

ANALYSE GEOSTATIQUE DES CARACTERISTIQUES SPATIALES  
DES EPISODES PLUVIEUX INTENSES AFFECTANT LA  
REGION PROVENCE - COTE D'AZUR - RIVIERA ITALIENNE

P.M. LEHUCHER (\*)  
C. OBLED (\*\*)

INTRODUCTION

Le travail présenté ici s'inscrit dans le cadre des travaux de recherche conduits par le groupe d'hydrologie de surface de l'Institut de Mécanique de Grenoble sur les épisodes pluvieux intenses affectant les régions du Sud-Est de la France. S'inspirant des résultats acquis sur les Cévennes, une analyse des caractéristiques spatiales des épisodes pluvieux intenses d'automne est conduite sur la frange littorale de la Région Provence Côte d'Azur Riviera Italienne (P.CARI) par cartographie, analyse dont les résultats sont critiqués à l'aide d'outils statistiques (variogramme). L'objectif de cette étude étant de reconstituer des séries hydrologiques sur des zones peu instrumentées, une méthodologie de reconstitution- validation des séries ponctuelles obtenues par interpolation spatiale est proposée.

I - PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET DES RESEAUX DE MESURE

La zone d'étude sur laquelle est conduite cette recherche, est une frange littorale s'étalant sur une profondeur d'environ 70 km depuis le Delta du Rhône jusqu'à Savone, sur la Riviera Italienne. Baptisée Provence - Côte d'Azur - Riviera Italienne (P. CARI), cette région est constituée d'une succession de petits bassins versants montagneux, dont la direction est tournée vers le littoral.

Ainsi que le montre les trois figures suivantes (I à III), on distingue sur cette région trois réseaux de mesures. Le réseau général (RG) sur l'ensemble de la zone d'étude (fig.I), le réseau dense du bassin expérimental du Réal Collobrier (RD) géré par le CEMAGREF d'Aix-en-Provence, ces deux réseaux RG et RD étant constitués de pluviographes alors que le troisième, le réseau du bassin versant du Paillon est un réseau de pluviomètres (RP). Dans les tableaux suivants, les principales caractéristiques de ces réseaux sont résumées ; il y apparaît un quatrième réseau de mesure, celui du massif des Maures (RM), qui est une partition du réseau général autour du bassin du Réal Collobrier, auquel on rajoute les stations du bassin du Réal Collobrier pour obtenir un réseau plus dense (RD).

\* Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement Méditerranée -  
Aix-en-Provence  
\*\* Institut de Mécanique de Grenoble

## ZONES D'ÉTUDE

Zone d'étude	Dimensions Max. (km)	Superficie (km <sup>2</sup> )	Orientation	Attitudes caractéristiques
P.C.A.R.I.	70 x 300	19.000	W - E	Chaîne Ste Baume 1.100 m Massif des Maures 780 m Alpes littoral (Mont Gramont) 1.378 m
MAURES	60 x 80	4.000	W - E	Alt. Max. : 780 m Alt. Moy. : 270 m
REAL - COLLOBRIER	16 x 21	100	W - E	Alt. Max. : 780 m Alt. Moy. : 320 m
PAILLON	15 x 25	250	S - N	Alt. Max. : 1.378 m Alt. Moy. : 562 m

## RÉSEAUX DE MESURE

Zone d'étude	Réseaux	Nombre de stations	Densité
P.C.A.R.I.	RG	93	1 poste / 200 km <sup>2</sup>
MAURES	RM RD	19 43	1 poste / 200 km <sup>2</sup>
REAL - COLLOBRIER	RC	30	30 postes / 100 km <sup>2</sup>
PAILLON	pluviomètres	14 (*)	

(\*) Nous rappelons que le réseau du Paillon n'est constitué que de pluviomètres alors que les autres sont des réseaux de pluviographes.

II - CARTOGRAPHIE DES EPISODES PLUVIEUX INTENSES SUR LA REGION PROVENCE -  
COTE D'AZUR - RIVIERA ITALIENNE

En appliquant les critères suivants :

- P 24h 50 mm
- P 1 h 10 mm sur trois stations,

une sélection des 10 épisodes pluvieux les plus intenses sur la période 1974-1982 a fait l'objet d'un dépouillement des pluviographes obtenus pour les réseaux pré-cités, au pas de temps horaire. A l'image des épisodes étudiés sur les régions Cévennoles, ces épisodes se situent principalement en automne (voir tableau ci-après)

EPISODES PLUVIEUX SELECTIONNES :

Année	Nombre de jours	Date de début	Date de fin	N° d'épisode
1975	3	13/09/75	15/09/75	PROV Ø 75
1976	4	09/09/76	12/09/76	PROV 761
1976	6	09/10/76	14/10/76	PROV 762
1976	7	23/10/76	29/10/76	PROV 762
1977	3	20/11/77	22/11/77	PROV Ø 77
1979	4	03/10/79	06/10/79	PROV 791
1979	8	10/10/79	17/10/79	PROV 792
1979	4	13/11/79	15/11/79	PROV 793
1980	1	27/08/80	27/08/80	PROV Ø 80
1981	3	25/09/81	27/09/81	PROV Ø 81

Un tracé systématique des champs de pluie par interpolation Spline type "plaque-mince" à été entrepris. Nous ne rappellerons pas ici les principes théoriques de ces méthodes, qui sont par ailleurs largement développés (OBLED, 1986)

Nous présentons (fig.4) un exemple des cartes obtenues à partir du réseau général, pour l'épisode du 12.10.1976. Des noyaux denses de pluie (P 1h 20 mm) semblent être clairement identifiables, localisés sur les moyennes vallées des cours d'eau côtiers, et immobilisés durant les heures les plus intenses de l'épisode. Si cette situation n'est pas la seule qui ait été identifiée, elle est néanmoins fréquemment rencontrée au cours de notre travail de cartographie.

Fig.4

EPISODE PROV 762 du 09/10/1976 au 14/10/1976

Aspects dynamiques

12/10/76

11<sup>h</sup> à 12<sup>h</sup>



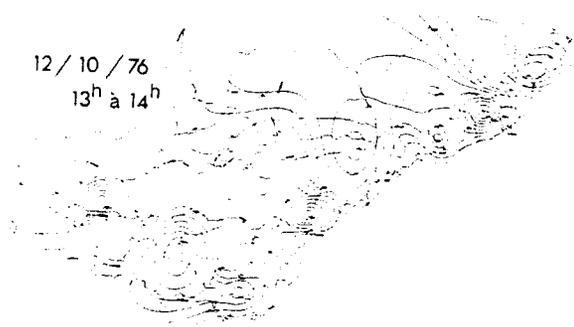
12/10/76

12<sup>h</sup> à 13<sup>h</sup>



12/10/76

13<sup>h</sup> à 14<sup>h</sup>



12/10/76

14<sup>h</sup> à 15<sup>h</sup>



Conscient de la relative faiblesse de notre réseau de mesure qui, du fait d'une densité moyenne de points de mesure relativement médiocre peut avoir "lissé" des phénomènes à plus petite échelle, nous avons entrepris de comparer sur le bassin du Réal Collobrier les cartes obtenues à partir du réseau lâche à celles obtenues à partir du réseau dense. Cette étude a été effectuée en collaboration avec le groupement d'Aix-en-Provence du CEMAGREF. Un exemple de cette comparaison est donné (fig.5). Pour certains champs horaires, la comparaison des champs obtenus par interpolation spline montre qu'une augmentation importante de la densité du réseau n'apporte qu'une légère déformation des isohyètes, sans affecter en de grandes proportions les moyennes spatiales sur le bassin. Par contre, sur l'exemple présenté ici, les résultats obtenus par le réseau lâche qui a "ignoré" du fait de sa trop faible densité un noyau de pluie intense affectant le bassin du Réal Collobrier, modifient ainsi non seulement le tracé des isohyètes mais également la valeur de la moyenne spatiale dans les grandes proportions. Même si ce type de situation reste limité à des épisodes exceptionnels, il nous a semblé néanmoins utile de procéder à une analyse plus fine des caractéristiques spatiales de ces épisodes en mettant en oeuvre des techniques géo-statistiques, afin de reconnaître notamment la faculté du réseau général à représenter effectivement ces caractéristiques spatiales.

### III ANALYSE GEOSTATISTIQUE DE CHAMPS DE PLUIE HORAIRES

Nous avons donc procédé à une analyse statistique des champs horaires sélectionnés, par calcul des variogrammes  $\gamma(h)$  sur le réseau général, puis sur le réseau dense du Bassin du Réal-Collobrier par :

avec

$h$  = classe d'interdistances

$N(h)$  = nombre de couples de points  $(t_i, t_i + h)$  de la classe  $h$

$Z(t_i)$  = valeur de la pluie horaire au point  $t_i$

Nous présentons ci-après quelques résultats obtenus de calcul de variogramme brut (fig.6) et de variogrammes climatologiques (fig.7) sur les deux réseaux (RG) et (RD).

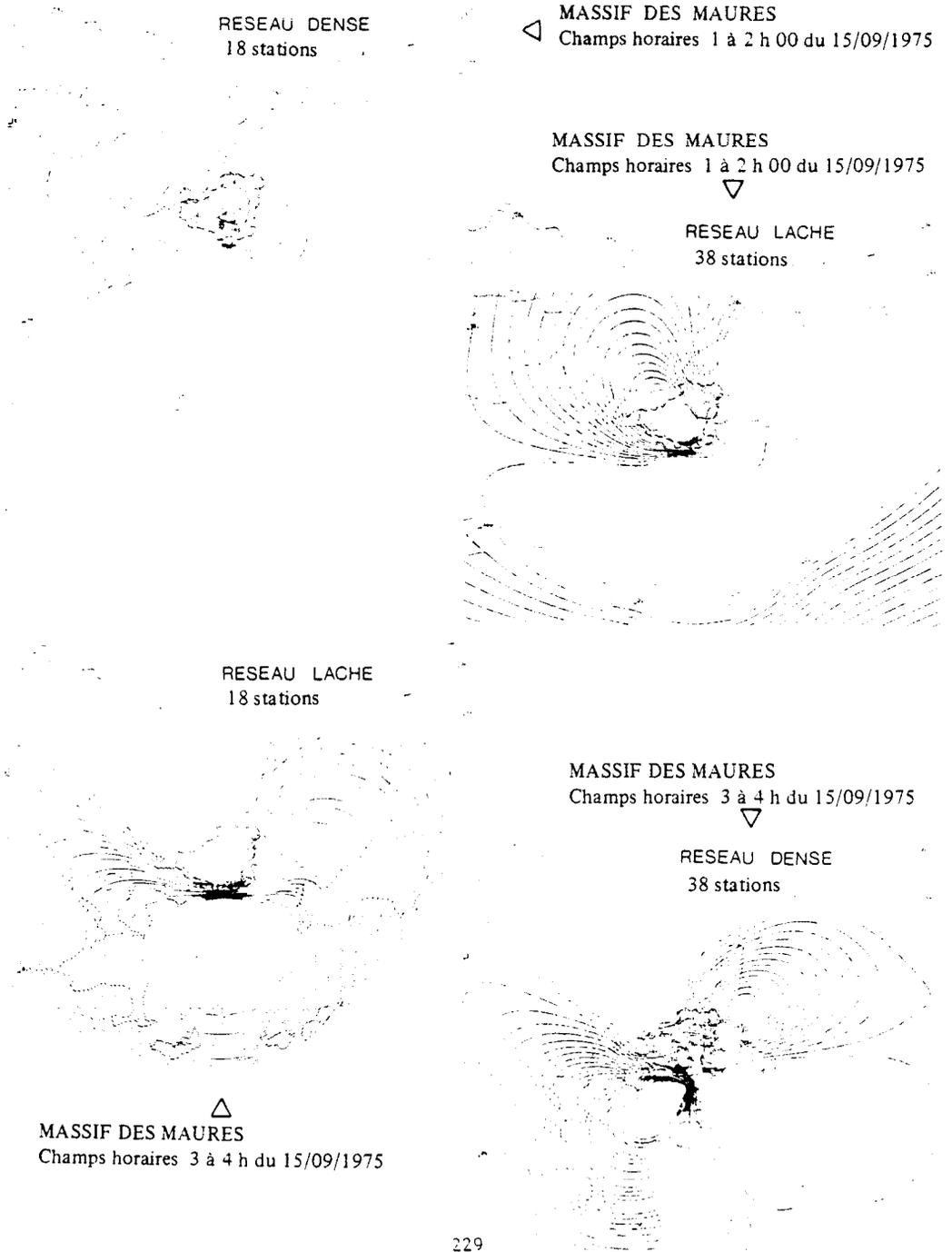
Ces résultats mettent en évidence plusieurs caractéristiques de la répartition spatiale des épisodes internes étudiés :

- le calcul des variogrammes par azimuth (ou secteur de direction) - l'azimut 1 étant le secteur des directions parallèles au littoral et l'azimut 2 perpendiculaire à l'azimut 1 - fait apparaître une nette anisotropie, caractérisant l'étalement des zones de pluies intenses le long de la frange littorale.

- outre les irrégularités des variogrammes aux grandes distances dues au faible nombre de couples dans les classes élevées d'interdistances, on note la présence d'un pallier que l'on peut observer à partir de 30-50 km environ pour l'azimut 1 et 20-30 km pour l'azimut 2. Ce pallier conduit à la détermination d'une "distance de décorrélation", ou portée fonction de la direction considérée.

Fig.5

INFLUENCE DE LA DENSITE DU RESEAU SUR LE TRACE DES ISOHYETES (SPLINE



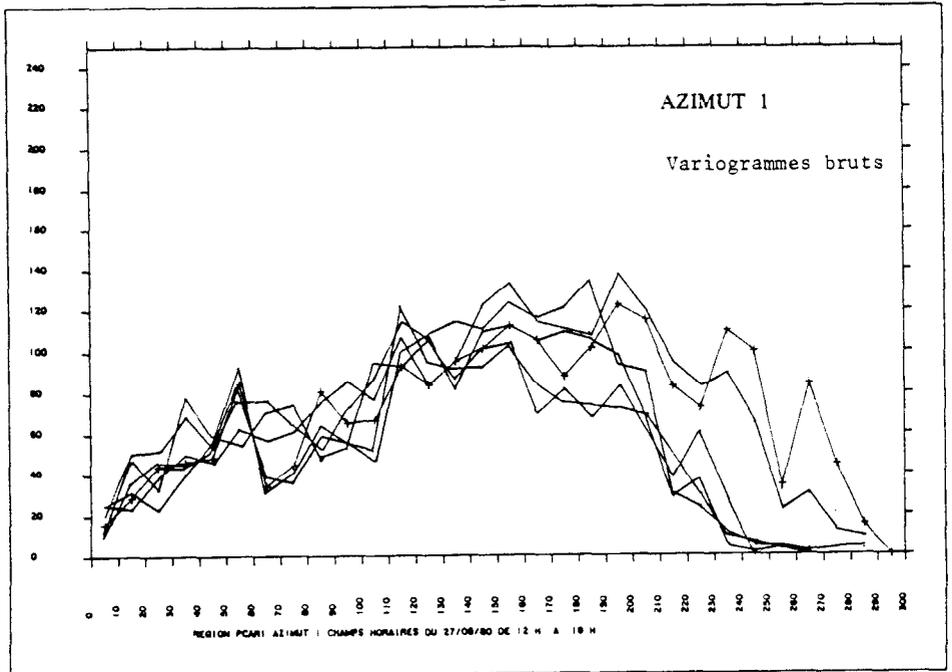
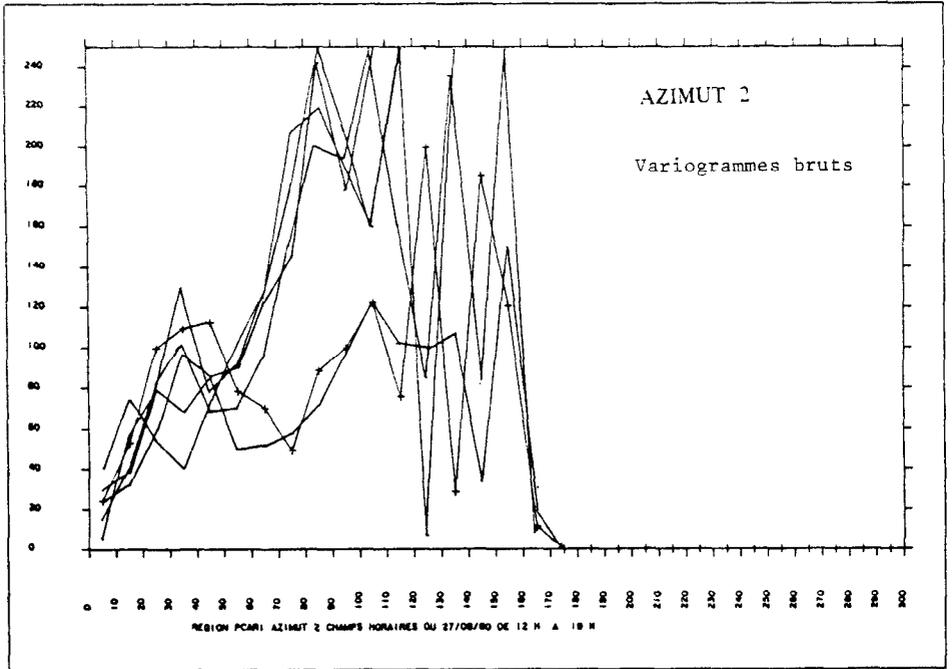


Fig. 6 : Variogrammes bruts sur la région P.CARI

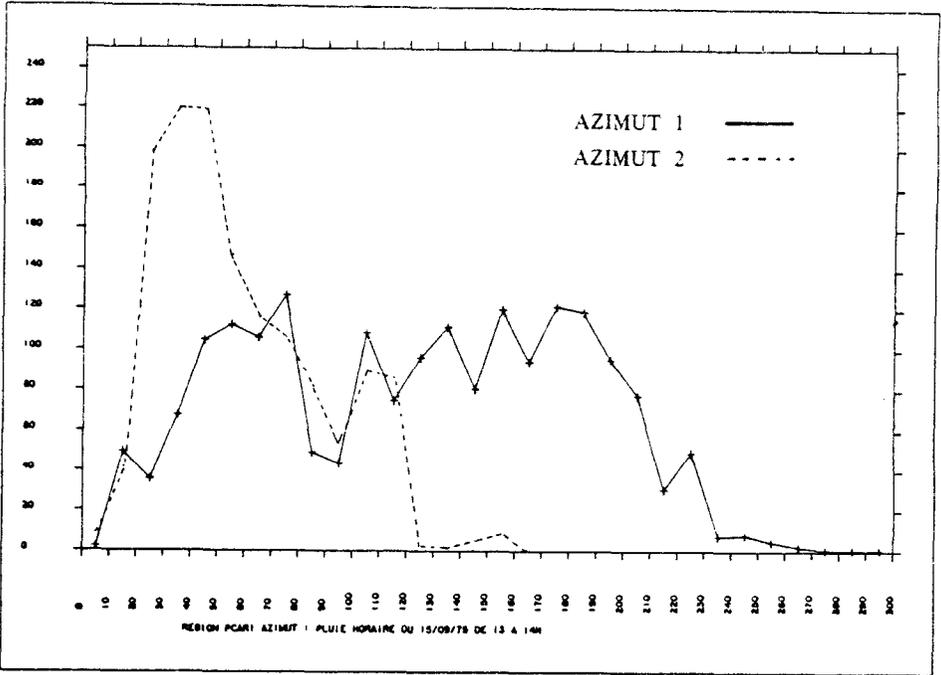


Fig.7 : Variogramme climatologique sur P.CARI

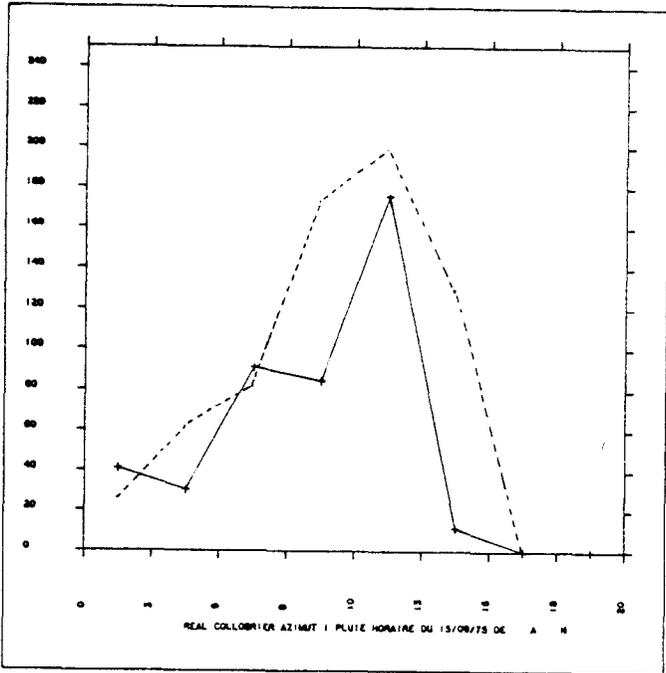


Fig.8 : Variogramme climatologiques sur le bassin du Réal-Collobrier

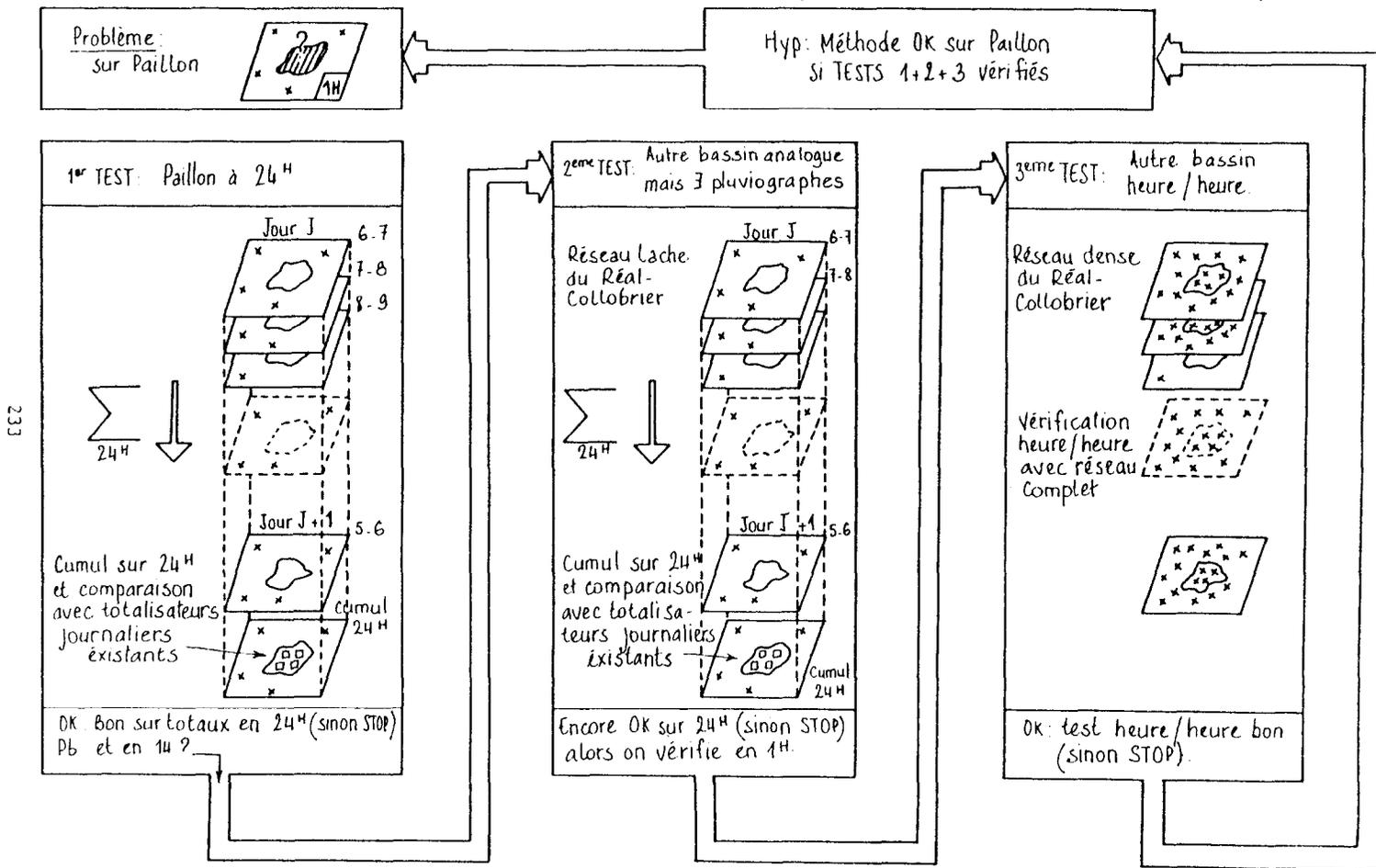
Enfin, on constate sur la plupart des variogrammes brut obtenus, l'existence d'une ordonnée à l'origine, appelée "effet de pépite" par similitude avec la terminologie des géologues, d'une valeur de 0,35. On pourrait attribuer ce phénomène à l'impuissance du réseau général à rendre compte des phénomènes à petites échelles. En fait, l'apparition du même effet sur le réseau dense du Réal Collobrier, avec une allure générale et une anisotropie sensiblement identiques à celles du réseau général, montre que cet effet serait plutôt du à une micro-régionalisation d'échelle, ou éventuellement à certaines erreurs de mesures. On en déduit que si pour certains épisodes, les réseaux laches laissent échapper une part importante de l'information, par contre dans la plupart des cas, ils sont suffisants pour donner une image assez bonne de l'allure générale de la structure spatiale des épisodes à l'échelle de la région.

#### IV - PROPOSITION D'UNE METHODOLOGIE DE RECONSTITUTION-VALIDATION DE SERIES HORAIRES SUR LE BASSIN VERSANT DU PAILLON

Le Paillon, petit fleuve côtier des Alpes-Maritimes traversant la ville de Nice, draine un bassin versant de 250 km<sup>2</sup> dans l'arrière pays Niçois. Des études hydrologiques conduites sur ce bassin ont fait apparaître la nécessité de disposer de séries de pluies à des pas de temps de l'ordre de l'heure, compatibles avec les temps caractéristiques de formation et de propagation de crues sur le bassin. Or, ce bassin qui a été correctement instrumenté en pluviomètres totalisateurs journaliers n'a jamais été par le passé équipé pendant des durées significatives de pluviographes donnant des séries de pluies à des pas de temps inférieurs à la journée. Cependant, le bassin est entouré d'une zone équipée de pluviographes ainsi que le montre le réseau présenté en figure 1. Une reconstitution par interpolation spatiale pourrait donc être une solution à l'obtention de séries horaires ponctuelles, dans la mesure où une méthodologie de "validation" de ces reconstitutions permet d'en connaître l'objectivité. En nous appuyant sur l'existence du réseau dense du bassin du Réal-Collobrier, nous proposons une méthodologie de reconstitution-validation, dont le principe est de vérifier sur le bassin correctement instrumenté la validité des séries reconstituées par interpolation, puis d'étendre cette validation au bassin du Paillon. Deux étapes de validation sont proposées dans l'organigramme ci-après, la première portant sur la comparaison des séries journalières mesurées et reconstituées sur les deux bassins, puis sur la comparaison des séries horaires mesurées sur le bassin du Réal-Collobrier.

Fig.9

# IV-b METHODOLOGIE DE RECONSTITUTION - VALIDATION (organigramme simplifié)



Dans le tableau suivant (fig.10) de comparaison entre valeurs mesurées et reconstituées sur le bassin du Réal-Collobrier, les résultats de la validation sont présentés synthétiquement par classes de contingences. Cette comparaison porte sur environ 1500 h/station dont 187 ont permis d'observer une pluie supérieure à 5 mm/h et 87 supérieure à 10 mm/h. Les résultats obtenus par deux méthodes d'interpolation, les Fonctions Spline et le Krigeage sont confrontés. Globalement, les résultats sont relativement bons pour les intensités horaires inférieures à 10 mm, puis se dégradent assez rapidement pour les grandes intensités. Ces résultats se confirment lorsque l'on analyse, par épisode, la forme d'un hyétoگرامme (fig.11).

#### V - CONCLUSION

Nous avons voulu montrer à travers cette brève présentation de notre recherche, l'utilité pratique des méthodes géostatistiques utilisées ici d'une part pour la critique de résultats fondamentaux sur l'analyse des caractéristiques spatiales d'épisodes pluvieux intenses, d'autre part pour la mise au point d'une technique d'étude en hydrologie. Nous n'avons présenté ici qu'une synthèse des résultats obtenus ; ceux-ci étant plus largement exposés. dans les travaux publiés par le groupe d'hydrologie de surface de l'IMG.

Fig.10 : Reconstitution-validation de séries horaires ponctuelles sur le bassin du Réal-Collobrier

235

1250	0	0	0	0	0	0	13% (2)	20% (1)
200-250	0	0	0	1% (1)	3% (1)	6% (1)	26% (4)	20% (1)
150-200	0	0	0	3% (3)	3% (1)	38% (5)	18% (3)	60% (3)
100-150	0	0	0	3% (3)	48% (18)	38% (5)	30% (5)	0
50-100	0,1% (5)	5% (9)	21% (19)	73% (76)	30% (11)	16% (2)	0	0
30-50	1% (11)	21% (37)	55% (49)	14% (15)	8% (3)	0	13% (2)	0
10-30	7% (78)	57% (72)	22% (20)	3% (4)	5% (2)	0	0	0
0-10	91% (972)	15% (26)	1% (4)	3% (3)	3% (1)	0	0	0
	0-10	10-30	30-50	50-100	100-150	150-200	200-250	1250

Obtenu par Krigeage

1250	0	0	0	0	3% (1)	15% (2)	18% (6)	6% (3)
200-250	0	0	0	1% (1)	3% (1)	30% (4)	13% (2)	20% (1)
150-200	0	0,5% (1)	0	1% (1)	11% (4)	8% (1)	18% (3)	20% (1)
100-150	0,2% (2)	0	4% (3)	11% (2)	40% (15)	30% (4)	8% (3)	0
50-100	0,1% (1)	10% (18)	30% (26)	60% (62)	16% (6)	16% (2)	0	0
30-50	1% (10)	29% (50)	40% (36)	16% (17)	13% (5)	0	13% (2)	0
10-30	8,2% (82)	42% (72)	22% (20)	6% (6)	11% (4)	0	0	0
0-10	90% (971)	17% (29)	4% (4)	5% (5)	3% (1)	0	0	0
	0-10	10-30	30-50	50-100	100-150	150-200	200-250	1250

Obtenu par Fonction Spline

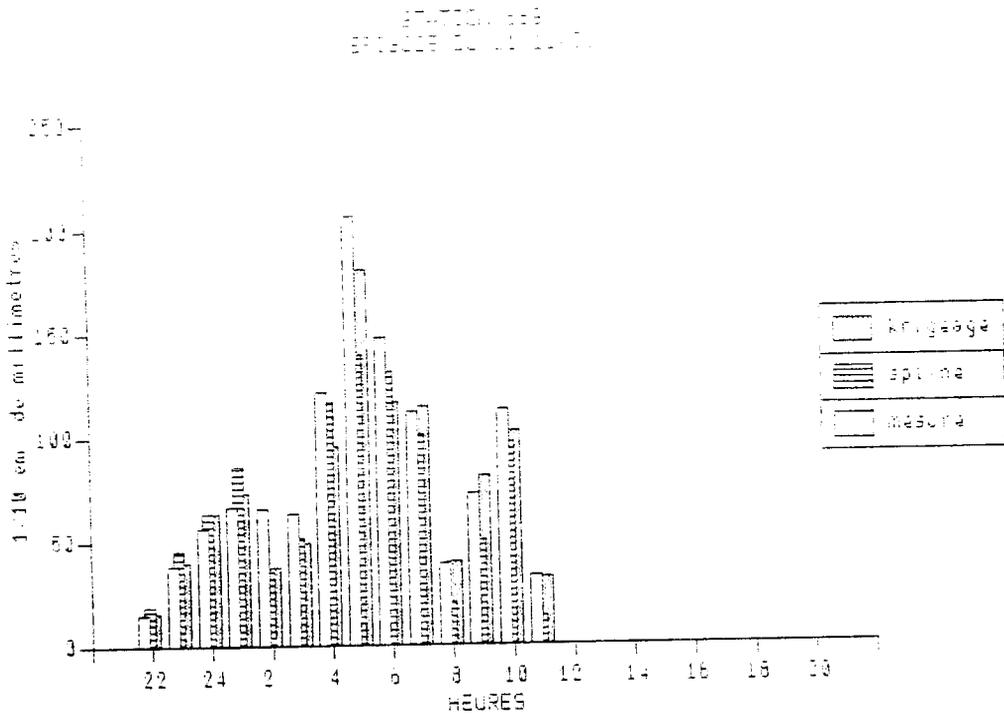
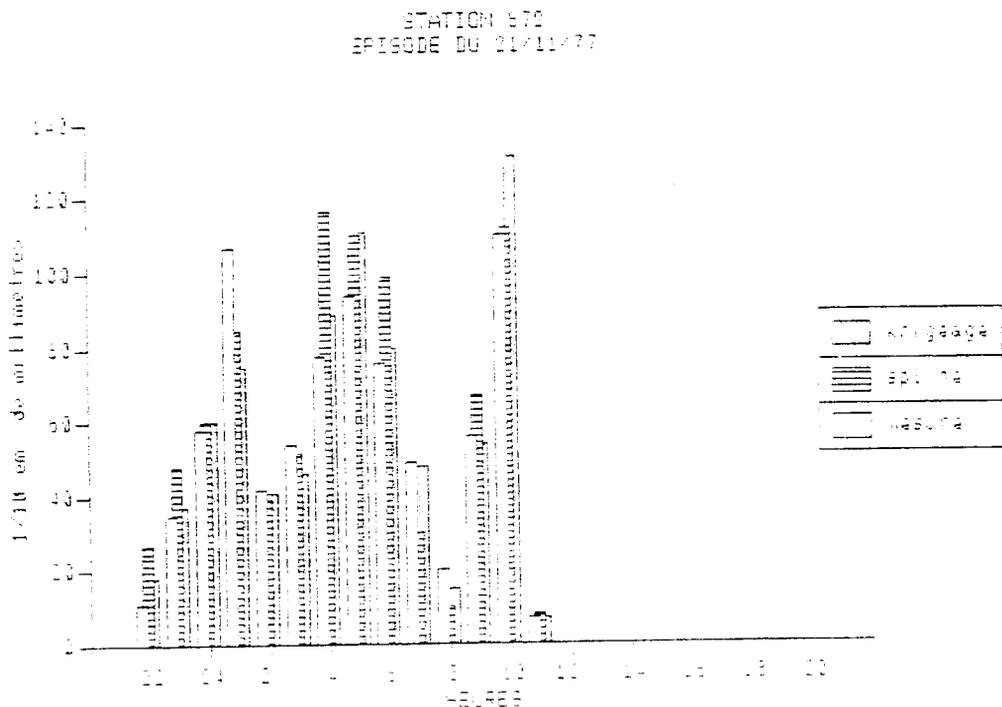


Fig.11 : Reconstitution des hyétogrammes en deux points du bassin du Réal-Collobrier



### BIBLIOGRAPHIE

- R. FLORENT 1953 Le Quart Sud-Est Français - N.I.T.-M.N.
- J. MERTZ 1957 Essai de classification de types de temps sur les Alpes - N.I.T.-M.N.
- A. ORIEUX 1960 Front orageux d'Ouest à Sud - Ouest sur le littoral méditerranéen - N.I.T.-M.N.
- J.D. CREUTIN 1979 Méthode d'Interpolation Optimale de champs hydrométéorologiques. Comparaisons et applications à une série d'épisodes pluvieux cévenols - I.N.P.G.
- J.D. CREUTIN 1980 Analyse spatiale et temporelle des épisodes pluvieux cévenols - I.N.P.G. - La Météorologie
- C. OBLED  
P. TOURASSE
- J. LAVABRE 1980 La pluviométrie du bassin expérimental du Réal-Collobrier - C.E.M.A.G.R.E.F. - La Météorologie
- C.E.T.E. 1982 Etude d'un système d'annonce de crues sur le Méditerranée bassin versant du Paillon - Doc Int.
- P.M. LEUCHER 1983 Cartographie des épisodes pluvieux intenses dans la Région Provence - Méditerranée - Ligure -S.M.F. Marseille
- T. LEBEL 1984 Moyenne spatiale de la pluie sur un bassin versant : estimation optimale, génération stochastique et gradex des valeurs extrêmes
- P.M. LEUCHER 1984 Cartographie des épisodes pluvieux intenses sur le Massif des Maures - S.H.F.
- J. LAVABRE
- P.M. LEUCHER 1985 Reconstitution de séries pluviométriques horaires sur un bassin versant Côtier Méditerranéen - AFME - Oct. 1985
- C. OBLED
- P.M. LEUCHER 1986 Etude des épisodes pluvieux intenses sur la région Provence Côte d'Azur - Riviera Italienne (1974-1982). Cartographie et reconstitution de séries horaires sur les bassins du Réal-Collobrier et du Paillon - INPG Th.Doct. NR Oct.1986