

**THESE**



n° 10678

présentée à

**L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE**

Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée  
et de Prospection Minière de Nancy

pour obtenir le grade de

**DOCTEUR ES-SCIENCES**

par

**Jean-Pierre LABORDE**

~~~~~

Sujet

**ANALYSE DES DONNEES  
ET CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE  
EN HYDROLOGIE :  
ELEMENTS D'HYDROLOGIE LORRAINE**

~~~~~

*Soutenue publiquement le 22 octobre 1984 devant la Commission d'Examen*

Jury :

MM. A. GOUBET	Président
R. HOUPERT	} Rapporteurs
J.L. MALLET	
C. THIRRIOT	
C. CHAMBON	} Examineurs
G. OBERLIN	

# SOMMAIRE

	Pages
Introduction générale .....	1
<i>1ère partie</i> .....	
<i>Etude synthétique des précipitations extrêmes de durée inférieure à 24 h sur la France du nord-est</i>	
<u>Chapitre I - Choix des variables et bases d'un découpage saisonnier</u> .....	3
I.1 - Choix des variables et constitution des échantillons .....	5
I.1.1 - "Mesure" des précipitations extrêmes .....	5
I.1.2 - Constitution des échantillons .....	6
I.2 - Données utilisées .....	7
I.2.1 - Postes pluviographiques facilement exploitables .....	7
I.2.2 - Dépouillements effectués .....	8
I.3 - Découpage saisonnier .....	10
I.3.1 - Utilisation du test de Student-Fisher .....	10
I.3.2 - Utilisation des courbes "hauteurs-durées" .....	14
I.3.3 - Découpage retenu .....	18
<u>Chapitre II - Etude ponctuelle des précipitations journalières extrêmes</u> .....	19
II.1 - Choix des paramètres statistiques à étudier ainsi que des données à utiliser .....	19
II.1.1 - Choix des paramètres statistiques .....	19
II.1.2 - Inventaire des données disponibles et choix d'une période d'étude .....	23
II.2 - Etude des estimateurs des paramètres statistiques des distributions ....	27
II.2.1 - Estimation des paramètres des lois de distributions saison- nières .....	27
II.2.2 - Etude par simulation de l'estimateur saisonnier retenu .....	39
II.2.3 - Etude expérimentale de l'estimateur saisonnier retenu .....	41
II.2.4 - Estimation des pluies journalières décennales .....	48
II.3 - Les pluies journalières extrêmes sur 102 postes pluviométriques de la France du nord-est .....	52
II.3.1 - Graphiques d'ajustement des pluies maximales mensuelles saisonnnières .....	52
II.3.2 - Graphiques d'ajustement des pluies maximales annuelles .....	53
II.3.3 - Récapitulatif des paramètres statistiques des pluies journalières extrêmes .....	54

<u>Chapitre III</u> - Cartographie automatique des paramètres statistiques des pluies journalières extrêmes .....	57
III.1 - Constitution d'une banque de données morphométriques .....	58
III.1.1 - Acquisition des données altimétriques .....	58
III.1.2 - Représentativité des données altimétriques .....	59
III.1.3 - Construction de paramètres morphométriques caractéristiques d'un site .....	60
III.2 - Etude de l'influence de la morphométrie sur les paramètres pluviométriques retenus .....	66
III.2.1 - Relations entre la morphométrie et les gradex d'hiver .....	68
III.2.2 - Relations entre la morphométrie et les gradex d'été .....	69
III.2.3 - Relations entre la morphométrie et les pluies journalières décennales .....	71
III.2.4 - Retour sur la caractérisation du relief .....	72
III.3 - Interpolation des résidus de régression .....	74
III.3.1 - Interpolation par la méthode des filtres autorégressifs .....	74
III.3.2 - Choix du maillage par l'interpolation des résidus .....	81
III.3.3 - Résidus des gradex d'hiver .....	82
III.3.4 - Résidus des gradex d'été .....	84
III.3.5 - Résidus des pluies journalières décennales .....	86
III.4 - Cartographie synthétique .....	87
III.4.1 - Méthode de construction des cartes .....	87
III.4.2 - Carte des gradex des pluies journalières d'hiver .....	88
III.4.3 - Carte des gradex des pluies journalières d'été .....	89
III.4.4 - Carte des pluies journalières décennales .....	91
III.5 - En guise de conclusion sur ce procédé de cartographie .....	92
III.5.1 - Interpolation sur les données pluviométriques brutes en tenant compte du relief .....	92
III.5.2 - Quelques remarques sur la philosophie de cette cartographie .....	94
<u>Chapitre IV</u> - Evolution des pluies extrêmes en fonction de la durée, de la fréquence et de la surface .....	97
IV.1 - Etude des pluies en fonction de leur durée .....	97
IV.1.1 - Données pluviographiques utilisées et premiers résultats .....	97
IV.1.2 - Passage des pluies journalières aux pluies de 24 h : un ou des coefficients de Weiss ? .....	99
IV.1.3 - Evolution des pluies décennales avec la durée .....	101
IV.1.4 - Evolution des gradex saisonniers avec la durée .....	107
IV.1.5 - Conclusion partielle .....	110
IV.2 - Evolution des précipitations en fonction de la période de retour .....	112
IV.2.1 - Pluies journalières non décennales .....	112
IV.2.2 - Pluies non décennales sur des durées comprises entre 3 et 24 h .....	113

IV.3 - Evolution des précipitations avec la surface .....	115
IV.3.1 - Les coefficients d'abattement généralement admis .....	115
IV.3.2 - Vérification partielle pour la région nancéienne .....	116
IV.4 - Quelques exemples d'utilisation de ces résultats .....	120
IV.4.1 - Pluies journalières décennales (méthode CRUPEDIX) .....	120
IV.4.2 - Paramètres de la loi de Montana (méthode SOCOSE) .....	120
IV.4.3 - Evaluation du gradex (méthode du gradex) .....	120
IV.4.4 - Pluies journalières et non décennales sur une surface .....	121

## Chapitre V - Conclusion à la première partie de ce mémoire .....

V.1 - Les points critiquables .....	123
V.1.1 - Les postes pluviométriques retenus dans cette étude .....	123
V.1.2 - Les postes pluviographiques retenus .....	124
V.1.3 - La prise en compte du relief .....	124
V.2 - Des points méthodologiques positifs .....	125
V.2.1 - Enseignements du point de vue climatologique .....	125
V.2.2 - Enseignements du point de vue morphométrique .....	125
V.2.3 - Une cartographie automatique satisfaisante .....	126
V.3 - Un intérêt pratique régional .....	126
V.3.1 - Une critique des fichiers pluviométriques "critiqués" .....	126
V.3.2 - Une synthèse plus détaillée .....	127
V.3.3 - Un ensemble cohérent .....	129
V.4 - Une confirmation du caractère asymptotiquement exponentiel des pluies extrêmes .....	129
V.4.1 - Confirmation des ajustements ponctuels .....	130
V.4.2 - Validité pour les fréquences très rares : utilisation des 2 004 stations-années .....	131

## 2ème partie .....

### *Etude synthétique de la distribution statistique des hauteurs de pluies journalières sur la France du nord-est*

<u>Chapitre VI - Etude ponctuelle des distributions statistiques des pluies journalières</u> .....	135
VI.1 - Les données pluviométriques utilisées .....	135
VI.1.1 - Origine des données .....	135
VI.1.2 - Critère de sélection des stations .....	136
VI.1.3 - Stations retenues .....	137
VI.2 - Analyse statistique des pluies journalières .....	138
VI.2.1 - Choix d'une loi de probabilité .....	138

VI.2.2 - Méthode d'ajustement .....	139
VI.2.3 - Intervalles de confiance sur les estimations .....	141
VI.2.4 - Distribution statistique des pluies journalières ponctuelles ....	143
VI.2.5 - Limite de prise en compte des pluies journalières .....	148

## Chapitre VII - Cartographie automatique des paramètres de la distribution statistique des pluies journalières .....

VII.1 - Relations entre paramètres statistiques des pluies journalières et caractéristiques du relief .....	151
VII.1.1 - Choix des paramètres morphométriques caractéristiques d'un site .....	151
VII.1.2 - Régression pluviométrie-morphométrie .....	152
VII.2 - Variabilité spatiale des caractéristiques de la distribution statistique des pluies journalières .....	152
VII.3 - Etablissement des cartes synthétiques .....	154
VII.3.1 - Interpolation par la méthode du filtrage statistique au sens des moindres carrés .....	154
VII.3.2 - Résultats obtenus .....	156
VII.3.3 - Vérification des tracés cartographiques .....	159

## Chapitre VIII - Conclusion à l'étude de la distribution statistique des pluies journalières .....

VIII.1 - Modèle statistique de la distribution des hauteurs de pluies journalières .....	163
VIII.2 - Validité des résultats cartographiés .....	164

### 3ème partie .....

#### *Etude synthétique des débits mensuels des principaux cours d'eau de Lorraine*

## Chapitre IX - Inventaire et première critique des données .....

IX.1 - Les stations de jaugeage disponibles .....	169
IX.2 - Choix d'une période d'étude et comblement des lacunes d'observations .....	171
IX.2.1 - Choix d'une période d'étude .....	171
IX.2.2 - Comblement des lacunes .....	172
IX.3 - Vérification des données et de leur cohérence .....	173
IX.3.1 - Détection des erreurs accidentelles .....	173
IX.3.2 - Détection des erreurs systématiques .....	174
IX.3.3 - Détection des stations influencées ou mal représentatives .....	176
IX.4 - Variables définitivement retenues .....	178

	Pages
XI.4.2 - Comparaison entre les deux méthodes .....	236
XI.4.3 - Comparaison avec les résultats des études du milieu hydrologique .....	237
XI.5 - Essai de synthèse .....	240
XI.5.1 - Nombre et signification des régimes hydrologiques .....	240
XI.5.2 - Choix d'une méthode de classification des variables hydrologiques .....	241
XI.5.3 - Conclusion sur les mesures les plus redondantes .....	241
<u>Chapitre XII - Exemple d'utilisation de la classification des régimes hydrologiques</u> .....	245
XII.1 - Détection des anomalies dans les séries de lames d'eau mensuelles .....	245
XII.1.1 - Probabilité des résidus de régression .....	246
XII.1.2 - Cumul des résidus de régression .....	247
XII.1.3 - Applications aux stations de jaugeage .....	247
XII.1.4 - Remarques sur l'interprétation des anomalies .....	251
XII.2 - Comblement des lacunes d'observations .....	251
XII.3 - Reconstitution de séries longues d'après une courte période d'observations .....	253
XII.3.1 - Reconstitution des moyennes et des écarts-types des lames d'eau mensuelles à partir des données désaisonnalisées .....	254
XII.3.2 - Reconstitution des moyennes et des écarts-types des lames d'eau mensuelles par régression linéaire .....	259
XII.3.3 - Conclusion sur la reconstitution des moyennes et des écarts-types des débits mensuels .....	263
<u>Chapitre XIII - Conclusion à la troisième partie</u> .....	267
XIII.1 - Une méthode de classification automatique .....	267
XIII.2 - Typologie des cours d'eau de Lorraine .....	268
XIII.3 - Le réseau hydrométrique lorrain : propositions pour son évolution ...	269
Conclusion générale .....	271
Bibliographie .....	275
Liste des annexes .....	289

## RESUME

Ce mémoire porte sur deux points méthodologiques essentiels :

- l'étude des distributions statistiques des précipitations et la cartographie automatique de leurs paramètres ;
- la classification automatique en régime hydrologique d'après les apports des cours d'eau.

Ces méthodologies ont été mises au point sur trois séries de données, ce qui explique le découpage en trois parties.

\* Le dimensionnement des ouvrages hydrauliques s'appuie très souvent sur les caractéristiques statistiques des pluies extrêmes. Nous nous proposons, dans la première partie du mémoire, de fournir sous une forme synthétique, les éléments caractéristiques des précipitations extrêmes dans la France du nord-est.

L'analyse des enregistrements de neuf pluviographes sur treize à quinze années d'observations permet de mettre en évidence l'existence de deux saisons pluviométriques relativement homogènes. Nous avons donc étudié la distribution statistique des précipitations journalières maximales mensuelles par saison. Cette étude porte sur 102 postes disposant de vingt années d'observations. Nous avons montré que les distributions peuvent être considérées comme gumbelliennes et que le comportement asymptotiquement exponentiel des distributions était vérifié jusqu'à des périodes de retour de plusieurs centaines d'années. Plusieurs méthodes d'ajustement des paramètres ont été utilisées systématiquement, ce qui permet d'en comparer les estimations et leurs incertitudes.

La statistique des pluies journalières de période de retour supérieure à cinq ans se caractérise assez bien à partir de trois paramètres : la pluie journalière décennale, le gradex d'hiver et le gradex d'été.

Ces trois paramètres font l'objet d'une cartographie automatique. Une méthodologie a été mise au point pour établir des cartes "isohyètes" tenant compte de toute l'information disponible : estimations ponctuelles des précipitations, incertitudes sur ces estimations et relief connu en continu. Dans ce cadre, nous proposons de caractériser le relief par deux paramètres : l'altitude du lieu et son encaissement mesuré par l'angle solide sous lequel on voit l'horizon.

\* Dans la seconde partie du mémoire, nous avons effectué une analyse du même type sur la distribution des pluies journalières de 187 postes disposant de plus de 1 500 jours d'observations. Les précipitations journalières sont sensiblement distribuées selon des lois de Galton tronquées. L'analyse des seuils de troncature  $F_0$  (fréquences des jours sans pluie) montre que ce modèle statistique n'est adapté qu'aux précipitations supérieures à environ 1 mm/jour.

Les trois paramètres des lois de Galton tronquées ont également été cartographiés en tenant compte du relief.

\* La troisième partie du mémoire aborde l'étude des apports mensuels des principaux cours d'eau de Lorraine. Ces apports ont été étudiés par analyse en composantes principales. Nous pouvons conclure à une homogénéité d'ensemble des régimes hydrologiques.

Nous avons procédé à une classification automatique sur les variables que sont les débits enregistrés à chaque station de jaugeage. Une technique nouvelle est proposée ; elle dérive directement de la méthode des centres dynamiques mais où les barycentres d'un ensemble de points sont remplacés par la première composante principale d'un ensemble de variables. La comparaison des résultats de cette technique avec ceux obtenus par des classifications ascendantes hiérarchiques ou par des considérations naturalistes, montre qu'elle est tout à fait performante. Ainsi, nous avons mis en évidence que les différents cours d'eau de Lorraine pouvaient se ramener à six types principaux dépendant en grande partie de la nature géologique des bassins versants. Dans une dernière phase, nous avons utilisé ces résultats afin de proposer des modifications du réseau de mesure des débits des cours d'eau. La connaissance des apports à l'échelle mensuelle pourrait être améliorée si, sur les 76 stations étudiées, une quinzaine d'entre elles étaient rendues "mobiles".

Les enseignements principaux que nous pouvons tirer de ce mémoire sont donc d'ordre méthodologique (cartographie des caractéristiques statistiques des précipitations, classification automatique) et d'ordre hydrologique régional (statistique des pluies extrêmes et apports des principaux cours d'eau de l'est de la France).



## INTRODUCTION GENERALE

L'hydrologie peut se définir comme la science qui traite du cycle de l'eau dans la nature. Cette définition est bien générale et elle recouvre des approches très différentes :

- le premier aspect est celui de la description des phénomènes tel qu'il est développé en géographie physique ;

- une part très importante de l'hydrologie concerne l'acquisition des données, principalement sur les débits (hydrométrie) et sur la pluie (pluviométrie) ;

- en aval de cette phase de mesures et en découlant directement vient le traitement des données : détection des anomalies dans les séries, traitement statistique, analyse des données, synthèses ;

- enfin, le stade ultime est celui de la modélisation numérique des écoulements.

De tous temps, les hommes ont utilisé les ressources de l'hydrologie, connaissance empirique d'abord, puis branche annexe de disciplines diversées.

Le développement des pays du Tiers Monde et l'industrialisation toujours croissante des pays développés réclament une connaissance toujours meilleure des ressources en eau. C'est pourquoi, l'hydrologie est devenue aujourd'hui une technique importante de l'art de l'ingénieur (Remenerias, bib. 99).

Elle a maintenant acquis le droit à un enseignement propre dans toutes les écoles formant des ingénieurs dans le domaine de l'aménagement (ENSM Paris, ENSEIHT Toulouse, ENSH Grenoble, ENGREF, ENPC, ENSITPE...).

L'hydrologie fait donc partie des sciences de l'ingénieur. La recherche hydrologique s'est toujours développée sous la pression des besoins. Les progrès récents ont été réalisés grâce à la conjonction de plusieurs facteurs favorables :

- la multiplication des problèmes liés aux ressources en eau induisant le déblocage de moyens financiers ;
- le développement de l'informatique qui permet entre autres une mise en oeuvre pratique des méthodes d'analyse des données ;
- l'existence de mesures hydrologiques de plus en plus abondantes et fiables (important développement des réseaux de mesures depuis la dernière guerre mondiale).

Ces trois principaux facteurs favorables se sont retrouvés réunis en Lorraine ce qui explique l'existence d'une recherche hydrologique à l'Ecole de Géologie de Nancy :

- l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse et le Service Régional de l'Aménagement des Eaux étaient confrontés à des problèmes hydrologiques pour lesquels ils étaient prêts à financer une recherche ;

- nous disposions à Nancy de moyens informatiques avec l'IRIS 80 du Centre Interuniversitaire de Calcul Automatique. La recherche en analyse des données et en cartographie automatique se développait à l'E.N.S.G. avec en particulier la création du Laboratoire d'Informatique et d'Analyse des Données ;

- les informations hydrologiques étaient abondantes en Lorraine puisque, comme nous allons le voir, nous avons pu utiliser les observations sur 2000 stations-années en pluviométrie et 750 stations-années en débit.

Les recherches que je présente maintenant portent sur deux points méthodologiques essentiels :

- la cartographie de paramètres statistiques, caractéristiques de la pluviométrie ;

- la classification automatique en régime hydrologiques d'après les apports des cours d'eau.

Nous avons développé ces techniques à l'occasion de trois problèmes principaux. Le premier concernait la réalisation de documents synthétiques sur les pluies extrêmes en Lorraine et le second la distribution statistique des pluies journalières. Les deux premières parties de ce mémoire traitent de ces problèmes liés à la cartographie. Le troisième problème qui nous a été soumis était celui de la gestion optimale d'un réseau de mesures des débits (sous l'angle restreint de la connaissance des apports à l'échelle mensuelle). C'est à cette occasion que nous avons développé une technique de classification automatique présentée dans la troisième partie de ce mémoire.

## CONCLUSION GENERALE

A peine arrivé au terme de la rédaction de ce mémoire, il m'apparaît évident, à la suite d'études plus récentes ou même de la maturation qui s'opère lors de la rédaction, que telle ou telle partie mériterait d'être remaniée ou complétée. Rédiger un rapport de thèse est un travail de Pénélope auquel il faut bien mettre un terme !

J'ai donc choisi de faire aujourd'hui une présentation de l'état d'avancement de mes travaux sans vouloir plus ou moins artificiellement faire penser qu'ils étaient terminés et que tous les problèmes soulevés avaient trouvé une solution satisfaisante.

Le fait que mon envie persiste de poursuivre et d'approfondir certains des travaux abordés dans ce mémoire, ne me paraît pas contradictoire avec sa rédaction. La soutenance d'une thèse ne doit pas, je pense, être l'occasion de mettre un terme à sa recherche, et de ce côté-là, je souhaite pouvoir poursuivre avec le concours de tous ceux qui m'ont fait confiance jusqu'à ce jour.

Les quelques conclusions générales que je propose n'apprendront rien aux hydrologues expérimentés, mais elles s'adressent surtout aux jeunes chercheurs, qui je l'espère, accepteront de travailler avec moi et de prendre la suite.

La première conclusion - et je pense la plus importante - est de ne jamais faire une confiance aveugle aux données numériques. J'ajouterai même, surtout si elles sont sur support informatique, car dans ce cas elles bénéficient d'un préjugé favorable pas toujours bien justifié. Malgré le sérieux des services gestionnaires et des personnes qui avaient fait une première critique des données, des anomalies persistent dans tous les fichiers qui m'ont été communiqués. Cela n'est nullement un reproche, car je pense que cela est quasiment inévitable. Cette remarque vaut d'ailleurs aussi bien pour mon travail : dans les fichiers étudiés, des données persistent certainement plus ou moins erronées. Je peux seulement affirmer que ces erreurs éventuelles ne me semblent pas devoir affecter les résultats que j'avance d'une façon marquante.

Ayant affirmé la nécessité d'une critique des données, il me semble que des études de synthèses régionales doivent être beaucoup plus fréquentes. Une des premières raisons est qu'elles sont justement l'occasion d'une critique des données. Par ailleurs, ces synthèses présentent l'avantage de fournir rapidement des renseignements généraux, et de permettre la vérification d'une cohérence régionale. Prenons l'exemple de la carte des pluies journalières décennales :

- elle a été l'occasion de vérifier et d'améliorer les fichiers pluviométriques de l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse ;

- elle permet de donner instantanément les ordres de grandeur du phénomène : 40 à 50 mm/j une fois tous les dix ans dans la région de Lunéville ;

- elle ne dispense pas d'études ponctuelles de détail mais permet de vérifier leur cohérence : ainsi, si une étude pluviométrique fine dans la même région de Lunéville aboutissait à une pluie décennale de 70 mm/j, il conviendrait de bien vérifier les calculs, les données et la représentativité de la station avant d'admettre ce résultat.

En ce qui concerne la cartographie des paramètres statistiques, caractéristiques des précipitations, je pense qu'il est nécessaire de prendre en compte le relief comme je l'ai fait, ou d'une meilleure manière comme nous le ferons certainement. Je ne pense pas que l'introduction du relief améliore d'une façon décisive la précision des cartes. Cette précision est évidemment toujours limitée par des incertitudes sur les informations ponctuelles et par leur densité spatiale. Cependant, en prenant en compte le relief, nous établissons des cartes cohérentes (si nous admettons que l'altitude joue un rôle sur la pluviométrie et, en l'absence d'autres informations, les courbes isohyètes doivent suivre les courbes de niveau). Ces remarques sont valables pour des paramètres statistiques comme la pluie journalière décennale, la pluie moyenne annuelle, etc., car leur variabilité spatiale est lente et surtout induite par le relief. Il n'en est pas de même pour la cartographie d'averses particulières et c'est là une limite à l'utilisation de notre méthode.

La technique de classification automatique que nous avons développée est d'un intérêt tout à fait général. Nous avons vérifié qu'elle donnait des résultats satisfaisants dans un domaine hydrologique. Toutes ses qualités ne sont certainement pas apparues sur cet exemple. J'insisterai essentiellement sur deux avantages :

- les calculs sont aisés et ne nécessitent pas de gros moyens de calcul (un mini-ordinateur de 48 K permet de classer 80 variables) ;

- la philosophie de la classification dérive des centres dynamiques ; elle est donc très aisément compréhensible.

L'utilisation de cette technique de classification a permis d'aboutir à des conclusions sur la possibilité de réduire le réseau hydrométrique permanent et sur la constitution d'un réseau temporaire d'une durée très courte de l'ordre de cinq ans. J'insiste sur le fait que ces conclusions ne concernent que la connaissance des apports à l'échelle mensuelle. Il est certain que l'optimisation du réseau devra tenir compte d'autres critères tout aussi importants tels l'ancienneté des stations existantes, les commodités de mesures, la variabilité des crues et des étiages.

Ces considérations m'amènent à ma dernière conclusion qui concerne l'acquisition des données. Il est toujours temps de faire ou de refaire un calcul ; par contre en hydrologie, une mesure qui n'a pas été faite en son temps ne pourra jamais plus l'être. De ce point de vue, les observateurs et les services gestionnaires des réseaux jouent un rôle primordial mais ingrat, mal connu et bien souvent mal compris.

Nous reprendrons en conclusion ce que J.M. MALLET (bib. 84) disait en exergue :

*"Aussi séduisantes que puissent paraître certaines méthodes d'estimation ou de visualisation, il convient de ne jamais oublier le postulat suivant : il n'existe aucun procédé générateur d'information en dehors des procédés de mesures".*