

# Intensités des pluies en zones à relief : Premiers résultats sur un transect alpin de forte densité

Par I. Desurosne (\*), G. Oberlin, J. Ribot-Bruno

CEMAGREF de Lyon, division Hydrologie/Hydraulique

(\*) ENITRTS/ULP Strasbourg

## Introduction

Les zones de montagne, tout comme les zones soumises au climat méditerranéen, sont des zones vulnérables ; en effet, en raison de leurs petits bassins versants au temps caractéristique de crue et au temps de réponse brefs (de l'ordre de quelques heures), elles sont très vite exposées à des risques d'inondations, d'écoulements de laves torrentielles et, en hiver, à des risques de formation de congères ou d'avalanches, en cas de précipitations courtes mais violentes, ou de précipitations longues et d'intensité moyenne.

Il est donc primordial, pour le projeteur qui a à préserver ou à aménager hydrauliquement les zones d'altitude, de bien connaître la répartition spatiale des variates hydrologiques comme les gradex, les pluies à des fréquences rares ou extrêmes,... non seulement à de petits pas de temps, mais aussi à de faibles pas d'espace du fait de la forte variabilité spatiale.

Une étude bibliographique (BÉNICHOU P., COLTON D.E., LABORDE J.P....) a cependant montré que les 2 démarches principales jusqu'alors entreprises afin de modéliser la pluie dans les zones à relief ne répondaient pas de façon satisfaisante à l'attente des projeteurs. En effet, d'une part,

les nombreuses relations statistiques établies entre variates hydrologiques et paramètres morphométriques ont pour inconvénient majeur de ne pouvoir être applicables en d'autres lieux que celui pour lequel elles ont été conçues, à cause de leur cécité vis-à-vis des caractéristiques climatiques des masses d'air incidentes. D'autre part, la modélisation numérique déterministe de la thermodynamique de l'atmosphère (ou, parfois, de la physique des nuages), fort lourde, est surtout utilisable en prévision mais pas assez efficace en prédétermination.

En outre, alors que le réseau pluviographique et/ou pluviométrique est assez étoffé dans les zones de plaine et de vallée, il s'avère que les zones à relief sont réellement déficitaires pour des raisons évidentes de maintenance, de gestion et d'économie.

Par conséquent, un besoin net et pressant se fait actuellement ressentir dans les zones de montagne, à savoir la connaissance de la répartition spatiale d'un certain nombre de variates pluviographiques, prélude de toute étude hydrologique, ainsi que des bases de prévision hydrométéorologique à court terme, indispensables pour la sécurité de la population et pour la connaissance et la maîtrise des milieux hydrauliques.

## Rainfall intensity in relief areas : first results on a high density one-dimensional network

*For regional estimations of floods, both rough models and station-data transfers are used. They all need local rain estimations. On relief basins, and even with only smooth hills, the rain statistical distributions present high micro-climatic variations, resulting from "air-relief" interactions. Generally, the rain-recorder network cannot be dense enough to allow a sufficient accurate mapping. Rain-radar seems to be a promising tool, but not yet operating. Using a set of favourable conditions (three parallel chains, increasing altitude, main rainy wind parallel, radar sustain...), a permanent laboratory was created East of Lyon, in an "ERB" (European Reference Basin) spirit. Its economic feasibility was obtained by one-dimension (transect) structure, where a very high and sufficient density is possible, and surrounded by an ordinary regional rain-gauge network of medium density level. The atmosphere characteristics are obtained with the ordinary radio-sondages, eventually completed with interpolated data from meteorological forecasting models. The minimal time-path is one minute. The analysis of the first observations show, even for short time-paths, a very high level of a real structure, thus a probable possibility of a conceptual modelizing.*

### L'objectif de la recherche entreprise

Pour pallier ce manque, la méthodologie suivante a été proposée : sachant qu'il existe des interactions entre les reliefs et la pluie spécifiques sous diverses conditions météorologiques, l'idée a été de regrouper, dans un premier temps en un nombre limité de classes indépendantes, l'ensemble des caractéristiques des masses d'air incidentes pluvieuses (la réunion de ces classes formant alors une partition de l'année), chacune des classes étant supposée directement liée à une forme de champs pluvieux. Il s'agit ensuite de formuler une relation statistique par classe liant la pluie (ou la variate recherchée) en altitude à la pluie (ou la même variate) en plaine ou vallée la plus proche connue, ainsi qu'à des paramètres morphométriques caractérisant le paysage (il pourrait s'agir par exemple de l'altitude réelle du point, de la tangente de l'angle sous lequel on voit l'horizon...). Connaissant le poids respectif de chacune des classes dans l'année, il devrait être aisé, in fine, de recomposer les lois partielles précédentes (utiles en prévision à court terme lorsque l'on parle de pluie) afin d'obtenir une loi globale pour différents pas de temps et différentes fréquences utilisable en prédétermination.

### Un laboratoire de terrain dense et unidimensionnel

La recherche précédente est basée sur un réseau dense de mesures au sol et de mesures atmosphériques. Les radars étant encore inopérants en zones à relief (problèmes de masques), on a donc recours aux capteurs au sol. La forte densité requise conduisant à un coût trop élevé, il a été envisagé la faisabilité d'un réseau unidimensionnel. A cet effet, une zone favorable a été délimitée, située sur les départements du Rhône et de l'Isère (Cf. Fig. 1) entre Lyon et les Alpes ; elle traverse 3 massifs exposés NE/SO, d'altitude croissante, le Bas-Dauphiné (altitude 900 m), la Chartreuse (altitude 2 000 m) et le massif de Belledonne (altitude 3 000 m) (Cf. Fig. 2).

Compte tenu que la majorité des perturbations est issue d'un secteur SO et NNO, et que la variabilité spatiale de la pluie est certainement largement supérieure dans le sens de propagation que transversalement, il a été jugé qu'un réseau linéaire dense, dirigé NO/SE (et donc perpendiculaire aux arêtes montagneuses), serait assez bien adapté à l'étude des champs pluvieux.

Ce réseau (Cf. Fig. 3), long d'une centaine de kilomètres, se compose, en 1990, de 28 pluviographes (densité médiane : 1 poste pour 2,3 km, 70 % des postes étant à moins de 1,3 km de la droite théorique), d'un puissant radar potentiel (l'utilisation d'un petit radar portatif est en outre envisageable) et d'un site de radiosondage.

Les premiers postes du réseau ont été mis en service au cours de l'année 1986. Fin 1987, 70 % des pluviographes étaient déjà opérationnels.

### Les caractéristiques des masses d'air : 3 grandes classes

Une recherche préalable (C. GIVONE, 1987) a montré que les caractéristiques des masses d'air pouvaient être regroupées en 3 classes indépendantes (Cf. Fig. 4) :

- la première classe concerne 20 % des perturbations. Elle est caractérisée par une couche stable entre les niveaux 850 mb et 500 mb, par des vents de secteur ONO à NO en altitude et par la présence d'un secteur chaud. Les journées concernées se situent surtout entre les mois de novembre et de mai. Il s'ensuit des pluies fortes et continues sur les reliefs ;
- la deuxième classe, qui concerne 45 % des perturbations, est caractérisée par une couche instable entre le sol et le niveau 700 mb, par des vents de secteur SO en altitude et par la présence d'un secteur chaud. La saison est l'année. Les pluies sont alors fortes sur les premiers reliefs du Bas-Dauphiné ;
- enfin, la troisième classe, qui intéresse 22 % des perturbations, se caractérise par une couche instable entre le sol et le niveau 800 mb, par des vents de secteur NO en altitude et par le passage d'un front froid suivi d'un secteur froid. La saison est l'année. La répartition spatiale de la pluie est similaire à celle de la première classe.

### Liaison entre les postes de l'axe

A partir d'épisodes pluvieux pour lesquels pratiquement aucun des postes de l'axe n'était hors service, une étude de corrélation interpostes a été entreprise, aux deux pas de temps suivants (Cf. Fig. 5) :

- perturbation (elle est caractérisée par le passage d'un front perturbé), de durée inférieure ou égale à 6 heures pour 90 % d'entre elles ; pour l'analyse, les intensités sont cumulées sur la durée de la perturbation. Il est à remarquer qu'il est impossible de délimiter un passage perturbé dans le cas (rare) d'occlusion de front au-dessus du site expérimental (Cf. Fig. 10) ;
- maximum horaire par perturbation.

Les corrélogrammes, aux allures nettes dans les deux cas et pour tous les postes de l'axe, présentent les particularités suivantes (Cf. Fig. 5) :

- ils sont différents d'un poste à un autre, et dissymétriques. La pluie est donc un phénomène hétérogène et anisotrope pour les petits pas de temps ;
- ils possèdent un effet de pépité certain mais modeste, compris entre 10 et 20 %, et admis en hydrologie. Celui-ci traduit le fait que, d'un côté, et surtout à de petits pas de temps, la pluie est un phénomène localement erratique, et que, d'un autre côté, le rendement d'un poste n'est pas de 100 % ;
- la corrélation inter-poste est liée non seulement à la distance, mais aussi à la différence d'altitude. Ceci explique les remontées brusques de corrélation observées. L'interprétation peut donc se faire à 2 niveaux, d'une part en

considérant le corrélogramme dans sa totalité (corrélogramme général), d'autre part, et ce qui est le plus intéressant, en le tronquant dès que l'on rencontre une remontée de la corrélation (corrélogramme local). Dans le deuxième cas, on s'aperçoit que la portée (distance au-delà de laquelle la corrélation tombe en dessous de 50 %) est directement liée à la longueur des versants. Ainsi, les postes au moins d'un même versant sont corrélés à plus de 50 %, pour les 2 pas de temps de l'étude.

Ce dernier résultat est très positif ; il renforce en effet l'idée qu'il serait possible de transférer les pluies de plaines et/ou de vallées dans les zones d'altitude. Il montre en outre que l'utilisation de la géostatistique n'est pas à exclure en montagne, tout au moins comme étape intermédiaire dans la conception du futur modèle.

### Formes des champs pluvieux

Afin de quantifier les formes des champs pluvieux, formes généralement bien connues qualitativement (Cf. littérature), une étude sur la répartition spatiale de la pluie au-dessus de l'axe expérimental a été entreprise à 3 pas de temps différents : au pas de temps de l'épisode pluvieux cumulé (un épisode pluvieux se caractérise par le passage d'un ou de plusieurs fronts perturbés ; délimité sur un fichier journalier, il dure au moins une journée ; Cf. Fig. 6), ainsi qu'aux 2 pas de temps de l'analyse précédente. Cette analyse a été volontairement menée en aveugle vis-à-vis des données des caractéristiques des masses d'air de façon à rester objectif.

Les résultats recueillis sur les différents pas de temps ont été très proches. Sur les 3 années d'observation, il s'est avéré que (résultats de l'analyse sur les perturbations) près de 90 % des perturbations obéissaient à une forme bien précise : dans 77 % des cas, la pluie est en effet une fonction globalement monotone croissante de l'altitude et dans 12 % des cas, elle en est une fonction globalement monotone décroissante. Chacune de ces classes peut se diviser en sous-classes (Cf. Fig. 7) où des phénomènes tels que la plus ou moins forte inertie et stabilité des masses d'air, les grandes irrégularités du relief (gorges et falaises du massif de la Chartreuse où se forment des macro-turbulences par exemple), l'éloignement par rapport à la mer, la réalimentation des masses d'air par des vallées qui agissent comme des canalisations d'air chaud et humide... peuvent interagir.

Ces résultats sont donc prometteurs, puisqu'il semble dès lors possible de partitionner l'année en un certain nombre de types de formes de champs pluvieux. Reste à voir si chacune de ces classes correspond effectivement à un ensemble précis de caractéristiques des masses d'air incidentes, tels que ceux décrits ci-dessus : ce sera l'objet de la suite du programme.

### Premiers essais de différenciation des lois statistiques des pluies

Du fait que les données étaient collectées sur un nombre réduit d'années, les tentatives pour trouver une éventuelle structuration au niveau des lois statistiques relatives à chacun des postes, à différents pas de temps, s'est avérée vaine. Cette voie est à ré-ouvrir dès lors que l'on sera en possession d'échantillons plus étoffés et plus représentatifs des pluies « normales » de la région : les années 1987, 1988 et 1989 ont été caractérisées par de longues périodes sèches entrecoupées par quelques pluies exceptionnelles telles que celles d'octobre 1988.

Toutefois, le « flou » actuellement rencontré ne va pas à l'encontre des résultats obtenus entre autres sur les Cévennes, à savoir que les intensités pluvieuses sont plus fortes en pied de pente, mais qu'il pleut plus longtemps en altitude (CREUTIN J.D., NAVARRE J.P....).

### Analyses de type épicingrage

Les premiers résultats des études d'« épicingrage », analyses qui ont pour but de localiser, à différents pas de temps, les lieux affectés par les abats pluvieux les plus importants, et ce le plus fréquemment, n'ont pas été plus concluants, pour des raisons identiques à celles énoncées ci-dessus. Cependant et comme précédemment elles ne viennent pas infirmer les résultats obtenus sur les Cévennes.

### Exemples de champs pluvieux structurés par le relief

Le comportement de la propagation des masses d'air, qui se fait généralement sub-horizontalement, dépend de leur stabilité ou de leur instabilité dès qu'il y a un obstacle. Ainsi, l'air très stable le franchit difficilement. Par conséquent, soit il reste bloqué (il s'ensuit alors un déplacement des ascendances vers l'amont, au sens de la propagation et non pas du relief, les intensités les plus importantes étant rejetées en arrière de la zone où la masse stagne), soit il contourne l'obstacle (cas des pics isolés), soit encore, lorsque l'on a à faire à des masses d'air importantes, il « déborde » quand même ; ainsi, lors du passage perturbé du 3 novembre 1989 au-dessus du site expérimental (Cf. Fig. 8), la perturbation, après avoir stagné sur la région du Bas-Dauphiné pendant près de 6 heures, a réussi à déborder alors qu'elle était quasiment épuisée.

On n'observe en fait un gradient hypsométrique net que dans le cas d'air moyennement instable. C'est le cas du deuxième passage perturbé qui est passé au-dessus du site le 10 octobre 1988 (Cf. Fig. 9), le premier correspondant probablement à un blocage par le massif de la Chartreuse d'une masse d'air très stable dans les basses couches. Du fait de l'inertie des masses, les abats d'eau sont au moins égaux sur le revers immédiat des crêtes principales, du côté sous le vent.

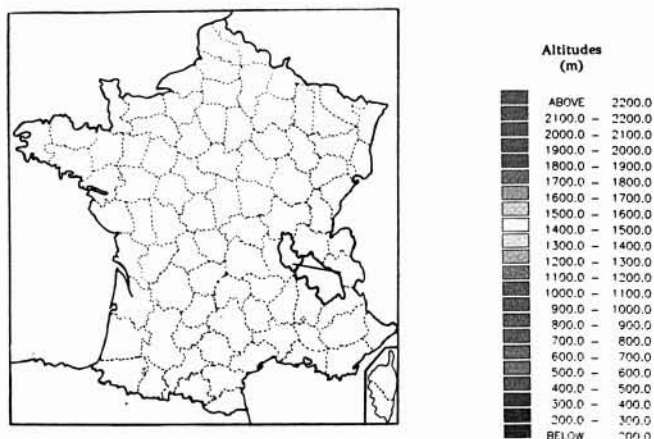
## Conclusions et perspectives d'avenir

Les résultats des premières analyses présentés précédemment, à savoir la structuration par le relief des champs pluvieux et la forte corrélation inter-postes sont porteurs d'espoir pour l'avenir. Le modèle semble donc dès à présent concevable selon la méthodologie proposée. Après avoir été calé sur les données expérimentales de l'axe, il devra être validé en d'autres lieux où les conditions météorologiques sont quelque peu différentes (transect Vosges/Forêt Noire, bassin du Réal Collobrier (massif des Maures, Var), région des Cévennes/Vivarais, Pyrénées orientales espagnoles). Il a aussi pour dessein d'être exporté en zones arides où les crues sont bénéfiques puisqu'elles constituent l'essentiel de la ressource en eau. Des essais sont donc envisagés dans des secteurs tels que les îles du Cap Vert, la Somalie et Tahiti.

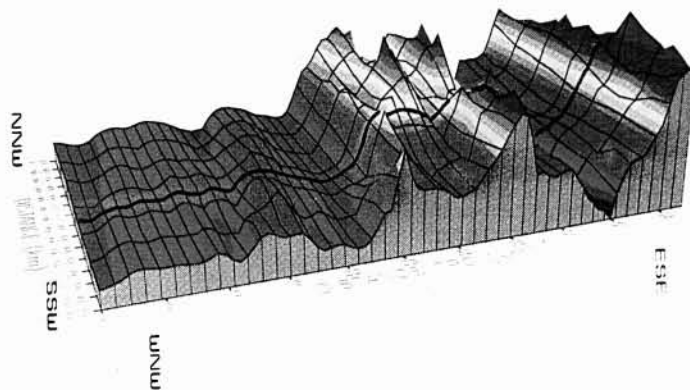
Ce programme bénéficie du soutien financier de l'Etat/et de la région Rhône-Alpes (IX<sup>e</sup> et X<sup>e</sup> Plan, contrat Etat-région Rhône-Alpes, sous-programme Crues du programme Risques naturels, la Météorologie Nationale et Electricité de France fournissant des données pluviographiques complémentaires et climatologiques (météorologiques).

## Références bibliographiques

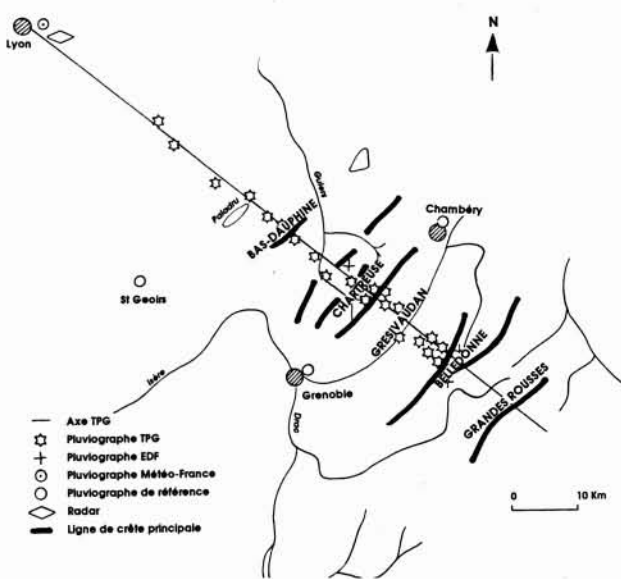
- BÉNICHOU P., LEBRETON O., 1986. « AURELHY : une méthode d'Analyse Utilisant le Relief pour les besoins de l'Hydrologie ». *Deuxièmes journées hydrologiques de l'Orstom à Montpellier*, 16-17 septembre 1986. Editions de l'Orstom.
- C.E.M.A.G.R.E.F., 1979. « Analyse des pluies de 1 à 10 jours sur 300 postes métropolitains ». Groupement d'Antony, Division hydrologie-hydraulique fluviale et Météorologie Nationale, bureau de l'eau. Paris, juillet 1979.
- CLÉMENT R., 1976. « Répartition géographique des précipitations d'hiver sur les Alpes Françaises ». Note interne de l'E.E.R.M. n° 374. Mars 1976.
- COLTON D.E., 1976. "Numerical simulation of the orographically induced precipitation. Distribution for use in hydrologic analysis". *Journal of applied meteorology*, vol. 15, n° 12. Décembre 1976.
- CREUTIN J.D., 1979. « Méthodes d'interpolation optimale de champs hydrométéorologiques. Comparaison et application à une série d'épisodes pluvieux cévenols ». Thèse de l'Université Scientifique et Médicale et de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.
- C.T.G.R.E.F., 1979. « Estimation d'une durée de retour à partir d'une série très courte ». *Informations techniques*, cahier 36, n° 5. Décembre 1979.
- GIVONE C., 1987. « Analyse statistique d'épisodes pluvieux en zone de montagne ». D.E.A. de l'Ecole Nationale de la Météorologie. Juin 1987.
- 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.
- MANDON S., 1985. « Comparaison d'épisodes pluvieux intenses sur le Sud-Est et de situations analogues au sens de la circulation générale. Recherche de variables discriminantes ». Rapport de D.E.A. de l'Ecole Nationale de la Météorologie. Mai 1985.
- MEIGNIEN X., 1986. « Faisabilité d'un transect de pluviographes en vue d'améliorer la prédétermination des pluies dans les Alpes du Nord ». D.E.A. de l'E.N.G.R.E.F..
- NAVARRÉ J.P., CLÉMENT R., 1978. « Analyse statistique de précipitations sur les Alpes françaises ». Direction de la Météorologie, St Martin d'Hères.
- SCHERER J.C., 1977. « Une méthode d'extrapolation spatiale de données pluviométriques moyenne. Application à une partie des Vosges et leur bordure ». *Recherches Géographiques à Strasbourg*, n° 4. U.E.R. de Géographie. U.L.P. de Strasbourg.
- SLIMANI M., 1987. « Etude des pluies à faible pdt sur la région des Cévennes / Vivarais : estimations, relations avec le relief et cartographie synthétique ». Thèse de l'Institut de Mécanique de Grenoble.



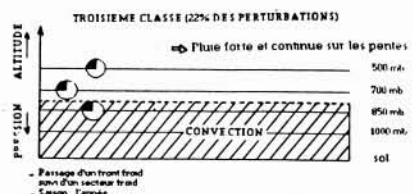
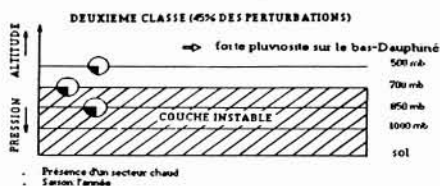
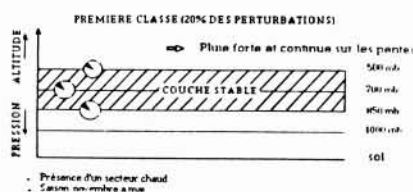
1. Localisation des départements du Rhône et de l'Isère.



2. Bloc diagramme du relief.

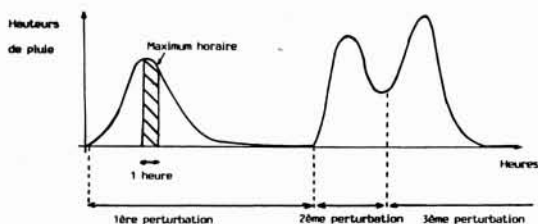
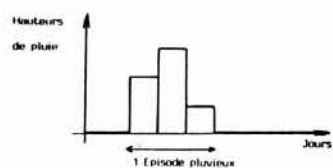


3. Localisation de la droite théorique de l'axe expérimental et des pluviographes.

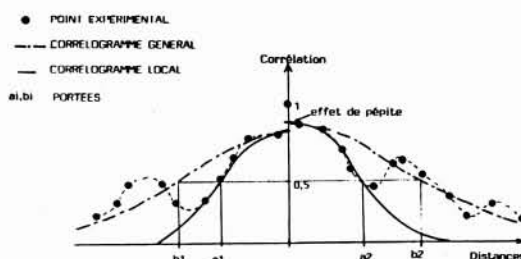


☉ secteur d'où provient le vent

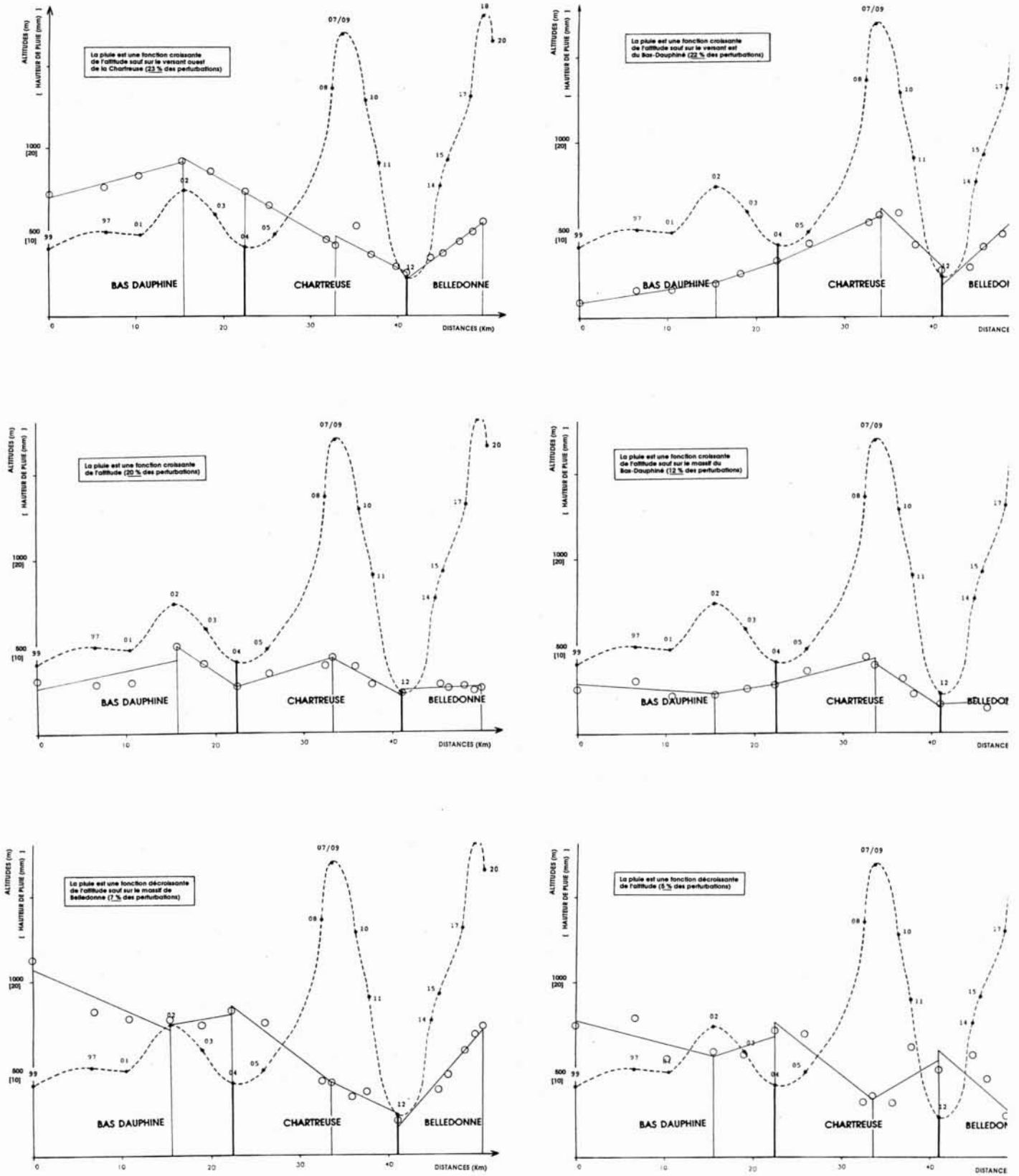
4. Classes climatiques (d'après C. Givone, 1987).



5. Délimitation des différents pas de temps.

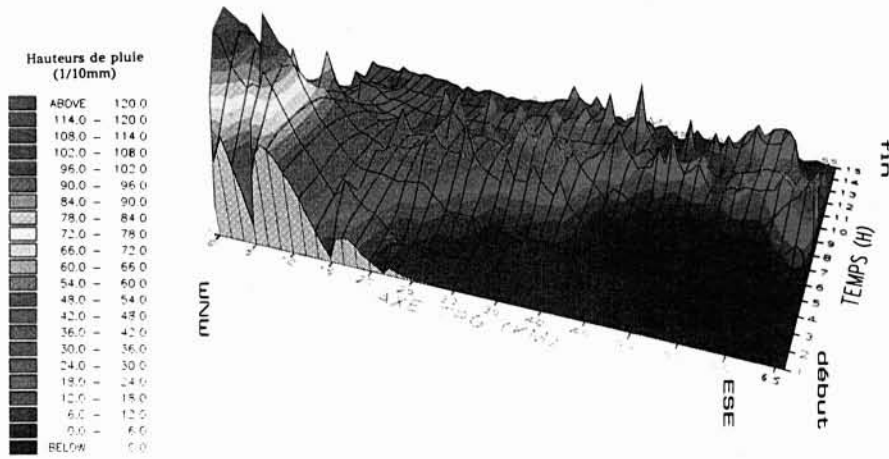


6. Allure qualitative des correlogrammes.

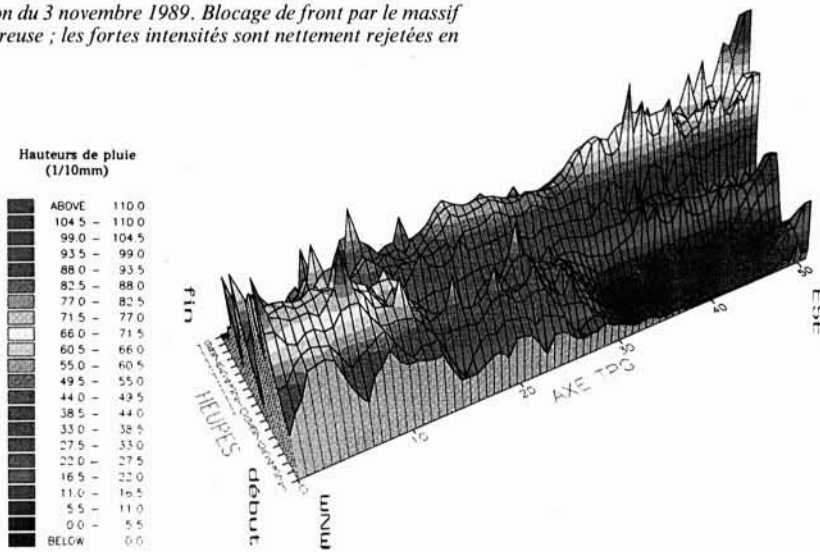


-- Relief  
 — Sens de variation du champ pluvieux (en médiane)  
 o Point expérimental

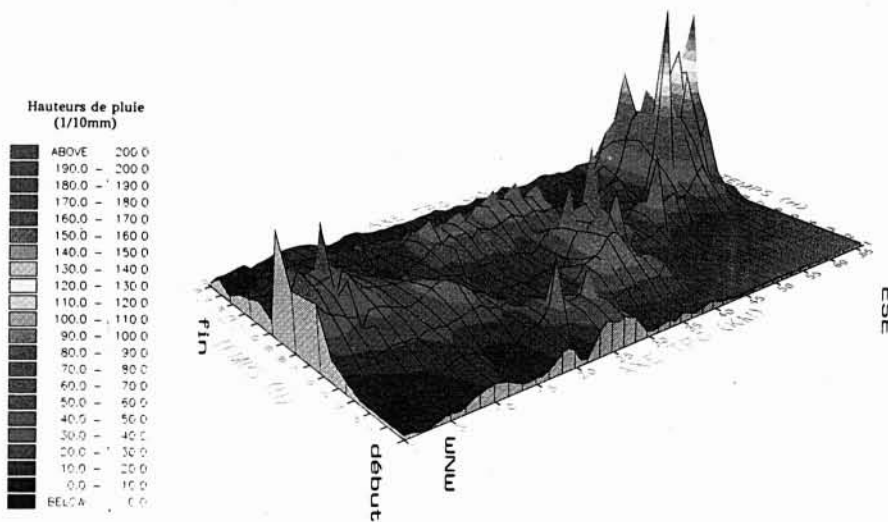
**7. Structuration par le relief des champs pluvieux.**



8. Perturbation du 3 novembre 1989. Blocage de front par le massif de la Chartreuse ; les fortes intensités sont nettement rejetées en arrière.



9. Passage de 2 fronts perturbés le 10 octobre 1988 au-dessus du site expérimental, le premier (masse d'air très stable) restant bloqué par le massif de la Chartreuse, le second passant facilement les obstacles (masse d'air moyennement instable).



10. Formation d'un front occlus sur le massif de Belledonne.