

DOCUMENT



Agence de l'eau
Rhin-Meuse

no 19436

Définition des régions pluviométriques dans les bassins de la Meuse, de la Moselle et des affluents alsaciens du Rhin

Etude réalisée pour le compte de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse

Auteurs :

Didier François et Gille Emmanuel

CEGUM - Université de Metz - Faculté des Lettres

Ile du Saulcy - 57045 Metz Cedex 01

Jean-François Zumstein Agence de l'eau Rhin-Meuse

Editeur : Agence de l'eau Rhin-Meuse

Mars 1995

250 exemplaires

240 francs

© Agence de l'eau Rhin-Meuse

Tous droits réservés

DEFINITION DE REGIONS PLUVIOMETRIQUES DANS LES BASSINS DE LA MEUSE, DE LA MOSELLE ET DES AFFLUENTS ALSACIENS DU RHIN

INTRODUCTION	3.....
1. Elaboration du fichier des hauteurs mensuelles de précipitations	4
1.1. Rassemblement des données	4
1.2. Critique des données	9.
1.2.1. Comparaison du fichier de la Banque PLUVIO avec le fichier de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse	9
1.2.2. Critique des données par double cumul	10
1.2.3. Comblement des lacunes	11
2. Analyse des données annuelles et mensuelles : analyse globale et analyse multivariée	13
2.1. analyse globale	13
2.2. Analyses multivariées	19
2.2.1. Analyse en composante principale	19
2.2.2. Classifications automatiques	23
2.3. Régions pluviométriques et régions "pluvio-topographiques"	26
3. Régionalisation par un modèle	27
3.1. Utilisation du fichier physiographique de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse	27
3.2. Mise en oeuvre et résultats du modèle	31
4. Conclusion générale	36
BIBLIOGRAPHIE	37
ANNEXES	39

DEFINITION DE REGIONS PLUVIOMETRIQUES DANS LES BASSINS DE LA MEUSE, DE LA MOSELLE ET DES AFFLUENTS ALSACIENS DU RHIN

INTRODUCTION

L'Agence de l'Eau Rhin-Meuse a confié au CEGUM une étude dont l'objectif est de définir des régions pluviométriques homogènes. Cette régionalisation devra permettre, dans une seconde phase, la mise en oeuvre d'un modèle de quantification spatiale des précipitations, à l'échelle mensuelle et annuelle, de la France du nord-est.

Une étude méthodologique a déjà été réalisée par le CEREG (URA 95 CNRS) [10] sur le versant oriental des Vosges. Le modèle proposé s'appuie sur des paramètres géographiques et topographiques et ne peut pas être étendu globalement à l'ensemble du nord-est de la France. La présente étude définit les régions pour lesquelles il faudra établir des modèles spécifiques.

Pour réaliser ce découpage régional, les hauteurs mensuelles de précipitations de tous les postes situés dans la zone d'étude ont été rassemblées, critiquées et les lacunes ont été comblées. Ces données ont été analysées (analyses multivariées); un essai de modèle (type CEREG) a été élaboré; une régionalisation a ainsi pu être effectuée.

1. ELABORATION DU FICHER DES HAUTEURS MENSUELLES DE PRÉCIPITATIONS

1.1. RASSEMBLEMENT DES DONNEES

Les hauteurs mensuelles de précipitations que nous avons utilisées, dans un premier temps, proviennent de la **Banque PLUVIO** de Météo-France. Elles correspondent aux stations de 11 départements situés à l'intérieur du Bassin **Rhin-Meuse** ou proches de celui-ci. Cette interrogation de la Banque PLUVIO a permis l'extraction des données mensuelles de 1213 **postes** (Cf. Tableau n°1).

Sur ces 1213 postes, seulement 278 ont une chronique utilisable pour la période de référence : 1971-1990, que nous avons retenue (période de référence des prochains catalogues des débits d'étiage définie par le groupe de travail **hydrologie de la Mission Déléguée de Bassin**). Les stations qui présentent des lacunes n'excédant pas 4 années (**1/5^{ème}** de la période de référence) ont également été sélectionnées et les lacunes comblées (Cf. 1. 2.).

Tableau n°1 : Stations choisies par département

Département	Nb total de postes	Nb de postes retenus
Ardennes	133	24
Marne	132	9
Haute Marne	127	31
Meurthe et Moselle	124	26
Meuse	102	29
Moselle	108	27
Bas Rhin	109	21
Haut Rhin	118	27
Haute Saône	119	11
Vosges	119	28
T. de Belfort	22	5
TOTAL	1213	238

40 postes situés dans la Marne, la Haute Marne et la Haute Saône n'ont pas été retenus car ils sont trop éloignés de la zone d'étude.

Les services météorologiques des pays riverains ont été sollicités. Jusqu'à présent seules les données des stations belges et luxembourgeoises nous sont parvenues de manière tardive (novembre 1994). Aucune station étrangère n'a donc été prise en compte.

C'est donc à partir d'un réseau de 238 postes français que l'étude a été effectuée (la liste des postes figure en annexe 1, et leur situation sur la carte n°1).

1.2. CRITIQUE DES DONNEES

Le fichier extrait de la Banque PLUVIO a été comparé à celui de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse.

1. 2. 1. Comparaison du fichier de la Banque PLUVIO avec le fichier de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse

Ces deux fichiers de données ont la même origine. Météo France rassemble les données “brutes” des observateurs, les contrôle par département et constitue ainsi un fichier de données dites “originales” : “les données sont validées avec éventuellement des corrections assurant la cohérence météorologique spatiale au sein du département tout en respectant les relevés de l'observateur” [1 & 18].

L'Agence de l'Eau Rhin-Meuse reçoit ces données et les archive sans critique mais a procédé à certains comblements de lacunes. Elles sont stockées dans la base de données PLUME [6].

Météo France crée aussi un fichier de données “critiquées” (méthode de la pluie théorique [1]) : “les observations manquantes sont estimées, les cumuls répartis, les anomalies corrigées ou un total mensuel estimé dans certains cas” [3]. Les données critiquées selon une méthode différente sont dites “reconstituées”.

La comparaison entre les deux fichiers a été effectuée de manière automatique [18]. Un programme informatique a comparé les données mensuelles deux à deux et a créé un fichier dans lequel figurent les années où on constate des différences. Compte tenu du nombre important d'occurrences, seuls les écarts supérieurs à 5 mm par an ont été retenus ce qui représente tout de même 1006 cas. Pour certaines stations, ces différences sont nombreuses : Clermont-en-Argonne 32 cas, Longuyon 31, **Saint-Maurice/Moselle** et Commercy 28 etc . . . Ces écarts varient de quelques millimètres à plusieurs dizaines (à Saint-Mihiel en février 1990, Banque PLUVIO : 428.4 mm, Fichier Agence de l'Eau : 175.1 mm) et concerne surtout les mois d'hiver, où les précipitations sont **plus abondantes** et parfois sous forme de neige.

Afin de déterminer laquelle des deux valeurs était la plus vraisemblable, une comparaison avec les hauteurs mensuelles de précipitations des postes environnants a été réalisée. Celle des deux valeurs se rapprochant le plus de la hauteur moyenne des postes voisins a été retenue (pour la différence de Saint-Mihiel de février 1990, moyenne de Commercy et Vigneulles : 186 mm, valeur retenue : 175.1 mm). Cette méthode a permis de “corriger” certaines données issues de la Banque PLUVIO et dans la

plupart des cas des données du fichier de l'Agence de l'Eau (dans l'exemple de Saint-Mihiel, les hauteurs mensuelles de 1990 sont "brutes reconstituées").

Les données de la Banque PLUVIO sont de natures très différentes (brutes, originales, critiquées ou reconstituées voire originales et reconstituées ou brutes et reconstituées, Cf. annexe 2), celles de l'Agence de l'Eau n'ont pas été critiquées par les méthodes en vigueur à Météo France. Le troisième fichier, créé pour cette étude et synthèse des deux premiers, a certainement permis de "gommer" les données aberrantes de la Banque PLUVIO (dans la plupart des cas des données brutes non encore critiquées) et "corriger" les données originales du fichier de l'Agence de l'Eau.

1. 2. 2. Critique des données par double cumul

Dans son catalogue, la Banque PLUVIO identifie les déplacements de poste par des indicatifs de station se terminant par 11 pour le dernier déplacement, 21 pour l'avant dernier, etc... (Cf. Annexe 2)

Lorsque le déplacement a été effectué vers une autre commune, les déplacements sont décelables uniquement en examinant les périodes de fonctionnement de stations proches (l'une débute lorsque l'autre s'achève). C'est le cas de la station de Frémonville (1971-84) déplacée à Blamont (1984-90), de celle de Récicourt (1971-78) transférée à Dombasle (1979-90) et de celle d'Etain (1971-81) déplacée à Gincrey (1981-90).

53 déplacements ont été recensés. A chacun de ces postes la méthode des doubles cumuls a été appliquée [4]. Seules les données de la station de Grandfontaine (située jusqu'en 1979 au Col du **Donon** puis à la Maison Forestière du Windeck) ont été corrigées par cette méthode. Pour les autres déplacements, la différence entre les moyennes avant et après le déplacement n'est pas significative. Ceux-ci ont eu lieu dans la plupart des cas au début ou à la fin de la période de référence 1971-1990. Il n'y a donc pas assez d'années pour déceler un véritable changement dans les conditions d'enregistrement d'une station.

La méthode des doubles cumuls n'a donc pas été appliquée de manière systématique aux 238 postes que nous avons retenus.

1. 2. 3. Comblement des lacunes

Les lacunes ont été comblées à l'échelle mensuelle par régression avec la station la plus proche. En fonction du coefficient de corrélation, ce sont les valeurs elles-mêmes, leurs logarithmes ou leurs racines carrées qui ont été **utilisées** dans les régressions. Le choix de la période de référence 1971-90 a limité le nombre de comblement de lacunes.

Ce travail de rassemblement, de contrôle et de critique* a abouti à la constitution de deux matrices de données

- les hauteurs de précipitations moyennes mensuelles et leurs écarts-types
- les hauteurs annuelles de précipitations de la période 1971-90.

Ces matrices constituent les fichiers de travail d'une première régionalisation.

. Le logiciel CUSUM utilisé pour la critique a fait l'objet d'une notice d'utilisation spécifique.

2. ANALYSE DES DONNEES ANNUELLES ET MENSUELLES : ANALYSE GLOBALE ET ANALYSE MULTIVARIEE

L'analyse des données annuelles et mensuelles a permis d'effectuer une régionalisation pluviométrique et de regrouper les stations en fonction de leur régime et des variations interannuelles des précipitations. De nombreux travaux ont déjà réalisé une régionalisation de la France du Nord-Est à partir de ces deux critères [13, 3, 8 & 24].

2.1. ANALYSE GLOBALE

Les hauteurs annuelles de précipitations, leur variabilité (Coefficient de variation) et les régimes ont été **cartographiés** (Cf. Cartes 2 à 4). L'influence des grandes lignes de relief apparaît de manière très nette pour chacun des paramètres représentés.

La zone d'étude est dominée par les courants d'Ouest [20], **la côte des Barres, le Barrois, l'Argonne et le massif ardennais** constituent, pour ces flux, **une véritable barrière orographique** sur laquelle les précipitations sont abondantes : 950 à 1100 mm. Leur variabilité est modérée, les coefficients de variation sont pour la plupart inférieurs à 20%. Leur régime est de type océanique avec un maximum en hiver et un maximum secondaire en automne.

A l'Ouest de cette ligne de relief, les précipitations sont beaucoup moins élevées, les coefficients de variation restent faibles et pour les stations les plus occidentales, l'automne est la saison la plus arrosée. Les stations de cette zone (le Porcien, région de Rethel, Vouziers) appartiennent climatiquement plutôt au bassin parisien.

Au Sud, **le seuil de Langres** est aussi sensible dans les hauteurs de précipitations. Elles diminuent légèrement : 800 - 900 mm, mais sont surtout caractérisées par leur variabilité supérieure à 20%. Le régime est toujours de type océanique.

A l'Est, **les côtes de Meuse et de Moselle**, bien qu'élevées (400-500 m), bénéficient déjà d'une situation d'abri relatif puisque les précipitations excèdent rarement 900 mm, sauf sur la haute vallée de la Meuse où des postes atteignent encore 950 mm (Chatenois et **Maxey/Vaise**). La variabilité est assez contrastée (de 15 à 25%), et pour certaines stations, l'influence continentale est sensible avec des régimes où l'été devient la saison la plus humide (stations du plateau de Haye et du sud de la Woëvre : Rosières-en-Haye, Velaine-en-Haye, Essey-et-Maizerais, Maidières). Plus au Nord, vers le Pays Haut apparaissent aussi des stations où l'automne est la plus arrosée.

Entre ces reliefs successifs et le massif vosgien à l'Est s'étend **une région déprimée, centrée sur le Saulnois**, où les précipitations sont peu élevées (inférieures à 850 mm et à 700 mm ponctuellement). La variabilité est moyenne, et les régimes à influence continentale plus nombreux. Vers le sud, cette région est limitée par des précipitations plus élevées sur la haute vallée du **Madon** (972 mm à Lerrain). Les régimes sont de nouveau de type océanique et cette région de la Vôge, où les altitudes dépassent 400 m, constitue en quelque sorte un prolongement du môle pluviométrique du massif vosgien vers le seuil de Langres. Sa situation méridionale par rapport à la zone d'étude fait qu'elle subit des influences méditerranéennes non négligeables [13].

Le massif vosgien constitue la région la plus arrosée avec des hauteurs de précipitations qui dépassent 2000 mm sur les Hautes Vosges (2294 mm à la station de Lepuix-Ballon d'Alsace à 1120 m d'altitude). Il constitue un obstacle important aux flux zonaux. La variabilité est élevée car elle dépasse fréquemment 20%. Le régime est de type océanique avec une prédominance du type HAPE (Hiver-Automne-Printemps-Eté).

A l'Est de ce massif, **l'Alsace** bénéficie d'une situation d'abri d'autant plus marquée que les reliefs situés à l'Ouest sont élevés. Ainsi la région la plus sèche de la zone d'étude se situe au pied des Hautes Vosges (565 mm à Meyenheim). Corrélativement, la variabilité des hauteurs annuelles de précipitation est très faible (dans la plupart des cas inférieure à 15 %). Dans le Nord de l'Alsace avec l'abaissement du massif vosgien les précipitations augmentent (762 mm à Haguenau). Les régimes caractérisent aussi particulièrement bien cette région, car pour toutes les stations, l'influence continentale est très sensible. On distingue aussi une opposition nord-sud avec un régime de type EPAH pour le Sud de l'Alsace et un régime EAHP pour le Nord.

Une première régionalisation peut être effectuée de cette manière mais elle ne permet pas toujours de dégager des régions très homogènes (les paramètres ne sont pas toujours cohérents). Il est cependant important de constater que sur les trois cartes apparaissent deux môles pluviométriques :

- le premier composé du **Barrois**, de l'Argonne et du massif ardennais
- le second constitué par le massif vosgien et prolongé par la Vôge.

Ces deux môles sont séparés par le plateau lorrain au Nord et le Bassigny au Sud. La prise en compte de ces éléments du relief est fondamentale pour la réalisation du découpage régional.

2.2. ANALYSES MULTIVARIEES

Les matrices de données mensuelles et annuelles ont fait l'objet d'analyses multivariées. Les méthodes utilisées sont l'analyse en composante principale et la classification automatique.

2. 2. 1. Analyse en composante principale

- Les données annuelles

L'utilisation d'une ACP pour le traitement d'une série chronologique et la spatialisation des scores ont déjà fait l'objet de plusieurs travaux [22, 23 & 5] mais rarement à l'échelle et dans le domaine envisagé. La matrice traitée comportait uniquement les hauteurs annuelles de précipitation de la période 1971-1990. Une rotation des axes (procédure Varimax [11 & 20]) a été effectuée car un seul axe expliquait 94% de la **variance** et les coefficients de corrélation avec les variables étaient tous supérieurs à 90%. Une ACP a aussi été réalisée avec des valeurs standardisées par station, mais aucun facteur déterminant n'a pu être défini.

Sur la carte n°5 figurent les scores de l'ACP réalisée avec les valeurs brutes. La matrice de saturation montre que l'axe 1 demeure fortement corrélé avec les hauteurs annuelles de pratiquement toutes les années et plus particulièrement avec les années humides (58 % de la **variance**). L'axe 2 est relativement bien corrélé avec les hauteurs de précipitations des années sèches mais surtout avec l'année 1971 (37 % de la **variance**). Les écarts importants entre les hauteurs des stations vosgiennes et celles des stations de plaine ou du plateau lorrain font que le massif vosgien s'individualise très nettement pour les 2 axes. Les autres reliefs mentionnés plus haut apparaissent aussi mais avec des scores qui restent moyens, seul le massif ardennais (pour 3 stations) figure avec des valeurs comparables à celles des Vosges.

L'axe 2 fait apparaître les stations pour lesquelles les années sèches du début de la période ont été particulièrement marquées (Villegusien, Val de Meuse, Dammartin, Charmes et Essey-et-Maizerais).

Si cette ACP ne révèle pas de caractéristiques particulières qui n'auraient pas été soulevées jusqu'à présent, il s'agit également d'une méthode de critique des données qui a permis de montrer un certain nombre d'erreurs ou de valeurs douteuses qui figuraient encore dans le fichier de travail.

- Les données mensuelles

L'ACP a été réalisée sur la matrice comportant les hauteurs moyennes mensuelles de précipitations et leurs écarts-types (Cf. Carte 6). Comme pour les données annuelles une rotation des axes a été effectuée. 4 axes expliquent 95% de la variance (respectivement 44%, 30% 12% et 8%).

L'axe 1 est fortement corrélé avec les valeurs des mois d'automne et d'hiver. Les scores élevés caractérisent donc les stations qui connaissent des précipitations importantes en automne et en hiver avec un écart-type élevé pour ces mêmes mois. Une fois de plus les reliefs significatifs apparaissent.

L'axe 2 apporte un autre éclairage. Il détermine les stations qui connaissent des précipitations importantes au printemps et en été avec des écarts-types élevés pour ces mêmes mois et surtout le mois de mai. La régionalisation qu'il permet oppose les stations situées au Nord-Ouest où les précipitations de printemps et d'été sont faibles et peu variables et les stations vosgiennes où les mois correspondants, plus spécifiquement le mois de mai, peuvent être très humides.

Les axes 3 et 4 représentent respectivement la pluie du mois de juillet et la pluie du mois d'août. Comparativement à toutes les ACP réalisées, ils permettent d'effectuer la régionalisation la plus originale et la plus fine de la zone d'étude :

- **la région des Ardennes, de l'Argonne et du Barrois** semble connaître un mois de juillet particulièrement humide (avec un écart-type élevé) de même que les Vosges et le Nord de l'Alsace.
- cette région humide se déplace vers le Sud pour le mois d'août et concerne **les régions du Barrois, du Vallage et du Bassigny. Le Sud des Vosges** ainsi que le **Plateau lorrain** s'individualisent relativement bien grâce au 4^{ème} axe.

2. 2. 2. Classifications automatiques

L'analyse par classifications automatiques des régimes a déjà été effectuée par J.-P. Marchand [16 & 17], nous l'avons étendue aux variations interannuelles.

Deux méthodes de classification automatique ont été utilisées [21 & 2] :

- la classification hiérarchique ascendante (la distance calculée est la distance euclidienne et la stratégie d'agrégation, la **variance** interclasse).
- les nuées dynamiques par la méthode des k-moyennes.

Chacune de ces méthodes a été réalisée avec les valeurs brutes et les valeurs standardisées par variable. Pour les deux types de données, régime et variations interannuelles, une partition en 10 classes a été effectuée.

- Les données annuelles

Sur la carte 7 sont représentés les résultats des classifications des variations interannuelles des précipitations. Les deux méthodes utilisées donnent des partitions semblables. La représentation des valeurs moyennes des classes figure en annexe 3. La spatialisation des classes issues de la méthode des nuées dynamiques des variables standardisées apparaît un peu moins confuse que celles issues des autres méthodes.

Elle permet d'opposer la classe 2, comprenant les stations de la **Plaine d'Alsace**, peu arrosées et connaissant des variations interannuelles très faibles, à la classe 8 constituée des stations des **Hautes Vosges** très humides et où l'amplitude des variations interannuelles est élevée.

Entre ces deux classes s'échelonnent des nuances intermédiaires des variations interannuelles. Les **régions sèches** (classes de 1 à 4 et 9 et 10) et **humides** (classes de 5 à 8) liées aux reliefs (Cf. 2. 1.) apparaissent ici aussi de manière assez nette.

- Les données mensuelles

La partition réalisée avec la matrice des données mensuelles permet une régionalisation particulièrement nette (Cf. Carte n°8). Les classes 2 et 8 font apparaître des nuances de régimes entre un *type océanique* (classe 8 sur les **Hautes Vosges**) et un *type à* influence continentale *très marquée* (classe 2 dans la **Plaine d'Alsace**, Cf. annexe 3) :

- la classe n°7 correspond aux **stations vosgiennes** moins élevées ou moins exposées que celles de la classe 8 et intègre aussi des **stations de la Vôge**.
- la classe 6 forme une région délimitant **le massif vosgien** et **la Vôge**; mais elle caractérise aussi les **stations** du **Barrois**.
- les stations des classes 5 et 10 se situent essentiellement dans le Nord-Ouest de la zone d'étude : en **Argonne**, dans les **Ardennes**, jusqu'au **Pays Haut** (à l'Est). La variabilité importante du mois de juillet, caractéristique déjà montrée par l'ACP (Cf. 2. 2. 1.), a déterminé cette classe .
- les stations de la classe 4 constituent une région située au Sud Ouest de la zone d'étude, soit le **Bassigny**, le **plateau de la Haute Saône**, la **haute vallée de la Meuse**, la **vallée du Madon**, qui se prolonge vers le **nord-est au contact des Vosges** (jusqu'à Danne-et-Quatre-Vents).
- les classes 3 et 9 sont composées des stations du **Plateau lorrain**, du Nord et du Sud de l'Alsace. Des stations de la classe 9 apparaissent aussi dans **les vallées de la Meuse et de la Chiers**.
- les stations de la classe 1 se cantonnent essentiellement à la région du **Perthois** (à une exception près).

2. 3. REGIONS PLUVIOMETRIQUES ET REGIONS "PLUVIO-TOPOGRAPHIQUES"

Il semble donc que le régime des stations pluviométriques (véritable carte d'identité de la station) constitue un paramètre fondamental pour une régionalisation en zones homogènes. A l'échelle de cette étude, les variabilités interannuelles ne semblent pas être un caractère discriminant. La méthode des nuées dynamiques propose une régionalisation satisfaisante car très homogène et en relation avec les grands traits du relief (Cf. 2. 1.). Cependant certaines zones restent un peu en dehors du découpage quelle que soit la méthode utilisée. Il s'agit essentiellement des zones qui ne sont pas marquées par des reliefs importants : les côtes de Meuse, les côtes de Moselle, la basse vallée de la Sarre et l'extrémité Nord de l'Alsace.

D'autre part, le secteur test de la méthodologie du modèle pluviométrique, le versant oriental des hautes **Vosges**, correspond à une zone particulièrement typée où se côtoient les hauteurs de précipitations les plus élevées et les plus faibles de la France du nord-est. Les régions nécessaires à la mise en oeuvre et à l'extension du modèle de précipitations ne sont donc pas forcément des régions pluviométriques **sensus** stricto. Elles doivent regrouper et parfois scinder ces dernières, issues de l'analyse précédente, pour obtenir des zones suffisamment contrastées topographiquement et pluviométriquement.

3. REGIONALISATION PAR UN MODELE

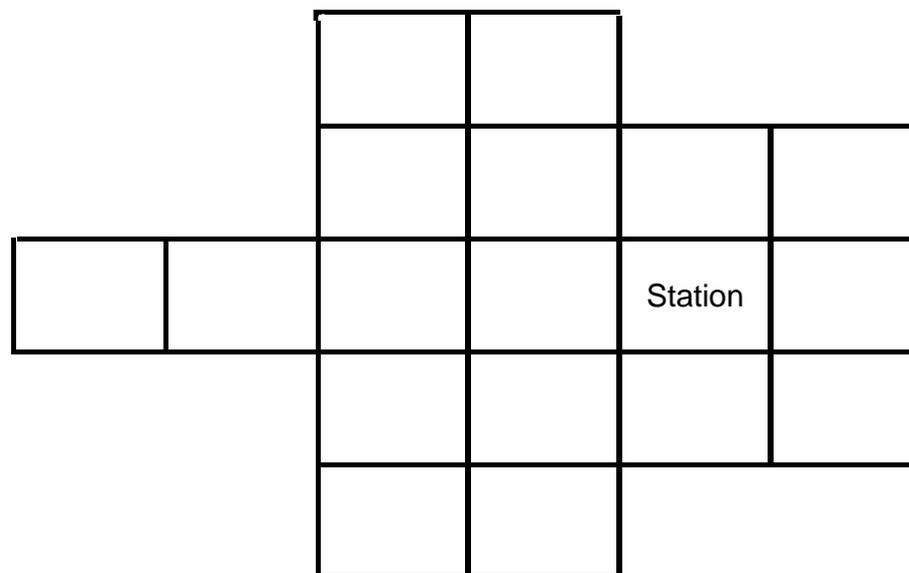
Le modèle que nous avons réalisé utilise les paramètres et les méthodes du modèle CEREG [10] à l'échelle du fichier physiographique de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse. Il n'a bien évidemment pas la même précision que le modèle CEREG, car il est limité par la qualité de ses paramètres et ne constitue qu'un outil pour la mise en oeuvre du modèle définitif.

3. 1. UTILISATION DU FICHIER PHYSIOGRAPHIQUE DE L'AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE

L'Agence de l'Eau Rhin-Meuse dispose d'un fichier physiographique qui rend compte des altitudes, du réseau hydrographique, de l'occupation du sol et de la perméabilité du substratum pour tous les bassins-versants situés dans ses limites administratives [7]. Il a été établi à partir de carreaux de 25 km² dont les contours correspondent aux coordonnées Lambert se terminant par "0" et "5". A chacun de ces carreaux sont affectées une altitude maximale et une altitude minimale qui constitueront la base de la banque de paramètres topographiques nécessaires au modèle. La taille du carreau paraît bien adaptée pour réaliser cette banque de paramètres car il a été démontré qu'il n'y a pas d'effet d'abri dans des vallées encadrées par des hauteurs séparées de moins de 5 km [11 & 14].

Pour chacune des stations, des variables issues des altitudes du fichier physiographique ont été déterminées. Elles sont inspirées de celles calculées dans l'application du modèle CEREG au versant oriental des Vosges, Les altitudes maximales et minimales des carreaux dans lesquels se trouvent les stations et des carreaux environnants constituent les variables de base :

Figure n°1 : situation d'une station dans les carreaux environnants



Le schéma ci-dessus représente la situation des carreaux dont nous avons extrait les altitudes maximales et minimales. Cette opération a pu être effectuée automatiquement car les carreaux sont identifiés par des numéros qui rendent compte de leur position géographique (coordonnées Lambert). Le choix des carreaux environnants a surtout été justifié par l'importance des flux d'Ouest sur la zone d'étude. Mais la mise en oeuvre de ce modèle a montré que parfois les altitudes situées **à l'Est** peuvent être des variables explicatives pertinentes.

Outre les altitudes brutes des carreaux environnants, un certain nombre de variables relatives au regroupement des carreaux, à l'exposition, à l'encaissement et à la variabilité des altitudes ont été calculées [10 & 11]. Les coordonnées géographiques du centre du carreau, dans lequel se trouve la station, font aussi partie des variables utilisées. Au total à chaque station correspondent 90 variables. Le fichier physiographique ne concernant que le bassin Rhin-Meuse, un nombre important de stations n'a pas pu être intégré au modèle car celles-ci, compte tenu de l'éloignement des carreaux dont sont issus les variables, doivent être situées au moins à 15 km à l'intérieur des limites du bassin. Seule une partie du haut bassin de la Saône est couverte par le fichier, ce qui a permis d'intégrer 3 stations situées hors Rhin-Meuse. Le modèle a donc été réalisé avec 133 stations.

3.2. MISE EN OEUVRE ET RESULTATS DU MODELE

La méthode consiste à expliquer la hauteur annuelle moyenne de précipitations de la période 1971-1990 par la banque de variables en utilisant des régressions multiples pas à pas. Une première régression a été effectuée en utilisant les valeurs brutes mais aussi le logarithme et la racine carrée des valeurs des 133 stations. Contrairement aux régressions effectuées par le CEREG sur le versant oriental des Vosges, c'est avec les valeurs brutes que le coefficient de corrélation multiple est le plus élevé : $R^2 = 91\%$, avec 4 variables. L'altitude maximale du carreau situé à l'Est explique à elle seule 83% de la variance (effet orographique), les autres variables explicatives sont l'altitude moyenne d'un carreau de 10 km de côté excentré (par rapport à la station) vers le Nord et les altitudes de carreaux situés à 15 km à l'Ouest et au Sud Ouest (effet d'abri car leurs coefficients sont négatifs).

Bien que R^2 soit élevé, les résidus sont localement très importants et oscillent entre - 300 et + 300 mm (Cf. Carte n°10). La spatialisation des résidus permet de réaliser un découpage pour mettre en oeuvre le modèle de quantification. Les régions ont pour limites les maximums et les minimums des résidus de la régression générale :

- une première limite peut être tracée sur la ligne de crêtes des Vosges qui s'incurve pour passer par Haguenau et Stattmatten (résidus maximums),
- une autre sur le centre de la plaine d'Alsace (résidus minimums),
- une troisième passant par le Bassigny (station de Monthureux/Saône), le Saulnois (station de Brin/Seille) et le Warndt (Station de St-Avold, autre ligne de résidus minimums).

Ces régions constituent des ensembles contrastés topographiquement et pluviométriquement dans lesquels l'effet orographique n'intervient que dans un sens (ascendance ou effet d'abri). D'autre part, leurs limites correspondent aux grandes lignes de relief montrées par les analyses précédentes.

A l'Ouest, les limites sont plus difficiles à tracer car pratiquement aucune station n'est située sur les reliefs majeurs de cette partie de la zone d'étude. A partir des résidus de la régression générale, les stations du bassin aval de la Meuse peuvent être regroupées. Reste un groupe de stations dont les résidus sont moyens et qui correspondent aux Côtes de Meuse et aux Côtes de Moselle.

Les régressions effectuées spécifiquement pour chacune de ces régions ont permis de valider le bien fondé de ce découpage et de le préciser. 4 variables explicatives ont été retenues par régression.

Ainsi pour toute la zone dominée par le massif vosgien, la région alsacienne et l'Est de la Lorraine, les coefficients de corrélation sont très élevés : respectivement 96 et 97%. Ce type de modèle peut donc bien s'appliquer à ces deux régions.

Pour la région située à l'Ouest, le coefficient est plus faible (88%) car elle présente assez peu de contrastes topographiques et pluviométriques.

La région centrée sur les Ardennes a un fort coefficient, 94%, mais celui-ci est dû au petit nombre de stations qu'elle regroupe. En y incluant des stations situées plus à l'Ouest, il est fort probable qu'il diminue.

Pour tracer les limites occidentales du découpage, une régression entre les hauteurs moyennes annuelles des postes et les altitudes maximales des carreaux, dans lesquels ils se trouvent, a été réalisée. Le fichier physiographique a donc été complété en y ajoutant des carreaux situés en dehors du bassin Rhin-Meuse. Les résidus de cette régression ont été **cartographiés** et les limites des régions correspondent aux résidus maximums et minimums comme pour la régression multiple qui utilisait 4 des 90 variables de la banque. La spatialisation des résidus est une méthode qui a déjà été utilisée pour définir des régions pluviométriques [15].

Au total, 5 régions sont proposées, les deux régions à **l'Est** ne sont pratiquement pas modifiées par cette dernière méthode. Si certaines stations passent d'une région à l'autre pour ce découpage définitif, elles sont dans tous les cas à la limite d'une région et le modèle devra inclure dans ses corrélations des stations de la région voisine pour pouvoir faire correspondre les isohyètes d'une région à l'autre. Sur la carte **n°11**, les limites sont figurées avec une zone tampon de 5 km de part et d'autre. Dans le cadre du modèle cette zone sera certainement beaucoup plus large. A l'ouest, le découpage s'appuie sur une ligne de forts résidus qui correspond aux reliefs de cette zone occidentale (Côte des calcaires de l'oxfordien dans les Ardennes, Argonne et Barrois). Au Nord-Ouest, la région centrée sur les Ardennes a été élargie aux stations situées dans le massif ardennais. Au Sud, les deux régions centrales ont été prolongées; il n'est pas exclu qu'une région supplémentaire soit nécessaire dans cette zone (bassin de la Haute Saône soumis à des flux de Sud).

4. CONCLUSION GENERALE

Les différentes approches développées dans cette étude ont permis d'avoir une connaissance globale des caractéristiques de la pluviosité dans le bassin Rhin-Meuse et sur ses marges. Les régimes permettent d'effectuer une régionalisation assez cohérente des stations pluviométriques et, si ce n'est pas celle-ci qui détermine le découpage final, elle peut servir dans le cadre d'autres problèmes d'ordre hydro-climatologique (choix d'une station caractéristique par exemple).

le découpage proposé ne constitue en fait qu'un prédécoupage qui ne pourra être validé que par un modèle de précipitations annuelles moyennes sur la période 1971-1990. Il s'agit d'un point de départ pour organiser la mise en oeuvre du modèle général en ne travaillant dans un premier temps que sur chacune des régions définies ici. Les résultats des régressions permettront de redécouper ou de modifier certaines limites.

Pour le modèle général, il sera nécessaire de réactiver le fichier physiographique de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse en complétant les informations encore manquantes pour certains carreaux (l'altitude moyenne par exemple) mais aussi en l'étendant hors du bassin Rhin-Meuse. L'intérêt d'un tel fichier n'est plus à démontrer et l'introduction de variables qui ne soient pas liés à la topographie serait aussi particulièrement intéressante dans le cadre d'études hydrologiques (la perméabilité est à compléter dans certaines régions, des données relatives à la densité de drainage pourraient faire partie de ce fichier). D'autre part les dimensions des carreaux (25 km²) et leur nombre (1580) font qu'il est facilement manipulable et ne nécessite pas des moyens informatiques considérables.

Dans le cadre de l'établissement des nouveaux catalogues des débits d'étiage, le modèle pluviométrique réalisé sur la période 1971-1990 avec pour base le fichier physiographique pourra fournir une pluie moyenne au droit des stations hydrométriques et des points caractéristiques de la codification hydrographique.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] P. BOIRET et B. RAMBALDELLI (1991) : Contrôle et saisie des données pluviométriques. In Les données *pluviométriques* anciennes, **Météo** France, Ministère de l'**Environnement**.
- [2] Groupe CHADULE (1987) : Initiation aux pratiques statistiques en géographie. Ed. MASSON, Paris.
- [3] J. DION (1972) : Etude fréquentielle des précipitations mensuelles du Nord-Est de la France. Rev. Géo. de l'**Est**, n°2-3, Tome XII.
- [4] P. DUBREUIL (1974) : Initiation à l'analyse hydrologique. Ed. MASSON, Paris.
- [5] G. FEYT (1987) : Travaux méthodologiques pour l'analyse de la structure spatio-temporelle d'un **phénomène** climatique : application à l'étude des variations pluviométriques en Europe occidentale durant le siècle dernier. **Thèse** de doctorat, **Université** de Grenoble.
- [6] E. GILLE (1992) : Données pluviométriques mensuelles du bassin Rhin-Meuse. Définition d'une structure d'accueil et de procédures d'accès. CEGUM - Agence de l'**Eau** Rhin-Meuse.
- [7] E. GILLE (1983) : Fichier physiographique des bassins français de la Meuse de la Moselle et son programme d'appel. C.I.G., Ecole Nat. Sup. des Mines de Paris.
- [8] A. GODARD (1951) : Contribution à l'étude du climat lorrain. Rev. Géo. de Lyon.
- [9] M. HALLER (1988) : Hydroclimatologie du haut bassin de la **Saone**. Mémoire de Maîtrise, CEGUM, Université de Metz.
- [10] J. HUMBERT, J.-L. PERRIN et L. PERRON (1993) : Etude méthodologique de quantification spatiale des précipitations appliquée à la France du Nord-Est. Secteur-test : Versant oriental des Vosges. Agence de l'**Eau** Rhin-Meuse - CEREG/URA 95 CNRS, Université L. Pasteur, Strasbourg.

- [11] J. -P. **LABORDE** (1984) : Analyse des données et cartographie automatique en hydrologie : éléments d'hydrologie lorraine. Thèse de Doctorat **d'Etat**, Université de Nancy.
- [12] H. LAFORGUE (1981) : Analyse multivariée pour les sciences sociales et biologiques. Ed. Etudes Vivantes, Québec.
- [13] C. LECARPENTIER et F. SHAMSI (1972) : Les régimes pluviométriques dans la France de **l'Est**. Rev. Géo. de **l'Est**, n°2-3, Tome XII.
- [14] G. MAIRE, P. PAUL, J. C. SCHERER (1977) : Climatologie et hydrologie de la France de **l'Est**. Recherches géographiques à Strasbourg, n°4.
- [15] C. MARAND, J.-F. ZUMSTEIN (1990) : La modélisation des précipitations moyennes annuelles appliquée au massif vosgien. Hydrologie continentale n°5.
- [16] J.-P. MARCHAND (1981) : La variabilité de l'organisation mensuelle des précipitations. L'exemple de Dublin Phoenix Park (1838-1976). In *Eaux et climats*, Grenoble.
- [17] J.-P. MARCHAND (1985) : Contraintes climatiques et espace géographique : le cas irlandais. Paradigme.
- [18] METEO FRANCE (1993) : Banque Pluvio. Manuel des données. Version 5.1.
- [19] G. MEYER (1994) : Approche d'une quantification spatiale des précipitations moyennes annuelles de la France du Nord Est. Mémoire de **DEA**, CEGUM, Université de Metz.
- [20] G. MEYER (1992) : Les types de temps en Lorraine (1986-1991). Mémoire de Maîtrise, CEGUM, Université de Metz.
- [21] MINITAB Inc. (1994) : MINITAB **Reference** Manuel (Release 10 for Windows).
- [22] G. PETIT-RENAUD (1990) : L'évolution récente du climat **en France**. Rev. Géo. de Lyon, n°2, Volume n°65.

[23] M.-F. de SAINTIGNON (1980) : Variations spatio-temporelles des précipitations d'hiver et **d'été** dans la région couverte par la coupure Strasbourg de la carte climatique détaillée de la France. Recherches géographiques à Strasbourg, n°13-14.

[24] F. SHAMSI (1968) : Les climats de la France de **l'Est**. Doctorat de **3^{ème}** cycle, Strasbourg.

ANNEXES

Annexe 1 : liste des postes retenus

Annexe 2 : Catalogue Météo France des postes situés dans les 11 départements

Annexe 3 : Représentation des valeurs moyennes des classes des variations interannuelles et des régimes

Données fournies sur support informatique :

- *fichiers des **précipitations** mensuelles et **annuelles** (1971-1990), par département, issus de **cette étude***

- *Fichier **Physiographique** de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse : numéro **du** carreau, centre du carreau en X et en Y Lambert, **altitudes** minimale et maximale.*