

GRADIENTS D'INTENSITES DE PLUIE EN ZONE A RELIEF : EXPERIMENTATIONSET PREMIERES MODELISATIONS DES DONNEES D'UN RESEAU RHONALPIN, LE TPG

par Isabelle Desurosne^{1,2} et Guy Oberlin²

INTRODUCTION

Cet article résume brièvement l'essentiel du travail effectué autour du programme TPG (Pluie et Relief). On trouvera des détails supplémentaires dans la thèse d'Isabelle Desurosne (Université Louis Pasteur, Institut de Mécanique des Fluides de Strasbourg, 18/09/1992) et dans le rapport final du programme (janvier 1993).

On rappelle que les données pluviométriques sur lesquelles ont porté l'ensemble des analyses présentées sont issues du réseau 1D TPG (Transect de Pluviographes pour l'analyse et la modélisation des Gradients hypsométriques) situé dans les Pré-Alpes du Nord (densité : 1 pluviographe/2,3 Km ; longueur : 100 Km ; altitude : 200 à 2000 m ; massifs traversés : Bas-Dauphiné /Chartreuse/Belledonne ; mise en service : 1987).

I. VERS UNE COMPREHENSION ET UNE QUANTIFICATION PLUS SURES DES PRECIPITATIONS D'ALTITUDE

De l'analyse bibliographique [Desurosne, 1992], il ressort essentiellement que les pluies d'altitude dépendent à la fois des conditions météorologiques d'échelle synoptique (*grands courants*), d'échelle moyenne (*interaction entre les grandes chaines de montagne et les lignes de courant par exemple*) et d'échelle très locale (*phénomènes de convection en fin de journée chaude et humide au dessus d'un cirque par exemple*). Ces processus sont évidemment imbriqués les uns dans les autres, et vouloir différencier la part que chacun a pris lors de la formation des pluies serait parfaitement illusoire.

Le fait de traiter des perturbations structurées constitue certainement déjà une première sélection (*sorte de typologie implicite*) : on ne trouve en effet dans les cas traités (*analyse sur les formes, sur les types de temps, analyse événementielle de corrélogrammes*) jamais de pluies issues d'un secteur E. Mais, même si les perturbations concernées sont majoritairement issues d'un secteur NW, les caractéristiques des masses d'air qui les engendrent peuvent être très différentes. Cependant, une analyse sur l'estimation de la différence de pluie tombée entre le pied et la crête d'un massif à partir de ces caractéristiques semble relever de l'utopie : ces paramètres aérologiques expliquent en effet la pluie d'altitude à un second degré par rapport à la pluie de pied de pente, et ce de manière anarchique (*les liaisons trouvées sont inutilisables et dépendent probablement de l'échantillon*). Quoi qu'il en soit, toutes les perturbations sélectionnées sont réellement modelées par le relief (*85 % de ces perturbations présentent des profils globalement croissants avec l'altitude*) et la localisation des abats pluvieux les plus importants (*à un pas de temps allant de l'heure à l'épisode pluvieux*) dépend de ce même relief : sur les contreforts W et E du massif de la Chartreuse (*l'existence d'un point d'inversion ne semble pouvoir être remise en question*) et en crête de Belledonne.

¹ Laboratoire de Météorologie Physique de Clermont-Ferrand.

² CEMAGREF de Lyon, division Hydrologie-Hydraulique.

Au vu des résultats précédents, et dans une conjoncture à finalité événementielle et donc de prévision à court terme, se tourner vers les liaisons spatiales inter-postes pour modéliser la pluie d'altitude en fonction de la pluie de plaine ou de vallée paraît être une voie intéressante³ : les résultats de cette modélisation, certes uniquement applicables aux postes TPG, sont prometteurs. Ils démontrent que les pluies structurées dans les zones de montagne, même à de fins pas de temps et d'espace comme ceux envisagés dans le TPG, peuvent être estimées à condition que la pluie en pied de pente soit connue. En outre, il semblerait que ce soit ces pluies structurées qui soient, hydrologiquement parlant, les plus intéressantes : éventuellement superposées à des pluies d'origine très locale, elles seraient à l'origine des fortes crues des zones de montagne (*résultat des analyses (multi-)fractales*). Enfin, il est à signaler qu'il ne semble pas totalement impossible de transférer vers les zones d'altitude les hyétogrammes de pluie de plaine ou de vallée, dans des conditions toutefois très particulières de pluies "unitaires".

Concernant la modélisation de variates globales en prédétermination à long terme (*telles que la pluie quinquennale*), la voie statistique globale⁴ (*utilisation du modèle de Renouvellement et de la pseudo-loi de Montana*) semble la plus aisée et elle paraît donner des résultats corrects ; il apparaît (Fig. 1) en effet que plus le pas de temps augmente et plus le relief semble jouer un rôle prépondérant dans l'estimation des variates : au plus petit pas de temps étudié, l'heure, la pluie semble décroître entre Lyon et la montagne, sauf à partir du Grésivaudan (*Pluviographe P12*) et de Belledonne. Ceci se rapprocherait des résultats cévenols [Slimani, 1987] : quantiles forts aux petits pas de temps en milieu de versant (*aux alentours de 400 m*) diminuant avec l'altitude ; le changement de conclusion à partir du Grésivaudan et de Belledonne peut à ce jour avoir deux explications :

- réalimentation latérale en air humide par le canal de la vallée du Grésivaudan ; cette explication est cependant très discutable, étant établi qu'il ne peut y avoir plus de 1 à 2 mm/heure apportés par cette voie [Obled, 1992] ;

- re-croissance de ces intensités avec l'altitude quand le massif a un relief vigoureux qui dépasse un seuil qui permet d'influencer la propagation de masses d'air très élevées (*fait non observable en Cévennes dont les sommets ne dépassent pas 1500 m*).

La seconde explication nous paraît la plus plausible. Des augmentations plus ou moins importantes avec l'altitude, mais pas avec l'exposition (*à cette échelle, les versants sous le vent réagissent plus ou moins comme les versants au vent*) commencent à apparaître pour le pas de temps de 4 heures, pas de temps très proche d'une durée moyenne pour les perturbations, et jouent un rôle réel pour le pas de temps de la journée) ; à noter que des erreurs d'estimation n'ont pas été calculées, ne connaissant les variates à modéliser qu'avec une grande imprécision.

En résumé donc, les principales conclusions de ces premiers travaux sur le TPG pourraient être :

1° sur le plan "opérationnel"

- si l'on a peu de temps devant soi (*ou peu de moyens*), il est possible de poser comme hypothèse que les gradients hypsométriques (*entre pieds de versants et sommets*) ne sont pas très significatifs, au moins aux petits pas de temps de l'ordre de quelques heures : dans ce cas, un projeteur peut très bien transférer brutalement les IdF (*régionalisées*⁵ si possible) établies en pied de pente vers les zones d'altitude : les erreurs commises ne semblent pas être excessivement élevées en utilisant ce procédé ;

³ Pour ce faire, l'analyse structurale classique (analyse de variogrammes) n'est pas adaptée : le fait de ne lier les couples de postes qu'à la distance qui sépare les stations considérées détruit tout effet micro-climatique ; c'est pourquoi d'ailleurs les variogrammes obtenus par Tonati [1992] sont très chaotiques et présentent une portée très courte (2 km au plus, pour un pas de temps journalier et pour des perturbations de Nord-Ouest) ; l'utilisation de corrélogrammes spatio-climatiques est certainement préférable, car la distance, la dénivellation et le paysage sont pris en compte (un corrélogramme est établi pour un poste donné).

⁴ Alors que les analyses multifractales (méthodes PDMS ou DTM) ont conduit à des résultats remarquablement simples (2 paramètres α et C_1 pour résumer l'ensemble de l'information contenue dans un fichier pluie, sur une plage d'invariance d'échelle), on ne peut raisonner aussi simplement sur les champs qui ont généré les pluies (champs d'humidité, de vent, ...) : ceux-ci sont généralement sécanés et le fait de vouloir éliminer la trace d'un champ sur un autre conduit à travailler sur des tenseurs dans un espace à n (>2) dimensions [Schertzer, 1992].

⁵ On rappelle que la régionalisation a pour avantage de prendre en compte à la fois l'information locale et une partie de l'information régionale pour l'estimation de lois de probabilité locales ; elle améliore de ce fait l'estimation des quantiles rares mais a pour contrepartie une sous-estimation de la variabilité micro-climatique locale.

- il vaut cependant mieux essayer de rechercher les variates hydrologiques en liaison avec le paysage, directement ou indirectement : il faut tenir compte de la décroissance des quantiles de pluie pour les petits pas de temps (*inférieurs à 6 heures*), avec la distance à la mer ; d'autre part, pour des pas de temps plus importants, des régressions simples ont déjà pu être calées sur le TPG ; cela doit pouvoir être réitéré en d'autres lieux s'il y a au moins quelques données locales en altitude. Par ailleurs, en approche événementielle (*prévision*), des corrélogrammes spatio-climatiques sont été calés pour trois types de reliefs, et les résultats peuvent éventuellement être repris :

* pour de faibles reliefs : prendre les valeurs trouvées sur le Bas-Dauphiné ;

* pour des reliefs assez élevés, mais tabulaires à falaises (*ceux-ci semblent présenter un mauvais rendement pluviogène : de manière courante, un point d'inversion est rapidement rencontré sur les flanc du massif, point d'inversion qui n'a pu être pris en compte du fait du peu d'années à notre disposition*) : se baser sur les résultats du massif de la Chartreuse ;

* pour de forts reliefs progressifs (*rendement pluviométrique important et pluie nettement croissante avec l'altitude*) : se baser sur les résultats du massif de Belledonne.

Les gradients hypsométriques sont proches de ceux des pluies de moyenne et longue durées, voire des valeurs centrales de ces mêmes pluies. Néanmoins, le transfert des résultats vers d'autres massifs est à manier avec précaution : les conditions météorologiques peuvent évoluer, d'autres paramètres tels que la distance à la mer, les influences méditerranéennes peuvent intervenir ...

2° sur le plan "recherche", quelques constatations ont été faites, qui mériteraient de plus amples analyses (*avec au moins plus de données au moins dans le temps, mais peut-être aussi dans l'espace*) :

- concernant la morphométrie du terrain, il a été constaté que le massif de la Chartreuse a un mauvais rendement pluviogène qui se traduit (*vraisemblablement*) généralement par un point d'inversion, aussi bien sur le versant au vent que sur le versant sous le vent ; la présence de ce point est-elle réellement due, comme il a été avancé, aux macro-turbulences engendrées par le relief qui entraîneraient une perte énergétique et qui donc contrecarreraient la condensation ? Par ailleurs, le problème de la maille (*taille et forme*) utilisée pour calculer l'altitude lissée reste entier : celle à laquelle on a fait appel dans ce travail semble en effet trop petite pour le Bas-Dauphiné, adaptée au massif de Belledonne et trop grande pour le massif de la Chartreuse (*surtout pour le versant sous le vent où l'altitude réelle semble bien meilleure*) ; si l'on généralisait les travaux de Touati [1992] (*modélisation de l'histogramme des pluies pour une circulation de Nord-Ouest*) aux types de temps de Sud/Sud-Ouest par exemple, la forme de la maille à utiliser devrait certainement être différente afin de prendre en compte de façon préférentielle les massifs situés au Sud (maille ovoïde d'axe Nord/Sud ?) ;

- concernant la météorologie/climatologie, il semble y avoir un faible, voire nul, degré de significativité des paramètres aérologiques globaux, tels que ceux extraits de cartes d'échelles synoptiques (*BME, BQE*) ou de radio-sondages ; est-ce dû à une mauvaise représentativité du radio-sondage de Lyon pour le TPG ? Les résultats intermédiaires interpolés des modèles de Météo-France (*PERIDOT*) donneraient-ils de meilleurs résultats ?

- enfin, concernant les champs pluvieux, il y a une réelle structure interne de toute pluie, aux échelles de l'épisode pluvieux, de la perturbation ou du maximum horaire par perturbation ; ce dernier point confirme ce qui avait été avancé précédemment [Desurogne, 1990].

II- SYNTHÈSE

*** Recommandations préliminaires pour un schéma expérimental**

Il ressort de cette série d'analyses que pour améliorer la connaissance des pluies d'altitude, il faudrait absolument installer des pluviographes dans le plus grand nombre de vallées possible (*c'est là par ailleurs que l'exploitation et la maintenance sont les plus aisées*)

dans les zones de montagne), ces stations fournissant des données ayant, d'après ce qui précède, une potentialité d'être "remontées" en altitude.

Les seuls postes de plaine/vallées ne suffisent évidemment pas à la connaissance des pluies en altitude : la corrélation inter-poste dépend en effet de la situation et de la morphologie du massif ou du versant considéré (*on a vu que les massifs de Belledonne et de la Chartreuse avaient des comportements sensiblement différents*). Pour compléter l'équipement des vallées, tout en évitant une installation excessive type TPG (*lourde et délicate à gérer*), il faudrait donc, semble-t-il, équiper au moins les crêtes et les zones présumées d'inversion (*aux alentours de 1000 mètres pour un massif type Chartreuse*). Trois pluviographes pour un versant donné semblent du domaine du raisonnable. C'est là, par ailleurs, un équipement minimal⁶.

* Synthèse des conclusions

Selon le type de travaux à entreprendre, le degré de précision des informations hydrologiques nécessaires au projeteur varie. Les orientations à prendre semblent être largement dépendantes du niveau recherché (tableau 1).

Niveau de précision recherché	en prédétermination	en prévision
Sommaire (opérationnel)	Pas de gradients significatifs : simple transfert des F(P) depuis les pieds de pente vers les zones d'altitude	Excepté dans le cas d'orages thermiques localisés, les champs précipitants à l'échelle de la perturbation (quelques heures) sont réellement structurés mais cette tendance est peu liée aux conditions d'échelle aérologique et synoptique => réseau de mesure télétransmis privilégié à postes de référence (3 par versant au minimum)
Normal (opérationnel et recherche)	IdF avec paramètres (Po et AG) dépendant de la situation géographique des postes	Correlogrammes spatio-climatiques dont les paramètres sont à recalculer localement : éventuellement reprendre ceux de cette analyse s'il y a similitude de relief et (peut-être) de climat
Détail (recherche)	Affinement des paramètres du modèle IdF en relation avec le relief Multi-fractales	- Méthodes de déconvolution - Correlogrammes - Variogrammes

Tableau 1 - Classement des méthodes à utiliser en fonction du niveau de précision recherché, en approche prédéterministe et prévisionnelle.

Par ailleurs, il est possible de classer les différents outils utilisés selon leur puissance (*plus un outil est puissant et plus le nombre de paramètres auxquels il fait appel est limité*) (tableau 2).

⁶ Aujourd'hui, peu de réseaux denses d'altitude existent et leur but n'est pas toujours d'améliorer la connaissance statistique des pluies : par exemple, le bassin versant de la Garonne (Conzy, 1991), qui se compose de quelques 70 pluviographes dont l'altitude s'échelonne entre 100 et 800 m, a été installé dans le seul but de faire de l'annonce de crue (système d'alerte) : compte tenu donc de l'exploitation actuelle de ces réseaux, les informations fournies ne sont pas adaptées aux traitements statistiques, seuls les événements intéressants étant traités (pour le gestionnaire). On peut encore citer, dans le cadre des réseaux d'altitude, celui de Llobregat, installé depuis 1988 dans les Pyrénées orientales (10 pluviographes pour une surface de 380 km²), dont les conditions sont très particulières : le relief se compose essentiellement de vallées très encaissées et de cirques. De tels réseaux ne dépendent pas totalement à l'attente du TPG.

Prédetermination	Prévision
① (Multi-)fractales (si employées pour reconstitution d'IdF)	① (Multi-)fractales (si employées en simulation)
② Géostatistique	② Analyses en composantes Principales
③ Modèle intensités/durées/ Fréquences	③ Déconvolution
	④ Corrélogrammes Spatio-climatiques
	⑤ Analyse des profils de champs pluvieux (avec mise ou non en relation avec la météorologie)

Tableau 2 - Classement des outils utilisés en fonction de leur puissance (les outils les plus puissants se trouvent en début de tableau).

Enfin, ces mêmes outils peuvent être classés selon leur efficacité et leur pertinence constatées pour les pluies d'altitude (tableau 3). Ce tableau résume donc l'intérêt opérationnel de la thèse.

Prédetermination	Prévision
① Modèle IdF	① Corrélogrammes spatio- climatiques
② Géostatistique	② Analyse des profils de champs pluvieux (avec mise ou non en relation avec la météorologie)
③ (Multi-)fractales	③ Analyses en composantes Principales ("mauvais" outil d'analyse car il faut savoir a priori ce que l'on veut démontrer)
	④ (Multi-)fractales (si employées en simulation)
	⑤ Déconvolution (méthode paraissant inadaptée aux analyses de précipitations)

Tableau 3 - Classement des outils utilisés en fonction de leur pertinence (les outils les plus pertinents se trouvent en début de tableau).

* Limitation de l'information type TPG

Le programme TPG est un sujet porteur de polémiques : comment travailler en zone de montagne avec de si petits pas de temps, alors qu'en plaine, où les processus météorologiques sont réputés moins complexes⁷, on le fait déjà difficilement ? Le passage du pas de temps de la perturbation au pas de temps du maximum horaire par perturbation a introduit un effet de pépite notable dans la représentation des corrélogrammes spatio-climatiques et en a largement diminué la portée.

Par ailleurs, un problème de densité de données se pose, surtout lorsque l'on veut travailler dans l'espace, versant par versant, et avec des outils assez élaborés : outils géostatistiques [Matheron, 1991], outils multifractals [Lavallée, 1992 ; Tessier, 1992], pour lesquels on a l'habitude de travailler avec des milliers de données. Même si ces outils sont

⁷ A noter que dans le cas d'un terrain peu accidenté, la localisation des ascendances est plus qu'incertaine, alors qu'en zone de montagne, celles-ci sont beaucoup plus facilement localisées à cause du relief.

utilisés, les résultats sont à interpréter soigneusement et à nuancer. Le radar pourrait apporter une telle densification de données, mais il n'est pas encore assez opérationnel.

III- CONCLUSION

S'il fallait résumer brièvement la thèse, les recherches menées sur le TPG jusqu'à aujourd'hui :

- confortent l'intérêt prioritaire des analyses régionales à faire sur les lois des pluies (*à moyenne échelle*) ;
- justifient que lorsque l'objectif est très sommaire, il peut être suffisant d'appliquer aux versants et sommets les quantiles observés en vallées, et ce d'autant plus que les pas de temps sont faibles ;
- commencent à fournir des outils de correction des connaissances de pluie en vallée pour les utiliser en versant et en altitude ;
- confirment la forte structuration des pluies avec l'altitude et l'exposition pour de petits pas de temps à l'échelle événementielle ; il semble donc que les pluies d'altitude pourraient être prévues à partir des pluies de plaine sous réserve de construire un modèle opérationnel en temps réel.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- BENICHO (P.), LEBRETON (O.), 1986 - AURELHY : une méthode d'Analyse Utilisant le RELief pour les besoins de l'Hydrologie. Deuxièmes journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier, 16-17 septembre 1986. Editions de l'ORSTOM.
- BERGERON (T.), 1965 - On the low-level redistribution of atmospheric water caused by orography. In : Suppl. Proc. Int. conf. Phys. (Tokyo), pp 96-100.
- BLANCHET (G.), 1990 - Régimes météorologiques et diversité climatique dans l'espace Rhonalpin. In : Revue de Géographie de Lyon, Vol. 2.
- CEMAGREF, 1979 - Analyse des pluies de 1 à 10 jours sur 300 postes métropolitains, Cemagref, groupement d'Antony, division Hydrologie-Hydraulique fluviale / Météo-France, bureau de l'eau, Paris, juillet 1979.
- CEMAGREF, 1985 - Analyse des fortes pluies de 1 à 10 jours sur 300 postes du Sud-Est de la France (*rive gauche du Rhône et extrême Sud-Est de la France*). Information technique du Cemagref, cahier 58, N° 1, juin 1985.
- COUZY (G.), 1991 - Communication personnelle.
- DESUROSNE (I.), 1990 - Transect Lyon/Alpes : Forme des champs pluvieux aux faibles pas de temps et d'espace. DEA de l'Ecole Nationale des Ingénieurs des Travaux Ruraux et des Techniques Sanitaires et de l'Institut de Mécanique des Fluides de Strasbourg, septembre 1990, 143 p..
- DESUROSNE (I.), 1991 - Transect Lyon/Alpes : analyses spatio-temporelles des champs pluvieux en zone pré alpine. Rapport intermédiaire de première année de thèse, septembre 1991.
- DESUROSNE (I.), 1992 - Gradients d'intensités de pluie en zones à relief : expérimentations et premières modélisations des données d'un réseau rhonalpin, le TPG. Thèse, Université Louis Pasteur/CEMAGREF Lyon, septembre 1992.
- GIVONE (C.), 1987 - Analyse statistique d'épisodes pluvieux en zone de montagne, D.E.A. de l'Ecole Nationale de la Météorologie, juin 1987, Diffusion strictement interne, 50 p..
- HUBERT (P.), CARBONNEL (J.P.), 1989 - Dimensions fractales de l'occurrence de la pluie en climat soudano sahélien. In : Hydrologie Continentale, Vol. 4, N°1, pp 3-11.
- LABORDE (J.P.), 1984 - Analyse des données et cartographie automatique en hydrologie : éléments d'hydrologie Lorraine. Thèse d'état, Ecole Nationale de Géologie Appliquée et de prospection minière, Nancy, 250 p..
- LAVALLEE (.), 1992 - Communication personnelle.
- LLASAT (M.C.), 1991 - Distribution de la pluie en haute montagne : le réseau pluviographique de l'Alt Llobregat (Prépyrénées, Espagne). Séminaire GIS Amhy / Friend Nord-Ouest, Cemagref Lyon, 14-18 octobre 1991.
- LLASAT (M.C.), 1991 - Réseaux automatiques pluviométriques en Catalogne. Séminaire GIS Amhy / Friend Nord Ouest, Cemagref Lyon, 14-18 octobre 1991.
- LOVEJOY (S.), SCHERTZER (D.), 1991 - Multifractal and rain. In press in : *Scaling in hydrology*., éditions Kundeczick (*Birkaiser press*).
- MADLBROT (B.), 1989 - Les objets fractals : survol du langage fractal. Nouvelle bibliothèque scientifique, éditions Flammarion.
- MARAND (C.), ZUMSTEIN (J.F.), 1991 - La modélisation des précipitations moyennes annuelles appliquée au massif vosgien. In : Hydrologie Continentale, janvier 1991, pp 29-41.
- MATHERON (G.), 1992 - Communication personnelle.
- MEIGNIEN (X.), 1986 - Faisabilité d'un transect de pluviographes en vue d'améliorer la prédétermination des pluies dans les Alpes du Nord, DEA e l'E.N.G.R.E.F., 42 p..

OBLÉD (Ch.), 1986 - Introduction au krigeage à l'usage des hydrologues. In: Colloques et Séminaires, deuxième journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier, 16-17 septembre 1986, édition de l'ORSTOM, pp 174-222.

OBLÉD (Ch.), 1992 - Communication personnelle.

SCHERTZER (D.), 1992 - Communication personnelle.

SLIMANI (M.), 1987 - Etude des pluies à faible pas de temps sur la région des Cévennes/Vivarais : estimations, relations avec le relief et cartographie synthétique. Thèse de l'Institut de Mécanique de Grenoble.

TESSIER (Y.), 1992 - Communication personnelle.

TOUATI (M.), 1992 - Modélisation Pluies/Altitudes en région pré-alpine. Rapport de DEA de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Centre de Géostatistique de Fontainebleau, juin 1992.

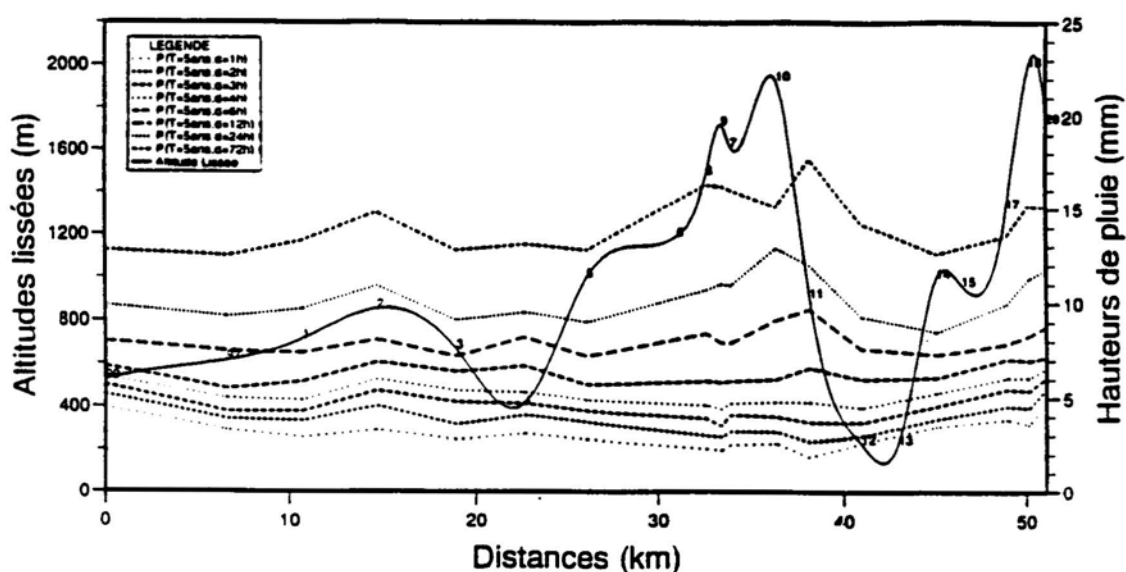


Fig. 1 - Evolution spatio-temporelle des pluies quinquennales.