



**EXPERIMENTATION
PLAN URBAIN / COURLY**

**Connaissance fine de la pluviométrie
Rapport final de synthèse**

**B. CHOCAT
A. KHELIL
Juin 1986**



laboratoire

177 ETHODES

**INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES
DEPT. GENIE CIVIL ET URBANISME**

**20 Av. Albert Einstein
69621 Villeurbanne Cédex**

**Tél. (7) 894 81 80
(7) 894 82 09
(7) 894 81 89**

Convention de recherche INSA - COURLY n° 2.539

**EXPERIMENTATION
PLAN URBAIN / COURLY**

**Connaissance fine de la pluviométrie
Rapport final de synthèse**

B. CHOCAT

A. KHELIL

Juin 1986

**INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES
COMMUNAUTE URBAINE DE LYON
PLAN URBAIN**

SOMMAIRE

	pages
RESUME	1
AVANT-PROPOS	2
INTRODUCTION	4
1. DESCRIPTION DU RESEAU	6
1.1. Choix de la densité du réseau et du pas de temps	6
1.1.1. Choix de la densité du réseau	6
1.1.2. Choix du pas de temps	7
1.2. Choix des sites	8
1.3. Choix du capteur	15
1.4. Choix de l'enregistreur	17
1.5. Exploitation et entretien des postes	18
2. DESCRIPTION DU SYSTEME INFORMATIQUE DE TRAITEMENT DES INFORMATIONS	20
2.1. Le système de stockage	20
2.1.1. Le support de stockage	20
2.1.2. Les étapes du transfert	21
2.1.3. Les problèmes rencontrés au transfert	23
2.1.4. Les possibilités du logiciel	27
2.1.4.1. L'affichage	27
2.1.4.2. Les corrections possibles	29
2.1.5. Principes de l'organisation du stockage sur disque	29
2.2. Le système d'exploitation et d'analyse des données	31
2.2.1. Recherche et identification des événements intéressants	31
2.2.1.1. Détection de l'événement	32
2.2.1.2. Limites temporelles de l'événement	33
2.2.2. Analyse d'un événement intéressant	35
2.2.2.1. Représentations graphiques de l'information brute	36
2.2.2.2. Analyse de forme des hyétogrammes	37
2.2.2.3. Modélisation et représentation de la lame d'eau précipitée	41
2.2.2.4. Analyse de la trajectoire	46
2.2.2.5. Recherche de relations diverses	48
3. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	49
BIBLIOGRAPHIE	50

RESUME

Du point de vue hydrologique, l'agglomération lyonnaise peut être caractérisée comme un bassin versant d'une surface de 600 km² drainé par quelques deux mille kilomètres de canalisations.

Pour assurer la gestion et l'extension d'un tel réseau, des outils informatiques ont été conçus au Laboratoire Méthodes de l'I.N.S.A. de Lyon en collaboration avec le Service Assainissement de la CO.UR.LY et la Société d'Informatique Communale I.C.A.R.E., notamment le logiciel SERAIL, qui permet une simulation généralisée du fonctionnement du réseau lyonnais.

Or, un des points faibles du système consiste en une connaissance insuffisamment précise des phénomènes pluvieux d'origine convective lesquels sont le plus susceptibles de provoquer des dysfonctionnements du réseau. Il a ainsi été décidé d'implanter, dès 1983, un réseau de 30 pluviomètres enregistreurs sur le territoire communautaire, avec l'appui financier du Plan Urbain et de l'Agence Financière de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse.

Ce rapport présente le travail effectué sur cette expérimentation suivant trois étapes principales :

- implantation du réseau et ses caractéristiques ;
- élaboration d'un système de dépouillement et d'archivage des données ;
- élaboration d'un système de traitement des données.

AVANT-PROPOS

C'est vers la fin du XIX^{ème} siècle que l'hydrologie moderne se constitua en champ épistémologique différencié lorsque des contraintes d'ordre économique, social, culturel nécessitèrent la connaissance "objective" ou "scientifique" du cycle des eaux [1], [2].

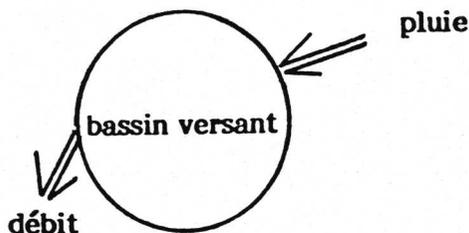
Les problèmes posés à l'époque étaient en particulier celui de la prévision des crues des cours d'eau et plus tard celui de l'évacuation des effluents urbains lorsque sous l'influence du courant hygiéniste le principe du tout-à-l'égout fut retenu. Pour mémoire, on peut citer la date du 9 décembre 1845, date à laquelle la première prévision de crue, sur le bassin de la Saône, fut réalisée avec succès, quatre jours à l'avance [3].

En ce qui concerne l'hydrologie urbaine, ce n'est que vers le milieu du XX^{ème} siècle que l'effort de scientification se concrétisa lors de la publication de la circulaire Caquot (1949), relative au calcul des réseaux d'assainissement.

Depuis leur naissance, tant en hydrologie générale qu'en hydrologie urbaine, des transformations ont eu lieu, notamment certains problèmes ont vu leur importance s'accroître (calcul de la pollution, ...). D'autre part, avec l'acquisition de nouveaux outils de calcul (ordinateurs, théories mathématiques) et la nécessité de cerner au mieux les phénomènes exhibés (contraintes économiques), la formulation des problèmes et des réponses s'est modifiée.

Pourtant, certaines caractéristiques essentielles persistent, notamment ce qu'on pourrait nommer le caractère techniciste de l'hydrologie en opposition au contenu purement gnoséologique qui constitue apparemment l'idéal de la science classique notamment la physique. Nous signalons par là que la finalité première de l'hydrologie n'est pas tant de serrer au plus près "la réalité des phénomènes considérés en tant que processus, mais de reconstituer un outil efficace pour résoudre des problèmes pratiques" posés à la collectivité par le transport des eaux (tant usées que pluviales, tant atmosphériques que souterraines, ...) [4].

Dès le début (et même si la terminologie utilisée a pu varier au cours du temps), pluie/bassin versant/débit constituent le triptyque fondamental, lequel définit un système, c'est-à-dire "un groupement d'objets liés par une certaine forme d'interaction régulière" que le modèle est chargé d'élucider.



pluie : variable entrée du modèle

bassin versant : transformateur

débit : variable sortie du modèle

Elucider signifie ici résoudre en écriture mathématique (équation) à savoir celle qui permet de surprendre le phénomène en son devenir, de le pré-savoir (selon le propre sens étymologique du mot mathématique).

La validité d'un modèle (ou sa véracité) dépend uniquement de cette capacité de prédiction qu'il autorise et ceci est d'autant plus évident en hydrologie, que les questions s'y forment explicitement, en terme de probabilité de non dépassement de la capacité du réseau (hydrographique ou d'assainissement) sur une période donnée - formulation qui n'est pas forcément la plus pertinente mais dont une longue habitude et le support des textes législatifs rendent difficile la remise en cause.

Plus précisément, en hydrologie urbaine, et pour ce qui concerne l'évacuation des débits d'eau pluviale, il faut que les canalisations du réseau primaire évacuent sans débordement un débit de période de retour prédéterminée (10 ans, 20 ans, 50 ans, ..., suivant les cas de figure).

Depuis le modèle de Caquot jusqu'aux modèles les plus sophistiqués nécessitant l'emploi de gros ordinateurs, tous les modèles en hydrologie (urbaine) s'articulent autour du bipôle phénomène/structure. L'aspect phénoménal correspondant au flux aqueux exhibé sous forme météorique, ruisselante, écouillante. L'aspect structural correspondant à l'ensemble de ce qui permet de caractériser la transformation du flux. Bien entendu, nous nous plaçons ici du point de vue de la genèse des modèles, car dans leur écriture, cette différence s'estompe du fait de la pseudo-linéarité de la plupart des modèles lorsqu'il s'agit de les calibrer.

En tant que constituant, la variable d'entrée, la connaissance de la pluie et le traitement de l'information pluviométrique en correspondance la plus appropriée avec le ou les modèles de transformation, sont une des préoccupations majeures des hydrologues.

C'est le point qui est abordé dans ce rapport.

INTRODUCTION

L'agglomération lyonnaise est la seconde agglomération française - 1 million cent mille habitants - Au fur et à mesure de la croissance urbaine, le réseau d'assainissement s'est étendu et densifié dans des proportions considérables et d'une manière que l'on peut qualifier d'anarchique, à savoir que les altérations successives de la configuration du réseau n'ont le plus souvent été opérées qu'en fonction de considérations ponctuelles et à court terme.

Comment d'ailleurs aurait-il pu en être autrement sans aucun outil permettant d'appréhender le réseau et son fonctionnement d'une manière globale, organique ?

Résultat : sur un bassin versant d'une surface de 600 km², un inextricable échec-veau de 2.000 kilomètres de canalisations de toute taille et géométrie dont la gestion s'avère extrêmement difficile. Or, étant donné l'importance des dépenses afférant à l'assainissement tant pour les extensions du réseau que pour la gestion de l'existant, sans parler des dégâts que peuvent occasionner les débordements, toute erreur de calcul peut être très coûteuse. Or, les développements récents de la technologie informatique ont rendu théoriquement possible une appréhension du fonctionnement de la totalité du réseau donc la possibilité d'une intervention la plus efficace et raisonnée, sur ce même réseau, pour en limiter les dysfonctionnements.

Un effort de recherche sur ce domaine a donc été entrepris à partir de 1974 à Lyon, en collaboration, entre le Service Assainissement de la COURLY, la Société d'Informatique Communale ICARE et le Laboratoire Méthodes de l'INSA. Il a permis de construire un ensemble d'outils informatiques autorisant la simulation généralisée du réseau lyonnais S.E.R.A.I.L. (Simulation des Ecoulements dans le Réseau d'Assainissement Inter-urbain de Lyon) [5]. SERAIL est essentiellement un outil de diagnostic, il possède notamment en mémoire les caractéristiques structurales du réseau avec une très grande précision, plusieurs années d'effort ont été consacrées à ranger sur fichiers informatiques tous les paramètres nécessaires concernant la configuration du réseau.

Devant une telle précision, la connaissance du phénomène pluie variable d'entrée du système apparaissait notoirement déficiente. Le réseau existant mis en place par la Météorologie Nationale se compose de :

- un pluviographe à BRON permettant donc d'obtenir des intensités en fonction du temps ;
- huit pluviomètres répartis sur le territoire de la COURLY ne permettant que la connaissance des hauteurs journalières précipitées ;
- d'autres informations complémentaires concernant notamment la direction et la vitesse des vents, ...

La Communauté Urbaine de Lyon gérait quant à elle, quelques appareils. Mais, pour remplir efficacement les objectifs qui lui sont assignés, le modèle SERAIL nécessite une caractérisation beaucoup plus fine de la pluie que celle que ces réseaux permettent d'obtenir. Il nécessite une bonne connaissance de la variabilité spatiale, associée à un pas d'intégration de la mesure de l'ordre de quelques minutes. Le décalage observé entre le degré de précision disponible et celui qui est nécessaire, rend inutile la plupart des sophistications du modèle [13].

C'est pourquoi, en 1983, avec l'appui financier du Plan Urbain et de l'Agence Financière de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse et avec le concours de la Météorologie Nationale, il a été décidé d'implanter un réseau de pluviomètres enregistreurs sur le territoire communautaire.

L'objet de ce rapport est de décrire le réseau en justifiant les choix effectués, puis de présenter le système informatique d'archivage et de traitement des données.

1. DESCRIPTION DU RESEAU

Sur le territoire de la COURLY, il a été décidé d'équiper trente sites. La densité du réseau est donc de 1 appareil tous les 20 km² sur une surface totale de 600 km². Le pas de temps d'intégration de la mesure est six minutes.

1.1. Choix de la densité du réseau et du pas de temps

Le choix du nombre de poste de mesures, donc la densité du réseau, ainsi que celui du pas de temps d'analyse devaient répondre à des exigences à la fois complémentaires et contradictoires :

- permettre de caractériser au mieux l'objet étudié (la pluie) tel qu'en lui-même ;
- permettre de caractériser au mieux l'objet étudié en fonction des objectifs particuliers de l'étude (simulation du fonctionnement d'un réseau d'assainissement eau pluviale de grande extension géographique) ;
- reconnaître et respecter des contraintes diverses : temps d'installation et de gestion des postes, temps d'exploitation des données, financements disponibles, sites utilisables pour les mesures, moyens informatiques disponibles, ...

1.1.1. Choix de la densité du réseau

Le nombre retenu de trente postes de mesures répond à ces exigences diverses. Il permet en effet d'obtenir une distance moyenne de 4 kilomètres entre les postes qui est du même ordre de grandeur que la dimension des cellules convectives [21]. Le réseau est donc susceptible de fournir une information relativement complète sans "oublier" d'événement pluvieux.

Les travaux du Laboratoire d'Hydrologie Mathématique de Montpellier [19], [20] semblent montrer qu'une amélioration notable de la qualité de la caractérisation de la pluie à l'intérieur des cellules nécessite une augmentation très importante de la densité des postes (un pour 1 à 2 km²), donc de leur nombre (300 à 600 pour la COURLY) ce qui est totalement irréaliste sur le plan financier.

D'autre part, trente postes répartis sur un territoire urbain de 600 km² peuvent être exploités par une seule équipe, ce qui était une contrainte imposée par la COURLY.

Enfin, il aurait été extrêmement difficile d'implanter un réseau régulier de densité plus importante du fait de la rareté des sites d'installation convenables sur une grande partie du territoire.

1.1.2. Choix du pas de temps

Le choix du pas de temps d'enregistrement de la pluie s'est fait en deux étapes :

- choix d'un pas de temps fixe plutôt que d'un pas variable ;
- choix d'une valeur de six minutes.

Le pas de temps fixe a été préféré au pas de temps variable (enregistrement des temps séparant les basculements d'auget) pour des raisons d'exploitation des données et de gestion des postes.

A. Le pas de temps fixe permet d'obtenir un nombre d'enregistrements proportionnel à la durée séparant deux relevés de cassette. Il est donc possible de relever les enregistrements à période fixe sans craindre un dépassement de capacité du support de stockage.

B. Le pas de temps fixe conduit à des longueurs d'enregistrement plus faible que le pas de temps variable. En effet seuls sont mesurés les nombres de basculements d'auget sur des intervalles de temps constants, qui peuvent être codés sur des chaînes binaires très courtes (11 bits par mesure), alors que le codage d'un temps (jour, heure, minute, seconde) nécessite une chaîne beaucoup plus longue. Cet aspect est très important pour diminuer les temps d'exploitation des données (transfert de l'information du support de stockage vers l'ordinateur).

C. Le stockage sur une base fixe facilite l'exploitation ultérieure des mesures.

Le choix de la valeur du pas de temps est également issu d'un compromis entre deux contraintes contradictoires :

- nécessité de bien cerner les valeurs d'intensité maximum ;
- nécessité de limiter le nombre de mesures à traiter.

Finalement, le choix d'une valeur de six minutes nous a paru satisfaisant pour les raisons suivantes :

- le capteur utilisé est incapable de mesurer des intensités très fortes (voir § 1.3.) ;
- le réseau d'assainissement joue un rôle de filtre qui limite très rapidement l'influence des intensités très fortes sur des durées très courtes ;
- la valeur de six minutes correspond à la plus petite valeur utilisée classiquement dans l'analyse des pluies.

1.2. Choix des sites

Le choix des sites doit répondre à plusieurs exigences quelquefois difficilement compatibles [13], [18].

En premier lieu, le constructeur de l'appareil définit un certain nombre de contraintes sur le site pour diminuer les effets dus à la turbulence.

Il faut installer le pluviomètre au centre d'un terrain plat découvert dont la plus grande dimension dégagée sera située dans l'axe des vents dominants et à une distance de tout obstacle égale à quatre fois la hauteur de cet obstacle (pour limiter les effets de turbulence). Le sol environnant doit être recouvert d'herbes, de plantes, dont la hauteur n'excède pas trente centimètres ou, à la rigueur, de gravier. La présence d'arbres ou de haies éloignés est également recommandée (pour atténuer le déplacement horizontal des gouttes).

Des considérations relatives à l'accessibilité du site exigent que le terrain choisi soit communautaire, municipal ou public, sans que l'accès en soit trop libre, de façon à limiter les risques de vandalisme.

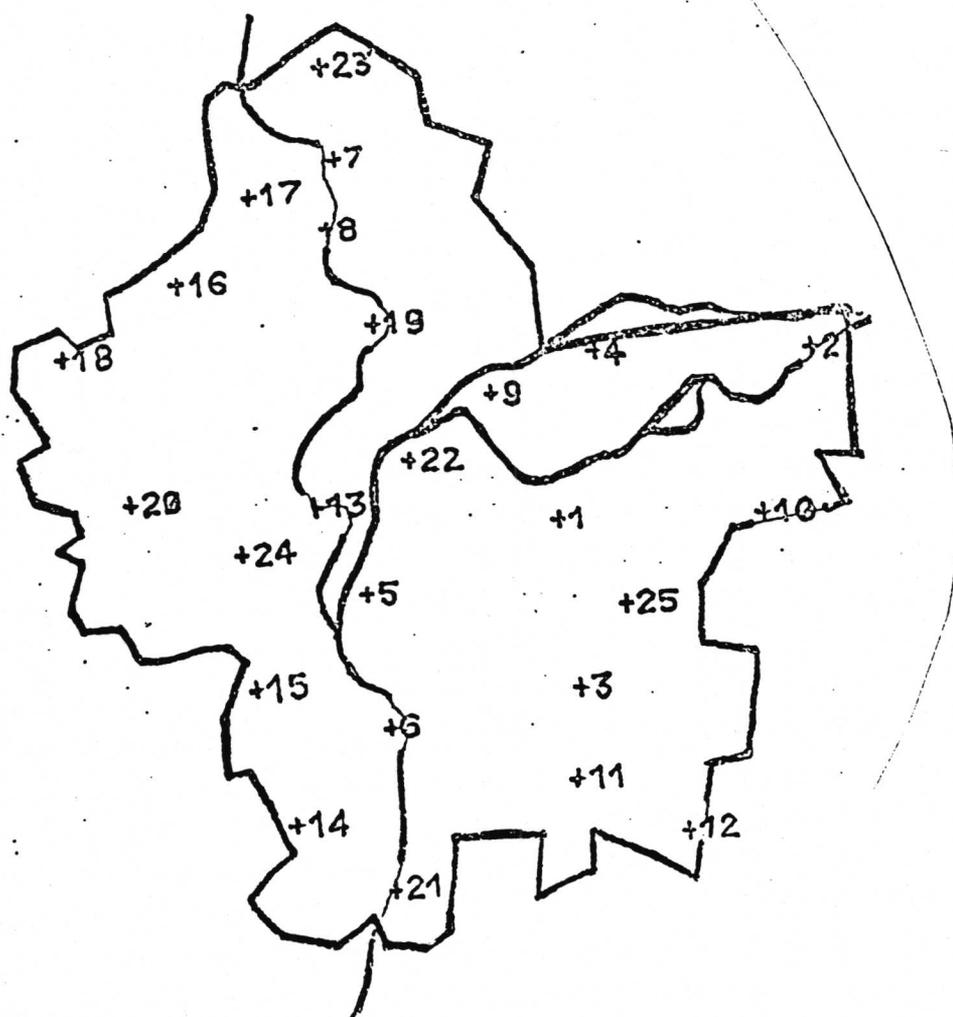
La pose des installations doit nécessiter le moins de travaux possibles - ancrage du pluviomètre, raccordement au secteur, ...

En dernier lieu, les appareils doivent être assez uniformément répartis sur la COURLY, bien que les zones topographiquement accidentées semblent nécessiter, a priori, une densité plus forte.

Liste des sites et positions

Sur les trente postes prévus, seul vingt-cinq fonctionnaient début 1986. Ci-après sont décrits la liste et les emplacements des postes ainsi que la classification sommaire des sites.

VILLEURBANNE	1	SAINTE-GENIS-LAVAL (CHARLY)	14
JONAGE	2	SAINTE-GENIS-LAVAL (PRESSIN)	15
SAINTE-GENIS-LAVAL (CHARLY)	3	LIMONEST	16
MIRIBEL	4	POLEYMIEUX	17
GERLAND	5	LA TOUR DE SALVAGNY	18
PIERRE-BENITE	6	COLLONGES	19
NEUVILLE	7	SAINTE-GENIS LES OLLIERES	20
COUZON	8	SOLAIZE	21
LA FEYSSINE	9	PARC DE LA TETE D'OR	22
GENAS	10	GENAY	23
CORBAS	11	LES BATTIERES	24
MIONS	12	BRON	25
LOYASSE	13		



N° et nom du poste	Propriétaire du site	Utilisation du site	Accès au site	Emplacement de l'enregistreur
1 Villeurbanne	COURLY (Subdivision de l'assainissement)	Bâtiments administratifs	2	Intérieur
2 Jonage	COURLY	Station d'épuration	3	Intérieur
3 Saint-Priest	COURLY (Subdivision de l'assainissement)	Bâtiments administratifs	2	Extérieur
4 Miribel	Syndicat des communes	Parc de loisirs	2	Intérieur
5 Gerland	COURLY (Atelier de l'assainissement)	Bâtiments administratifs et entrepôts	2	Intérieur
6 Pierre Bénite	COURLY	Station d'épuration	3	Intérieur
7 Neuville	COURLY	Station d'épuration	3	Intérieur
8 Couzon	COURLY	Station d'épuration		Intérieur
9 La Feyssine	COURLY	Ile de captage des eaux de la nappe phréatique	3	Intérieur
10 Genas	COURLY	Décharge	3	Intérieur
11 Corbas	COURLY	Bassin de rétention	2	Intérieur
12 Mions	COURLY	Zone de captage du service des eaux	2	Intérieur
13 Loyasse	Ville de Lyon	Cimetière	1	Intérieur

14 Charly	Etat	Lycée agricole	2	Extérieur
15 Pressin	Institution privée	Lycée agricole	2	Extérieur
16 Limonest	Institution privée	Lycée agricole	3	Extérieur
17 Poleymieux	COURLY (Service des eaux	Station de pompage	2	Intérieur
18 La Tour de Salvagny	COURLY	Hangar pour matériel de sapeurs pompiers bénévoles	2	Intérieur
19 Collonges	Commune	Terrain de sport	1	Intérieur
20 Saint Genis les Ollières	Commune	Terrain de sport	1	Intérieur
21 Solaize	Institut Français du Pétrole	Bureaux administratifs et laboratoires	3	Intérieur
22 Parc de la Tête d'Or	Ville de Lyon	Parc de loisirs	2	Intérieur
23 Genay	Commune	Terrain de sport	2	Extérieur
24 Les Battières	Ville de Lyon	Gymnase	2	Extérieur
25 Bron	Météorologie	Station météorologique	3	Extérieur

Légende

Accès au site :

- 1 Facile : n'importe qui peut sans moyen particulier accéder au poste (exemple : franchir un petit grillage dans une aire non surveillée)
- 2 Difficile : accès fermé, surveillé la plupart du temps, ou site fermé dans un endroit retiré
- 3 Très difficile : accès fermé constamment surveillé

Emplacement de l'enregistreur :

Extérieur : le boîtier est posé sur un mur extérieur, à portée de tout individu ayant pénétré sur le site

Intérieur : le boîtier est posé, à l'intérieur d'un local fermé à clefs

Remarques concernant la mesure sur certains postes

VILLEURBANNE : 1

Dégradations : en premier lieu, il a été constaté un vol systématique des contacteurs à mercure, volés sitôt remplacés. On a posé un cadenas sur le poste. Le poste a ensuite subi une attaque de pur vandalisme, le poste a été endommagé mais aussi l'enregistreur, qui était premièrement posé à l'extérieur du bâtiment. On a alors procédé à la réparation du poste et au transfert de l'enregistreur à l'intérieur des locaux.

Autres remarques : les sites de Gerland et Saint-Priest ont une situation très comparable au site de Villeurbanne, ils n'ont pourtant pas posé ces problèmes aigus de dégradation malveillante des appareils.

JONAGE : 2

Poste surélevé d'une cinquantaine de centimètres.

MIRIBEL : 4

Pas de réchauffage du cône de réception.

Le site abrite une station météorologique (pluviomètre).

PIERRE-BENITE : 6

Présence de pompes branchées au même réseau que le pluviomètre, l'installation électrique pose certains problèmes et a déjà été refaite une fois (---> enregistrements non entièrement récupérables).

COUZON : 8

Présence de pompes branchées sur le même réseau (---> parasitage - corrections automatiques suffisantes).

CORBAS : 11

Présence de pompes branchées sur le même réseau (---> parasitage - corrections automatiques suffisantes).

Poste situé au bord d'un dénivelé important.

MIONS : 12

Présence de pompes branchées sur le même réseau (---> parasitage - corrections automatiques suffisantes).

LOYASSE : 13

Le poste a subi une dégradation accidentelle (heurté par un engin tracteur), des protections n'ont cependant pas pu être mises en place (barrières) cela dû à la nature particulière du site, laquelle a d'ailleurs entraîné des difficultés et des coûts d'installation importants (pose de cablâges très longs pour contourner les tombes, réfection des chaussées).

CHARLY : 14

Présence d'une station météorologique (pluviomètre).

Présence d'arbres élevés aux environs du poste.

LIMONEST : 16

Le poste n'est pas alimenté par le réseau et fonctionne sur pile. A chaque relevé, on procède au changement d'enregistreur pour éviter de recharger sur place les batteries.

Présence d'un pluviomètre météorologique.

POLEYMIEUX : 17

L'horloge de l'enregistreur est défectueuse d'où une sérieuse dérive et des pas de temps irréguliers.

COLLONGES : 19

Poste situé sur un fort dénivelé.

SAINT-GENIS LES OLLIERES : 20

L'enregistreur est situé dans un local fermé à clefs qui sert de buvette après le match de football dominical. Depuis plusieurs mois, on constate un vol systématique de la cassette située dans l'enregistreur, sans effraction. Le problème reste posé.

Présence de hautes herbes entourant le poste.

PARC DE LA TETE D'OR : 22

Présence d'une station météorologique (pluviomètre).

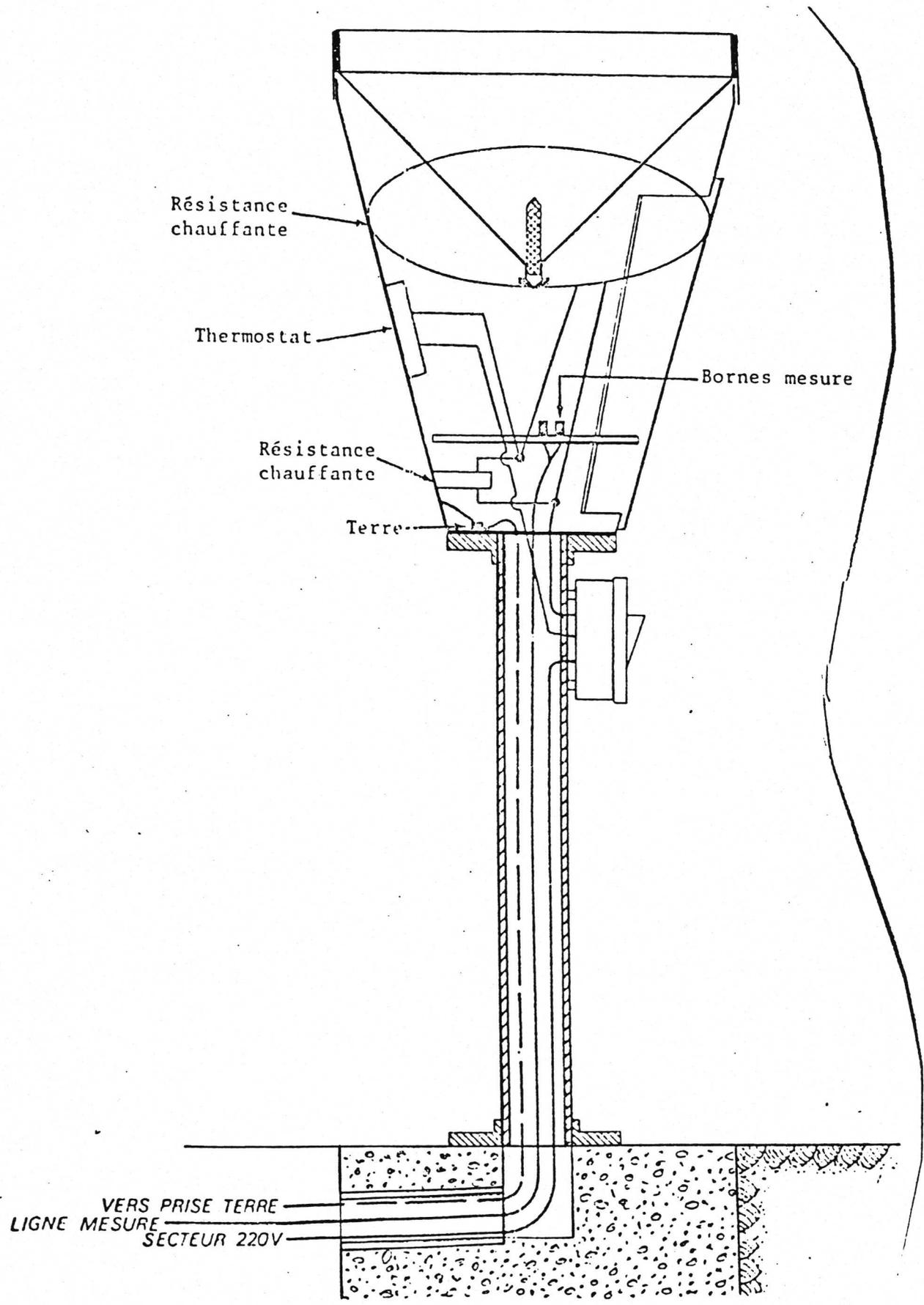
Présence d'arbustes élevés à proximité immédiate du poste, ainsi que d'autres obstacles divers.

LES BATTIERES : 24

Présence d'herbes hautes et de broussailles à proximité immédiate du poste.

BRON : 25

Présence d'un pluviomètre enregistreur sur cassette.



SCHEMA DE CABLAGE DU PLUVIOMETRE

1.3. Choix du capteur [6], [14]

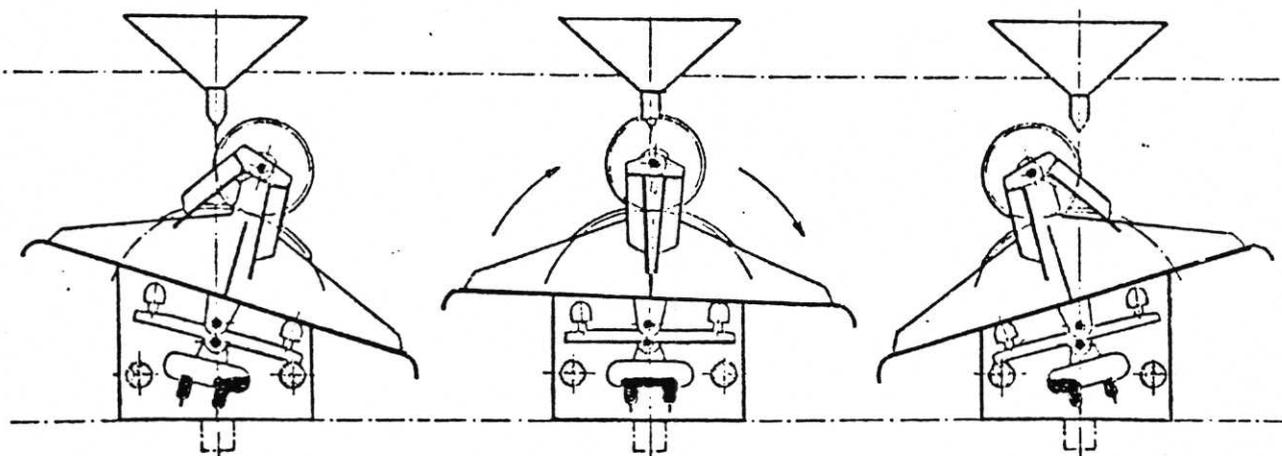
L'appareil choisi est un pluviomètre transducteur à impulsions ROI 3030A Précis Mécanique, agréé par l'Office de la Météorologie Nationale. L'appareil permet la mesure et la totalisation à distance sur support magnétique des hauteurs de précipitations recueillies au sol.

Principe de mesure :

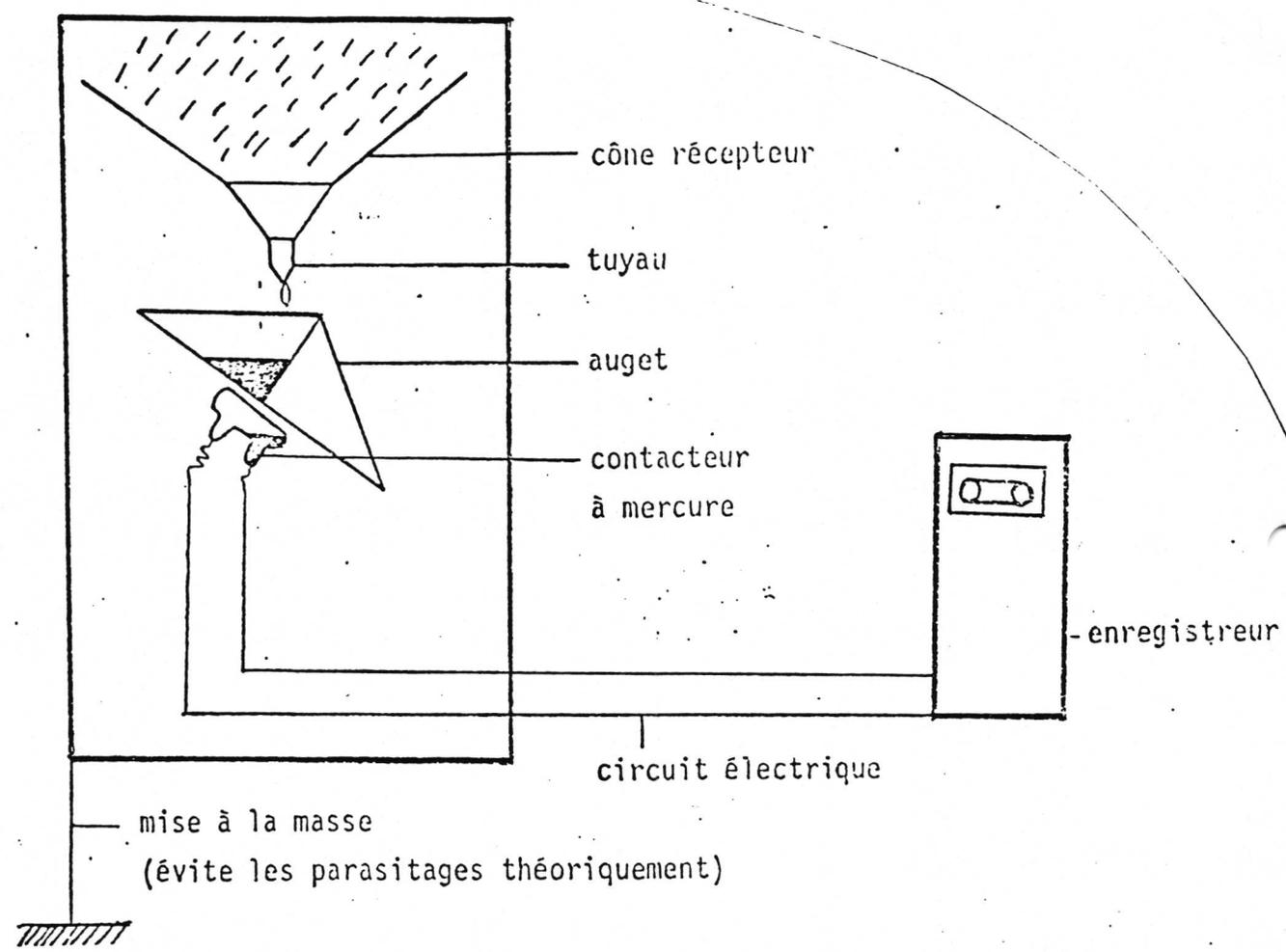
L'eau provenant de précipitations à l'état liquide ou l'eau de fusion de neige ou de grêle, recueillies dans la bague réceptrice de surface 1.000 cm^2 , est canalisée par le cône de réception et un petit entonnoir s'écoule sur un déflecteur et se déverse dans l'un des deux augets du transducteur volumétrique.

Lorsque la contenance d'incrément de l'auget (20 cm^3) est atteinte, celui-ci bascule brusquement, provoque la fermeture brève du circuit électrique, déverse son contenu d'eau à l'extérieur.

Le second auget se place alors en position de remplissage puis à son tour bascule, lorsque la masse d'eau requise est atteinte.



A chaque basculement (correspondant donc théoriquement à une hauteur précipitée de $0,2 \text{ mm}$), la fermeture du circuit provoque une impulsion électrique dans l'enregistreur. Celui-ci les comptabilise sur une période de temps fixée à six minutes.



Remarque :

Un dispositif de chauffage a de plus été monté sur le pluviomètre, à l'instigation de l'Office de la Météorologie Nationale, qui permettra aussi des mesures dans le cas de précipitations solides ou de gel (mesures a priori peu intéressantes dans la perspective hydrologie urbaine) du moins dans la région lyonnaise.

1.4. Choix de l'enregistreur

Deux solutions étaient possibles pour enregistrer les informations :

- stockage in situ ;
- télétransmission et stockage centralisé.

La deuxième solution apparaît a priori plus pertinente que la première pour les raisons suivantes :

- elle assure une synchronisation parfaite des mesures ;
- elle évite la multiplication des supports d'information ;
- elle diminue les temps de traitement ;
- elle permet un contrôle permanent du bon fonctionnement des appareils et limite le risque de perte d'information ;
- elle est indispensable pour envisager la mise en place d'un système de gestion en temps réel du réseau d'assainissement.

Cependant, lors de la mise en place de l'expérimentation deux difficultés sont apparues :

- une difficulté financière liée au coût d'investissement d'un système de télétransmission ;
- un manque d'expérience certain dans le domaine puisqu'en 1982 pratiquement aucune expérience de ce type n'avait été tentée en France dans le domaine de l'hydrologie urbaine.

Dans ces conditions, nous avons préféré choisir un système de stockage in situ, a priori plus fiable et moins coûteux. Il est cependant probable que la COURLY s'oriente dans les années à venir vers la télétransmission.

Le système retenu est une unité autonome de mesure fabriquée par la Société AUTEK et dotée d'un enregistreur sur cassette magnétique. Les raisons de ce choix sont les suivantes :

- l'équipement mis en oeuvre est relativement simple, donc robuste et bon marché. Le coût total d'un poste de mesure avoisine les 25.000 Francs (y compris le capteur et l'installation), (valeur 1985) ;

- de telles installations ont été posées notamment par l'EDF [15], le CEMAGREF [16] dès 1980. D'autres expérimentations de ce type se sont multipliées en France, les années suivantes [17] ... Elles ont, semble-t-il, donné satisfaction aux gestionnaires quant à leur fiabilité, taux de perte inférieur à 1 % d'après M. GUILLOT de l'EDF [15].

Le choix d'un enregistrement sur cassette magnétique a été fait compte tenu des capacités de stockage de ce support très supérieures à celles des mémoires électroniques type MOS en 1982 et de leur coût, nettement inférieur.

Ce système pose cependant des problèmes importants lors de la relecture des informations : déformation de la cassette si le lecteur n'est pas de très bonne qualité (cf § 2.1.) ou si la cassette elle-même n'est pas de très bonne qualité.

La synchronisation entre les postes de mesure a été obtenue en incorporant dans chaque unité de mesure une horloge à quartz dont la dérive temporelle est inférieure à deux minutes par mois dans des conditions extrêmes de température (de - 20 °C à + 60 °C).

Les enregistrements sont regroupés en bloc de 240 données enregistrées, soit 24 heures de mesure. Plusieurs configurations ont été essayées [18] avant d'en arriver à la configuration actuelle.

L'axe chronologique de référence est le même pour tous les pluviomètres ; l'origine de chaque bloc est 0 h - 24 h.

Chaque bloc est repéré par un intitulé, lequel contient la date de début du bloc, le code de la station, la date de début de l'enregistrement cassette.

Ce bloc intitulé renferme seize enregistrements.

1.5. Exploitation et entretien des postes

Dans la mesure du possible, les postes de mesure ont été installés à proximité immédiate de locaux utilisés régulièrement par du personnel du service assainissement, ceci afin d'assurer un entretien et une surveillance continue des postes : vérification de l'intégrité du matériel et de son fonctionnement, nettoyage sommaire, ... D'autre part, une équipe spécialisée passe systématiquement tous les mois sur chaque poste pour relever les cassettes.

A chaque relevé de cassette, l'opérateur doit procéder à un certain nombre de vérifications concernant tant le pluviomètre que le dispositif de stockage.

Pour ce qui est du pluviomètre, il faut vérifier que des corps étrangers ne risquent pas de gêner l'écoulement de l'eau recueillie par le cône et nettoyer l'intérieur du cône, la bague, la crépine et l'entonnoir du carter du transducteur si cela est nécessaire. Périodiquement, on doit s'assurer de la propreté des éléments mécaniques du transducteur et les nettoyer (engrenages - augets) avec un pinceau et de l'alcool.

Un test de vérification du bon fonctionnement du pluviomètre, proposé par le constructeur consiste en les opérations suivantes :

- mettre en place le bouchon calibré de contrôle dans l'embout d'écoulement après s'être assuré que le tube n'est pas obstrué ;
- remplir d'eau propre une bouteille d'une contenance de 1 litre et la vider totalement et le plus rapidement possible à l'intérieur du cône de réception.

Après complet écoulement de l'eau contenue dans le cône, on devrait obtenir 50 basculements d'augets à ± 2 basculements près, compte tenu de la rétention d'eau dans son cheminement, des frottements mécaniques du système ...

Si le contrôle fait apparaître un biais significatif de mesure, il y a lieu de vérifier en particulier l'étanchéité des différents conduits de l'eau, le bon fonctionnement des engrenages, le réglage des butées d'auget.

Pour ce qui est de la station d'acquisition de mesure, il faut vérifier que :

- NC (nombre de canaux) est sur 1. Le nombre de canaux indique le nombre de mesures que le processeur est censé comptabiliser et distribuer (mesure pluviométrique, mesure de radiation solaire, de vent ...). Dans notre cas, le dispositif est mono-canal, puisque seule nous intéresse la mesure pluviométrique.
- la base de temps est de six minutes ;
- l'horloge ne dérive pas et faire une correction d'heure après récupération de la cassette si la dérive dépasse deux minutes ;
- la tension d'alimentation de l'enregistreur est 6V.

Toute remarque ou anomalie quelle qu'elle soit doit en outre être consignée à l'intention de celui (ou ceux) qui effectue(nt) le transfert des enregistrements mini-cassette sur disquette.

2. DESCRIPTION DU SYSTEME INFORMATIQUE DE TRAITEMENT DES INFORMATIONS

Le traitement de la mesure comporte deux étapes :

- le stockage de la mesure ;
- l'exploitation des mesures stockées, en fonction des logiciels de simulation pluie/débit utilisés.

La masse d'informations, le nombre de manipulations à effectuer, nécessitent l'emploi d'un ordinateur tant pour le stockage que l'exploitation.

Pour des raisons de souplesse de mise au point et d'utilisation du système, nous avons choisi le micro-ordinateur.

Plus précisément, nous avons opté pour un modèle Tektronix 4054 pour deux autres raisons :

- ce type d'appareil est disponible à la fois, au Laboratoire Méthodes de l'INSA (dans lequel est conçu le système) et au Service Assainissement de la COURLY (pour lequel le système est conçu).

- cette machine offre d'importantes possibilités graphiques pour la représentation des résultats.

2.1. Le système de stockage [18], [22]

2.1.1. Le support de stockage

Deux supports magnétiques de stockage sont possibles :

- la cassette ;
- la disquette souple.

La disquette souple a été choisie pour servir de support définitif à l'information pluviométrique contenue dans les mini-cassettes.

Ce choix s'explique pour plusieurs raisons :

- la capacité de stockage sur disquette (600 K Octets) est double de celle sur cassette. Or la quantité d'informations à engranger est telle (toutes les données non nulles, mensuelles, sur trente postes) que la capacité cassette n'y suffirait pas pour les mois les plus pluvieux.

- la disquette permet une souplesse de manipulation des données (accès aléatoire) que n'offre pas la cassette (accès séquentiel).

En particulier, il est possible d'organiser les fichiers selon des bibliothèques en niveaux hiérarchisés (par exemple regrouper tous les fichiers concernant un poste, dans une bibliothèque spéciale, ...).

Il est possible d'étendre des fichiers, sans risquer de détruire les données déjà stockées.

Enfin, la vitesse d'accès à l'information disquette est beaucoup plus grande que la vitesse d'accès à l'information cassette.

2.1.2. Les étapes du transfert

Un transfert direct mini-cassette/disquette ne permet pas de vérifier et corriger l'information brute avant qu'elle ne soit définitivement stockée. Aussi avons-nous opté pour un transfert en deux étapes plus lourd mais qui nous conserve un contrôle de l'information transférée.

Les deux étapes du transfert :

Etape 1 : transfert mini-cassette -----> cassette Tektronix

Etape 2 : transfert cassette Tektronix -----> disquette souple Tektronix.

Etape 1

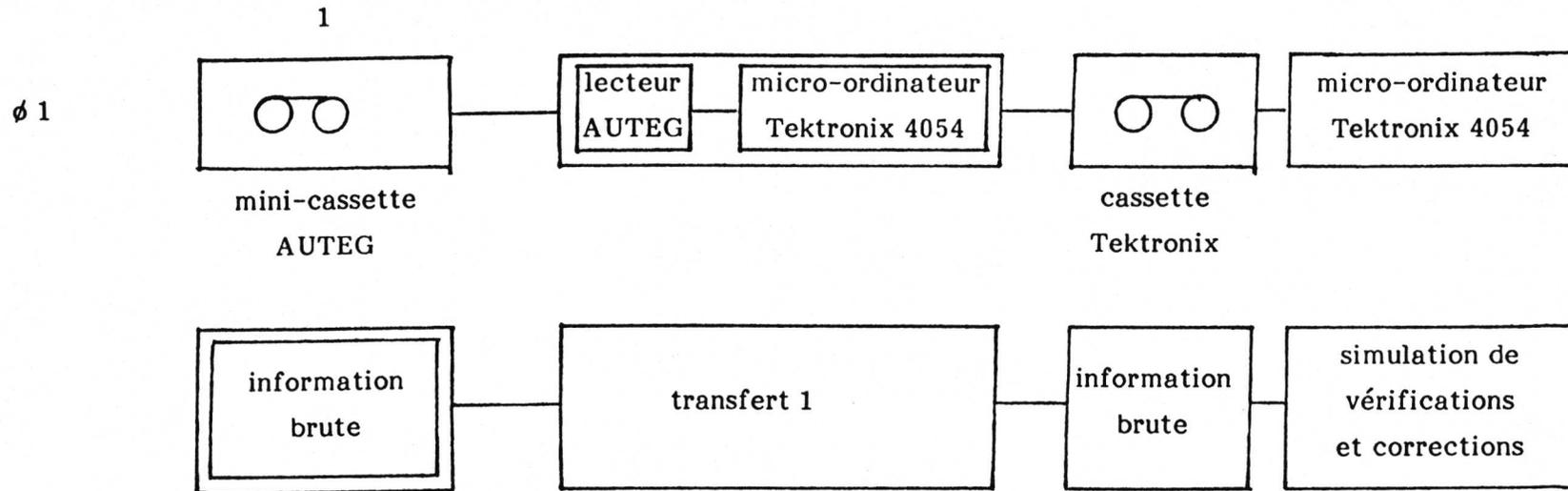
Après que le transfert brut ait été effectué sur cassette Tektronix, il est procédé à une vérification de la qualité de l'information qui déterminera la récupérabilité de l'enregistrement.

La vérification se décompose en deux opérations :

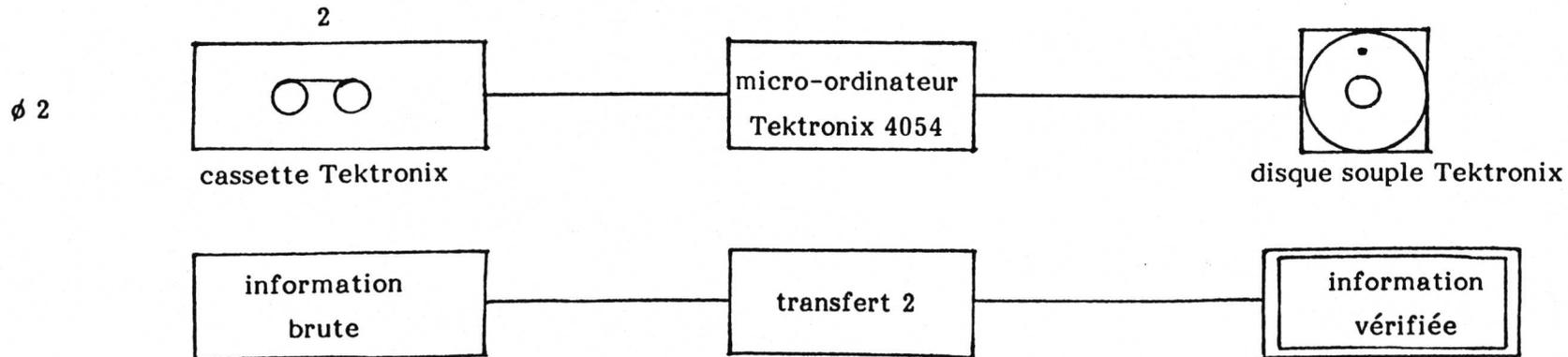
- comptage des enregistrements (nombre de blocs attendu, nombre d'enregistrements par bloc) ;

- s'il y a inadéquation entre le nombre prévu et le nombre réellement lu d'enregistrements, recherche des causes (apparition de parasites, découpage indu de bloc, bloc-horloge intempestif, ...) et tentative de correction.

SCHEMA DES ETAPES DU TRANSFERT



Si la récupérabilité des enregistrements est avérée, alors :



Lorsqu'il y a problème, le logiciel recherche systématiquement certaines déficiences typiques et effectue automatiquement la correction s'il en met en évidence. Sinon, il fait appel à l'opérateur qui intervient sur le déroulement des opérations pour décider de la correction à choisir.

En réalité, ces corrections ne modifient pas effectivement le contenu ou la configuration de l'information réellement enregistrée sur cassette. Il s'agit en fait de pseudo-corrrections qui permettent uniquement de décider si cette information est récupérable. La vraie correction n'est effectuée que dans la deuxième étape au moment du stockage sur disquette.

Si l'enregistrement est irrécupérable (on ne peut pas distinguer entre les parasites et les données pluviométriques, la configuration par blocs est complètement déformée, ...) le transfert sur disquette est abandonné, le pluviomètre est considéré comme n'ayant pas fonctionné au mois traité.

Etape 2

Le transfert sur disquette est effectué. Si certaines anomalies de l'enregistrement cassette sont détectées, les corrections testées lors de la première étape sont mises en oeuvre, avant le stockage sur la disquette.

2.1.3. Les problèmes rencontrés au transfert

Les problèmes de transfert auxquels nous avons dû faire face ont été beaucoup plus nombreux et ardues que ce que nous avons imaginé en commençant l'expérience. Il nous a fallu plus d'un an d'expérimentation et des modifications importantes apportées successivement à la configuration du lecteur et des enregistrements pour commencer à obtenir des résultats exploitables.

Ces problèmes concernent :

- des défauts d'enregistrements sur mini-cassette ;
- un défaut de mise au point du lecteur Auteg.

A Défauts d'enregistrements sur mini-cassette

Problèmes ne faisant pas intervenir une défaillance du système de mesure, à proprement parler

Exemple de GERLAND : 5

Sur le poste Gerland : 5, les enregistrements étaient formellement corrects mais pendant plusieurs mois ils indiquèrent une hauteur nulle de précipitation en contradiction avec les données recueillies sur les autres postes. On s'aperçut finalement qu'un employé des services communaux avait débranché (par curiosité ?) l'enregistreur et mal rebranché. Résultat : plusieurs mois de mesures perdus.

Cet exemple peut sembler très particulier et non significatif. Nous avons cependant tenu à le présenter pour faire ressortir la grande diversité possible des causes de non fonctionnement. Beaucoup plus préoccupantes, parce que concernant un nombre non négligeable de postes, sont les déprédations d'appareils dues au vol ou au vandalisme. On recense notamment :

- vol des minicassettes (systématique sur certains postes) ;
- vol des contacteurs (occasionnel) ;
- jet de pierre dans les cônes récepteurs (occasionnel),

malgré les précautions prises :

- non-accessibilité du terrain d'implantation des postes au public ;
- pose de cadenas sur les postes enregistreurs placés dans des locaux fermés à clef.

Ces problèmes ne sont pas encore résolus et pour certains sites il est même question de transférer purement et simplement l'implantation.

Brouillages de l'information

Il y a deux types de brouillages :

- les parasites, depuis le parasitage peu dense (un 1024 ou 512 qui s'insère de temps à autre entre les données) jusqu'au parasitage systématique (la cassette semble avoir enregistré un bruit) ;
- les anomalies de blocs (blocs de 240 enregistrements découpés en plusieurs sous-blocs, blocs-horloge intempestifs ou eux-mêmes découpés).

Ce type de défaut peut concerner tout l'enregistrement ou une partie seulement. Ils sont liés principalement au fonctionnement du circuit électrique de l'installation trop sensible aux perturbations du réseau ou atmosphériques (chute de tension due au démarrage de pompe dans une station de relevage, effet de la foudre, ...).

Des mesures ont été prises pour isoler le circuit (câble antiparasite, mise à la masse) mais celles-ci ne semblent résoudre que partiellement le problème.

B Défaut de mise au point du lecteur

Deux problèmes avaient été soulevés :

- l'obtention de dates erronées (ex 60 mars à 54 heures 12 minutes) ;
- mauvais rembobinage des enregistrements avant relecture d'où impossibilité d'effectuer le transfert.

AUTEG a opéré les transformations voulues sur son lecteur et il semble qu'actuellement ce type de problèmes soit résolu.

Exemple : pertes d'enregistrement suivant les postes. Pour les six premiers mois de l'année 1985, on obtient le tableau de la page suivante.

N° du poste	Période d'enregistrement considérée	Nombre total de jours d'enregistrement	Total de jours à problèmes	Pourcentage sans problèmes
1	24.01.1985 au 03.07.1985	160	15	91
2	22.01.1985 au 03.09.1985	224	1	99
3	24.01.1985 au 02.09.1985	221	5	98
4	24.01.1985 au 03.09.1985	222	0	100
5	25.01.1985 au 07.05.1985	102	0	100
6	23.01.1985 au 02.09.1985	222	95	58
7	23.01.1985 au 03.09.1985	224	1	99
8	23.01.1985 au 04.09.1985	224	6	97
9	24.01.1985 au 03.09.1985	222	64	72
10	24.01.1985 au 03.09.1985	222	0	100
11	24.01.1985 au 02.09.1985	221	37	84
12	24.01.1985 au 02.09.1985	221	0	100
13	24.01.1985 au 02.09.1985	221	27	88
14	23.01.1985 au 02.09.1985	222	15	94
15	23.01.1985 au 02.09.1985	222	93	58
16	23.01.1985 au 04.09.1985	224	83	63
17	23.01.1985 au 04.09.1985	224	57	75
18	25.01.1985 au 03.09.1985	221	0	100
19	23.01.1985 au 04.09.1985	224	0	100
20	25.01.1985 au 02.09.1985	97	11	89
21	24.01.1985 au 02.09.1985	221	26	88
22	25.01.1985 au 04.09.1985	222	16	93
23	23.01.1985 au 04.09.1985	223	49	78
24	23.01.1985 au 02.09.1985	222	1	99
25	24.01.1985 au 02.09.1985	221	9	96

Le pourcentage moyen d'enregistrements récupérables à partir de ce qui est enregistré sur mini-cassette est de 89 %.

2.1.4. Les possibilités du logiciel (affichage, corrections)

Compte tenu de ces difficultés, les logiciels de transfert ont été progressivement modifiés et améliorés pour permettre un contrôle facile de l'information transférée (affichage clair), des corrections rapides (mise en place de corrections automatiques) et tenant compte des principaux cas de figure rencontrés (cinq corrections manuelles proposées).

2.1.4.1. L'affichage

Sont affichées toutes les valeurs pluviométriques qui dépassent un seuil préalablement fixé par l'opérateur (généralement 20 mm/h).

```

PLUVIOMETRE :VILLURBANNE:1
*****
* HAUTEURS      * CLASSEMENT * NUMERO DU * CLASSEMENT *
* (MM/H)       * CHRONOLOGIQUE * BLOC      * DES VALEURS <>0 *
*****
* 2.00         * 144        * 2         * 1           *
* 2.00         * 405        * 3         * 2           *
* 2.00         * 1630       * 8         * 3           *
* 2.00         * 1803       * 9         * 4           *
* 4.00         * 1887       * 9         * 5           *
* 4.00         * 1808       * 9         * 6           *
* 4.00         * 1889       * 9         * 7           *
* 2.00         * 1813       * 9         * 8           *
* 2.00         * 1831       * 9         * 9           *
* 2.00         * 1996       * 9         * 10          *
* 2.00         * 2342       * 11        * 11          *
* 2.00         * 2456       * 11        * 12          *
* 2.00         * 2472       * 11        * 13          *
* 2.00         * 2473       * 11        * 14          *
* 2.00         * 2477       * 11        * 15          *
* 2.00         * 2480       * 11        * 16          *
* 2.00         * 2482       * 11        * 17          *
* 2.00         * 2484       * 11        * 18          *
* 2.00         * 2485       * 11        * 19          *
* 2.00         * 2487       * 11        * 20          *
* 2.00         * 2490       * 11        * 21          *
* 2.00         * 2492       * 11        * 22          *
* 2.00         * 2495       * 11        * 23          *
* 2.00         * 2497       * 11        * 24          *
* 2.00         * 2498       * 11        * 25          *
* 2.00         * 2499       * 11        * 26          *
*****
POUR CONTINUER ,TAPER RETURN
    
```

Exemple d'affichage sur écran des données pluviométriques non nulles dans un transfert mini-cassette - cassette Tektronix (étape 1).

Le "classement chronologique" correspond dans ce cas au classement de la valeur affichée par rapport à la première valeur relue.

Le "numéro du bloc", il s'agit du numéro du bloc de 240 enregistrements dans lequel se trouve la valeur affichée à partir du premier bloc relue.

Le "classement des valeurs <> 0" correspond à un numéro de la valeur affichée parmi les valeurs non nulles relues.

MOIS:MOU84 POUR LE PLUVIO VILLEURBANNE:1

```

*****
* INTENSITE      * ABSCISSE      * CLASSEMENT   * NBRE DE VALEURS *
* (MM.H)        * (TEMPORELLE) * (RELATIF)    *                  *
*****
* 2.00          * 2901         * 203          * 1                *
* 2.00          * 2640         * 182          * 2                *
* 2.00          * 1415         * 157          * 3                *
* 2.00          * 1242         * 224          * 4                *
* 4.00          * 1238         * 220          * 5                *
* 4.00          * 1237         * 219          * 6                *
* 4.00          * 1236         * 219          * 7                *
* 2.00          * 1232         * 214          * 8                *
* 2.00          * 1214         * 196          * 9                *
* 2.00          * 1049         * 31           * 10               *
* 2.00          * 703          * 165          * 11               *
* 2.00          * 589          * 51           * 12               *
* 2.00          * 573          * 35           * 13               *
* 2.00          * 570          * 32           * 14               *
* 2.00          * 569          * 38           * 15               *
* 2.00          * 565          * 27           * 16               *
* 2.00          * 563          * 25           * 17               *
* 2.00          * 561          * 23           * 18               *
* 2.00          * 560          * 22           * 19               *
* 2.00          * 558          * 20           * 20               *
* 2.00          * 555          * 17           * 21               *
* 2.00          * 553          * 15           * 22               *
* 2.00          * 550          * 12           * 23               *
*****

```

POUR CONTINUER TAPER RETURN

Affichage sur écran des données pluviométriques non nulles dans un transfert cassette Tektronix - disquettes Tektronix (2ème étape).

Pour ce qui concerne l'affichage des données

- l'affichage dépend de deux paramètres définis auparavant par l'utilisateur
 - . valeur seuil,
 - . affichage exhaustif ou non.
- il se présente sous forme d'un tableau à quatre colonnes
 - . la valeur de l'intensité pluviométrique en mm/heure,
 - . "abscisse (temporelle)" représente le nombre d'intervalles de six minutes qui sépare l'instant où se produit cette précipitation non nulle et le début du mois considéré.
 - "classement (relatif)" représente le nombre d'intervalles de six minutes écoulés depuis le début du bloc d'enregistrement dans lequel se trouve la valeur. Si on est en version 2, les blocs courants commencent au début du jour correspondant, ce classement (relatif) correspond au nombre d'intervalles de six minutes écoulés depuis le début du jour à 0 h 0 mn.
 - "nombre de valeurs" donne le classement de la valeur affichée parmi les valeurs non nulles de précipitation relues.

2.1.4.2. Les corrections possibles

Plusieurs corrections automatiques sont susceptibles d'être mises en oeuvre :

- si le nombre d'enregistrements du bloc est inférieur au nombre attendu il y a recollage automatique avec le bloc suivant. Ceci pose parfois des problèmes notamment dans le cas d'erreur sur les dates de début et fin d'enregistrement, due à une mauvaise manipulation lors du changement de cassette (décalage de six minutes). Le logiciel prévoit pour le bloc considéré (un des blocs extrêmes) un enregistrement de plus qu'il y en a d'où recollage intempestif avec le bloc suivant. S'il s'agit du dernier bloc à relire la solution la plus simple consiste à recommencer toute l'opération en corrigeant les dates début/fin d'enregistrement.

- s'il y a un bloc de seize enregistrements de date situé en milieu de bloc et non en fin de bloc de relecture, celui-ci est éliminé.

- si le nombre d'enregistrements lu dépasse le nombre prévu, toutes les valeurs pluviométriques supérieures ou égales à 128 (basculements en six minutes) ce qui correspond à une intensité de deux cent cinquante six mn/h sont considérées comme parasites et sont éliminées.

Remarque : cet aperçu sur les corrections automatiques permet de conclure que s'il y a des problèmes d'enregistrements, ce sera toujours parcequ'il y a trop de valeurs par rapport à ce qu'on attend. Si, les corrections automatiques ayant été essayées, un problème d'enregistrement subsiste, le logiciel passe la main au manipulateur.

Il affiche le bloc défectueux en question et propose cinq corrections manuelles possibles.

- 1 : passer au bloc suivant en considérant que toutes les valeurs du bloc sont nulles ;
- 2 : éliminer certains enregistrements considérés comme parasites et ne se référant donc pas à une quantité de pluie tombée ;
- 3 : ne considérer que les x premières valeurs, les autres étant purement à supprimer ;
- 4 : considérer que par suite d'un parasitage, un bloc a été indûment découpé ;
- 5 : considérer que le bloc entier est parasite et l'éliminer.

2.1.5. Principes de l'organisation du stockage sur disque

Chaque disque contient les valeurs mesurées non nulles sur tous les postes installés, pendant une période de un mois.

En ce qui concerne la gestion proprement dite des mesures, le premier principe adopté consiste à opérer pluviomètre par pluviomètre conformément à l'organisation initiale des données durant la collecte (une mini-cassette par poste). Pour chaque disque, il y a une bibliothèque de fichiers par poste de fonctionnement.

Si l'on considère les trente pluviomètres, potentiellement, 216.000 valeurs sont recueillies mensuellement. La mémoire disque ne peut pas stocker une telle quantité de valeurs.

Or, parmi ces 216.000 valeurs, la plupart sont des enregistrements de hauteur nulle. La solution qui s'impose consiste à ne stocker que les valeurs pluviométriques non nulles (il aurait été possible de déterminer un seuil positif en dessous duquel la mesure est rejetée mais nous n'avons voulu opérer aucune sélection a priori).

Dans ces conditions, deux paramètres de stockage sont nécessaires :

- la valeur de hauteur d'eau mesurée, pour le poste considéré, pendant un certain intervalle de six minutes ;

- la localisation de cet intervalle sur l'axe des temps (l'origine chronologique étant le premier jour du mois à 00 h 00 mn).

La méthode qui nous semble la plus efficace (la moins coûteuse en place mémoire tout en permettant d'extraire l'information demandée rapidement et cela sans nécessiter d'hypothèses supplémentaires) est d'opérer l'archivage en se fondant sur le concept de pluie entendue comme une séquence ininterrompue de valeurs d'intensité non nulles pour un poste considéré.

Remarque : le système d'archivage et de stockage, est relativement lourd à manipuler du fait des traitements de vérifications et corrections qu'il a été nécessaire d'implanter.

D'autre part, un disque par mois, même si cela peut sembler minime a priori, constitue sur une dizaine d'année quelques 120 disques de stockage.

Il semble envisageable à moyen terme, soit de transférer l'information en stockage bande sur mini-ordinateur soit mieux encore d'attendre quelques années que les progrès en micro-informatique permettent d'accélérer les traitements et de condenser le stockage (extension de la capacité de stockage sur disque).

2.2. Le système d'exploitation et d'analyse des données

Le système d'exploitation et d'analyse des données concerne exclusivement certaines séquences correspondant à l'occurrence d'un événement intéressant (orage principalement). La mise au point d'outils d'analyse statistique de la pluviométrie a été envisagée mais n'a pas fait l'objet de réalisations concrètes. L'objectif essentiel de la COURLY est en effet de connaître le fonctionnement de son réseau pour des événements exceptionnels. Cet aspect a donc été privilégié.

Une deuxième remarque préliminaire extrêmement importante concerne l'ambivalence du système qui a été conçu pour répondre à deux exigences différentes :

- être un outil, le plus directement opérationnel, utilisable par les techniciens des services d'assainissement le plus rapidement possible ;
- être un outil de recherche, capable de fournir les éléments d'une réflexion méthodologique.

Le traitement se décompose en deux étapes :

- recherche et identification des événements intéressants ;
- analyse d'un événement intéressant.

2.2.1. Recherche et identification des événements intéressants

Bien que dans la plupart des cas le gestionnaire du réseau connaisse a priori les dates des événements pluvieux importants (par les désordres qu'ils ont provoqués). Cette étape du traitement peut cependant lui être utile pour choisir les pluies méritant d'être étudiées de façon approfondie. La recherche d'un événement intéressant pose deux types de problèmes :

- détecter l'événement ;
- en déterminer les limites temporelles (dates de début et de fin).

2.2.1.1. Détection de l'événement

Le premier moyen proposé par le système pour détecter un événement intéressant est le tableau des hauteurs cumulées journalières sur les postes du réseau. Il s'agit d'un moyen classique [19] et efficace. En effet, les jours où la hauteur d'eau dépasse plusieurs centimètres auront presque certainement connu un épisode pluvieux violent, surtout s'il s'agit de la période estivale.

```

*****
*      PLUVIOMETRE          * HTOT   * HMAX(I) *   JOUR MAX   *
*                          * (CM)  * (CM)   * (QUANTIEHE) *
*****
* VILLEURBANNE:1          * 10.19 * 2.79   * 4           *
* JONAGE:2                * 14.63 * 7.31   * 26          *
* S PRIEST:3              * 10.63 * 3.07   * 4           *
* MIRIBEL:4               * 9.87  * 2.49   * 4           *
* PIERRE BENITE:6        * 7.29  * 3.45   * 4           *
* NEUVILLE :7            * 1.89  * 0.93   * 26          *
* COUZON :8               * 2.57  * 1.31   * 26          *
* GENAS :10               * 4.99  * 2.01   * 19          *
* CORBAS :11              * 12.15 * 3.71   * 4           *
* HIONS :12               * 12.71 * 4.17   * 4           *
* ST GENIS LAVAL CHARLY :14 * 9.97  * 3.01   * 4           *
* ST GENIS LAVAL PRESSIH :15 * 6.41  * 2.95   * 4           *
* COLLONGES :19          * 8.91  * 2.63   * 4           *
* SOLAIZE :21            * 10.79 * 3.05   * 4           *
* GEHAY :23               * 2.71  * 1.21   * 26          *
* CROIX LUIZET :24       * 6.13  * 2.65   * 4           *
* BROH :23                * 4.09  * 1.69   * 26          *
*****

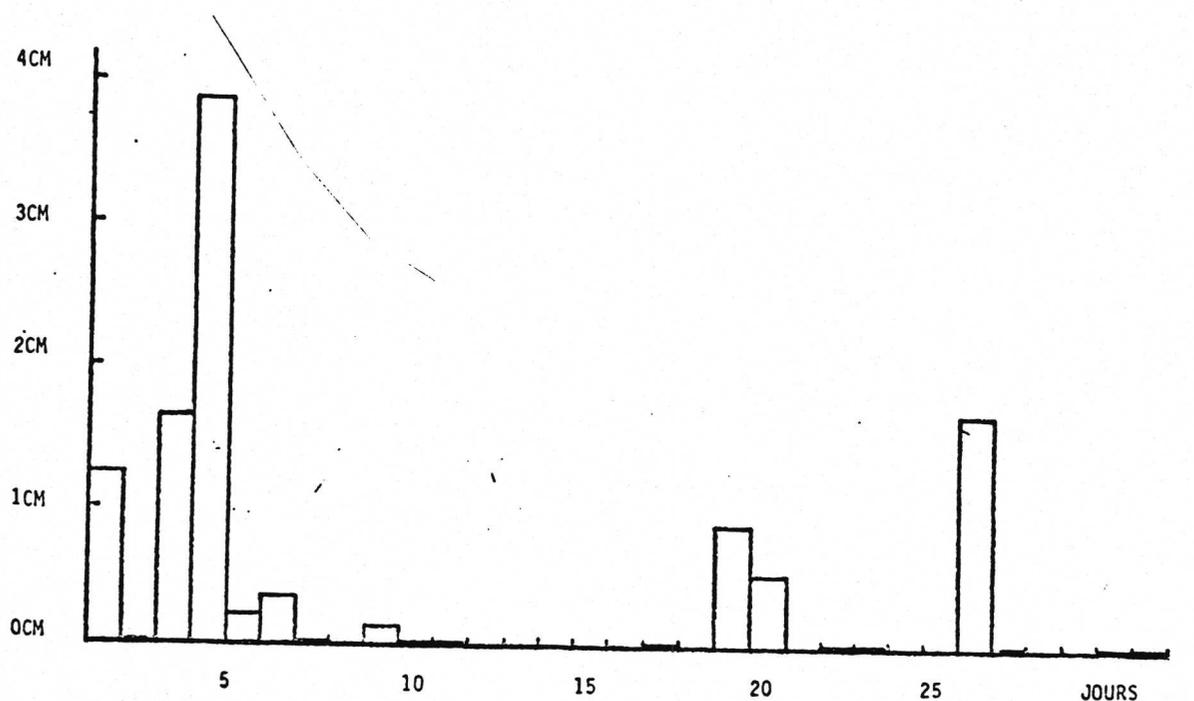
```

HTOT : hauteur totale précipitée pour le mois considéré

HMAX(I) : hauteur maximale précipitée sur un jour

JOURMAX : numéro du jour où la hauteur précipitée est maximale.

Un second moyen du même ordre, mais moins synthétique est constitué par l'histogramme des pluies cumulées journalières observées sur un poste.



Exemple d'histogramme de pluies cumulées journalières

2.2.1.2. Limites temporelles de l'événement

Ayant ainsi déterminé le jour sur lequel est centré l'événement intéressant, il s'agit d'en préciser la durée.

Or, s'élève une difficulté en ce que généralement la pluie consiste en plusieurs séquences précipitantes mesurées, séparées par des intervalles plus ou moins longs. Faut-il exhiber une seule séquence, la plus longue ? La période intense ? ou regrouper plusieurs séquences, mais alors quel critère prendre en compte ?

Desbordes [18], dans son étude pour l'élaboration d'une pluie de projet, prend comme hypothèse : "deux épisodes sont considérés comme distincts lorsqu'ils sont séparés par une durée minimale de 6 heures au cours de laquelle l'intensité instantanée reste inférieure à 1 mm/heure". Six heures correspondent au plus grand temps de concentration rencontré en hydrologie urbaine (le réseau étant vide lorsque survient un nouvel épisode).

D'autres définitions plus compliquées ont été proposées [23] mais elles ont, à notre avis, le même désavantage, à savoir leur rigidité. En fait, les cas de figure possibles sont si nombreux qu'une procédure algorithmique de séparation des épisodes nous semble inadaptée. Nous avons, quant à nous, opté pour une procédure "manuelle". Voici les principales étapes du traitement.

L'opérateur sait que l'événement intéressant est centré sur un jour donné. Pour ce jour, un logiciel fournit les dates de début et fin de toutes les séquences pluvieuses ainsi que l'intensité maximale et le nombre de pluviomètres concernés par cette séquence, sous forme d'un tableau.

```

*****
*  No  *  DEBUT  *  FIN  *  IMAX  *  N  *
*****
*  1  *  JJ:4 00H 06MN  *  JJ:4 00H 12MN  *  2.00  *  1  *
*  2  *  JJ:4 00H 36MN  *  JJ:4 00H 42MN  *  2.00  *  1  *
*  3  *  JJ:4 02H 54MN  *  JJ:4 03H 06MN  *  1.34  *  1  *
*  4  *  JJ:4 05H 30MN  *  JJ:4 05H 36MN  *  2.00  *  1  *
*  5  *  JJ:4 06H 30MN  *  JJ:4 06H 36MN  *  2.00  *  1  *
*  6  *  JJ:4 06H 54MN  *  JJ:4 07H 00MN  *  2.00  *  2  *
*  7  *  JJ:4 07H 12MN  *  JJ:4 07H 18MN  *  2.00  *  1  *
*  8  *  JJ:4 09H 30MN  *  JJ:4 09H 48MN  *  2.00  *  4  *
*  9  *  JJ:4 09H 54MN  *  JJ:4 10H 00MN  *  2.00  *  1  *
* 10  *  JJ:4 10H 06MN  *  JJ:4 10H 12MN  *  2.00  *  1  *
* 11  *  JJ:4 10H 24MN  *  JJ:4 10H 30MN  *  2.00  *  1  *
* 12  *  JJ:4 10H 36MN  *  JJ:4 10H 42MN  *  2.00  *  2  *
* 13  *  JJ:4 10H 54MN  *  JJ:4 11H 00MN  *  2.00  *  1  *
* 14  *  JJ:4 12H 30MN  *  JJ:4 12H 36MN  *  2.00  *  1  *
* 15  *  JJ:4 12H 54MN  *  JJ:4 13H 12MN  *  2.00  *  2  *
* 16  *  JJ:4 13H 36MN  *  JJ:4 13H 42MN  *  4.00  *  1  *
* 17  *  JJ:4 13H 54MN  *  JJ:4 14H 00MN  *  2.00  *  1  *
* 18  *  JJ:4 14H 36MN  *  JJ:4 14H 42MN  *  2.00  *  2  *
* 19  *  JJ:4 14H 54MN  *  JJ:4 19H 06MN  *  44.00  *  8  *
* 20  *  JJ:4 19H 12MN  *  JJ:4 20H 18MN  *  6.00  *  8  *
* 21  *  JJ:4 20H 42MN  *  JJ:4 20H 48MN  *  2.00  *  1  *
* 22  *  JJ:4 21H 00MN  *  JJ:4 21H 06MN  *  2.00  *  1  *
* 23  *  JJ:4 21H 54MN  *  JJ:4 22H 00MN  *  2.00  *  1  *
* 24  *  JJ:4 23H 12MN  *  JJ:4 23H 18MN  *  2.00  *  1  *
* 25  *  JJ:4 23H 42MN  *  JJ:4 23H 48MN  *  8.00  *  1  *
*****

```

No : numéro de la pluie "globale"

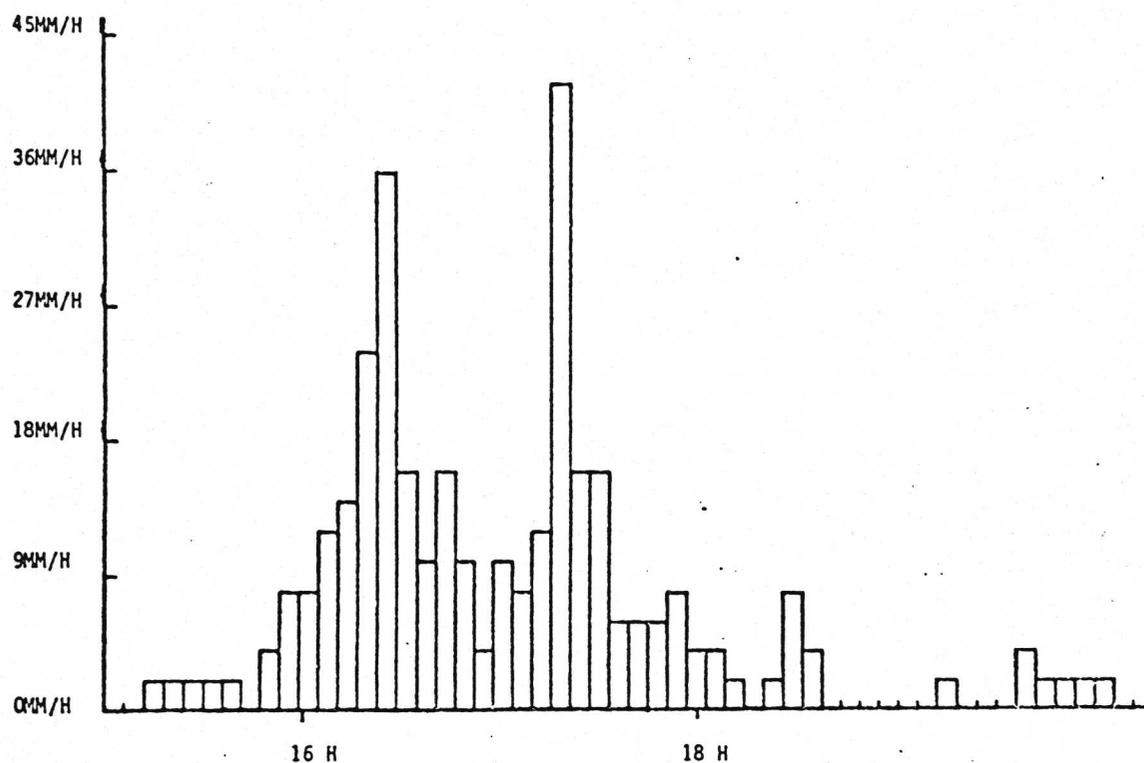
Début : date de début de la séquence considérée (jour, heure, minute)

Fin : date de fin de la séquence considérée (jour, heure, minute)

Imax : l'intensité maximale mesurée pour la séquence

N : nombre de postes qui ont reçu une précipitation non nulle.

Si on veut avoir une idée encore plus précise des caractéristiques des séquences exhibées, il est possible dans le même programme de retirer les hyétogrammes pour n'importe quel poste et une période quelconque centrée sur ce jour.



Cette double approche permet à l'utilisateur de sélectionner une pluie globale et de la stocker pour les traitements ultérieurs.

2.2.2. Analyse d'un événement intéressant

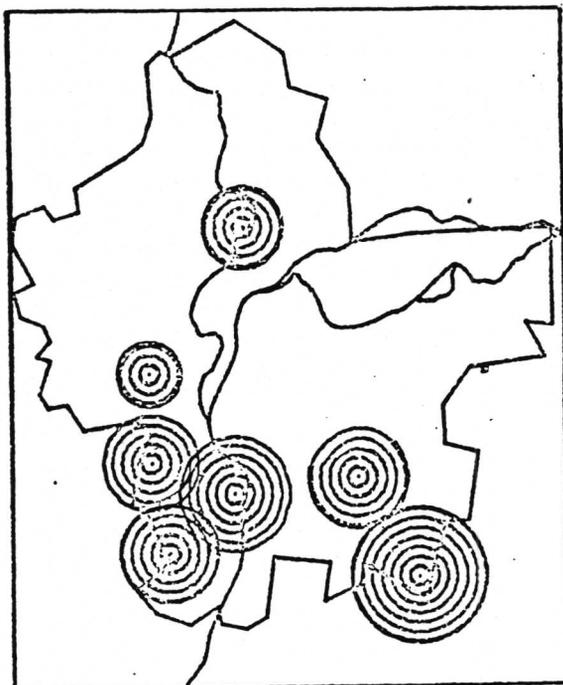
Cinq niveaux d'analyse permettent d'étudier un événement pluvieux :

- représentations graphiques de l'information brute ;
- analyse de forme des hyétogrammes ;
- modélisation et représentation de la lame d'eau précipitée ;
- analyse de la trajectoire ;
- recherche de relations.

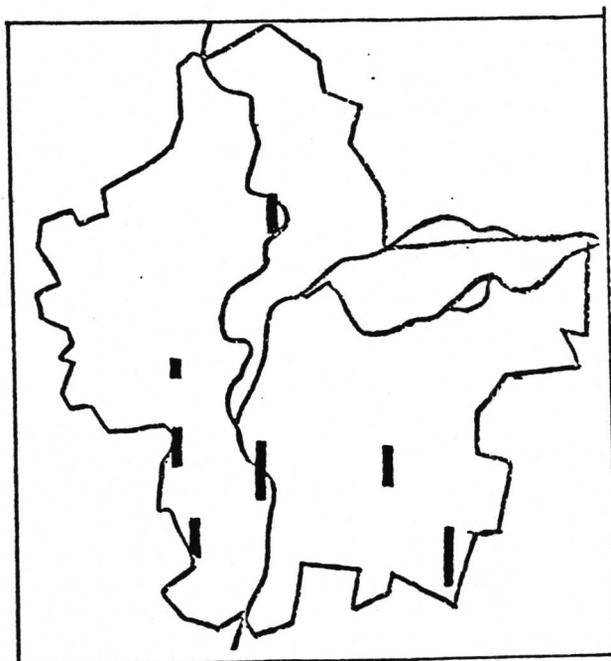
2.2.2.1. Représentations graphiques de l'information brute

Outre la représentation des formes des hyétogrammes dont nous parlerons au paragraphe suivant, le système permet plusieurs représentations spatiales des intensités observées sur chaque poste pour des valeurs de pas de temps variables.

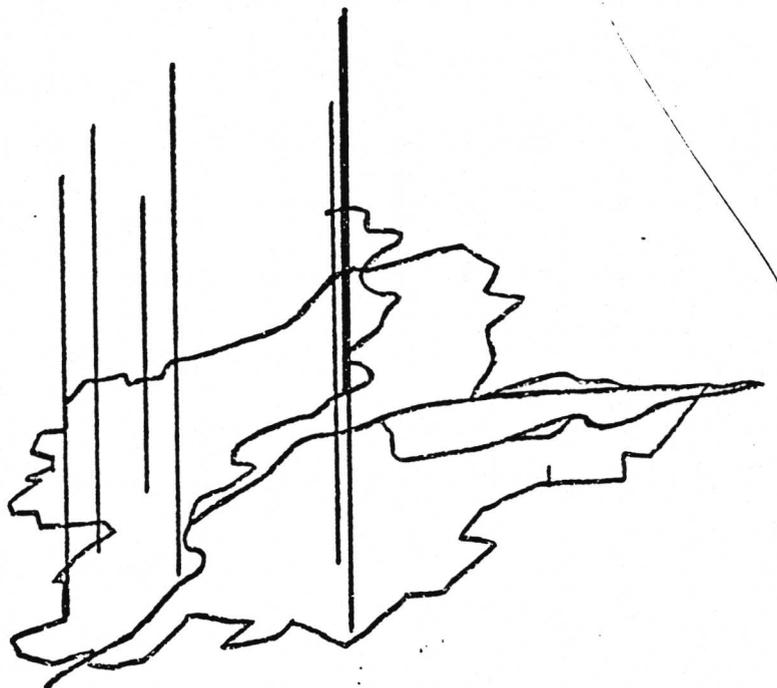
* représentation plane par des cercles centrés sur le poste qu'ils représentent et de surface proportionnelle à l'intensité précipitée.



* représentation plane par des colonnettes



* représentation en perspectives.



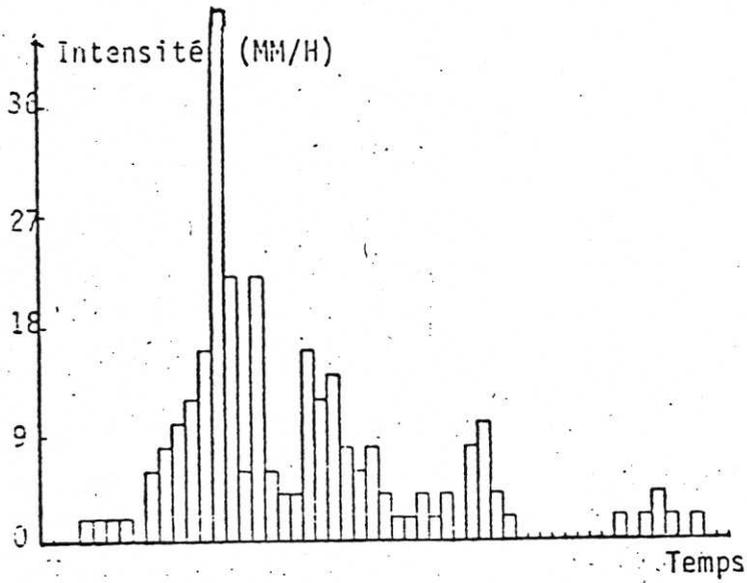
A partir de ces trois représentations (cordes simples, colonnettes, perspective avec visualisation de la COURLY), trois films ont été faits qui suivent l'évolution du processus sur les différents postes, pas de temps par pas de temps (six minutes).

Cependant, la technique utilisée (caméra vidéo) n'a pas donné d'excellents résultats et des études complémentaires sont nécessaires pour améliorer le procédé.

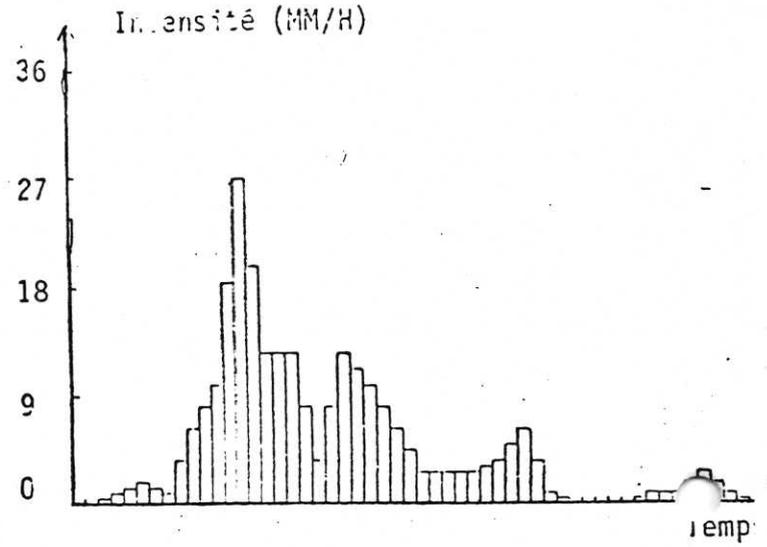
2.2.2.2. Analyse de forme des hyétogrammes

Pour analyser les formes des hyétogrammes observés, il est possible de choisir des pas d'interpolation (multiples de six minutes) quelconques, ainsi que des pas de discrétisation quelconques avant de représenter graphiquement le hyétogramme obtenu. Les figures suivantes montrent l'évolution de la forme d'un hyétogramme lorsque l'on augmente le pas de scrutation.

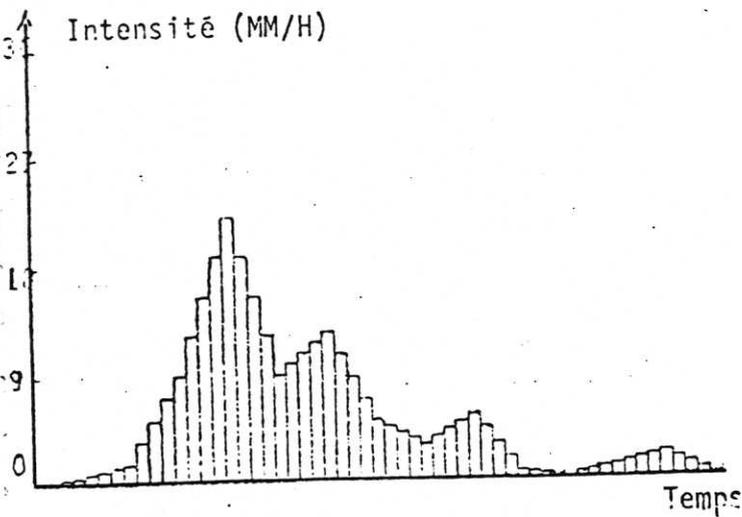
Graphes interpolés sur 6 MN ($\Delta T_i = 6MN$) selon différents pas de scrutation (ΔT_s).



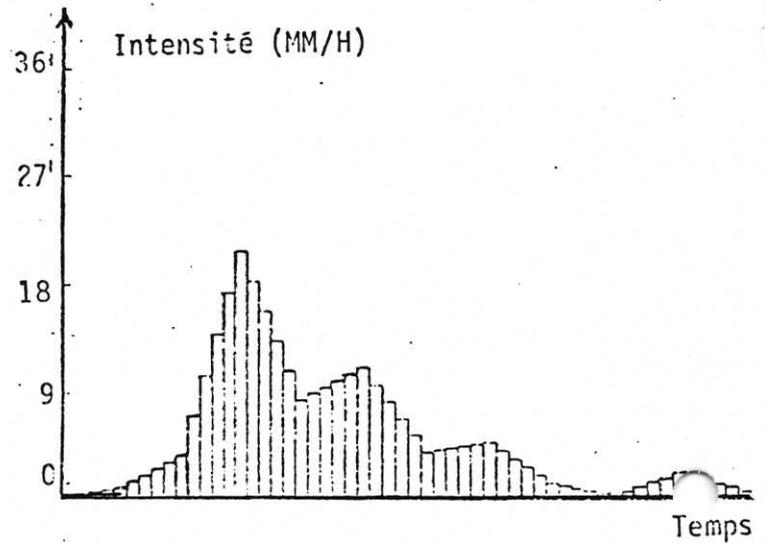
$\Delta T_s = 6MM$



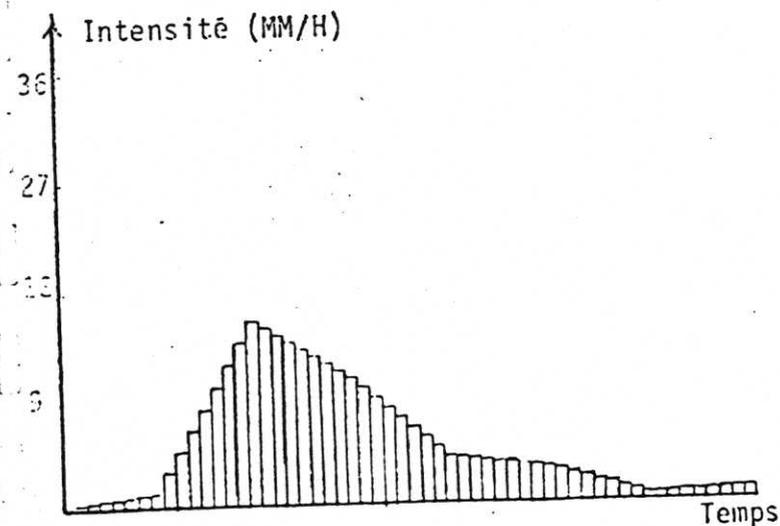
$\Delta T_s = 12MM$



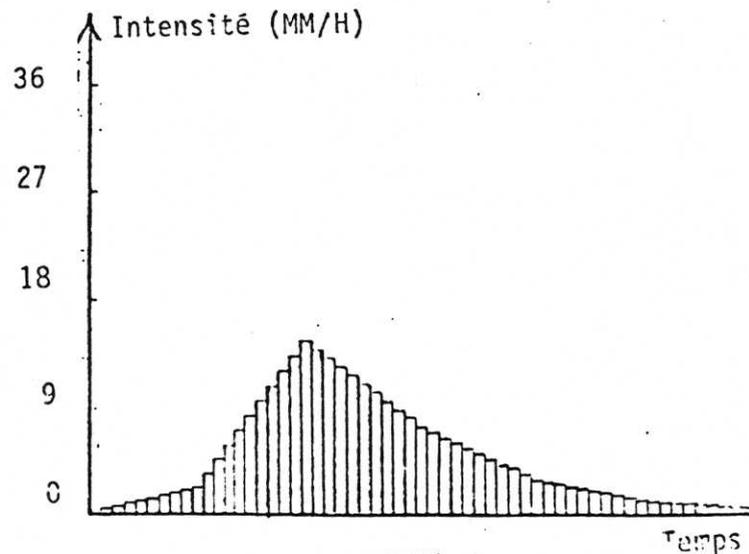
$\Delta T_s = 24MM$



$\Delta T_s = 30MM$

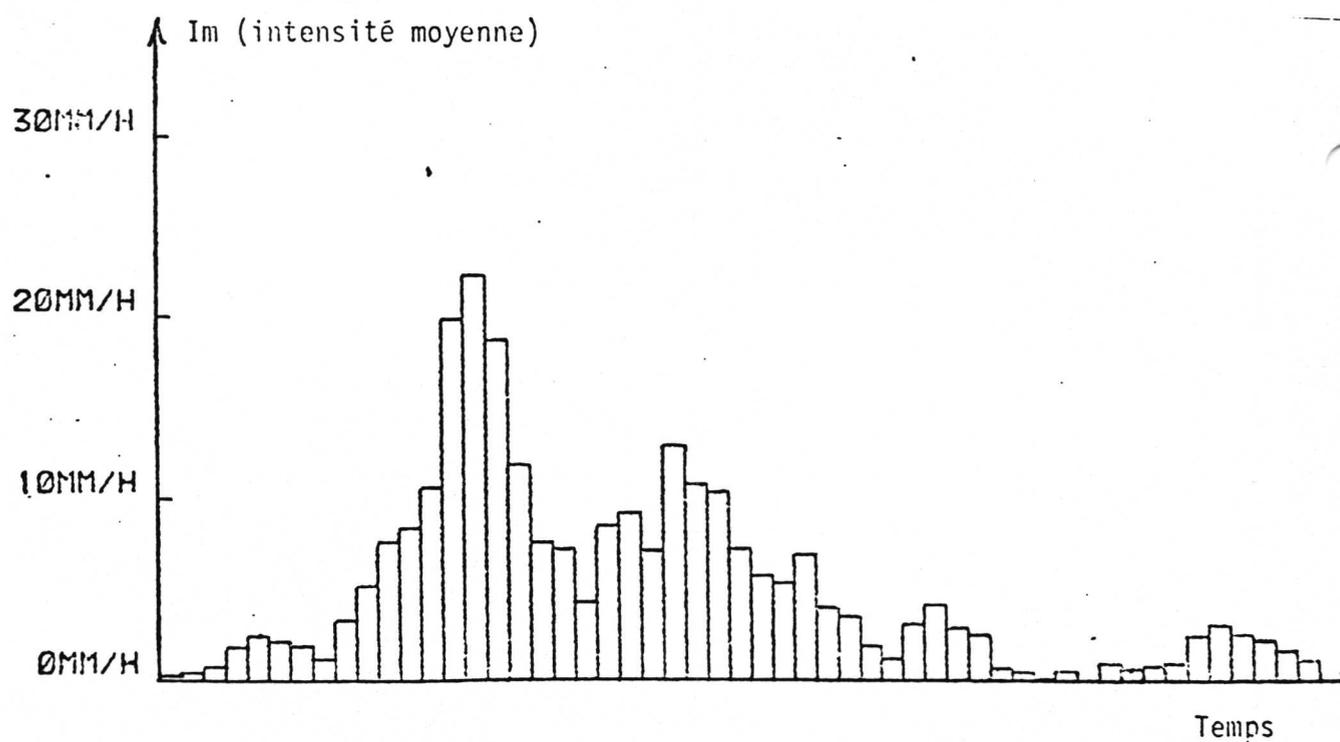
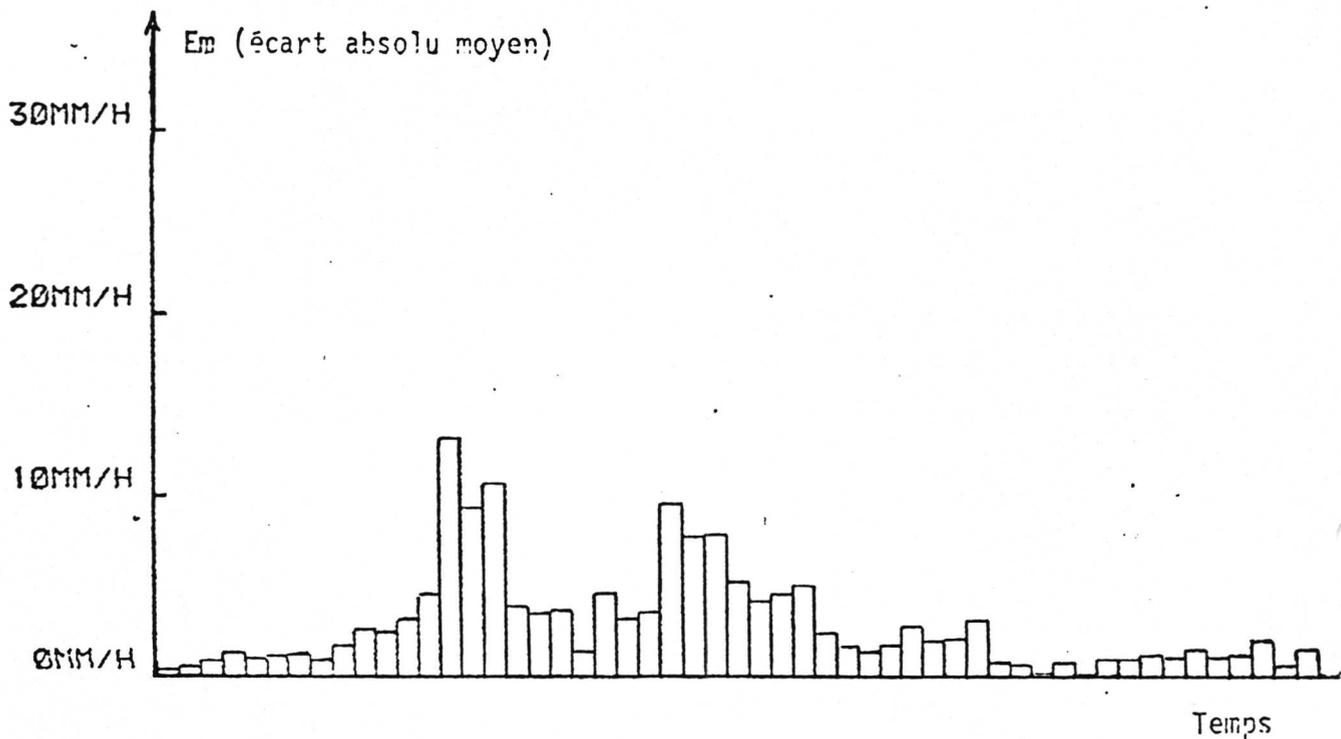


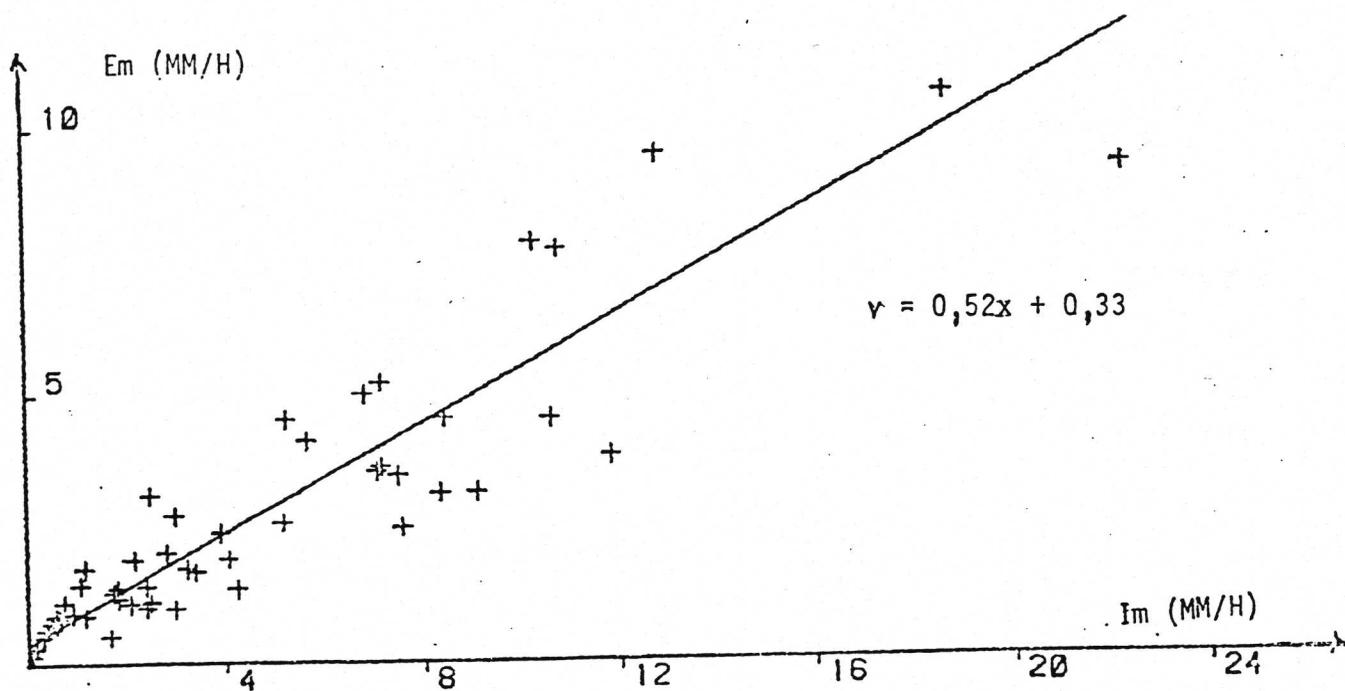
$\Delta T_s = 48MM$



$\Delta T_s = 60MM$

Il est également possible de construire un hyétogramme moyen et d'étudier graphiquement les écarts entre ce dernier et les hyétogrammes observés sur différents postes.





Dispersion spatiale des valeurs d'intensité en fonction de l'intensité moyenne

L'erreur moyenne d'approximation est : 0.75 mm/h

Pas de temps : six minutes

2.2.2.3. Modélisation et représentation de la lame d'eau précipitée

Le calcul d'une lame d'eau précipitée sur une surface à partir des informations ponctuelles fournies par les pluviomètres nécessite une modélisation spatiale du phénomène [9], [10], [11], [24]. Le système permet d'étudier quatre modèles différents de représentation spatiale.

A méthode de polygonaion

La règle utilisée est différente dans sa formulation de celle de THIESSEN (qui admet plusieurs découpages possibles). Elle consiste à associer l'intensité en un point quelconque du bassin versant à l'intensité observée sur le poste de mesure le plus près du point considéré.

B méthode de pondération simple par les distances

Cette méthode consiste à calculer une intensité sur les sommets d'un quadrillage. En chacun des sommets du quadrillage l'intensité est calculée par interpolation linéaire multiple sur les postes de mesure retenus.

$$i_s = \sum_{k=1}^{ns} \alpha_k \cdot i_k$$

i_s	intensité calculée au noeud s du quadrillage
i_k	intensité mesurée sur le poste k retenu
ns	nombre de postes retenus pour l'interpolation au noeud s
α_k	coefficient de pondération du poste k retenu

Le principe de la méthode utilisée repose sur deux notions :

- la pondération par l'inverse de la distance munie d'un exposant α fixé a priori.
- la prise en compte d'une distance d'influence D_i au-delà de laquelle un poste n'intervient pas dans le calcul de l'intensité au noeud s.

La formule utilisée s'écrit :

$$i_s = \sum_{d_{s,k} < D_i} \left[\frac{i_k (1/d_{s,k})^\alpha}{\sum_{d_{s,j} < D_i} (1/d_{s,j})^\alpha} \right]$$

C méthode de pondération croisée par les distances

Cette méthode est dérivée de la précédente. Dans cette méthode, interviennent aussi dans l'interpolation pour le calcul de l'intensité au noeud s , les noeuds adjacents situés à l'intérieur du périmètre d'action.

La formule s'écrit identiquement :

$$i_s = \sum_{d_{s,k} < D_i} \left[\frac{i_k (1/d_{s,k})^\alpha}{\sum_{d_{s,j} < D_i} (1/d_{s,j})^\alpha} \right]$$

Mais dans ce cas i_k représente, soit une intensité mesurée sur un poste pluviométrique, soit une intensité calculée sur un sommet adjacent à s .

Remarques :

. Cette deuxième méthode est beaucoup plus difficile à mettre en oeuvre que la première puisqu'elle nécessite la résolution d'un système linéaire d'équations dont les inconnues sont les intensités aux sommets (système linéaire dont la formulation dépend du nombre de postes retenus pour la modélisation). Or, dans les cas courants, le nombre d'inconnues avoisine la centaine ce qui oblige pour une résolution directe à inverser une matrice 100×100 : tâche bien au-delà des capacités du micro-ordinateur Tektronix 4054.

Nous résolvons donc le système par itérations mais la résolution est très lente et nous conseillons d'utiliser cette méthode, dans la configuration actuelle du système, uniquement pour le calcul de la lame d'eau cumulée totale de l'averse (un seul système à résoudre).

. Il découle de la définition de la pondération croisée qu'elle atténue les variations brusques de l'intensité dans l'espace. Les connaissances actuelles sur la nature du phénomène conduisent à s'interroger sur l'opportunité d'un tel raffinement d'autant plus qu'il est coûteux en temps calcul.

Pourtant, nous avons tenu à l'intégrer dans le système de traitement pour évaluer quel est l'ordre de grandeur de la différence introduite dans les résultats pour différentes pluies étudiées.

. Sur le plan théorique, cette méthode est très voisine des méthodes de krigeage.

D méthode de recherche d'une équation de lame d'eau

La technique utilisée est celle de l'approximation aux moindres carrés. Celle-ci consiste, pour un nuage de données fixé, à définir un sous-espace de fonctions analytiques dans lequel on minimisera la somme des carrés des écarts entre les intensités mesurées et les intensités calculées au droit des postes.

A chaque pas de temps on écrit :

$$I_j(x, y) = \sum_{i=1}^n \alpha_{i,j} \phi_{i,j}(x, y)$$

$I_j(x, y)$ fonction représentant la lame d'eau au pas de temps $j\Delta t$

(x, y) coordonnées du point en lequel on veut effectuer l'approximation

$\phi_{i,j}$ ième fonction de base choisie pour l'approximation à $j\Delta t$

n nombre total de fonctions de base retenues

$\alpha_{i,j}$ coefficient de la ième fonction de base au pas de temps $j\Delta t$

$\phi_{i,j}(x, y)$ est de la forme :

$$\phi_{i,j}(x, y) = x^{a_i} y^{b_i} \quad (a_i, b_i) \in (\mathbb{R}^+) \times (\mathbb{R}^+)$$

La base de fonctions choisie pour l'approximation des lames est la même pour tous les pas de temps (ie $\phi_{i,j}(x, y) = \phi_i(x, y)$). Seul le coefficient α_{ij} dépend de la variable temps.

$$I_j(x, y) = \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} \phi_i(x, y)$$

Le principe de l'approximation aux moindres carrés consiste à chaque pas de temps à déterminer les α_{ij} de telle sorte que la somme des carrés des écarts aux postes soit minimale :

A chaque pas $j \Delta t$ on a :

$$E = \sum_{k=1}^p (I_j(x_k, y_k) - i_{k,j})^2 \text{ minimum}$$

(x_k, y_k) coordonnées du poste k

p nombre de postes retenus pour l'approximation

$I_j(x_k, y_k)$ valeur approximée de l'intensité au poste k

$i_{k,j}$ valeur mesurée de l'intensité au poste k .

Remarques : Il découle de cette définition que :

- si le nombre de fonctions de base est identique au nombre de postes considérés, la méthode équivaut à une interpolation simple puisque évidemment dans ce cas E est nul, or par définition $E \geq 0$.

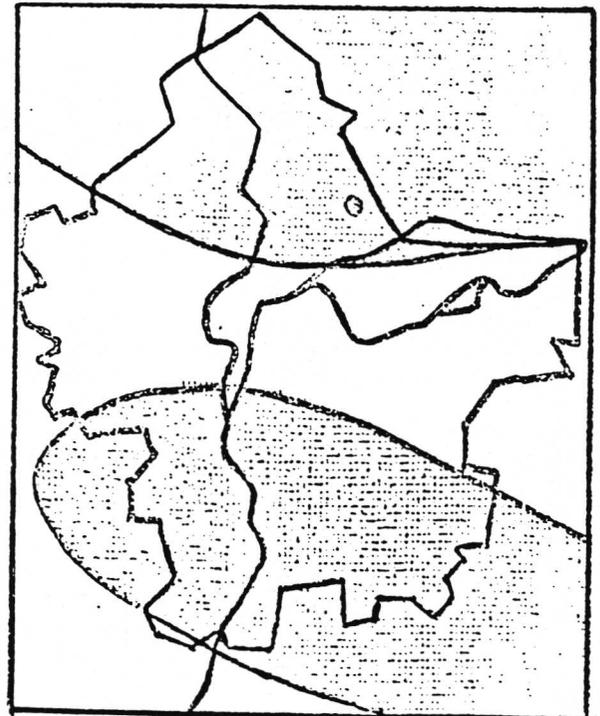
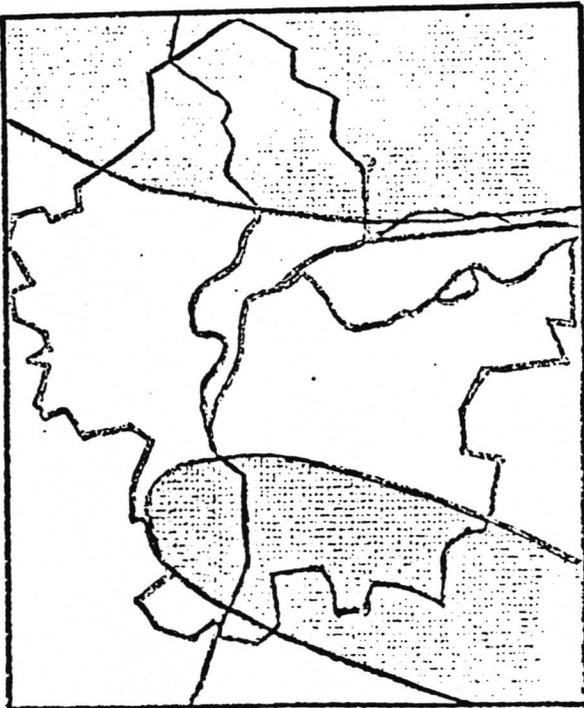
- le nombre de fonctions de base doit être inférieur ou égal au nombre de postes retenus sinon le problème est indéterminé, une infinité de solutions sont possibles.

E représentation des résultats

Pour chaque modèle, le système permet de donner une représentation graphique de la lame d'eau précipitée (pour un pas de temps quelconque).

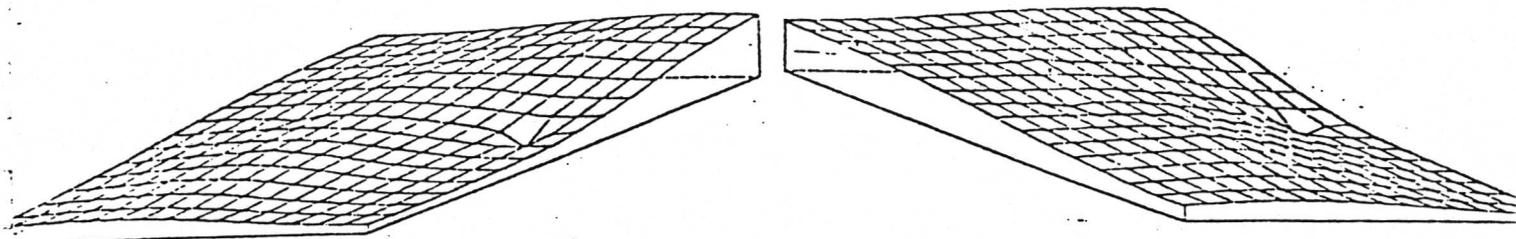
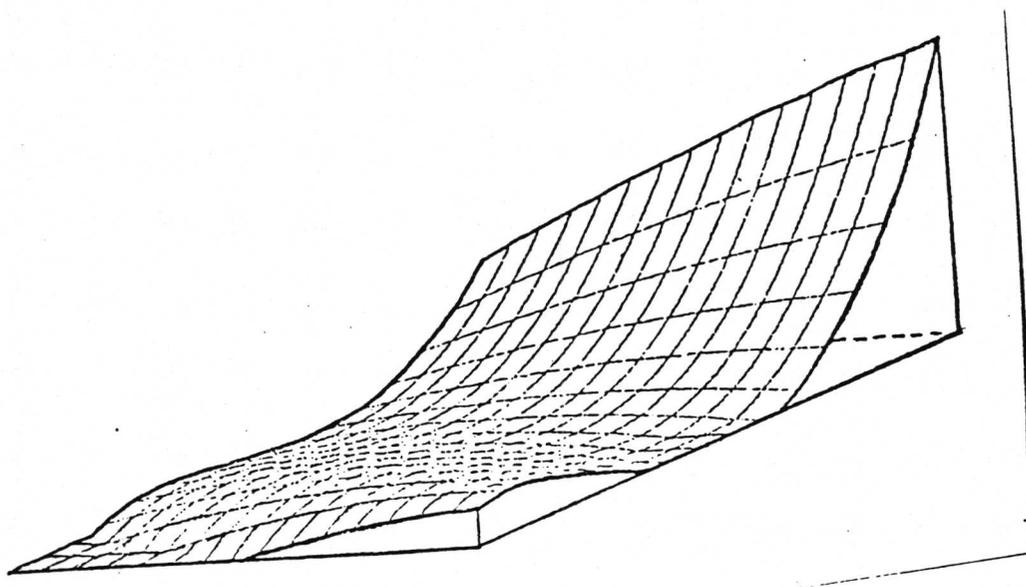
Deux types de représentations sont possibles :

- représentation de la lame d'eau seuillée



Cette représentation permet le dessin d'isohyètes ou de courbes d'égale intensité.

- représentation en perspective de la lame d'eau précipitée avec choix de l'angle d'observation.



2.2.2.4. Analyse de la trajectoire

La détermination d'une trajectoire nécessite de pouvoir définir à chaque instant la "position de la pluie". Plusieurs méthodes ont ainsi été utilisées, essentiellement à partir de données radar [7], [12], [25].

Dans le système, la méthode retenue consiste à associer la position de la pluie à celle du barycentre des intensités sur l'image entière. Seules les intensités supérieures à un seuil préalablement fixée par l'utilisateur sont prises en compte. La trajectoire est constituée par une courbe en ligne brisée passant par les positions successives du barycentre de la lame

$$P(T) = \begin{cases} P_x(T) \\ P_y(T) \end{cases}$$

$$P_x(T) = \frac{\iint_S x \cdot I(x, y, T) \, dS}{\iint_S I(x, y, T) \, ds}$$

$$P_y(T) = \frac{\iint_S y \cdot I(x, y, T) \, ds}{\iint_S I(x, y, T) \, ds}$$

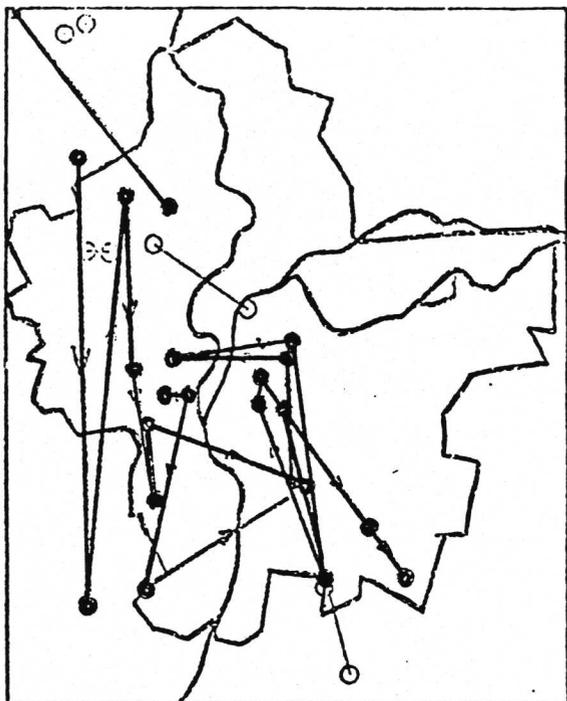
$I(x, y, T)$ champ des intensités à l'instant T avec $I(x, y, T) = 0$ si $I(x, y, T) < I_0$ (fixé par l'utilisateur)

P position de la lame

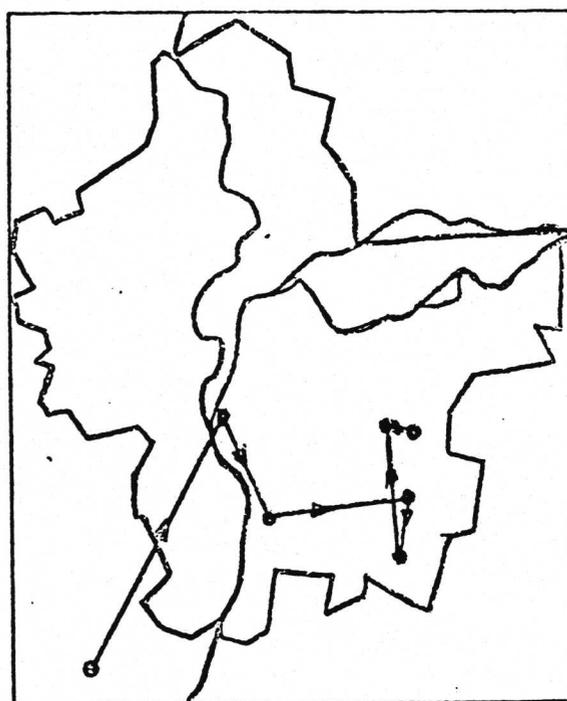
s surface d'intégration (représente le rectangle circonscrivant le territoire de la COURLY).

Les trajectoires obtenues peuvent ensuite être visualisées sur l'écran.

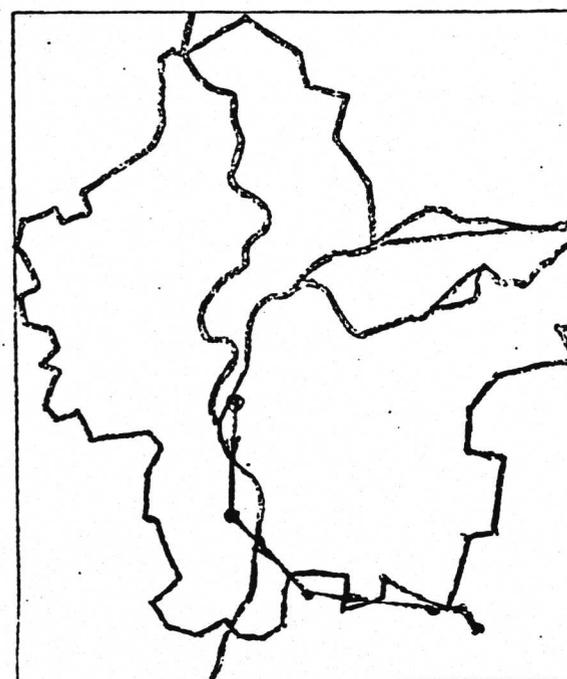
La figure suivante montre que la trajectoire ainsi déterminée, très erratique pour des pas de temps d'analyse courts, tend à se stabiliser si le pas de temps augmente.



pas de temps 6 minutes



pas de temps 18 minutes



pas de temps 48 minutes

2.2.2.5. Recherche de relations diverses

Pour compléter le système, de nombreux traitements complémentaires d'informations lui ont été rajoutés.

Ces traitements permettent de comparer entre eux les résultats obtenus par les différentes modélisations, ainsi que de les comparer avec les mesures effectuées. Ils permettent également d'analyser les écarts observés.

Il s'agit de modules d'analyse mathématiques et statistiques relativement complexes et longs à présenter. Nous renvoyons le lecteur intéressé au document technique de référence, la thèse de A. Khelil [26].

3. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La mise en place du réseau de mesures est trop récente pour que l'on dispose déjà d'une masse d'informations suffisantes pour faire progresser les connaissances sur la pluie à échelle fine de temps et d'espace.

Il s'agissait, dans un premier temps de construire un outil susceptible d'être utilisé par les chercheurs dans les années à venir.

De ce point de vue, il semble que l'objectif soit parfaitement atteint. Le système est en effet suffisamment souple et performant pour permettre une analyse rapide et complète des événements pluvieux observés. D'autre part, sa conception très modulaire lui permettra d'intégrer de nouveaux traitements au fur et à mesure que des pistes de recherche se dégageront.

A titre d'exemple une étude est en cours pour tenter de mesurer la continuité spatiale du phénomène pluvieux ainsi que la stabilité de représentation des modèles, dont les résultats sont attendus pour la fin de l'année 1986.

L'un des problèmes posés qui méritera sans doute une réflexion approfondie dans les années à venir concerne la portabilité du système et les modalités pratiques de sa mise à disposition (programmes + données) à l'ensemble de la communauté scientifique française, voire internationale : faut-il installer le système sur d'autres sites ou au contraire le considérer comme un "grand équipement" susceptible d'accueillir sur place les chercheurs intéressés. Si cette dernière solution paraît intéressante par le brassage des compétences qu'elle peut provoquer, elle pose cependant des problèmes de fonctionnement qu'il ne faut pas sous-estimer.

Dans un ordre d'idées très différent concernant l'aspect opérationnel du système, les services rendus sont d'ores et déjà importants. Le Service Assainissement de la COURLY utilise très régulièrement les données obtenues comme entrée du système SERAIL pour mieux comprendre et améliorer le fonctionnement de son réseau.

Enfin, le dernier enseignement à tirer de cette expérimentation concerne l'expérience acquise dans le domaine du matériel et de son exploitation. Il s'agit malheureusement d'un domaine où la transmission de la compétence est très difficile. Cependant, les difficultés rencontrées et les solutions utilisées peuvent être d'utiles informations pour les gestionnaires de réseaux qui dans les années à venir souhaitent installer un réseau de mesures pluviométriques.

BIBLIOGRAPHIE

| 1| S. THIBAUT

"Eléments pour une phénoménologie en hydrologie urbaine"

Thèse DI - INSA - p. 313 - 1981

| 2| S. THIBAUT

"Sciences et techniques de l'assainissement" - Tome 1 : hydrologie urbaine

Polycopié - INSA - 1982

B. CHOCAT - S. THIBAUT

"Sciences et techniques de l'assainissement" - Tome 2

Polycopié - INSA - 1982

B. CHOCAT

"Sciences et techniques de l'assainissement" - Tome 3

Polycopié - INSA

| 3| BEDIOT

"La météorologie"

VIème série - N° 20 - Mars et Juin 1980 - pp 3/7

| 4| J. JACQUET

"Aspects généraux de la représentation mathématique des phénomènes en hydrologie de surface"

La Houille Blanche - N° 2 - 1971 - p. 6

| 5| B. CHOCAT

"Un système d'aide à la gestion, la prévision et la conception des équipements d'assainissement"

Thèse DE - INSA - p. 313 - 1981

| 6| SERVICES TECHNIQUES DE L'URBANISME

"Catalogue des appareils de mesure des précipitations"

Document provisoire - Avril 1985

| 7| M. CICCIONE

"Essais de prévision immédiate sur les données du radar de dammartin en goelle"
Rapport de stage de recherche - Ecole Nationale de la Météorologie - Juin 1983

| 8| DESBORDES - RAOUS

"Fondements de l'évolution d'une pluie de projet urbaine : méthode d'analyse et application à la station de Montpellier Bel Air"
La Météorologie - VIème série - N° 20 - Mars/Juin 1980 - pp 317/327

| 9| J. NIEMCZYNOMICZ

"Areal Rainfall - an improved input for modeling run-off"
Proceeding of the third International Conference on Urban Storm Drainage - Göteborg - Sweden - June 1984 - Vol. 1 - pp 335/341

|10| ITURBE - MEJIA

"On the transformation of point rainfall to areal rainfall"
Water Resources Research - Vol. 10 n° 4 - August 1974 - pp 729/773

|11| NGUYEN - ROUSSELLE - MCPHERSON

"Evaluation of areal versus point rainfall with sparse data"
Revue Canadienne de Génie Civil (Vol. 8 n° 2 - 1981 - pp. 173/178

|12| EINFALL - SCHILLING

"A storm tracking procedure for a micro-computer"
Proceedings of the third international conference on urban storm drainage
Göteborg, Sweden June 1984 - Vol. 1 - pp. 353/361

|13|

"Guide for collection, analysis, and use of urban stormwater data"
Conference report, Tidewater Inn, Easton Maryland (USA) - Nov/Déc 1976 - American Society of Civil Engineers

|14|

"Notice descriptive du pluviomètre transducteur d'impulsions ROI 3030A précis mécanique"

|15| GUILLOT - DUBAND

"Les précipitations en six minutes, premier examen de quelques mois d'enregistrement sur cassette magnétique"
La Houille Blanche - N° 7/8 - 1981 - pp 569/577

|16| FERREO - GALEA

"Saisie directe sur le site de l'information pluviographique"

La Houille Blanche - N° 7/8 - 1981 - pp 471/479

|17| COLIN - ROUQUEROL

"Elaboration d'une chaine standardisée d'enregistrement numérique de données pluviométriques sur le site d'observation"

Société Hydrotechnique de France - Journées d'études précipitations atmosphériques - 2/3 Mai 1984 - pp 19/22

|18| A. KHELIL - B. CHOCAT

"Mise en place d'un système de mesures pluviographiques - premier rapport d'avancement : traitement des données"

Convention INSA-COURLY N° 2.539 - Octobre 1984

|19| BOCQUILLON - CAMBON

"Etude des pluies orageuses sur la région parisienne"

Rapport du Laboratoire d'Hydrologie Mathématique de Montpellier - 4/77 - Février 1977 - p 42 + annexes

|20| BEDIOT - BELLOSTAS - BOCQUILLON - MASSON

"Pluies orageuses en région parisienne"

La Météorologie - VIème série - N° 20 - Mars/Juin 1980 - pp 287/295

|21| P. MISME

"Dimension des cellules de pluies"

La Météorologie - VIème série - N° 20 - Mars/Juin 1980 - pp 299/303

|22| A. KHELIL - B. CHOCAT

"Archivage des données pluviométriques - deuxième rapport d'avancement" - Convention INSA-COURLY n° 2.539 - Mars 1985

|23| CORGIER - ROULENDES

Rapport de projet de fin d'études Génie Civil - INSA - 1983

|24| BOCQUILLON - MASSON - ONSOY

"Calcul des lames d'eau à partir des relevés pluviométriques ponctuels : méthode MTH"

La Météorologie - VIème série - N° 20 - Mars/Juin 1980 - pp 201/205

|25| C. DAMANT et al

"Radar rain force casting for waste water control"

Journal of Hydraulic Engineering - Vol. 109 - N° 2 - Feb. 1983 - pp 293/297

|26| A. KHELIL

"Elaboration d'un système de stockage et exploitation de données pluviométriques - Contribution à l'analyse et à la modélisation spatio-temporelle du phénomène pluvieux"

Thèse DI 85.34 - INSA Lyon - 18 novembre 1985 - p 295

|27| COURLY

"Présentation du réseau de pluviomètres"

A paraître.