	2.35	0.9	1.90	0.7	
B310030C	59.8	59.8	Cléry-Grand	Andon	0.86	14.3	0.13	2.2	0.09	1.4	0.07	1.2	
B315000A	1302.4	3914.5	Stenay	Meuse	49.80	12.7	9.58	2.4	6.70	1.7	5.57	1.4	
B403010C	278.7	278.7	Montigny	Chiers	4.45	16.0	1.51	5.4	1.21	4.3	1.07	3.8	
B413020C	203.2	203.2	Pierrepont	Crusnes	2.43	12.0	0.89	4.4	0.70	3.4	0.62	3.0	
B435020C	246.7	246.7	Othe	Othain	2.64	10.7	0.51	2.1	0.33	1.3	0.26	1.0	
B441030A	55.8	55.8	Thonne	Thonne	0.85	15.3	0.37	6.7	0.30	5.3	0.27	4.8	
B457020C	346.7	346.7	Han-les-Juvigny	Loison	3.94	11.4	0.43	1.2	0.25	0.7	0.19	0.5	
B460010A	556.9	1700.0	Chauvency	Chiers	22.30	13.1	7.49	4.4	5.42	3.2	4.59	2.7	
B463010A	268.2	1973.5	Carignan	Chiers	26.00	13.2	9.73	4.9	7.24	3.7	6.21	3.1	
B517020A	395.5	395.5	Cheveuges	Bar	4.92	12.4	1.01	2.6	0.66	1.7	0.53	1.4	
B532020A	125.2	125.2	Lafrancheville	Vence	2.12	16.9	0.62	5.0	0.46	3.7	0.39	3.1	
B557020A	367.2	367.2	Belval	Sormonne	5.33	14.5	1.23	3.3	0.91	2.5	0.78	2.1	
B560000B	945.2	7745.0	Montcy-Notre-D	Meuse	108.00	13.9	27.70	3.6	20.10	2.6	17.10	2.2	
B611010A	1335.5	1335.5	Haulmé	Semois	28.00	21.0	4.35	3.3	2.67	2.0	2.07	1.5	
B720000B	1057.7	10146.2	Chooz	Meuse	142.00	14.0	36.40	3.6	25.90	2.6	21.70	2.1	
B732020A	186.5	186.5	Landrichamp	Houille	3.17	17.0	0.41	2.2	0.25	1.4	0.20	1.1	

catalogues des débits caractéristiques des cours d'eau du bassin Rhin-Meuse. Deux types de données sont représentés :

• Les débits spécifiques résultent de la division du débit par la surface de bassin-versant correspondante. Quand une station est située en aval d'autres stations, seule la partie de bassin-versant contrôlée exclusivement par cette station (appelée aussi bassin-versant partiel) constitue son aire de représentation alors que les données représentées concernent l'ensemble du bassin-versant.

• Les rendements hydrologiques sont obtenus en retranchant au débit d'une station les débits des stations situées directement en amont. Ce résultat est divisé par la surface de la station moins les surfaces des stations amont. Les rendements relatifs à chacune des stations sont représentés dans les limites de leurs bassins-versants partiels respectifs.

Pour les stations situées en tête de bassin, le débit spécifique est égal au rendement. Ils sont tous les deux exprimés en l/s/km<sup>2</sup>. Si les débits spécifiques ont peu d'intérêt pour la cartographie, le calcul des rendements pour les débits fréquentiels d'étiage pose un problème méthodologique (voir plus loin).

## 2. 2. Réseau hydrométrique

Le réseau hydrométrique est constitué de 68 stations (Cf. Carte n°1) qui contrôlent 21 000 km<sup>2</sup> soit une station pour environ 300 km<sup>2</sup>. Alors que leurs surfaces de bassin-versant sont comparables (environ 10000 km<sup>2</sup>) le réseau hydrométrique est beaucoup plus dense dans le bassin de la Moselle, avec 44 stations, que dans celui de la Meuse, avec seulement 24 stations. C'est dans le Massif Vosgien (bassin amont de la Moselle) que la densité des stations est la plus importante.

Toutes ces stations ont été utilisées pour la réalisation du catalogue des débits d'étiage mais il n'est pas exclu que d'autres stations n'ayant pas fonctionné durant toute la période 1971-1990 soient utilisées pour la deuxième phase de l'étude. Les tailles des bassins versants qu'elles contrôlent sont très variables car elles sont comprises entre 20 et 10000 km<sup>2</sup> (Cf. Tableau n°1). La cartographie thématique des données aux stations dépend de la répartition du réseau hydrométrique et souffre donc de ses imperfections avec de grands bassins-versants insuffisamment équipés (comme par exemple la Meuse en amont de la Chiers). De même on peut regretter l'absence d'une station à l'aval du bassin français de la Moselle. Il serait souhaitable dans la suite de cette étude que des données soient reconstituées pour ce site comme cela l'a déjà été fait par le passé (débits de la Moselle à Sierck-les-Bains).

Le nombre de stations utilisées et l'étendue du secteur d'étude permettent d'étudier des écoulements caractéristiques de milieux très différents en termes de :

- topographie : moyenne montagne, plateaux, plaine

- lithologie : grès très perméable et capacitifs, argiles imperméables, calcaires karstifiés, etc . . .
- climat : les précipitations moyennes annuelles sont comprises entre 700 et 2500 mm et les températures entre 5 et 11 °
- occupation du sol : forêts de conifères, prairies, cultures, etc . . .

Toutes ces caractéristiques figurent dans le fichier physiographique du bassin Rhin-Meuse (à l'exception des données climatiques) et sont systématiquement utilisées pour expliquer les écoulements aux stations.

## **2. 3. Cartographie des débits caractéristiques d'étiage**

### **2. 3. 1. Cartes des débits spécifiques**

Les cartes des débits spécifiques (Cartes n°2 à 4) aux trois fréquences permettent de situer les régions des bassins de la Moselle et de la Meuse où les débits des cours d'eau sont bien soutenus en étiage. La lithologie est le principal facteur d'explication de ces cartes sur lesquelles on peut distinguer deux régions où les débits spécifiques élevés :

- Le Massif Vosgien particulièrement bien arrosé avec des précipitations comprises entre 1000 et 2500 mm par an bénéficie des apports de petites nappes situées dans des zones d'altération des granits (arènes) et de la nappe beaucoup plus importante des grès du Trias inférieur. Les débits spécifiques dépassent 5 l/s/km<sup>2</sup> en fréquence 1/2 et 3 l/s/km<sup>2</sup> en fréquence 1/10.
- Le Massif Ardennais bénéficie aussi de conditions pluviométriques (jusqu'à 1300 mm de précipitations par an) et lithologiques favorables au soutien des débits d'étiage. La nappe des grès d'Ardenne-Luxembourg permet d'atteindre des débits spécifiques comparables à ceux du Massif Vosgien.

Les zones peu productives concernent les bassins-versants constitués d'un substratum imperméable ou karstifié :

- Les bassins-versants imperméables concernent l'amont de la Meuse en amont de la station de Goncourt, le Brénon, tous deux situés sur les marnes liasiques, et le bassin amont de l'Orne drainant les argiles de la Woëvre. Les débits spécifiques sont relativement indigents car inférieurs à 1 l/s/km<sup>2</sup> en fréquence 1/2.
- Le Mouzon et l'Aroffe entaillent les calcaires karstifiés de l'oxfordien et les débits spécifiques de ces deux cours d'eau sont particulièrement faibles puisque inférieurs à 0.5 l/s/km<sup>2</sup>.

Les influences anthropiques apparaissent également au travers des débits spécifiques avec des valeurs très élevées pour les stations influencées par les exhaures minières. C'est le cas de la Fensch à Maisons-Neuves, du Woigot à Briey, et de l'Alzette à Audun-le-Tiche. Des exhaures existent aussi dans les bassins de la Chiers, de la Crusnes, de l'Othain et de l'Orne mais leur impact semble beaucoup moins important en ce qui concerne les débits d'étiage. Les débits spécifiques du bassin-versant de la Seille, quoique faibles, ne semblent pas liés au caractère imperméable des marnes et argiles du Keuper qui constituent l'essentiel de son bassin-versant. Une influence due aux vidanges d'étangs, notamment le Lindre, n'est pas à exclure. Par ailleurs le S&on, contrôlé par la station de Lagarde, reçoit des apports en provenance de déversoirs et de fuites du canal de la Marne au Rhin qui emprunte sa vallée. L'Avière a Basse-Frizon subit, elle, l'influence du réservoir de Bouzey, *cf. p. 21. Les débits spécifiques de Bouzey sont élevés en raison de la présence de déversoirs et de fuites, qd les débits sont élevés.*

Les cartes n°2 à 4 rendent compte de l'évolution des débits spécifiques le long d'un cours d'eau quand celui-ci est équipé de plusieurs stations. C'est notamment le cas de la Moselle où les débits spécifiques diminuent progressivement de l'amont, à Fresse, vers l'aval, jusqu'à Hauconcourt. La Meuse présente une évolution contraire puisque les débits spécifiques augmentent de l'amont, à Goncourt, vers l'aval, jusqu'à Chooz. Cette évolution des débits spécifiques sur un même cours d'eau est beaucoup mieux représentée par un profil hydrologique ou par le type de représentation choisi par R. Frécaut car seul le linéaire du cours d'eau est concerné. L'intérêt de la cartographie n'est pas de représenter une évolution ou une tendance comme les profils hydrologiques mais de situer précisément une valeur de débit dans l'espace indépendamment de tout apport extérieur à l'entité représentée. La cartographie hydrologique doit donc s'appuyer sur les rendements hydrologiques.

### 2. 3. 2. Cartes des rendements des débits caractéristiques d'étiage

Les valeurs représentées sur les cartes (Cf. Cartes n°5 à 7) sont les rendements hydrologiques calculés à partir des débits fréquentiels des stations hydrométriques. Il s'agit bien de rendements car ces valeurs ont été obtenues par soustraction entre les débits et les surfaces des stations. Par contre, leur caractère fréquentiel, notamment l'écart-type utilisé, s'applique à l'intégralité du bassin-versant. Or la carte n°8 montre que l'écart-type, exprimé ici par le rapport entre le débit de fréquence 1/10 et le débit de fréquence 1/2, n'est pas constant le long d'un cours d'eau et peut même varier de manière importante. **Plus** la valeur de ce rapport est élevée, plus l'écart entre les deux débits fréquentiels est petit, plus l'alimentation du cours d'eau en étiage est faible. Ce rapport est donc révélateur de la présence d'une nappe plus ou moins puissante.

La valeur la plus fréquente est comprise entre 50 et 60%. Outre les bassins influencés cités plus haut, les bassins-versants des stations drainant les grès d'Ardenne-Luxembourg, et dans une moindre mesure les grès vosgiens, ont des rapports supérieurs à 60%. Le Vair à Soulosse, avec un rapport de 67%, connaît lui aussi des écoulements d'étiage bien soutenus par les calcaires du Dogger. A l'inverse, les bassins-versants imperméables ont des valeurs faibles comme ceux situés dans la Woëvre, la Meuse amont ou le Brénon. Dans les Vosges cristallines où les débits spécifiques sont élevés, les valeurs des rapports sont particulièrement

faibles (inférieures à 40%). Les débits d'étiage de cette partie du bassin semblent influencés par des précipitations estivales.

Ces variations d'écart-type expliquent qu'à Toul le rendement de fréquence 1/5 est supérieur au rendement de fréquence 1/2. A Malzéville, le rendement de fréquence 1/10 est supérieur au rendement de fréquence 1/5. Cette méthode d'estimation des rendements d'étiage fréquentiels n'est donc pas satisfaisante. Il sera nécessaire pour la deuxième phase d'effectuer des ajustements statistiques sur les rendements mêmes et non pas calculer les rendements à partir de valeurs fréquentielles. Des essais ont déjà été effectués mais cela pose un certain nombre de problèmes relatifs notamment :

- au choix de la valeur de rendement véritablement représentative d'un étiage
- à la fiabilité des débits de certaines stations pour lesquelles une méthode particulière de critique des données dans le cadre des calculs de rendements doit être mise au point,

Cependant, bien que les valeurs de rendements d'étiage figurant sur les cartes n°5 à 7 ne soient pas à proprement parler des valeurs fréquentielles, elles permettent une représentation beaucoup plus satisfaisante que celle des débits spécifiques car la valeur représentée correspond à des données relatives exclusivement au bassin-versant partiel. Ceci permet de montrer que **les** rendements diminuent très rapidement en aval du Massif Vosgien. A l'intérieur de celui-ci, les rendements de Noiregoux décroissent très rapidement, le rendement calculé à partir des débits d'étiage de fréquence 1/10 étant inférieur à 0.5 l/s/km<sup>2</sup>. Les bassins-versants partiels de Damelevières et de Toul ont eux aussi des rendements particulièrement faibles. Par contre, celui de Custines connaît des rendements très élevés, supérieurs à 7 l/s/km<sup>2</sup> pour toutes les fréquences. Les influences cumulées du Canal de l'Est Branche Sud, du Canal de la Marne au Rhin, des prises sur la Moselle et de la station d'épuration de Maxéville sont très certainement à l'origine de ces fortes valeurs, Il est aussi intéressant de remarquer les rendements relativement élevés de la station de Stenay dont le bassin-versant partiel draine les calcaires oxfordiens et de la station de Chalaines qui bénéficie des apports d'une source karstique à Maxey/Vaise. Celle-ci est équipée d'une station hydrométrique mais son bassin-versant topographique est trop petit et sans rapport avec son bassin-versant d'alimentation réel.

Les cartes des rendements ne sont donc présentées ici que pour illustrer la démarche méthodologique. Les rendements utilisés ne sont pas satisfaisants et pour la deuxième phase de cette étude d'autres valeurs pourront être proposées à partir des essais que nous avons déjà réalisés (voir plus haut) et comme cela l'a déjà été fait pour les modules.

### 2.3.3. Cartes des modules

Les modules ont été représentés à la fois en débit spécifique et en rendement. Pour les modules il n'y a pas de problèmes dans le calcul des rendements car le module peut être considéré comme un volume annuel écoulé qui se cumule d'amont en aval. De plus, aucune valeur fréquentielle de module n'a été calculée.

La pluviométrie est le principal facteur d'explication des modules et sur les cartes n°9 et 10 le Massif Vosgien et le Massif Ardennais (dont les précipitations sont élevées) sont les deux régions où les modules en débits spécifiques et en rendements sont les plus élevés:

La carte des débits spécifiques n'a que peu d'intérêt si ce n'est qu'elle représente la diminution des débits spécifiques de la Moselle de l'amont vers l'aval et la stabilité de ceux de la Meuse.

La carte des rendements, elle, permet de distinguer très clairement les massifs vosgiens et ardennais des plateaux qui les bordent. Les bassins subissant des influences anthropiques tels que le bassin de la Fensch à Maisons-Neuves ou le bassin-versant partiel de Custines apparaissent très clairement. De même, les bassins karstiques ont des rendements soit très élevés pour le bassin-versant partiel de la Meuse à Chalaine ou soit très faibles pour le bassin de l'Aroffe.

La cartographie du module a été par ailleurs réalisée par d'autres méthodes plus satisfaisantes (Cf. 4.)

La carte n°11 représente le rapport entre le débit mensuel d'étiage de fréquence 1/2 et le module. Ce rapport permet de mesurer en quelque sorte la pondération du régime des cours d'eau. Cette carte constitue une assez bonne synthèse de toutes les cartes présentées jusqu'à présent bien qu'il ne s'agisse pas de rendements mais de débits absolus. Elle permet notamment d'opposer les Vosges gréseuses au Nord, au régime très pondéré, aux Vosges cristallines au sud du massif. L'amont du bassin de la Meuse en amont de Saint-Mihiel, le Brénon et la Woëvre sont des bassins imperméables ou karstiques dont les régimes sont très contrastés. Le Bassin de la Chiers et celui de la Meuse en aval de Stenay, situés complètement ou en partie dans le Massif Ardennais, ont des valeurs de rapport élevées proches de celles rencontrées dans les Vosges. Le bassin de la Moselle en aval des Vosges présente des valeurs de coefficient moyennes comprises entre 15 et 25%. Cette régionalisation des bassins de la Moselle et de la Meuse semble regrouper tous les aspects des écoulements évoqués pour les modules et les étiages et s'explique par tous les facteurs présentés plus haut.

La cartographie des données aux stations impose d'utiliser une échelle de travail relativement petite, Les données des profils hydrologiques et des catalogues des débits d'étiage permettent de réaliser des cartes à une échelle plus grande. Mais les méthodes à utiliser sont différentes.

### **3. Cartographie des débits caractéristiques du bassin de la Moselle amont (Meurthe incluse)**

Le catalogue des débits caractéristiques du bassin de la Moselle amont a été achevé à la fin de l'année 1996 [1]. La cartographie des données issues de ce catalogue ainsi que les différentes méthodes utilisées sont présentées ci-dessous.

### 3. 1. Données utilisées.

Les débits aux trois fréquences caractéristiques d'étiage ainsi que les modules (débits moyens interannuels sur la période 1971-1990) ont été cartographiés. Ont également été spatialisées les valeurs des pentes des profils des principaux cours d'eau du bassin de la Meurthe.

Le fond cartographique principal est constitué des zones de la codification hydrographique du bassin Rhin-Meuse. Toutefois une méthode utilisée pour le bassin de la Meurthe a permis de s'affranchir en partie de ces limites de zones.

### 3. 2. Cartes des rendements du bassin de la Moselle amont.

#### 3. 2. 1. Cartes des rendements des débits mensuels d'étiage aux trois fréquences caractéristiques.

Ces cartes (n°12 à 14) représentent les rendements aux limites de zones hydrographiques. Ceux-ci ont été calculés en faisant l'opération suivante :

Rendement de la zone =  $(\text{débit zone aval} - \text{débit zone amont}) / (\text{surface zone aval} - \text{surface zone amont})$

Les débits utilisés sont ceux issus des profils hydrologiques du catalogue des débits de basses-eaux calés aux trois fréquences caractéristiques d'étiage. Les cartes réalisées ne sont donc représentatives que de situations statistiques d'étiage.

Les cartes aux trois fréquences montrent bien la régionalisation des rendements dans le bassin de la Moselle amont. En effet, on peut nettement différencier le Massif Vosgien au sud-est du Plateau Lorrain au nord-ouest. Cette différenciation en deux régions marquées s'explique tant par leur alimentation que par leur physiographie

Avec des altitudes relativement élevées, la partie du Massif Vosgien que drainent la Moselle amont et la Meurthe amont reçoit des précipitations relativement abondantes (de l'ordre de 2000 mm par an sur les plus hautes crêtes au sud-est du bassin). Les hauteurs annuelles de précipitations décroissent rapidement et atteignent 1100 mm dans le bassin permien de Saint-Dié abrité par les sommets qui l'entourent.

Les potentialités aquifères importantes du massif vosgien expliquent les rendements forts dans ce secteur : ceux-ci sont presque toujours supérieurs à 5 l/s/km<sup>2</sup> en fréquence 1/2 et peuvent dépasser 10 l/s/km<sup>2</sup> ( zones amont du Rabodeau, de la Meurthe, et de la Moselotte). Ceci s'explique par la présence de roches cristallines (parfois altérées, elles contiennent de petites nappes locales) ou gréseuses (la nappe des grès du Trias Inférieur constitue l'une des plus importantes

ressources en eaux souterraines de la France de l'Est) qui soutiennent les écoulements en période d'étiage.

En aval du Massif Vosgien, le Plateau Lorrain ne bénéficie pas des mêmes conditions d'alimentation et d'aquifères aussi puissants. Les altitudes dépassant rarement 400 m, les précipitations sont comprises entre 700 mm et 800 mm avec un vallum pluviométrique centré sur la région de Lunéville. De plus, la série sédimentaire qui compose le plateau abrite quelques aquifères dont la productivité est peu importante ce qui explique les rendements assez faibles en moyenne (ils dépassent rarement  $2.5 \text{ l/s/km}^2$ ). Toutefois, des calcaires karstifiés (Muschelkalk essentiellement) peuvent donner naissance à des sources importantes. C'est le cas à l'aval du Vacon avec des rendements proches de  $5 \text{ l/s/km}^2$  en fréquence 1/2. Les grès Rhétiens soutiennent les débits d'étiage du Petit Rhône, du Sanon et de la Roanne.

La vallée de la Meurthe se présente comme un long corridor où les rendements sont relativement homogènes d'une zone à l'autre. Ceci s'explique par le fait que les pentes des profils hydrologiques ne sont pas directement issues des campagnes de mesures mais ont été calculées en prenant uniquement en compte les débits fréquentiels des stations hydrométriques. Les contraintes méthodologiques imposées par le catalogue font en sorte que les rendements calculés pour les zones hydrographiques de la vallée de la Meurthe ne sont pas représentatifs d'une réalité de terrain.

Enfin, la représentation des rendements par zone hydrographique n'est pas satisfaisante car elle masque des disparités spatiales en termes d'écoulement au sein de ces zones. D'autres types de représentation cartographique permettent de s'affranchir de ces contraintes (Cf. 3. 3. et 4.).

### **3.2.2. Carte des rendements des modules du bassin de la Meurthe.**

*Les modules ont été calculés à partir de l'équation définie en §4.*

La différenciation régionale est très nettement visible sur la carte n°15. Les rendements sont très élevés dans le Massif Vosgien et dépassent parfois  $25 \text{ l/s/km}^2$  (amont de la Plaine et du Rabodeau, Haute-Meurthe et Petite Meurthe). Ici également, les disparités spatiales de l'écoulement s'expliquent par les données physiographiques mais aussi et surtout par les données de précipitations. Dans le Plateau Lorrain, les rendements dépassent rarement  $10 \text{ l/s/km}^2$  (sauf à l'amont du Sanon où les données de la station de Lagarde sont peut-être à revoir). L'aval de la Vezouze et le Petit Rhône ont des rendements très faibles ( $< 7.5 \text{ l/s/km}^2$ ) qui peuvent être expliqués par des précipitations très faibles et par des problèmes d'hydrométrie notamment à la station de St-Nicolas-de-Port sur le Petit-Rhône.

### 3. 3. Représentation cartographique des pentes des profils hydrologiques.

Le CEGUM, outre une représentation surfacique des écoulements, est également chargé de représenter les valeurs de débit sur le linéaire des cours d'eau. Plusieurs tentatives ont été effectuées mais les types de représentation utilisés jusqu'à présent (cercles proportionnels aux débits aux limites de zones) n'ont pas donné entière satisfaction. D'autres méthodes de représentation sont mises au point actuellement avec un logiciel informatique qui permet de travailler en mode Raster (Cf. 4.).

Toutefois, une représentation sur le linéaire des cours d'eau a été réalisée et propose une cartographie des pentes des profils hydrologiques (Cf. carte n°16). Le fond de carte est constitué des rendements aux limites de zones hydrographiques (déjà décrit précédemment). Les valeurs des pentes des profils hydrologiques figurent en différentes couleurs. Les classes de pentes ont été définies en fonction de la fréquence d'apparition de certaines valeurs de pentes dans le catalogue des débits d'étiage.

La valeur de la pente rend compte de l'alimentation du cours d'eau par un aquifère. Elle peut être interprétée comme suit :

- si elle est égale à 1, le débit spécifique est le même pour toutes les surfaces relatives au segment
- si elle est supérieure à 1, le débit spécifique augmente de manière exponentielle entre la surface amont et la surface aval du segment
- si elle est inférieure à 1, le débit spécifique diminue de la même manière
- si elle est égale à 0, il n'y a pas d'apports, le débit n'augmente pas entre la surface amont et la surface aval du segment
- si elle est inférieure à 0, il y a une diminution de débit

Il n'y a pas forcément de relation évidente entre la valeur de la pente et le caractère plus ou moins productif d'un aquifère. Une forte pente n'est pas forcément significative d'une alimentation dans les mêmes proportions, elle est avant tout représentative du contraste de débit spécifique entre la surface amont et la surface aval du segment. De même, le profil hydrologique d'un cours d'eau drainant un bassin-versant constitué de terrains homogènes sera très certainement composé d'un seul segment mais dont la pente ne sera pas forcément égale à 1.

Plus que la valeur des pentes elles-mêmes c'est surtout leur variabilité spatiale qu'il est important de remarquer. En effet, il faut noter qu'il est fréquent, au sein d'une même zone hydrographique, d'avoir des pentes très différentes l'une de l'autre sur des distances assez restreintes. C'est le cas notamment pour la Haute-Meurthe, la Petite Meurthe, les affluents de la Vezouze et de la Mortagne, le Petit Rhône, etc....

Ceci montre que les conditions d'écoulement (indiquées par la valeur de la pente des profils hydrologiques) sont extrêmement variables au sein d'une même zone hydrographique. Ceci pose donc le problème du choix des limites de zones

hydrographique comme support de la représentation cartographique des écoulements.

Il est possible de s'affranchir de ces contraintes en redécoupant le bassin de la Meurthe à partir des points de rupture de pente des profils hydrologiques. Des rendements dans ces nouvelles zones ont été calculés, ils figurent sur la carte n°17.

Il est évident que les différences de rendements entre Massif Vosgien et Plateau Lorrain sont toujours nettement visibles. L'amont des bassins-versants apparaît cependant bien plus morcelé. Ceci est dû à la conception même des profils hydrologiques. En effet, ceux-ci étant réalisés sur papier logarithmique, ils sont plus détaillés à l'amont des bassins (surface comprise entre 1 et 10 km<sup>2</sup>). C'est le cas notamment pour la Haute-Meurthe où la zone située le plus à l'amont est divisée en cinq petits bassins où des zones de très forts rendements (> 10 l/s/km<sup>2</sup> en fréquence 1/2) sont contiguës avec des zones de pertes (inféro-flux dans des dépôts morainiques). Dans la vallée de la Mortagne on peut également faire une distinction entre l'amont des affluents de rive droite (qui prennent naissance dans les grès d'où des rendements élevés) et l'aval de ces mêmes affluents où les rendements sont très faibles (présence de calcaires et influence du fond alluvial de la Mortagne). Il en est de même pour les affluents de rive gauche de la Vezouze.

Pour les mêmes raisons de méthode de réalisation des profils hydrologiques, l'aval des bassins versants est très peu détaillé.

Enfin, la représentation des rendements le long de la vallée de la Meurthe est quelque peu particulier car les pentes des profils sont simplement issues d'une interpolation entre les stations hydrométriques; les pentes ainsi calculées étant identiques sur de grandes sections, la Meurthe, pour sa partie située entre la Plaine et la Vezouze, apparaît toujours comme un grand corridor homogène.

Ce type de représentation, même si elle a l'avantage de ne plus être limitée à la représentation cartographique par zone hydrographique, présente cependant l'inconvénient d'être tributaire des contraintes imposées par la méthode utilisée pour la réalisation du catalogue des débits de basses-eaux. Elle permet quand même d'avoir une approche très fine de la spatialisation des rendements et de la compréhension des écoulements. Il existe pourtant d'autres méthodes pour cartographier ceux-ci,

#### 4. Cartographie des écoulements par modèle Raster

Les différents types de représentation cartographique décrits précédemment, qu'ils permettent de spatialiser les débits dans les bassins-versants contrôlés par des stations hydrométriques ou dans les zones hydrographiques, sont toujours tributaires de limites géographiques imposées soit par la localisation de ces stations, soit par le découpage de la codification hydrographique du Bassin Rhin-Meuse. Ces zones, petites ou grandes, ne sont que très rarement homogènes dans leurs caractéristiques physiographiques. Ceci induit des disparités spatiales parfois importantes en termes d'écoulements, disparités qui n'apparaissent pas sur les cartes puisque celles-ci ne font apparaître que des rendements moyens par bassin ou par zone. Il est donc nécessaire de s'affranchir de ces contraintes pour aboutir à une représentation cartographique des écoulements plus représentative de la réalité.

Un S.I.G. (Système d'Information Géographique) utilisé en mode "Raster" permet d'atteindre cet objectif. Grâce à ce système, il est possible de travailler sur des grilles de points espacés régulièrement, chaque carreau de la grille étant renseigné par une valeur de la variable étudiée. Les grilles sont superposables ce qui permet d'effectuer des calculs entre les différentes variables et de créer d'autres grilles issues de ces calculs [5]. C'est le logiciel **MGE** qui a été utilisé pour la présente étude.

#### 4. 1. Méthode utilisée pour la cartographie des modules du bassin de la Meurthe

A l'aide des travaux présentés en 1., les modules peuvent être calculés à partir d'une équation mettant en relation les débits, les précipitations et les températures.

Le bassin de la Meurthe comporté 14 stations hydrométriques ce qui apparaissait insuffisant pour une régression satisfaisante notamment parce que certaines classes de précipitations ou d'écoulements étaient peu représentées. C'est pourquoi les valeurs calculées dans les bassins-versants partiels ont été utilisées. Six données supplémentaires ont ainsi pu être intégrées pour le calcul des modules (Cf. tableau n°2).

Pour les 20 bassins-versants du bassin de la Meurthe, les données de précipitations et de températures ont été définies comme suit.

Les données de températures sont issues d'un modèle thermique simple élaboré par le CEGUM mettant en relation les températures (T) et les altitudes (H) pour une vingtaine de stations du bassin de la Meurthe. La relation est la suivante :

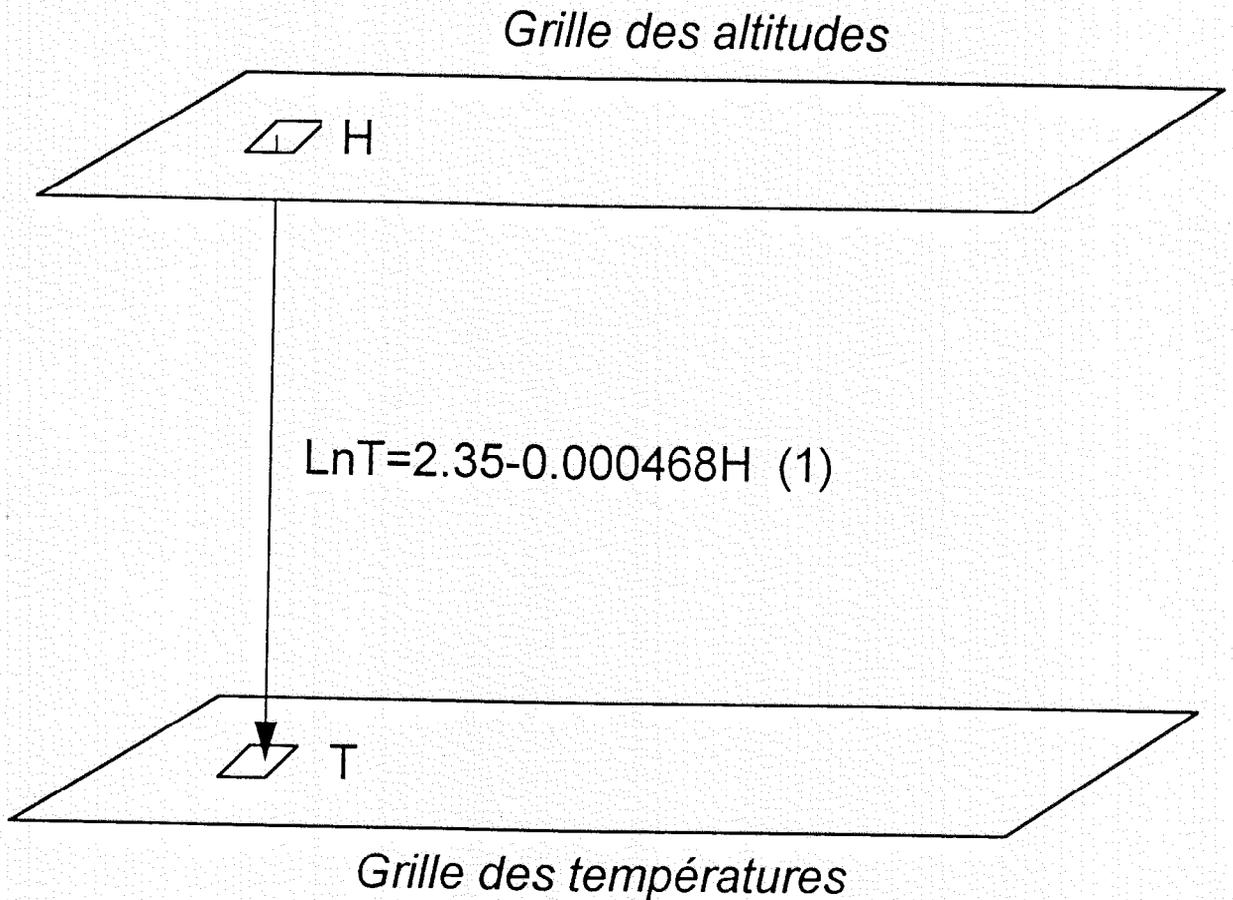
$$\text{Ln}T = 2.35 - 0.000468H \quad (1)$$

La grille des altitudes ramenée au bassin de la Meurthe est extraite d'un M.N.T. (Modèle Numérique de Terrain) à 100 mètres (tous les points de la grille sont espacés de 100m) couvrant tout le bassin Rhin-Meuse (carte n°18). Cette grille à 100m a été ramenée à une grille à 1 Km (tous les points de la grille sont espacés de 1 Km, Cf. carte n°19) qui correspond à la résolution de la grille du modèle de pluie présentée ci-dessous. Chaque cellule de la grille est renseignée par une valeur d'altitude.

La grille des températures s'obtient en renseignant chacune de ses cellules par une valeur de température calculée à partir de l'équation (2) en utilisant la valeur de la cellule correspondante de la grille des altitudes (Cf. figure n°1 et carte n°20).

La grille des précipitations du bassin de la Meurthe est issue du modèle de pluie élaboré conjointement par le CEGUM (Université de METZ) et le **CEREG** (Université de STRASBOURG) en 1996 pour le compte de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse. Les points de la grille sont espacés de 1Km. Chaque carreau de la grille est renseigné par une valeur de précipitations (Cf. carte n°21).

Méthode de détermination de la grille des températures  
à partir de la grille des altitudes



*Chaque cellule de la grille des températures est renseignée par une valeur calculée à l'aide de l'équation (1) qui utilise la valeur de la cellule correspondante dans la grille des altitudes*

Tableau n°2

**Modules calculés**  
**Bassin de la Meurthe**

		Surface de BV en km <sup>2</sup>	Ecoulement mesuré en mm	Précipitations en mm	Température en degré c	Ecoulement calculé en mm	Ecoulement calculé en m3/s	Ecoulement mesuré en m3/s	Ecart mesuré - calculé	Correction en mm
BASSINS VERSANTS TOTAUX	AUTREY	99	547	1160	8.39	540	<del>1.080</del>	1.708	-1%	7
	BARBAS	35	372	1001	9.11	360	0.400	0.413	-3%	12
	DAMELEVIERES	2310	466	1073	8.70	464	33.958	34.072	0%	2
	FRAIZE	67	999	1593	6.93	994	2.101	2.110	0%	4
	GERBEVILLER	496	372	1018	8.87	410	6.438	5.842	10%	-38
	LAGARDE	71	390	833	9.26	285	0.645	0.883	-27%	105
	LA TROUCHE	117	624	1382	8.29	658	2.442	2.318	5%	-33
	LAY St CHRISTOPHE	85	258	774	9.25	270	0.725	0.692	5%	-12
	LUNEVILLE	557	370	983	9.06	362	6.399	6.538	-2%	8
	MALZEVILLE	2921	428	1009	8.83	421	38.932	39.663	-2%	8
	MOYENMOUTIER	151	729	1319	8.13	655	3.134	3.487	-10%	74
	RAON	725	646	1247	8.10	631	14.487	14.838	-2%	15
	St NICOLAS	21	199	781	9.22	276	0.180	0.130	39%	-77
	St DIE	368	678	1293	7.82	700	8.152	7.891	3%	-22
BASSINS VERSANTS PARTIELS	Damelevieres	413	347	887	9.18	315	4.118	4.538	-9%	32
	Gerbeviller	398	328	982	8.99	377	4.744	4.134	15%	-48
	Lunéville	522	370	961	9.05	362	6.000	6.125	-2%	8
	Malzéville	518	279	761	9.33	253	4.163	4.578	-9%	25
	Raon	206	530	1112	8.57	491	3.205	3.460	-7%	39
	St Dié	301	606	1222	8.03	631	6.012	5.781	4%	-24

Une régression multiple entre les écoulements mesurés aux stations et les données de précipitations et de températures du bassin-versant correspondant issues des deux grilles a été réalisée. L'équation obtenue est la suivante :

$$E = 1/5911P^2 - 167T + 1713 \quad (2) \quad (\text{Cf. fig. n}^\circ 3)$$

La grille des écoulements s'obtient en superposant la grille des températures et celle des précipitations et en renseignant chaque cellule par la valeur de l'écoulement calculé au moyen de l'équation (2).

Une figure synthétisant la méthode utilisée est présentée page suivante (Cf. figure n°2).

## 4. 2. Commentaire

En ce qui concerne le bassin de la Meurthe, les différentes cartes mettent en évidence les disparités spatiales en termes d'altitudes, de températures, de précipitations et donc d'écoulements, Ainsi, les différences sont marquées entre le Massif Vosgien au sud-est et le Plateau Lorrain au nord-ouest.

Les altitudes culminent à 1347m au sud-est (versant occidental du massif du Hohneck). C'est évidemment dans ce secteur qu'on enregistre les températures les plus basses (56°C en moyenne annuelle) qui figurent sur la carte en couleur bleue. Les températures augmentent progressivement vers le nord-ouest (9.6 °C en moyenne sur le plateau lorrain) et plus rapidement dans les vallées (les vallées de la Meurthe, de la Vezouze et de la Mortagne sont bien visibles).

La répartition des précipitations est également liée à l'altitude : ce sont les sommets du Massif Vosgien qui reçoivent le maximum de précipitations (2182 mm au sud-est). Le total des précipitations diminue progressivement vers le nord-ouest pour atteindre 800 mm en moyenne et même 700 mm dans la région de Lunéville où il existe un vallum pluviométrique. La haute vallée de la Meurthe bénéficie de sa position d'abri (environ 1000 mm de précipitations). Il faut noter que la carte des précipitations en mode Raster apparaît un peu plus "estompée" que les autres car elle est issue d'un véritable modèle pluviométrique ce qui explique que les valeurs figurant dans deux cellules contiguës soient proches l'une de l'autre.

La spatialisation des écoulements résulte directement de la répartition des températures et des précipitations. Les écoulements sont donc plus forts au sud-est (1420 mm) et plus faibles au pied du Massif Vosgien et dans les principales vallées (celle de la Haute-Meurthe est très visible sur la carte, en couleur jaune).

La représentation cartographique des modules en mode Raster apparaît satisfaisante puisqu'elle indique des valeurs de débits tous les kilomètres et qu'elle propose une spatialisation des données correspondant à une réalité de terrain.

C'est cette méthode qui a été utilisée pour réaliser la carte n°15 relative aux rendements en modules des zones de la codification hydrographique. Pour les bassins du catalogue, une correction par les résidus aux stations a été nécessaire,

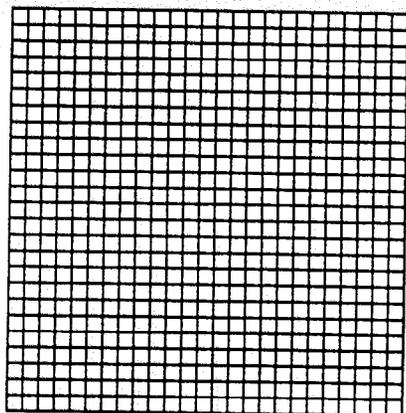
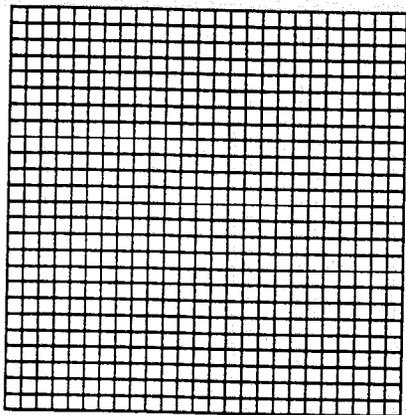
# BASSIN DE LA MEURTHE

## DETERMINATION DES ECOULEMENTS

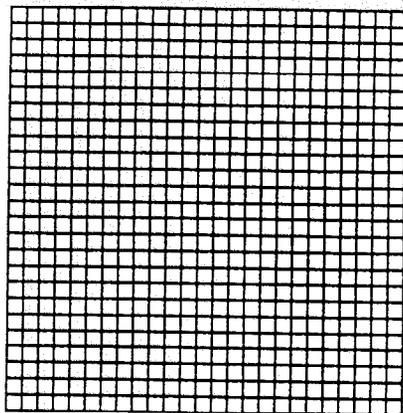
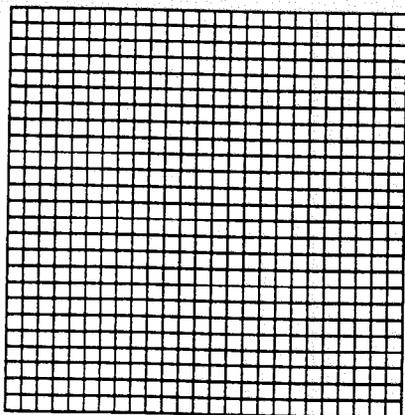
$$\ln T = 2.35 - 0.000468H$$

ALTITUDES

TEMPERATURES



+

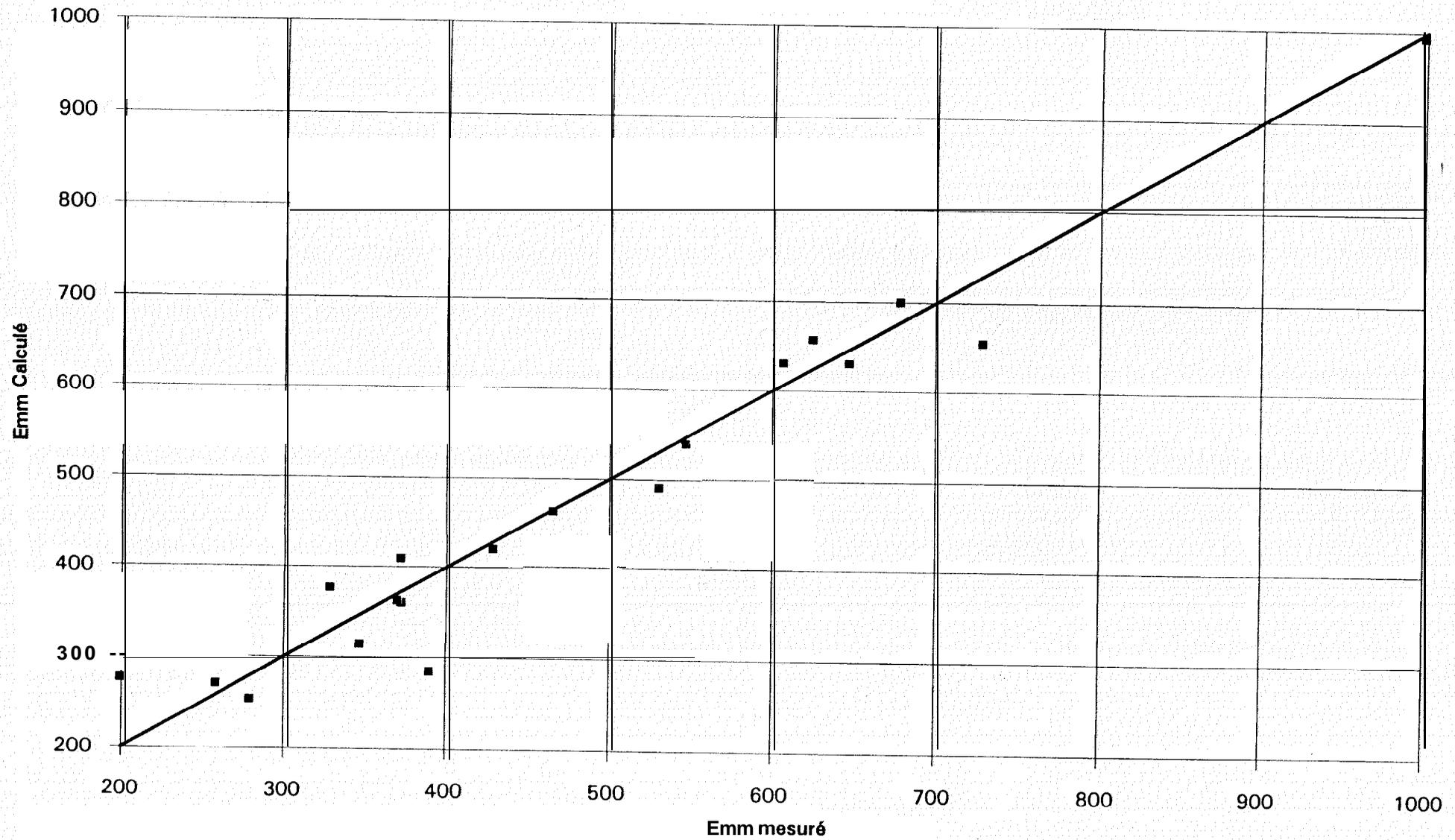


ECOULEMENTS

PRECIPITATIONS

$$E = 1/5911P^2 - 167T + 1713$$

Ajustement de la régression  
 $E = 1/5911 * P^2 - 167T + 1713$



Les cartes en mode Raster présentées ici ne tiennent pas compte de cette correction.

Enfin, les différents documents présentés ici ne doivent être considérés que comme des documents de travail concourant à la mise au point d'une méthodologie permettant d'avoir une reorésentation optimale des différents paramètres hydrologiques.

### 4. 3. Critique

Cette représentation par modèle Raster permet de s'affranchir complètement des limites géographiques imposées par l'emplacement des stations hydrométriques ou par le découpage de la codification hydrographique. La carte des modules ainsi présentée est donc plus représentative de la réalité du terrain.

En ce qui concerne le bassin de la Meurthe, il conviendra d'affiner le modèle thermique utilisé et surtout de déterminer à quelles grandeurs géographiques correspondent les coefficients des équations utilisées.

Ce type de représentation n'a été réalisé que pour le bassin de la Meurthe. Il faudra l'étendre à l'ensemble de l'aire d'étude en adaptant la démarche aux caractéristiques de régions homogènes à définir (calcul de gradients thermiques, détermination de la relation pluie-débit pour chaque grand bassin).

Les grilles Raster ne concerne que ~~pour~~ les modules. Il faudra réaliser des cartes pour les débits de basses-eaux en intégrant dans l'équation d'autres facteurs explicatifs comme certaines données physiographiques.

## Conclusion

Trois grands types de cartes ont été présentés dans ce rapport :

- les cartes des rendements des débits d'étiage et des modules aux stations hydrométriques du bassin Rhin-Meuse
- les cartes des rendements des débits d'étiage et des modules dans les zones hydrographiques du bassin de la Moselle amont
- les cartes en mode Raster des écoulements du bassin de la Meurthe

Les valeurs issues du catalogue des débits caractéristiques ont été cartographiées mais le support utilisé, à savoir les limites des zones de la codification hydrographique, ne permettait pas une représentation optimale des écoulements. Par contre, l'utilisation d'un S.I.G. en mode Raster donne des résultats bien plus satisfaisants pour les modules. C'est pourquoi ce procédé sera généralisé à l'ensemble de l'aire d'étude. En raison de l'extrême diversité des caractéristiques

physiographiques et climatiques des différents bassins-versants à étudier il sera sans doute nécessaire d'améliorer la méthode exposée dans cette première phase, notamment pour son application aux débits d'étiage.

D'autre part seules les représentations surfaciques ont été retenues. Les valeurs de débit absolus sur le linéaire des cours d'eau devront être intégrées dans la suite de ce travail. Cela fera l'objet de la deuxième phase qui aboutira à la réalisation des cartes définitives représentant les écoulements caractéristiques des bassins de la Moselle et de la Meuse.

I. Arts, D. François

## Bibliographie-

- [1] Arts I., François D., Corbonnois J., Sary M. (1996) : "Réalisation d'un catalogue des débits caractéristiques des cours d'eau du bassin de la Meurthe". Agence de l'Eau Rhin-Meuse / CEGUM - Université de Metz.
- [2] Baulig H. (1910) : "Ecoulement fluvial et dénudation, d'après les travaux de l'U.S. Geological Survey". Annales de Géographie, Cf. Annales de Géographie 1939,
- [3] Carrega P. (1994) : "Topoclimatologie et habitat". Analyse spatiale, quantitative et appliquée, n°35 & 36, Laboratoire d'Analyse Spatiale Raoul Blanchard, Université de Nice.
- [4] Coutagne A. (1954) : "Quelques considérations sur le pouvoir évaporant de l'atmosphère, le déficit d'écoulement effectif et le déficit d'écoulement maximum". La Houille Blanche, juin 1954.
- [5] Dana Tomlin C. (1990) : "Geographic Information Systems and Cartographic Modeling". School of Natural Resources, Ohio State University, Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [6] de Mat-tonne E. (1957) : "Traité de Géographie Physique. Notions générales. Climat. Hydrographie". Sème Edition, A. Colin, Paris.
- [7] François D. (1996) : "Quantification spatiale des précipitations du Bassin Rhin-Meuse. Secteur occidental. Ière phase : précipitations interannuelles de la période de référence 1971-1 990". Agence de l'Eau Rhin-Meuse / CEGUM - Université de Metz.
- [8] Frécaut R. (1971) : "La Moselle et son bassin. Contribution à l'hydrologie et à la dynamique fluviale en milieu tempéré océanique". Thèse Doctorat, Brest.
- [9] Humbert J., Perrin J.-L., Perron L. (1993) : "Etude méthodologique de quantification spatiale des précipitations appliquée à la France du Nord-Est. Secteur-test : versant oriental des Hautes Vosges". Agence de l'Eau Rhin-Meuse / CEREG - ULP Strasbourg.
- [10] Keller (1906) : "Niederschlag, Abfluss und Verdunstung in Mittel-Europa". Jb. f. Gewässerkunde Norddeutschlands, Berlin, 1906, Cf. K. Fischer (1936) : "Ziele und Wege des Untersuchungen über den Wasserhaushalt der Flussgebiete". D. Wasserwirtschaft n°40, Berlin.
- [11] Laborde J.-P. (1984) : "Analyse des données et cartographie automatique en hydrologie. Eléments d'hydrologie lorraine". Thèse Doctorat ès Sciences, Nancy.
- [12] Lambert R. (1996) : "Géographie du cycle de l'Eau". Presses Universitaires du Mirail, Toulouse.

- [13] Rissons M. (1995) : "Un système d'information géographique numérique appliqué à l'Eau (SIGNEAU)". Régionalisation en hydrologie - Application au développement. VIIIèmes journées hydrologiques de l'ORSTOM 1992. ORSTOM Editions 1995.
- [14] Thornthwaite C. W. (1954) : "The measurement of potential evapotranspiration". John P. Mather Seabrook, New Jersey.
- [15] Turc L. (1953) : "Le bilan d'eau des sols : relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement". INRA, Thèse, Paris.
- [16] Wesselink A., Hagemann I., Demuth S., Gustard A. (1995) : "Application informatisée d'une étude sur le débit d'étiage dans la région de Bade-Würtemberg, Allemagne". Régionalisation en hydrologie - Application au développement. VIIIèmes journées hydrologiques de l'ORSTOM 1992. ORSTOM Editions 1995.
- [17] Wundt W. (1958) : "Die mittleren Abflusshohen und Abflussspenden des Winters und des Jahres in der Bundesrepublik Deutschland". Forsch. dtsh. Landeskedo, Bad-Godesberg.
- [18] Zumstein J.-F. (1976) : "Contribution à l'élaboration de cartes hydrologiques. Cartes des étiages mensuels des bassins de la Meuse et de la Moselle de 1969 à 1973". La Houille Blanche n°6/7.