

PRESENTATION D'UN SYSTEME INFORMATIQUE
D'ARCHIVAGE ET D'ANALYSE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES
A ECHELLE FINE DE TEMPS ET D'ESPACE

A. KHELIL - B. CHOCAT

SUMMARY : "A COMPUTERISED SYSTEM FOR STORAGE AND TREATMENT OF RAINFALL DATA"

In order to obtain a more accurate information about thunderstorm rainfall, a 30 raingages network was set up within the Lyon Urban District Area (600 km²). These gages measure in synchronization, the rainfall rate every six minutes.

To store these measures and allow further treatments a storage system was built up, whose we describe the most important features.

The treatment of data is based upon the concept of "interesting event".

There are three steps : a) to give "punctual" representation of the rainfall process as it is perceived by the network.

b) to built up simple models of rainfall flow rate

c) to compare and verify the models.

We shall give, for every steps, some examples of treatments on some events supposed interesting.

RESUME :

Pour améliorer la connaissance des phénomènes pluvieux d'origine convective, un réseau de 30 postes a été installé sur le territoire de la Communauté Urbaine de Lyon (600 km²). Ces postes mesurent, en synchronisation, la hauteur précipitée, toutes les six minutes.

Pour stocker ces mesures et permettre leur exploitation ultérieure, un système de stockage et d'archivage a été mis en oeuvre, dont nous décrivons les principales caractéristiques.

Le traitement des données s'appuie sur la notion de "séquences intéressantes". Il se décompose en trois étapes :

a) représenter les données brutes obtenues par le réseau de manière à percevoir certaines caractéristiques des processus.

b) définir des modèles simples de construction de lame d'eau.

c) comparer les modèles et les valider.

Nous donnons, pour chaque étape, quelques exemples de traitements sur des événements repérés intéressants.

I - INTRODUCTION

La simulation du fonctionnement des réseaux d'assainissement pluvial de grande extension pose de nombreux problèmes. Parmi ceux-ci, l'un des principaux réside dans la représentation spatio-temporelle des pluies susceptibles de provoquer des désordres dans le fonctionnement hydraulique. En effet, si pour des bassins versants de quelques kilomètres carrés, une modélisation simple par une pluie de projet synthétique est généralement suffisante, il n'en va pas de même pour des surfaces de plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres carrés. Dans ce cas, la surface couverte à un instant donné par une cellule convective est très inférieure à la surface totale du bassin versant, et il est impossible de représenter la distribution spatiale des intensités par un simple coefficient d'abattement spatial.

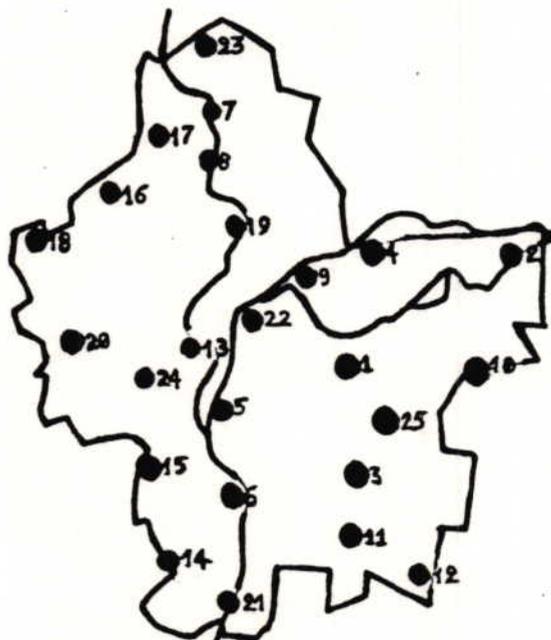
Consciente de cette difficulté, la Communauté Urbaine de Lyon a décidé de couvrir son territoire par un réseau de 30 pluviomètres, parfaitement synchronisés dans le temps et fonctionnant avec un pas d'intégration de six minutes. Elle a confié à l'INSA de Lyon la mise au point du système informatique d'archivage et d'analyse des données recueillies.

Après avoir présenté le réseau de mesures utilisé, nous détaillerons le système informatique de traitement des données, avant de dégager les premiers résultats et les perspectives d'un tel ensemble.

II - PRESENTATION DU RESEAU DE MESURES

Le territoire de la Communauté Urbaine de Lyon couvre environ 600 kilomètres carrés drainés par plus de 2 000 kilomètres de réseau. Des considérations économiques ont limité à 30 le nombre de postes de mesures. Ce chiffre permet d'obtenir une distance moyenne d'environ 4 kilomètres entre les postes, qui est du même ordre de grandeur que la dimension des cellules convectives. Le choix des sites d'implantation en zone urbaine dense a posé de très nombreux problèmes, d'autant que les contraintes à prendre en compte étaient très diversifiées (régularité du réseau, implantation sur des espaces publics protégés, contraintes météorologiques, prise en compte du relief ...).

La carte suivante montre la position des sites retenus :



Le choix du capteur a été conditionné par la volonté de la Communauté Urbaine de Lyon de mettre son réseau en conformité avec les normes de la Météorologie Nationale Française. Cette contrainte a pratiquement imposé l'utilisation d'un pluviomètre précis mécanique à augets basculeurs doté d'un cône de réception de $0,1 \text{ m}^2$. Cet appareil présente l'intérêt d'être robuste et fiable mais aussi l'inconvénient de ne pas permettre la mesure correcte d'intensités très fortes (supérieure à 140 mm/h). Cette limitation technique, associée à des considérations d'exploitation (nombre de mesures faites) et à des considérations hydrologiques (rôle de filtre joué par le système d'assainissement pour les ondes très courtes) nous a conduits à choisir un pas d'intégration constant, égal à six minutes pour les mesures, de préférence à la conservation des temps de basculement d'augets (pas de temps variables).

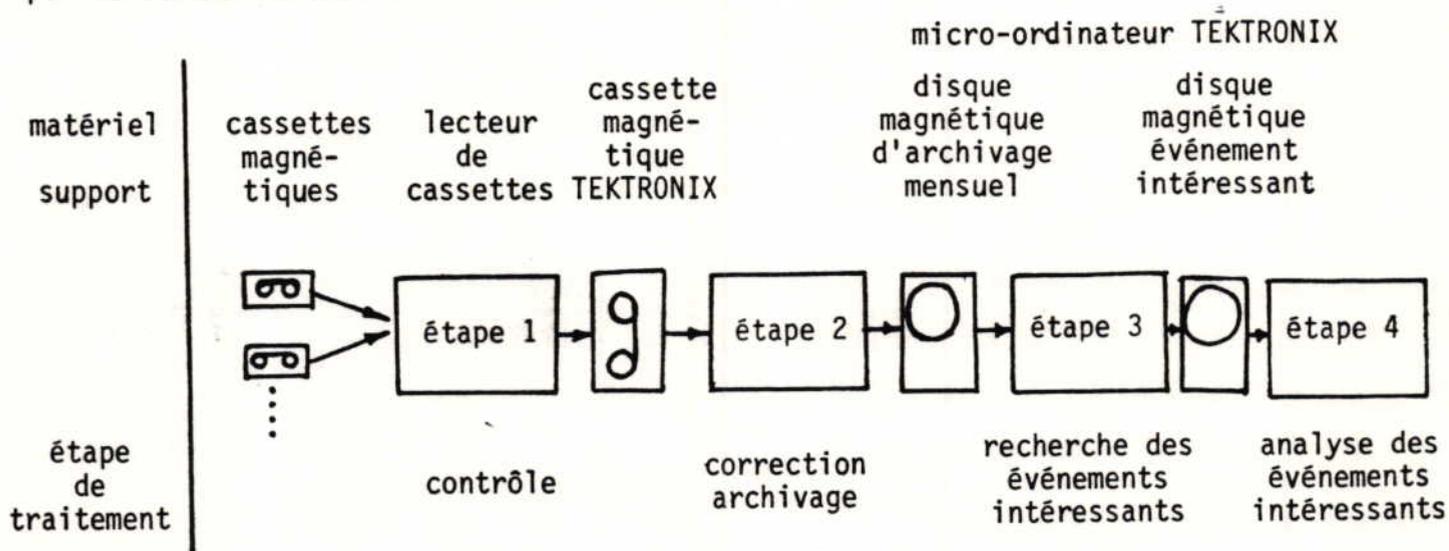
Trente postes de mesure enregistrant la hauteur d'eau tombée toutes les six minutes produisent plus de 2 500 000 données par an. Une exploitation raisonnable de cette information impose l'utilisation d'une chaîne numérique automatisée de traitement. Nous avons donc choisi un enregistrement numérique des données. Le matériel retenu est un enregistreur AUTEG utilisant une cassette magnétique dont la capacité est suffisante pour stocker sans difficulté plus d'un mois de données. Nous avons préféré un enregistrement local à un enregistrement centralisé pour des raisons de fiabilité et de coût d'installation.

La synchronisation temporelle des différents postes est obtenue par une horloge à quartz, associée à chaque appareil, qui assure une dérive inférieure à deux minutes entre les postes dans les pires conditions de fonctionnement.

L'exploitation du réseau de mesures est assurée par les techniciens de la Communauté Urbaine de Lyon. Les cassettes magnétiques sont retirées tous les mois. Les données qu'elles contiennent sont ensuite exploitées par la chaîne de traitement que nous allons décrire.

III - SYSTEME INFORMATIQUE DE TRAITEMENT DES DONNEES

Le principe général de la chaîne de traitement des données peut être représenté par le schéma suivant :



Ce schéma fait apparaître 4 étapes successives de traitement que nous allons décrire.

III.1. - Etape 1 : Contrôle et transfert des données

Le problème de la vérification et validation des enregistrements recueillis in situ est un problème épineux.

Un certain nombre de corrections automatiques (élimination des parasites notamment) peuvent être effectuées. Elles sont fondées sur une vérification, lors du transfert de la conformité de l'enregistrement in situ à un patron théorique (structure par blocs correspondant chacun à un jour calendaire repéré par un bloc - horloge).

Toutefois, dans un certain nombre de cas, les procédures algorithmiques de détection de la cause de la non-conformité d'un enregistrement sont mises en défaut et c'est au manipulateur de décider de la correction à effectuer (procédure "manuelle" de correction autorisée par les programmes de transfert), ce qui allonge considérablement le temps de traitement.

III.2. - Etape 2 : Archivage

L'information corrigée est stockée sur disquette magnétique. Chaque disquette contient la totalité de l'information récupérable, obtenue par le réseau de mesures pendant une période d'un mois.

III.3. - Etape 3 : Recherche de l'événement intéressant

Il suffit au départ de connaître le jour du mois que l'on veut plus particulièrement étudier, soit parce que les hauteurs précipitées recueillies pour ce jour sont importantes, soit parce que des dysfonctionnements ont été observés.

On obtient alors ce qu'on appelle le tableau des pluies globales centrées sur le jour choisi. Une pluie globale est une séquence temporelle telle que pour chaque intervalle de six minutes qui la composent (intervalles d'intégration de la mesure) ; il existe au moins un poste pour lequel la hauteur précipitée est non nulle. D'autres informations annexes sont fournies au manipulateur : le nombre de postes du réseau concerné par chaque séquence repérée et l'intensité moyenne maximale sur six minutes enregistrée pour chaque séquence.

Ces informations permettent de décider si l'on retient une séquence particulière centrée sur le jour considéré.

Dans l'affirmative, la séquence que l'on définit est stockée sur une autre disquette magnétique, laquelle renferme les séquences jugées intéressantes et à partir de laquelle l'analyse s'effectuera.

III.4. - Etape 4 : Analyse des événements intéressants

L'analyse se décomposera en trois parties :

- 1) descriptions simples du phénomène et éléments pour une intuition du phénomène
- 2) modélisations
- 3) validation des modélisations a posteriori.

III.4.1.

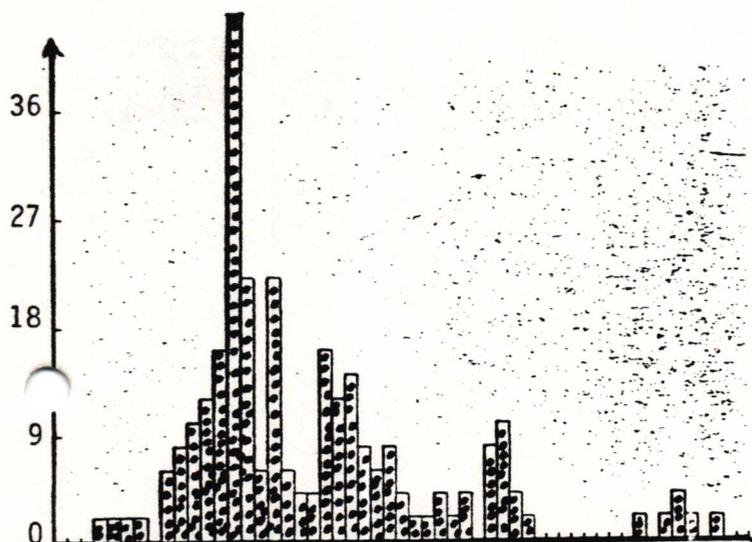
On s'est attaché à fournir autant que possible des représentations graphiques de différents aspects du phénomène étudié. On peut, par exemple, obtenir les hyéto-grammes au droit de chaque poste pour n'importe quel pas de scrutation et d'interpolation choisis :

- Le pas de scrutation correspond à un multiple de 6 minutes, sur lequel on fait la moyenne des valeurs mesurées pour les intervalles de 6 minutes qui le composent.

- Le pas d'interpolation consiste à redéfinir pour les intervalles divi-
seurs de l'intervalle de scrutation, des valeurs approximées par interpolation.

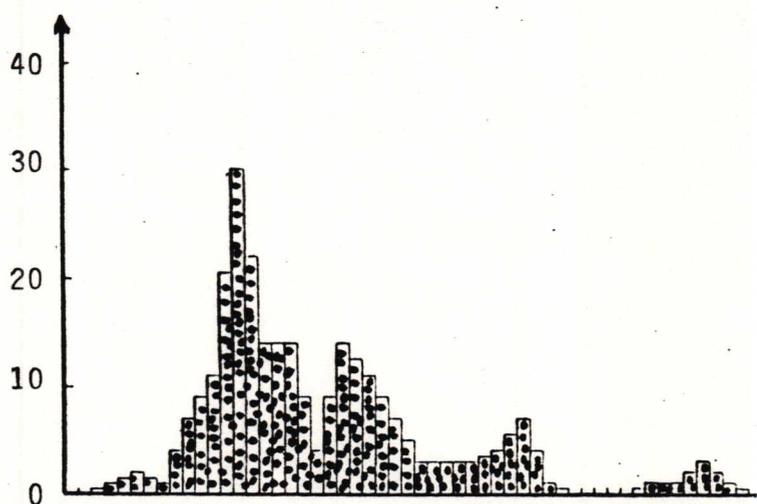
Exemple : Evénement : 4OCT84P1 au poste de PRESSIN : 15

intensité (mm/h)



Hyéto-gramme mesuré

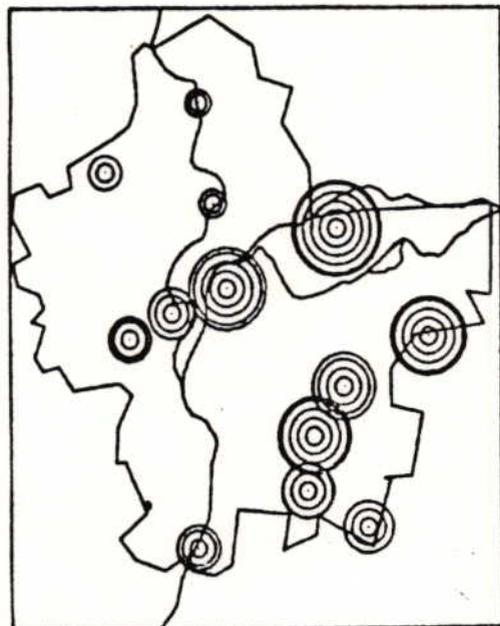
intensité (mm/h)



Hyéto-gramme interpolé
pas de scrutation : 12 mn
pas d'interpolation : 6 mn

On peut obtenir aussi, pour le pas choisi, une représentation "plane ponctuelle". On montre ci-après une représentation des hauteurs cumulées pour l'événement 15JUL85P1, par la méthode des cercles. Chaque cercle est centré sur un poste. La surface du cercle est proportionnelle à la hauteur totale précipitée au droit du poste.

Exemple : Représentation par cercles.



Carte des hauteurs totales cumulées au droit des différents pluviomètres pour l'événement du 15 juillet 1985 (P1)

Si, au lieu de travailler sur les hauteurs cumulées, on travaille sur des pas intermédiaires, on peut obtenir une animation qui permette de "se faire une idée" de l'évolution des processus (peut-on définir un déplacement du processus ? Existe-t-il une structure par cellules ? ...)

III.4.2. - Modélisation

La modélisation concerne le calcul de "lame d'eau". Le problème se pose en ces termes : Pour le pas de scrutation choisi, peut-on à partir des valeurs intégrées d'intensité moyenne obtenues sur le réseau, reconstruire les valeurs obtenues en n'importe quel point du territoire étudié ?

Trois types de modélisations ont été mis en oeuvre :

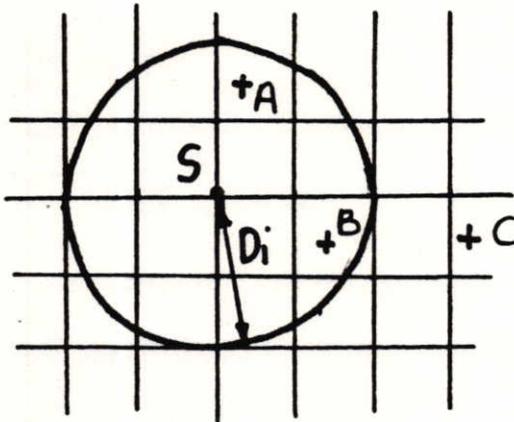
1) Pondération simple sur les distances

Il s'agit d'approximer les valeurs d'intensité moyenne aux sommets d'un quadrillage préalablement défini.

La valeur approximée en un sommet est une interpolation linéaire des valeurs mesurées sur le réseau. Le coefficient d'interpolation pour chaque poste est fonction de la distance poste-sommet à une certaine puissance négative (notée α). Plus le poste est éloigné, moins son poids est important.

On a défini aussi un concept appelé "distance d'influence" qui signifie la distance à partir de laquelle on considèrera qu'un poste déterminé n'a plus d'influence sur le sommet étudié.

Schéma



- Di : distance d'influence
 S : sommet où s'effectue l'approximation
 A,B,C : postes de mesure

A et B interviennent dans le calcul de l'interpolation ($d(S,A) \leq Di$)
 C n'intervient pas ($d(S,C) > Di$).

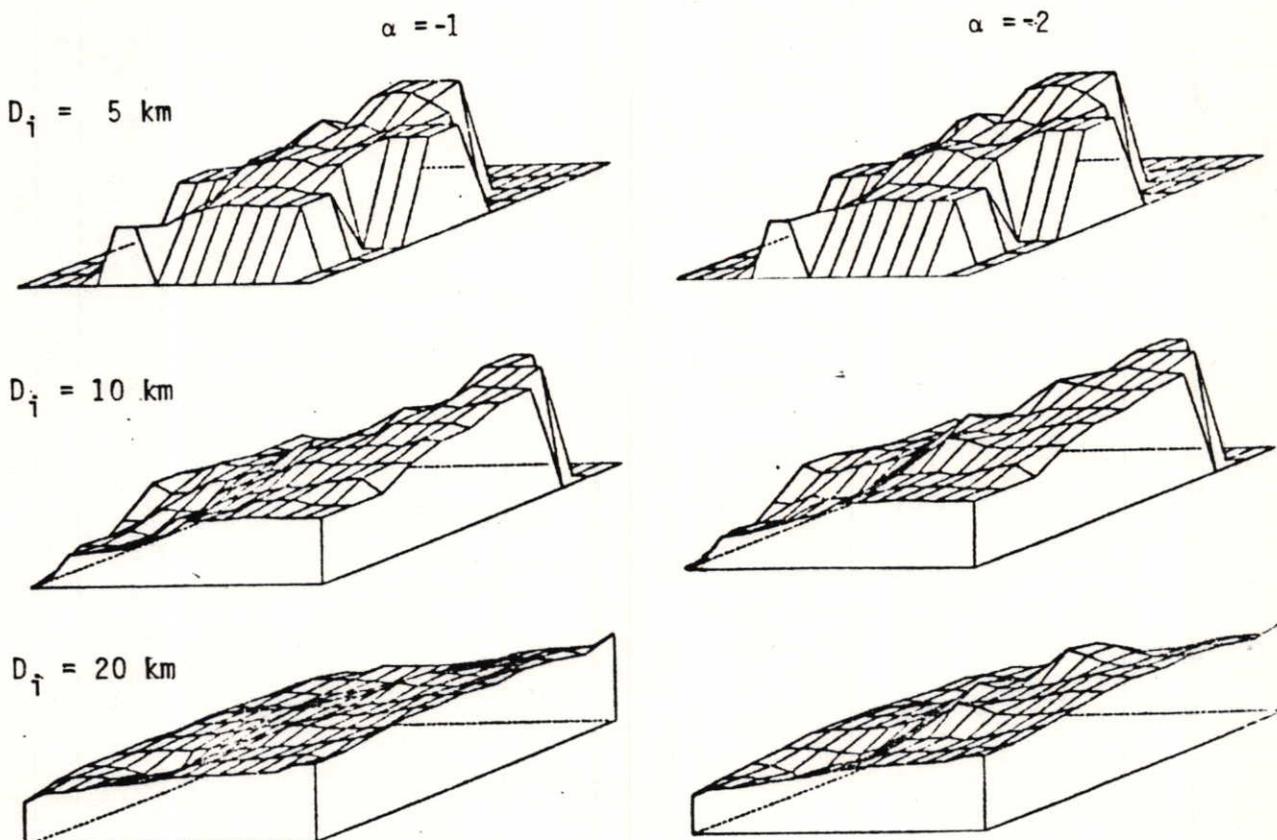
2) Pondération croisée par les distances

Le modèle est fondé sur le même principe d'interpolation que précédemment. La différence réside dans le fait que pour l'approximation au sommet S n'interviennent plus seulement les postes de mesure, mais aussi les approximations sur les autres sommets situés dans la zone d'influence de S. Il s'agit donc, à l'inverse du cas précédent, d'une méthode implicite dont la résolution nécessite un temps calcul considérable. Pratiquement, sur micro-ordinateur, nous n'utilisons cette méthode que pour le calcul de la lame cumulée totale.

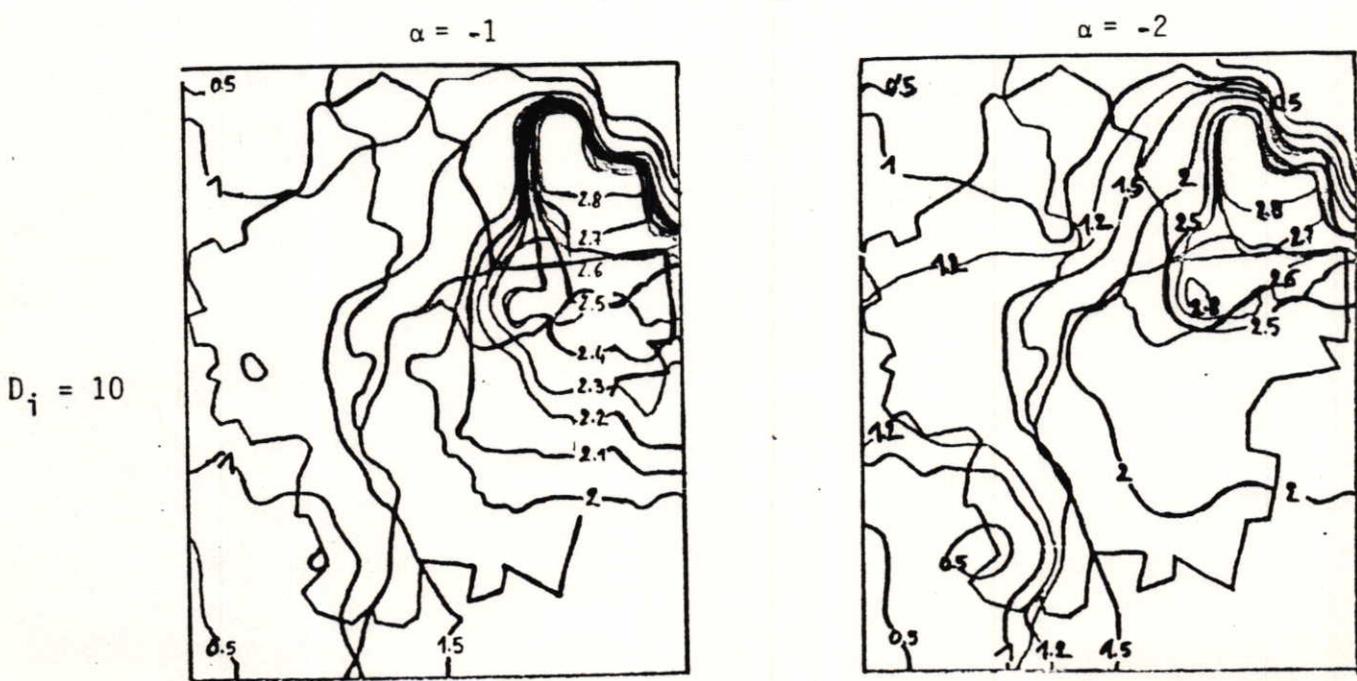
3) Calcul d'une équation $H = H(X,Y)$

Il s'agit, dans ce type de modèle, de calculer l'équation de la surface d'approximation de la lame, par une méthode aux moindres carrés. Ce modèle nécessite, pour sa mise en oeuvre, la connaissance d'une base de fonctions $\phi_i = \phi_i(x,y)$, où (x,y) représentent respectivement la longitude et la latitude des points.

Ci-dessous, on montre un exemple de mise en oeuvre de la modélisation de type 1 (pondération simple par les distances). On reprend le même exemple qu'en représentation plane ponctuelle (hauteur cumulée pour l'événement 15JUL85P1 ...).



Représentation perspective de la lame cumulée totale (D_i : distance d'influence) ;
 (α : coefficient de pondération)



Représentation des isohyètes

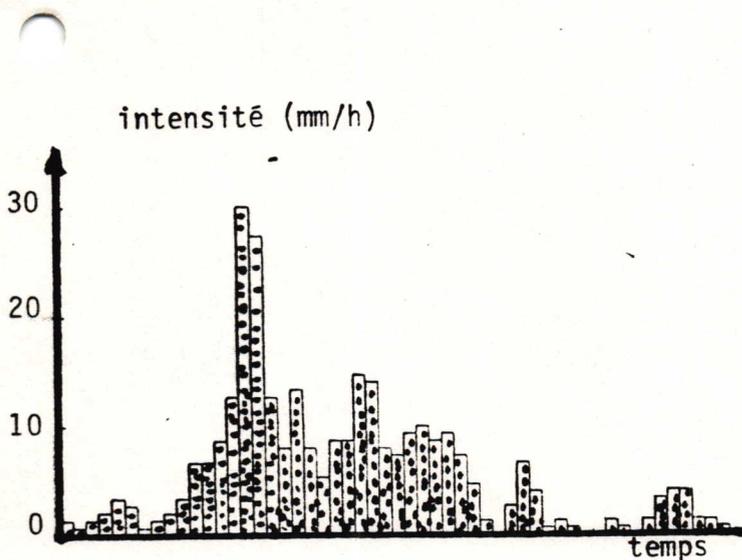
Remarque :

On peut, à partir des modélisations, construire une trajectoire supputée du processus en déterminant à chaque pas de temps de calcul, le barycentre pondéré de la lame approximée, éventuellement seuillée.

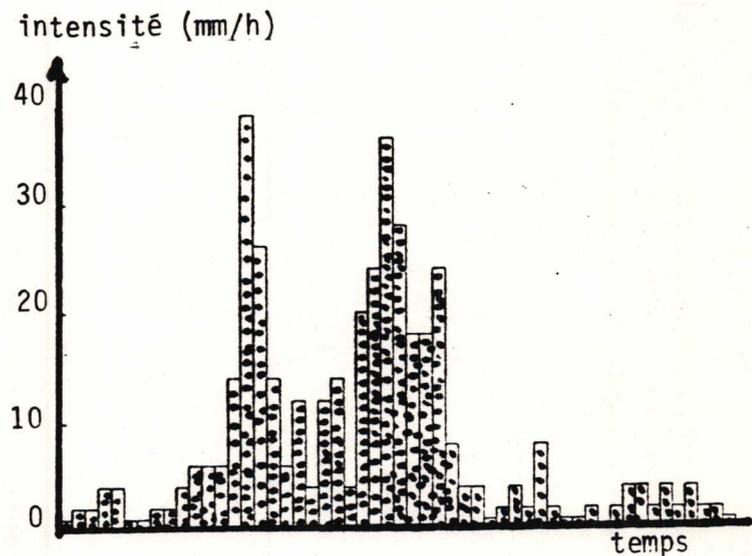
III.4.3. - La validation des modèles

Le premier type de méthodes est appelé méthodes directes. On peut, par exemple, reconstituer les hyétogrammes approximatifs au droit des différents postes, suivant les modélisations et paramètres de modélisations choisis et les comparer aux hyétogrammes effectivement mesurés.

Exemple : Evénement : 40CT84P1



Hyétogramme mesuré à
MIRIBEL : 4



Hyétogramme approximé par la
modélisation de type 1 avec
 $\alpha = -2$ et $D_i = 6,05$ km

On peut, aussi, comparer les cartes d'iso-intensités obtenues suivant les modélisations aux cartes d'iso-réfectivité obtenues par un radar météorologique (possibilité non mise en oeuvre actuellement à Lyon).

Un autre type de méthodes sont les méthodes indirectes,

Une première méthode est la vérification de la stabilité du modèle à toute dégradation de l'information initiale - retrait de certains postes du réseau dans le calcul des approximations -. On remarque en particulier l'apparition de phénomènes d'échelle, à savoir que l'exigence de points de mesure est d'autant plus grande que le pas d'étude est petit - le processus étudié dans son déroulement, toutes les six minutes, est différents du même processus, mais étudié sur un pas d'intégration de 24 minutes, et donc les exigences au niveau de la modélisation sont différentes.

On peut aussi comparer les résultats donnés par les différentes modélisations entre elles.

On peut, enfin, calculer les hyétogrammes moyens et la dispersion spatiale des résultats, suivant les diverses modélisations comparées aux résultats obtenus directement à partir du réseau.

IV - CONCLUSION

Ce système constitue un premier jet. Il a d'ailleurs été conçu selon une structure modulaire qui permet d'insérer facilement les extensions qui seront proposées à l'avenir (adjonction d'autres types de modélisations de la lame d'eau, d'autres traitements de validation des modèles ...).

Actuellement, l'effort se poursuit dans deux directions.

D'une part, permettre aux techniciens de maîtriser toutes les possibilités qu'offre le système et prendre en compte les éventuelles corrections ou propositions qu'ils suggèreraient.

Déjà, à partir des hyétogrammes ponctuels retirés, des simulations ont pu être faites de la transformation pluie - débit, sur de petits bassins versants équipés de mesure de débit à l'exutoire.

D'autre part, la réflexion se poursuit quant à la nature du phénomène. Plus particulièrement, nous essayons de poser le problème de la stabilité spatio-temporelle du processus - pluie, en des termes qui nous permettent de définir a priori des critères de construction des modèles adéquats (sans faire intervenir de manière prépondérante l'outil statistique).

BIBLIOGRAPHIE :

- KHELIL Amar "Un système de stockage et exploitation de données pluviométriques. Contribution à l'analyse et à la modélisation spatio-temporelle du phénomène pluvieux" - Thèse DI - INSA - 1985
- CHOCAT Bernard "Un système d'aide à la gestion, la prévision et la conception des équipements d'assainissement" - Thèse DE - INSA - 1981.