

**Record Number:**

**Author, Monographic:** Guertin, K./Villeneuve, J. P.

**Author Role:**

**Title, Monographic:** Choix des sites d'emplacement de deux pluviomètres additionnels dans la région de Québec à l'aide de méthodes géostatistiques

**Translated Title:**

**Reprint Status:**

**Edition:**

**Author, Subsidiary:**

**Author Role:**

**Place of Publication:** Québec

**Publisher Name:** INRS-Eau

**Date of Publication:** 1989

**Original Publication Date:** 25 mai 1989

**Volume Identification:**

**Extent of Work:** 32

**Packaging Method:** pages

**Series Editor:**

**Series Editor Role:**

**Series Title:** INRS-Eau, Rapport de recherche

**Series Volume ID:** 290

**Location/URL:**

**ISBN:** 2-89146-299-8

**Notes:** Rapport annuel 1989-1990

**Abstract:**

**Call Number:** R000290

**Keywords:** rapport/ ok / dl

**CHOIX DES SITES D'EMPLACEMENT  
DE DEUX PLUVIOMÈTRES  
ADDITIONNELS DANS LA RÉGION DE  
QUÉBEC À L'AIDE DE MÉTHODES  
GÉOSTATISTIQUES.**

**CHOIX DES SITES D'EMPLACEMENT DE DEUX PLUVIOMETRES  
ADDITIONNELS DANS LA REGION DE QUEBEC A L'AIDE DE  
METHODES GEOSTATISTIQUES**

Rapport scientifique No 290

par

Kateri Guertin  
Jean-Pierre Villeneuve

INRS-Eau

25 mai 1989

# **CHOIX DES SITES D'EMPLACEMENT DE DEUX PLUVIOMETRES ADDITIONNELS DANS LA REGION DE QUEBEC A L'AIDE DE METHODES GEOSTATISTIQUES**

## **1 INTRODUCTION**

Le but de la présente étude consiste à déterminer à l'aide de techniques géostatistiques les sites d'emplacement optimaux de deux pluviomètres additionnels au sein du réseau actuel de 8 pluviomètres déservant la région de Québec. Les techniques géostatistiques permettent en effet d'identifier les sites de nouveaux pluviomètres de façon à minimiser l'erreur associée à l'estimation de la répartition spatiale des pluies sur la région de Québec. Le choix des deux sites additionnels issu de cette analyse géostatistique est ensuite comparé aux deux sites proposés par le groupe BPR, cette comparaison étant établie sur des bases régionale et locales.

Bien que les techniques géostatistiques utilisées soient objectives et pertinentes, il est important de préciser que la fiabilité de leur résultats dépend à la fois de l'information disponible et de la nature de la variable à l'étude qui est, dans le cas présent, la hauteur de pluie tombée au cours d'orages de durées variées. Etant donné la très faible densité du réseau actuel de pluviomètres sur lequel cette étude est basée ainsi que la répartition spatiale variable des hauteurs de pluies, le choix des sites d'emplacement qui en découle doit être considéré comme un premier indicateur et ne doit en aucun cas être vu comme une solution unique et absolue. Les résultats obtenus ne représentent en effet que les cinq pluies traitées au cours de la présente étude qui, elles, se veulent représentatives de l'ensemble des pluies se produisant sur la région de Québec.

## 2 CONCEPTS DE BASE DE LA GEOSTATISTIQUE D'ESTIMATION

La technique du krigeage permet l'évaluation locale d'une variable régionalisée à l'intérieur d'une zone d'intérêt à partir d'un ensemble limité de données échantillonnées à l'intérieur de cette zone; chaque valeur estimée, ou krigée, est sans biais et telle que la variance de l'erreur d'estimation qui lui est associée est minimale.

La procédure d'estimation comporte une première analyse statistique des données disponibles, suivie d'une analyse structurale de leur variabilité spatiale. Cette étape, qui est à la base du krigeage, consiste à définir expérimentalement la fonction du semi-variogramme qui caractérise la variabilité spatiale de la variable étudiée à l'intérieur de la zone échantillonnée. On ajuste ensuite à cette fonction expérimentale un modèle mathématique que l'on utilise dans l'algorithme de krigeage.

Le krigeage consiste alors à estimer localement à l'intérieur de la zone d'intérêt la valeur la plus probable de la variable à l'étude en se basant sur les données disponibles et sur leur structure de variabilité spatiale quantifiée par le modèle mathématique du semi-variogramme. En plus d'une condition de non-biais imposée dans le système de krigeage, le critère d'optimisation utilisé est la minimisation de la variance de l'erreur d'estimation associée à chaque valeur estimée, cette variance d'estimation (EV) étant exprimée en fonction du semi-variogramme. On obtient donc comme résultats de krigeage, pour chaque point ou unité de surface à estimer à l'intérieur de la zone d'étude, une valeur krigée et une variance d'estimation qui quantifie le degré d'incertitude associé à cette valeur estimée.

Comme le calcul de la variance d'estimation ne dépend que de la fonction du semi-variogramme et non pas des valeurs échantillonnées de la variable, il est possible, en supposant que la fonction expérimentale du semi-variogramme soit représentative de l'ensemble du phénomène étudié, de calculer la variance d'estimation résultant de l'ajout (ou du retrait) d'un ou plusieurs points d'information supplémentaires sans pour cela devoir connaître au préalable les valeurs de la variable en ces points. C'est donc cette propriété du krigeage qui permet, dans la présente étude, d'optimiser la planification du réseau de pluviomètres couvrant la région de Québec.

### 3 DONNEES DE PLUIES UTILISEES

On a utilisé les données de cinq pluies de durées variées enregistrées au cours des mois de mai, juin, juillet, août et septembre 1987 (tableau 1). Comme les hauteurs de pluies (en mm) répertoriées sur une base horaire montraient d'une part des tendances temporelles au cours de chaque pluie et d'autre part semblaient erratiques à l'intérieur de la zone d'étude, on a considéré les totaux de chaque pluie à chacun des 8 pluviomètres échantillonnés dans la zone d'intérêt (figure 1), en espérant que, malgré le nombre très limité de données (un maximum de 8 par pluie), on obtiendrait une fonction de semi-variogramme suffisamment bien définie pour chaque pluie.

Les moyennes (en mm) et variances (en mm<sup>2</sup>) des hauteurs de pluies à l'intérieur de la zone d'intérêt varient d'une pluie à l'autre (tableau 1). D'autre part, on observe des coefficients de variation similaires pour les pluies de mai et septembre et pour les pluies de juillet et août. Les cartes d'isocontours des données ponctuelles de chaque pluie suggèrent également de telles similarités au niveau du patron de répartition spatiale des hauteurs de pluies à l'intérieur de la zone d'étude (figures 2a à 2e). Ces cartes indiquent une très bonne continuité spatiale pour quatre des cinq pluies, le patron de répartition de la pluie du mois de juin (figure 2b) étant un peu moins continu.

PLUIES	15 MAI	2 JUIN	24 JUIL	3 AOUT	9 SEPT
# HRES	5	6	4	8	22
# PLUV	8	7	8	8	8
MOYENNE	12.06	23.34	19.85	10.64	24.14
VARIANCE	4.10	36.94	130.35	53.50	15.91
COEF. VAR	.17	.26	.58	.69	.17

TABLEAU 1

Statistiques principales des cinq pluies à l'étude

#### 4 ANALYSE STRUCTURALE DE LA VARIABILITE SPATIALE DES PLUIES

Pour chacune des cinq pluies à l'étude, le semi-variogramme expérimental basé sur un maximum de 8 données montre une structure de variabilité passablement bien définie à laquelle on peut ajuster un modèle mathématique (figures 3a à 3e). Il faut rappeler toutefois qu'étant donné le nombre très limité de données disponibles pour le calcul de ces semi-variogrammes, ceux-ci ne doivent être considérés que comme les premiers indicateurs de la structure de variabilité spatiale des cinq pluies présentement à l'étude.

L'absence d'effet de pépite (ordonnée à l'origine nulle) indique une bonne continuité spatiale des cinq pluies traitées et confirme ainsi les observations précédentes basées sur les figures 2a à 2e. De plus, pour chacune des pluies, le modèle du semi-variogramme est ajusté pour une distance maximale de 16 pouces (étant donné une échelle de 1:50,000), de sorte qu'il ne peut être utilisé pour des distances supérieures dans l'algorithme d'estimation.

#### 5 ESTIMATION DES PLUIES PAR KRIGEAGE

La densité d'échantillonnage étant faible à l'intérieur de la zone d'intérêt (figure 1), on estime les hauteurs de pluies moyennes sur des unités de surface de 4 x 4 pouces: il est en effet plus facile d'estimer avec précision la valeur moyenne d'une variable définie sur une unité de surface plutôt que sa valeur en un point précis. On a donc recours à une grille de krigeage comprenant 20 unités de surface de 4 x 4 pouces, dont 5 unités selon l'axe est-ouest et 4 unités selon l'axe nord-sud.

Les statistiques des résultats d'estimation du krigeage des cinq pluies sont présentées au tableau 2. Pour les 17 unités de surface krigées (l'unité située au coin nord-ouest de la zone n'a pas été krigée à cause du nombre insuffisant de données dans son voisinage), on retrouve la moyenne des valeurs estimées ( $M^*$ ) ainsi que la moyenne des variances d'estimation associées ( $\overline{EV}$ ); on retrouve également une mesure de l'erreur relative moyenne d'estimation ( $\overline{ERE}$ , en pourcentage) définie comme étant le quotient de la racine carrée de  $\overline{EV}$  par la moyenne  $M^*$ .

On observe que l'erreur relative moyenne d'estimation varie selon chaque pluie: les pluies des mois de mai et septembre sont estimées avec une bonne précision tandis que les pluies plus spatialement variables de juin, juillet et surtout août sont moins bien estimées à partir du même réseau d'information. On remarque d'autre part que les patrons de répartition des variances d'estimation associées aux valeurs estimées pour les cinq pluies (figures 4a à 4e) sont à peu près identiques si ce n'est de l'amplitude variée des isocontours: les variances d'estimation augmentent systématiquement du centre vers les bordures de la zone. Ce résultat, qui est une conséquence à la fois de l'utilisation du même réseau de pluviomètres pour l'estimation des cinq pluies et de la bonne continuité spatiale de ces pluies (exprimée par des semi-variogrammes continus à l'origine), est de bonne augure quant à un choix commun des sites d'emplacement de pluviomètres selon les cinq pluies.

## **6 CHOIX D'EMPLACEMENT DE DEUX PLUVIOMETRES ADDITIONNELS**

Dans le contexte d'une analyse géostatistique, le site d'emplacement optimal d'un pluviomètre additionnel est défini comme étant celui qui minimise la variance d'estimation moyenne  $\bar{E}V$  sur l'ensemble des unités de surface estimées à l'intérieur de la zone d'intérêt. Lorsque le premier emplacement est identifié, il est inclus au sein du réseau de pluviomètres existant et l'identification d'un second emplacement est entreprise. On procède ainsi pour l'identification de chaque emplacement additionnel.

Pour ce faire, on recouvre la zone d'intérêt d'une grille dont chaque noeud est un site potentiel pour l'emplacement d'un pluviomètre additionnel. Dans le cas présent, la maille de cette grille est de 2 x 2 pouces, ce qui fait un total de 63 noeuds, dont 9 selon l'axe est-ouest et 7 selon l'axe nord-sud (figure 5). Bien que le choix de cette grille soit arbitraire, celle-ci n'en demeure pas moins représentative de l'ensemble des possibilités d'emplacement de nouveaux pluviomètres.



## 6.1 Choix optimal

Le site d'emplacement optimal d'un premier pluviomètre additionnel est fixé au noeud (2,11), à mi-chemin entre les deux sites (2,10) et (2,12) identifiés comme étant les plus propices pour chacune des cinq pluies. Puis, le site (2,11) étant inclus au sein du réseau initial, le site d'emplacement optimal du second pluviomètre est établi sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent, au noeud (14,2), et ceci unanimement selon les cinq pluies (figure 6).

PLUIES		15 MAI	2 JUIN	24 JUIL	3 AOUT	9 SEPT
A C T U E L	# PLUV	8	7	8	8	8
	# UNITES	17	17	17	17	17
	M* (mm)	12.08	23.10	19.78	10.76	24.52
	$\overline{EV}$ (mm <sup>2</sup> )	1.13	18.02	42.61	29.28	3.19
	$\overline{ERE}$ (%)	8.8	18.4	33.0	50.3	7.3
O P T I M A L	# PLUV	10	10	10	10	10
	# UNITES	18	18	18	18	18
	$\overline{ERE}$ (%)	7.3	15.7	28.3	43.5	6.0
	REDU (%)	1.5	2.7	4.7	6.8	1.3
B P R	# PLUV	10	10	10	10	10
	# UNITES	18	18	18	18	18
	$\overline{ERE}$ (%)	8.3	16.8	30.9	46.9	6.9
	REDU (%)	.5	1.6	2.1	3.4	.4

TABLEAU 2

Impact du choix de deux sites d'emplacement de pluviomètres additionnels sur l'ensemble de la zone d'étude

On peut juger de l'impact de l'ajout de ces deux pluviomètres sur l'erreur relative moyenne d'estimation à l'aide du tableau 2 où, pour le calcul de l'erreur relative moyenne d'estimation ( $\overline{ERE}$ ) après l'ajout, on considère la moyenne  $M^*$  définie sur les 17 unités de surface krigées comme étant également représentative des 18 unités formant la zone d'intérêt. On observe donc une réduction de  $\overline{ERE}$  pour chacune des pluies par rapport aux valeurs basées sur le réseau initial de 8 pluviomètres. Le taux de réduction de  $\overline{ERE}$  (quantifiée par REDU au tableau 2) n'est toutefois pas très marqué : REDU varie de 1.3% à 6.8% selon la pluie.

## 6.2 Choix de BPR

On vérifie également l'impact au niveau de l'erreur relative moyenne d'estimation qu'aurait l'implantation des pluviomètres aux deux sites proposés par le groupe BPR, soit aux points (5.15,10.60) et (10.15, 2.30) (figure 6). On remarque, toujours au tableau 2, que ce choix entraîne une réduction de  $\overline{ERE}$  correspondant à environ la moitié de celle encourue par le choix optimal: dans ce cas, REDU varie entre .4% et 3.4% selon la pluie.

Sur l'ensemble de la zone d'intérêt, les deux sites d'emplacement proposés par le groupe BPR contribuent donc à améliorer la précision d'estimation moyenne mais ne sont toutefois pas optimaux.

## 7 CHOIX ET IMPACT LOCAL DES DEUX SITES D'EMPLACEMENT DES PLUVIOMETRES ADDITIONNELS

Plutôt que d'optimiser le choix de sites d'emplacement de pluviomètres additionnels en minimisant la variance d'estimation moyenne sur l'ensemble de la zone d'intérêt, il est intéressant d'améliorer la précision d'estimation plus localement, par rapport à une ou plusieurs sous-zones.

Dans le cas présent, on désire optimiser le choix d'un site d'emplacement à l'intérieur des deux sous-zones suivantes (figure 7):

- la sous-zone du Lac Saint-Charles, comprenant les 4 unités de surface de l'extrémité nord-ouest de la zone d'étude;
- la sous-zone de Sainte-Foy, dont le centre est situé au noeud (2,10).

### 7.1 Sous-zone du Lac Saint-Charles

En suivant la procédure décrite plus haut pour l'ensemble de la zone, on détermine le choix optimal d'un site d'emplacement afin de minimiser la variance d'estimation moyenne sur la sous-zone du Lac Saint-Charles. L'impact de l'ajout de ce site, fixé au noeud (2,10) (figure 7), est quantifié au tableau 3 où l'on retrouve également les résultats de krigeage (basé sur le réseau actuel) de 3 des 4 unités de surface formant cette sous-zone, ainsi que l'impact de l'ajout d'un site au point (5.15,10.6) tel que proposé par le groupe BPR.

Il faut noter tout d'abord que les erreurs relative d'estimation ERE quantifiant l'impact des choix optimal et de BPR sont basés sur la moyenne krigée ( $M^*$ ) de 3 des 4 unités formant la sous-zone; on suppose en effet que cette moyenne est valable pour les 4 unités. On observe donc au tableau 3 que l'ajout du site (2,10) entraîne un gain notable de précision dans la sous-zone pour chacune des cinq pluies: REDU varie entre 2.2% et 16.8% selon la pluie. D'autre part, l'impact du site proposé par le groupe BPR est systématiquement moindre et même nul pour les pluies des mois de mai et septembre.

Afin de confirmer ces observations, on présente au tableau 4 l'impact des ajouts à l'aide de résultats basés sur seulement 3 des 4 unités de la sous-zone. Encore une fois, le gain de précision relative attribué au site de BPR est moindre que celui entraîné par le site optimal qui, lui, est encore plus marqué par rapport au réseau actuel, et cela pour les cinq pluies.

PLUIES		15 MAI	2 JUIN	24 JUIL	3 AOUT	9 SEPT
ACTUEL	# PLUV	8	7	8	8	8
	# UNITES	3	3	3	3	3
	M* (mm)	13.05	23.12	23.83	8.80	27.56
	$\overline{EV}$ (mm <sup>2</sup> )	1.36	21.65	49.97	35.93	3.85
	$\overline{ERE}$ (%)	8.9	20.1	29.7	68.1	7.1
OPTIMAL	# PLUV	9	9	9	9	9
	# UNITES	4	4	4	4	4
	$\overline{ERE}$ (%)	6.2	15.3	22.1	51.3	4.9
	REDU (%)	2.7	4.8	7.6	16.8	2.2
BPR	# PLUV	9	9	9	9	9
	# UNITES	4	4	4	4	4
	$\overline{ERE}$ (%)	8.9	17.7	27.5	60.7	7.1
	REDU (%)	.0	2.4	2.2	7.4	.0

TABLEAU 3

Impact du choix du site d'emplacement d'un pluviomètre additionnel dans la sous-zone du Lac Saint-Charles en considérant ses 4 unités de surface

PLUIES		15 MAI	2 JUIN	24 JUIL	3 AOUT	9 SEPT
A C T U E L	# PLUV	8	7	8	8	8
	# UNITES	3	3	3	3	3
	M* (mm)	13.05	23.12	23.83	8.80	27.56
	$\overline{EV}$ (mm <sup>2</sup> )	1.36	21.65	49.97	35.93	3.85
	$\overline{ERE}$ (%)	8.9	20.1	29.7	68.1	7.1
O P T I M A L	# PLUV	9	9	9	9	9
	# UNITES	3	3	3	3	3
	$\overline{ERE}$ (%)	4.7	13.1	18.8	43.9	3.8
	REDU (%)	4.2	7.0	10.9	24.2	3.3
B P R	# PLUV	9	9	9	9	9
	# UNITES	3	3	3	3	3
	$\overline{ERE}$ (%)	6.5	14.8	22.6	50.7	5.2
	REDU (%)	2.4	5.3	7.1	17.4	1.9

TABLEAU 4

Impact du choix du site d'emplacement d'un pluviomètre additionnel dans la sous-zone du Lac Saint-Charles en considérant 3 de ses 4 unités de surface

## 7.2 Sous-zone de Sainte-Foy

Dans le cas de la sous-zone de Sainte-Foy, le site proposé par le groupe BPR (10.15,2.30) étant plus ou moins au centre de la sous-zone, ce choix semble très logique a priori. Cette impression est en effet confirmée par la détermination du site optimal au noeud (2,10) de la grille d'emplacements potentiels (figure 7). Les performances à peu près équivalentes des deux choix sont présentées au tableau 5. On remarque alors des gains de précision significatifs à l'intérieur de cette sous-zone grâce à l'ajout de l'un ou l'autre de ces sites par rapport au niveau de précision associé au réseau actuel: l'erreur d'estimation relative est en effet systématiquement réduite de moitié pour chacune des cinq pluies.

PLUIES		15 MAI	2 JUIN	24 JUIL	3 AOUT	9 SEPT
ACTUEL	# PLUV	8	7	8	8	8
	# UNITES	1	1	1	1	1
	M* (mm)	12.44	26.18	23.82	13.94	26.28
	$\overline{EV}$ (mm <sup>2</sup> )	.77	22.19	24.11	35.24	2.19
	$\overline{ERE}$ (%)	7.1	18.0	24.5	35.2	5.6
OPTIMAL	# PLUV	9	9	9	9	9
	# UNITES	1	1	1	1	1
	$\overline{ERE}$ (%)	2.9	7.5	12.8	18.2	2.3
	REDU (%)	4.2	10.5	11.7	17.0	3.3
BPR	# PLUV	9	9	9	9	9
	# UNITES	1	1	1	1	1
	$\overline{ERE}$ (%)	3.0	7.6	12.9	18.4	2.4
	REDU (%)	4.1	10.4	11.6	16.8	3.2

TABLEAU 5

Impact du choix du site d'emplacement d'un pluviomètre additionnel dans la sous-zone de Sainte-Foy

## 8 CONCLUSION

Somme toute, les résultats de cette étude sont logiques et peu surprenants, de sorte que l'application d'une méthode objective comme le krigeage sert à quantifier l'impact de mesures basées sur des observations plus subjectives.

Grâce à l'identification de structures de variabilité spatiale relativement bien définies pour les cinq pluies à l'étude, on a déterminé les sites d'emplacement optimaux de deux pluviomètres additionnels, le choix de ces sites étant identique selon les cinq pluies traitées, que ce soit sur une base régionale ou locale.

Sur l'ensemble de la zone d'intérêt, le gain de précision relative dû à l'ajout de deux sites aux noeuds (2,11) et (14,2) est peu marqué, la réduction de l'erreur relative variant entre 1.3% et 6.8% selon la pluie. D'autre part, la réduction entraînée par l'ajout des sites (5.15,10.6) et (10.15,2.30), tel que proposé par le groupe BPR, est inférieure (entre .4% et 3.4%).

Si on considère la sous-zone du Lac Saint-Charles, le gain en précision relative dû à l'ajout de la station (5.15,10.6) suggérée par BPR ne correspond qu'à environ la moitié du gain entraîné par l'ajout du site optimal (2,10). En effet, la réduction de l'erreur relative d'estimation sur les 4 unités de surface de cette sous-zone varie entre 2.2% et 16.8% grâce à l'addition du site (2,10).

En ce qui concerne la sous-zone de Sainte-Foy, le site (10.15,2.30) proposé par le groupe BPR coïncide plus ou moins avec le site optimal (10,2) et entraîne une réduction de l'erreur relative d'estimation non négligeable allant de 3.2% à 16.8% selon la pluie.

Enfin il est important de rappeler que les résultats de cette première étude sont bas sur une information très limitée et qu'il est recommandé d'en vérifier la pertinence dès que des données seront disponibles à des sites additionnels.

## 8 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Somme toute, les résultats de cette étude sont logiques et peu surprenants, de sorte que l'application d'une méthode objective comme le krigeage sert à quantifier l'impact de mesures basées sur des observations plus subjectives.

Grâce à l'identification de structures de variabilité spatiale relativement bien définies pour les cinq pluies à l'étude, on a déterminé les sites d'emplacement optimaux de deux pluviomètres additionnels, le choix de ces sites étant identique selon les cinq pluies traitées, que ce soit sur une base régionale ou locale.

Sur l'ensemble de la zone d'intérêt, le gain de précision relative dû à l'ajout de deux sites aux noeuds (2,11) et (14,2) est peu marqué, la réduction de l'erreur relative variant entre 1.3% et 6.8% selon la pluie. D'autre part, la réduction entraînée par l'ajout des sites (5.15,10.6) et (10.15,2.30), tel que proposé par le groupe BPR, est inférieure (entre .4% et 3.4%).

Si on considère la sous-zone du Lac Saint-Charles, le gain en précision relative dû à l'ajout de la station (5.15,10.6) suggérée par BPR ne correspond qu'à environ la moitié du gain entraîné par l'ajout du site optimal (2,10). En effet, la réduction de l'erreur relative d'estimation sur les 4 unités de surface de cette sous-zone varie entre 2.2% et 16.8% grâce à l'addition du site (2,10).

En ce qui concerne la sous-zone de Sainte-Foy, le site (10.15,2.30) proposé par le groupe BPR coïncide plus ou moins avec le site optimal (10,2) et entraîne une réduction de l'erreur relative d'estimation non négligeable allant de 3.2% à 16.8% selon la pluie.

Il est important de rappeler que les résultats de cette première étude sont basés sur une information très limitée et qu'il est fortement recommandé d'en consolider la valeur dès que des données seront disponibles à des sites additionnels, ou même en reconstituant cette étude à partie d'autres pluies.



Enfin, il faut préciser que ces résultats sont basés sur des pluies de durées variées et qu'ils ne doivent pas être systématiquement transposés sur une base horaire caractérisée par des hauteurs de pluie spatialement plus erratiques. Une étude analogue réalisée sur une base horaire indiquerait en effet une continuité spatiale moindre (effet de pépité non nul) et par conséquent des variance d'estimation plus élevées de sorte que l'ajout de sites additionnels (pouvant possiblement être choisis au hasard de la zone d'intérêt) entrainerait des gains de précision moindres que ceux obtenus au cours de la présente étude.

# PLUVIOMETRES DE LA REGION DE QUEBEC

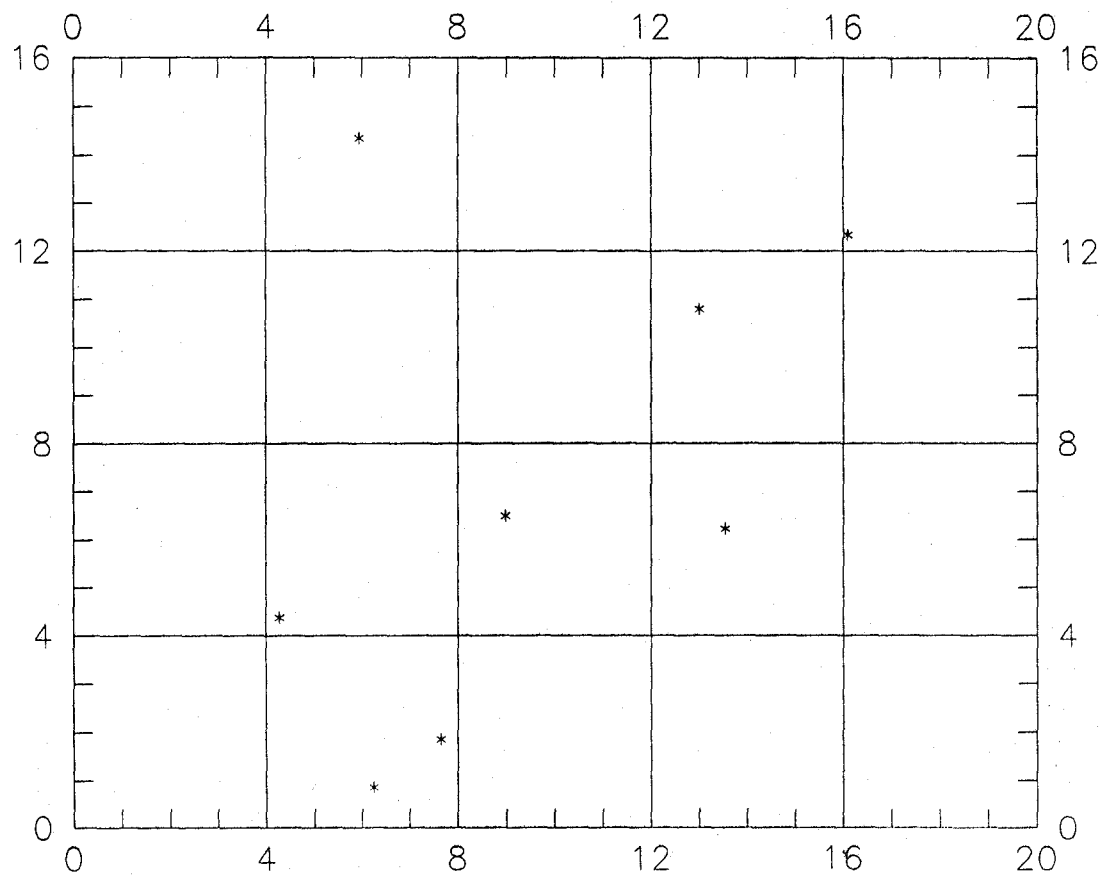


FIGURE 1

# PLUIES TOTALES - 15 MAI 1987

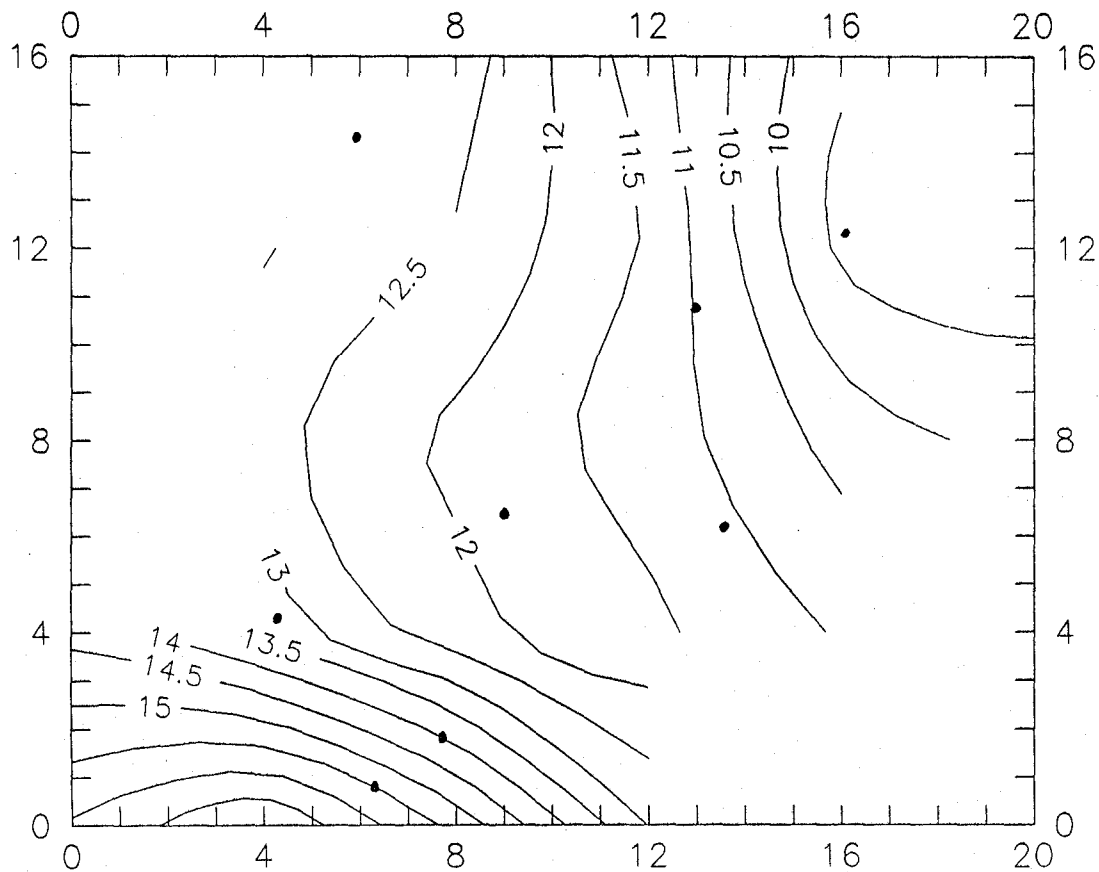


FIGURE 2a

# PLUIES TOTALES - 2 JUIN 1987

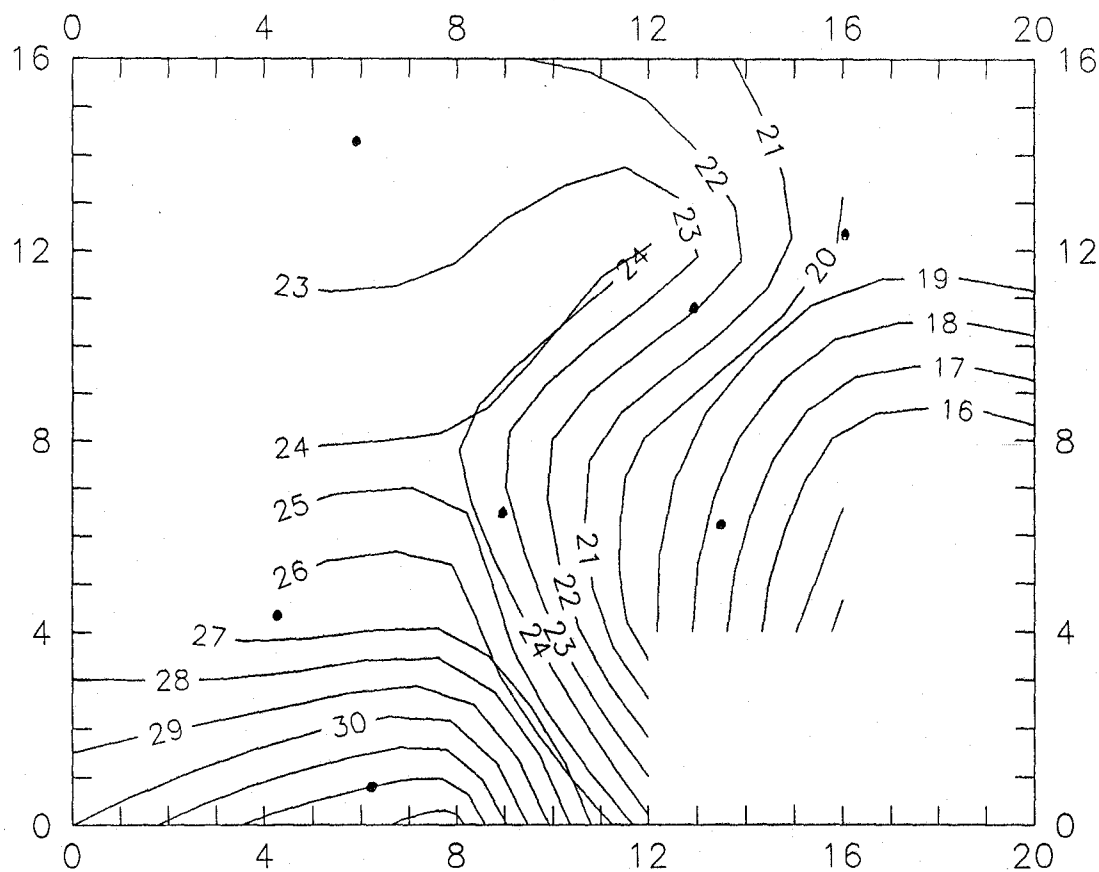


FIGURE 2b

# PLUIES TOTALES - 24 JUILLET 1987

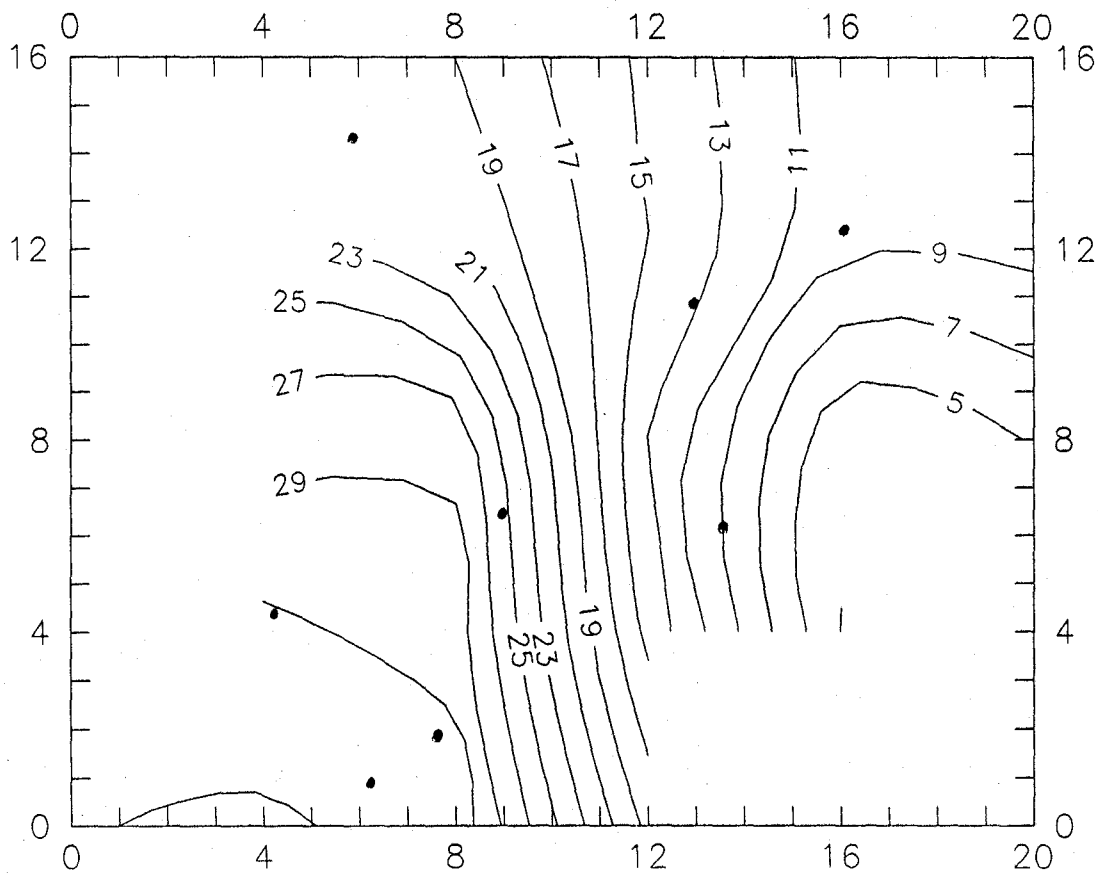


FIGURE 2c

# PLUIES TOTALES - 3 AOUT 1987

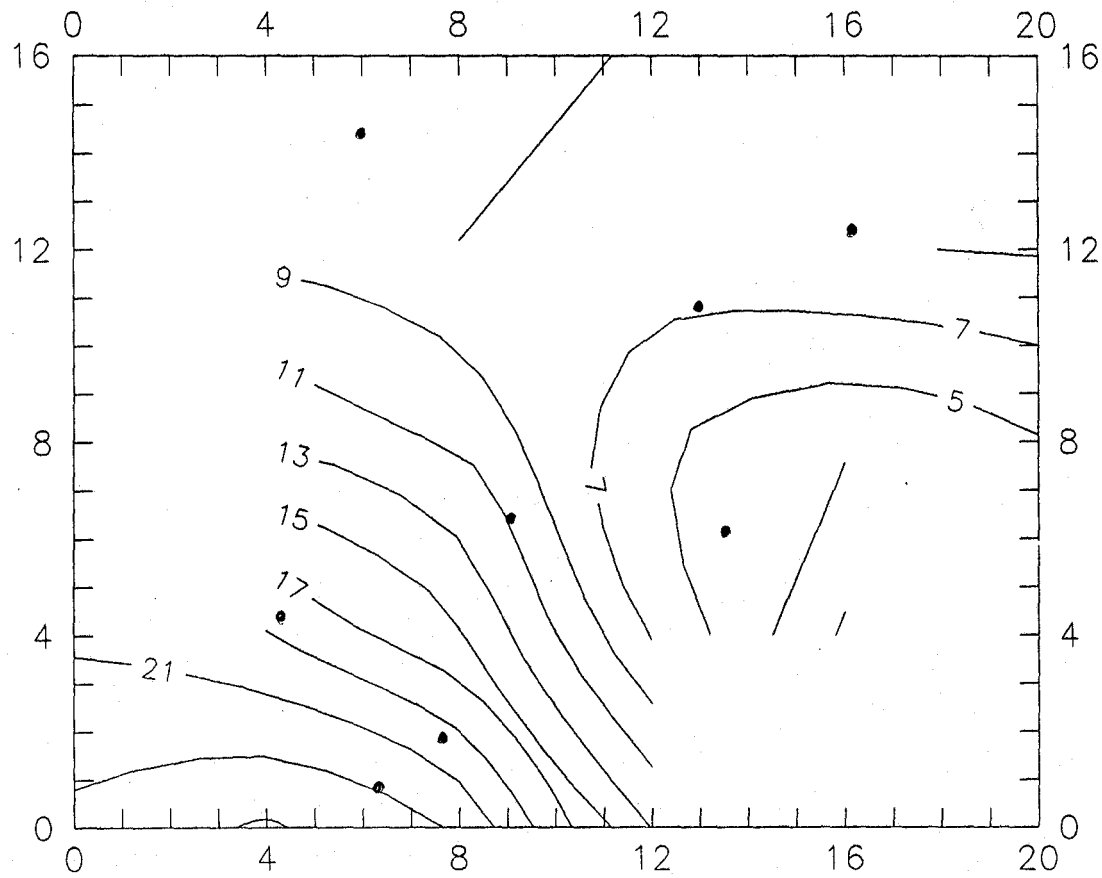


FIGURE 2d

# PLUIES TOTALES — 9 SEPTEMBRE 1987

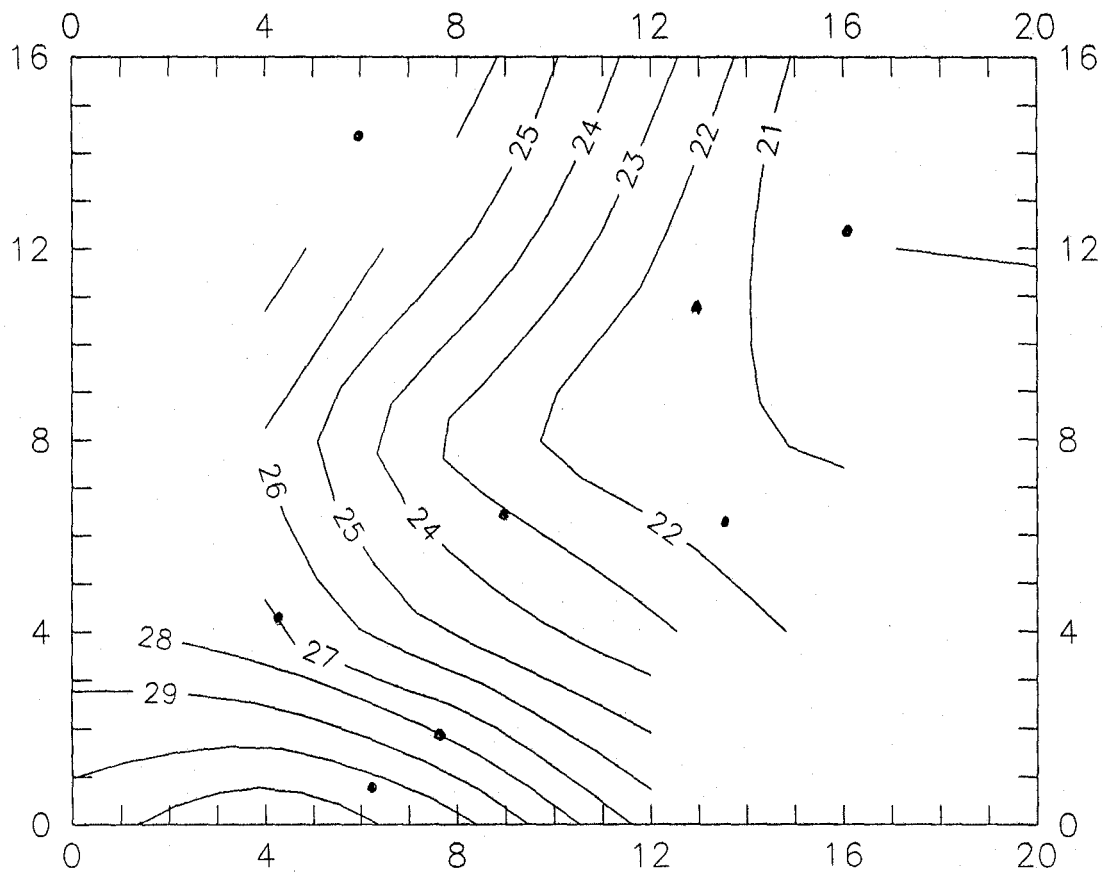
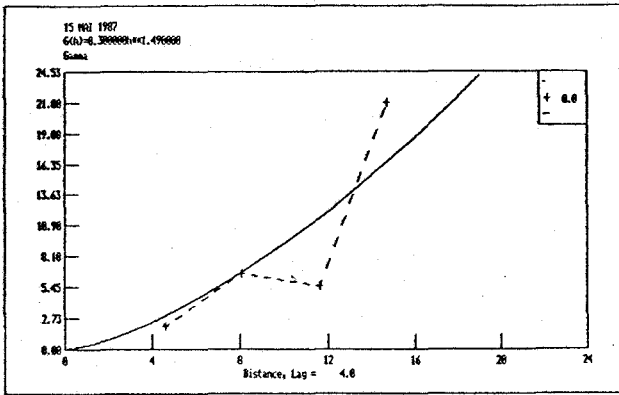
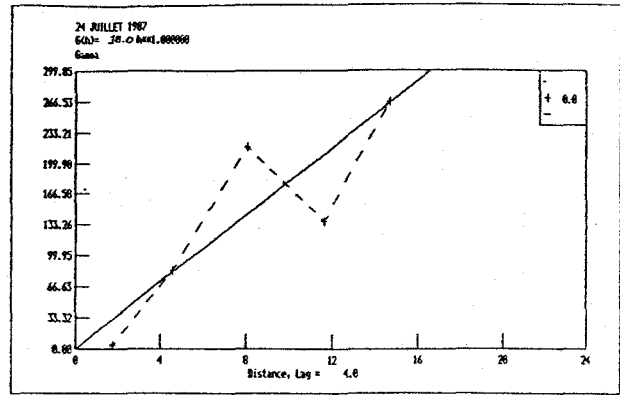


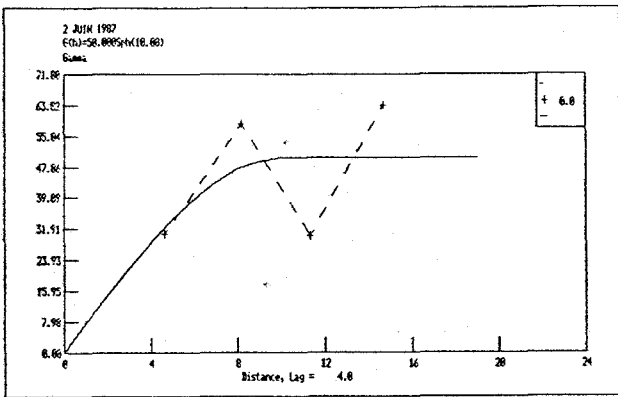
FIGURE 2e



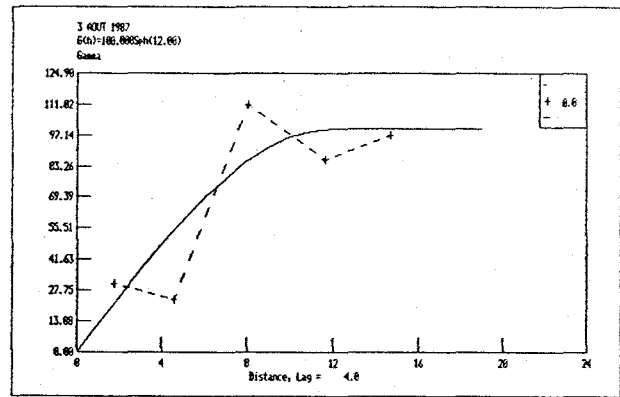
a



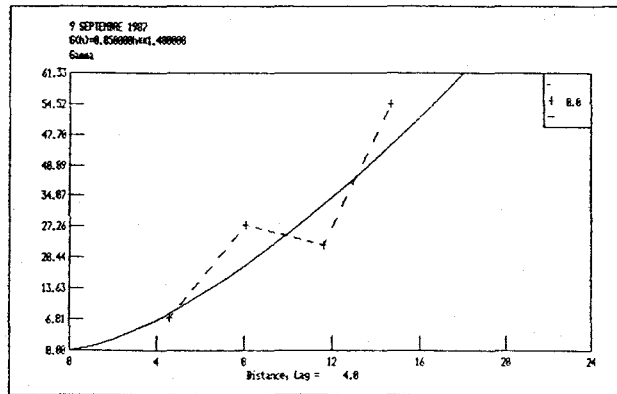
c



d



d



e

FIGURES 3



# VARIANCE D'ESTIMATION — 15 MAI 1987

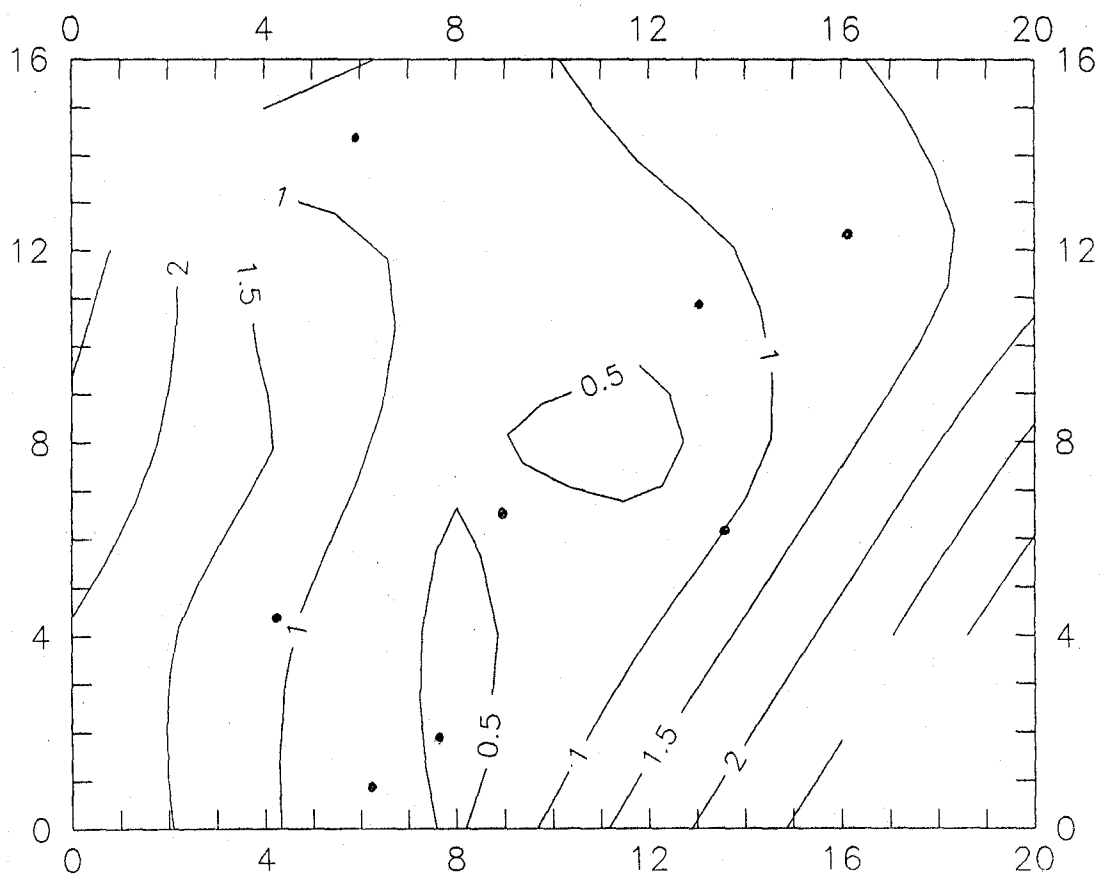


FIGURE 4a

VARIANCE D'ESTIMATION - 2 JUIN 1987

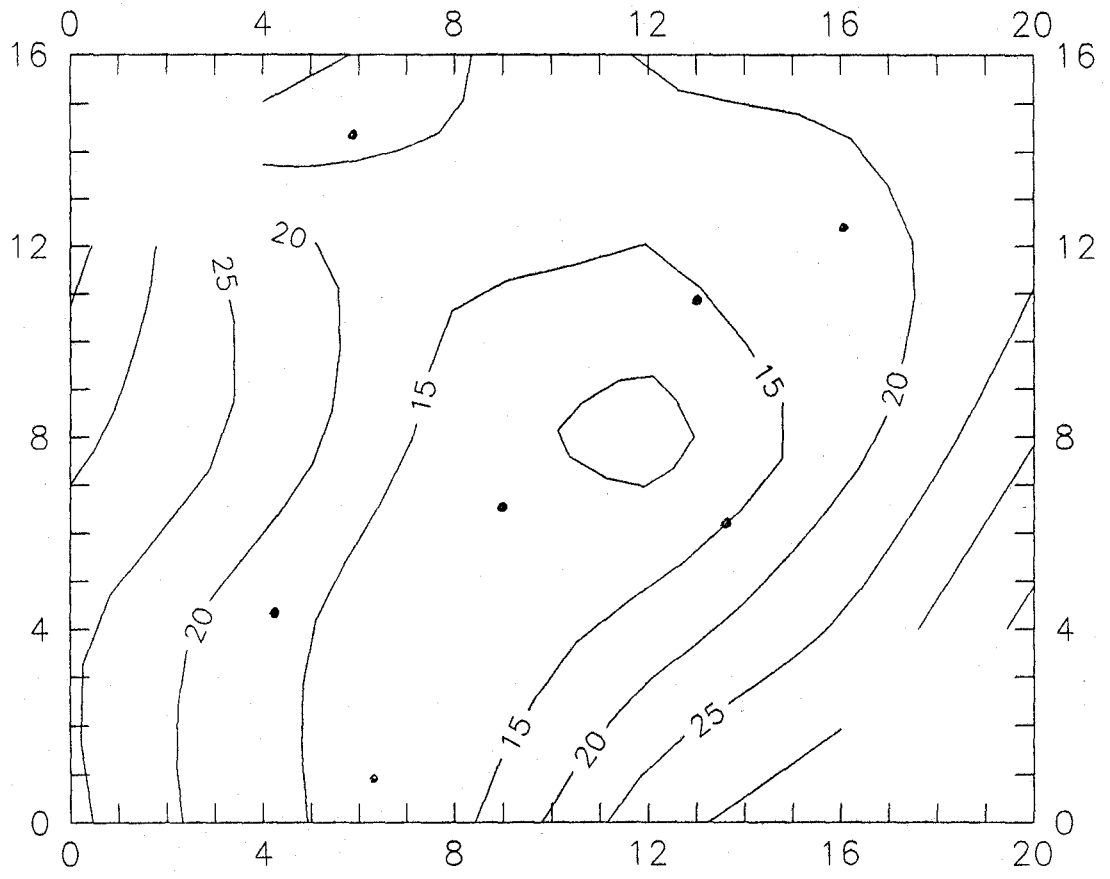


FIGURE 46

VARIANCE D'ESTIMATION — 24 JUILLET 1987

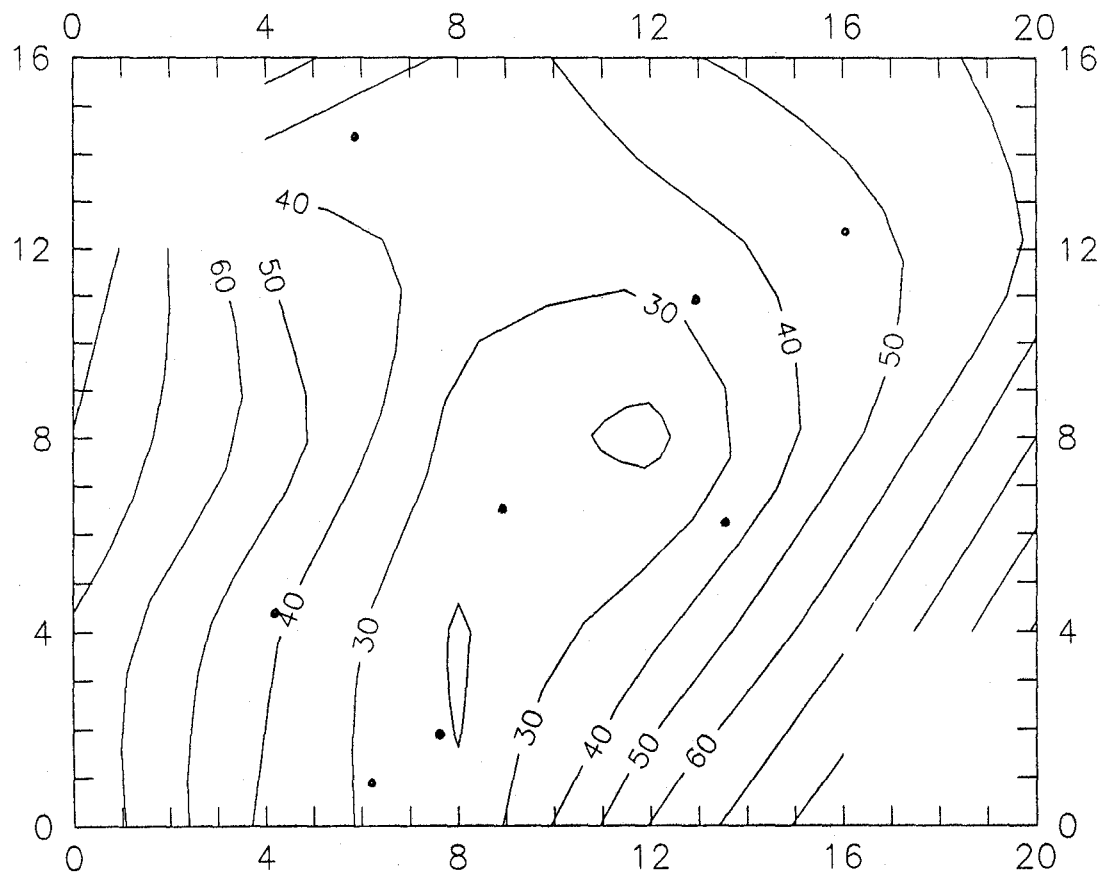


FIGURE 4c

VARIANCE D'ESTIMATION - 3 AOUT 1987

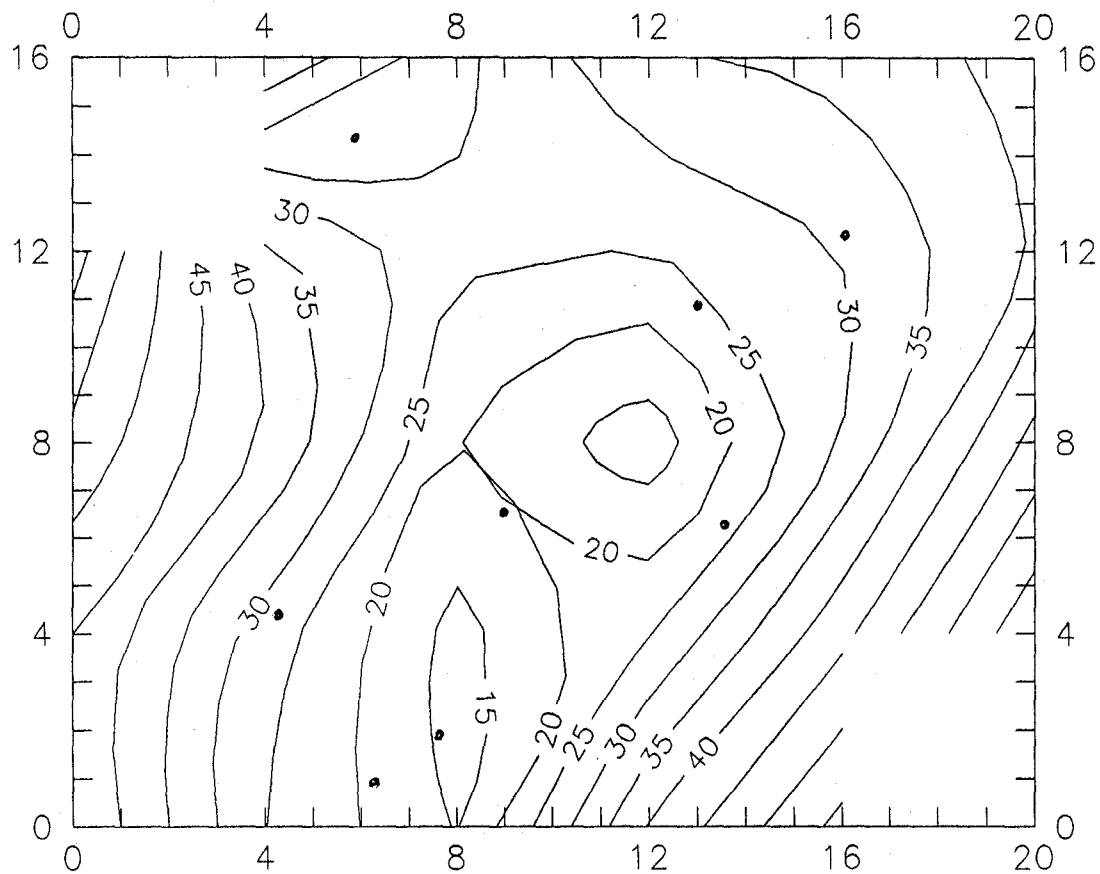


FIGURE 4d

VARIANCE D'ESTIMATION - 9 SEPTEMBRE 1987

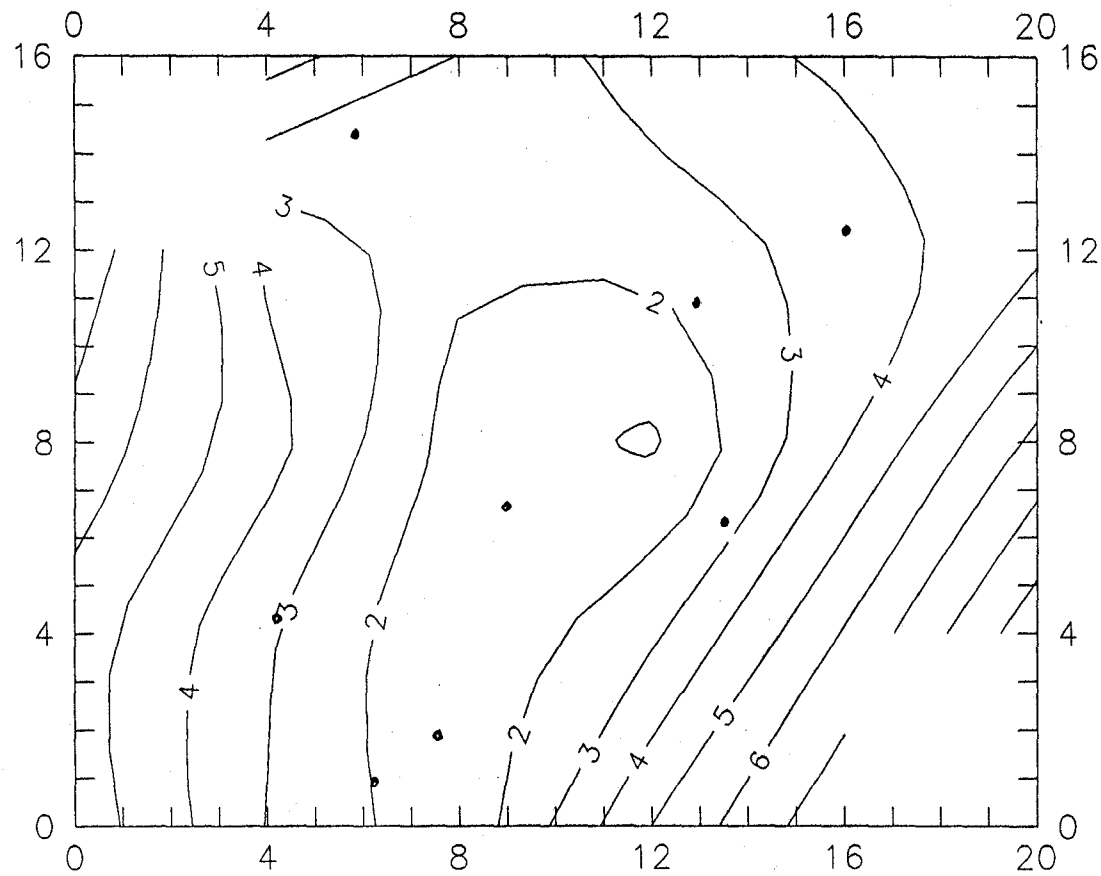


Figure 4e

# GRILLE DE SITES D'EMPLACEMENT POTENTIELS

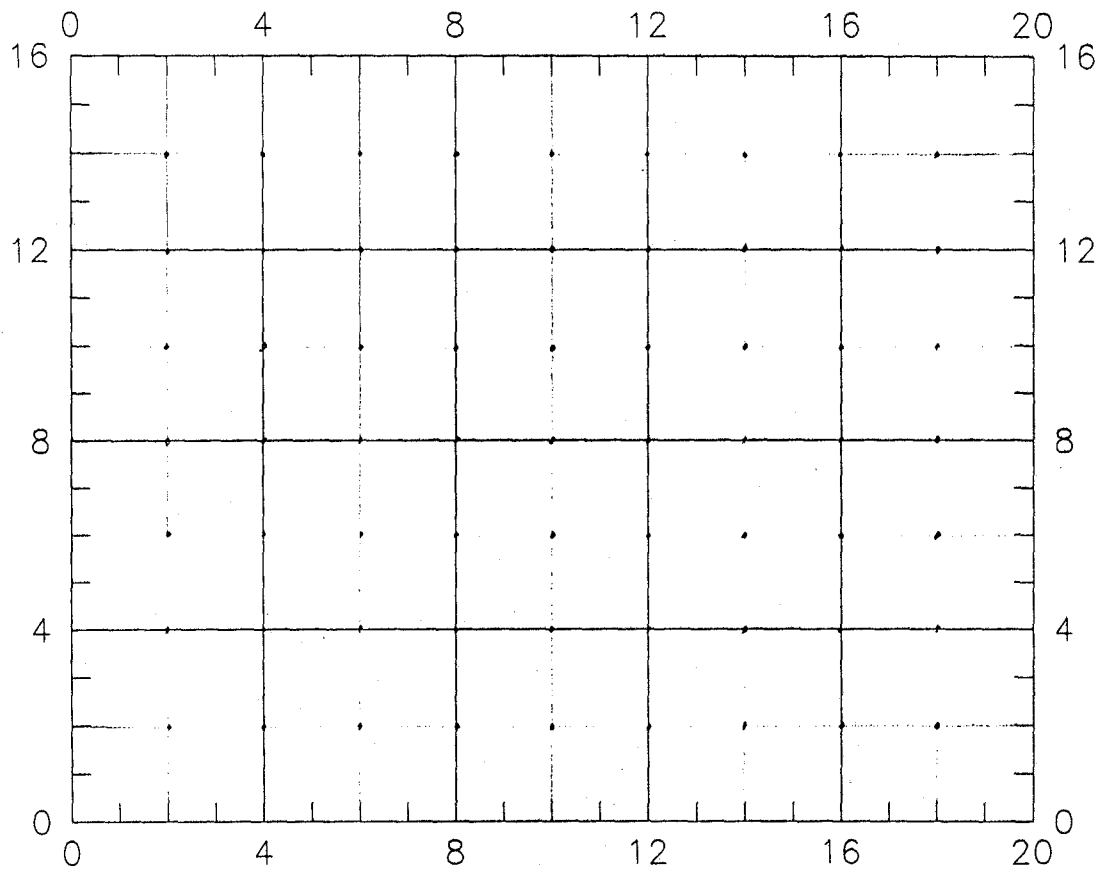
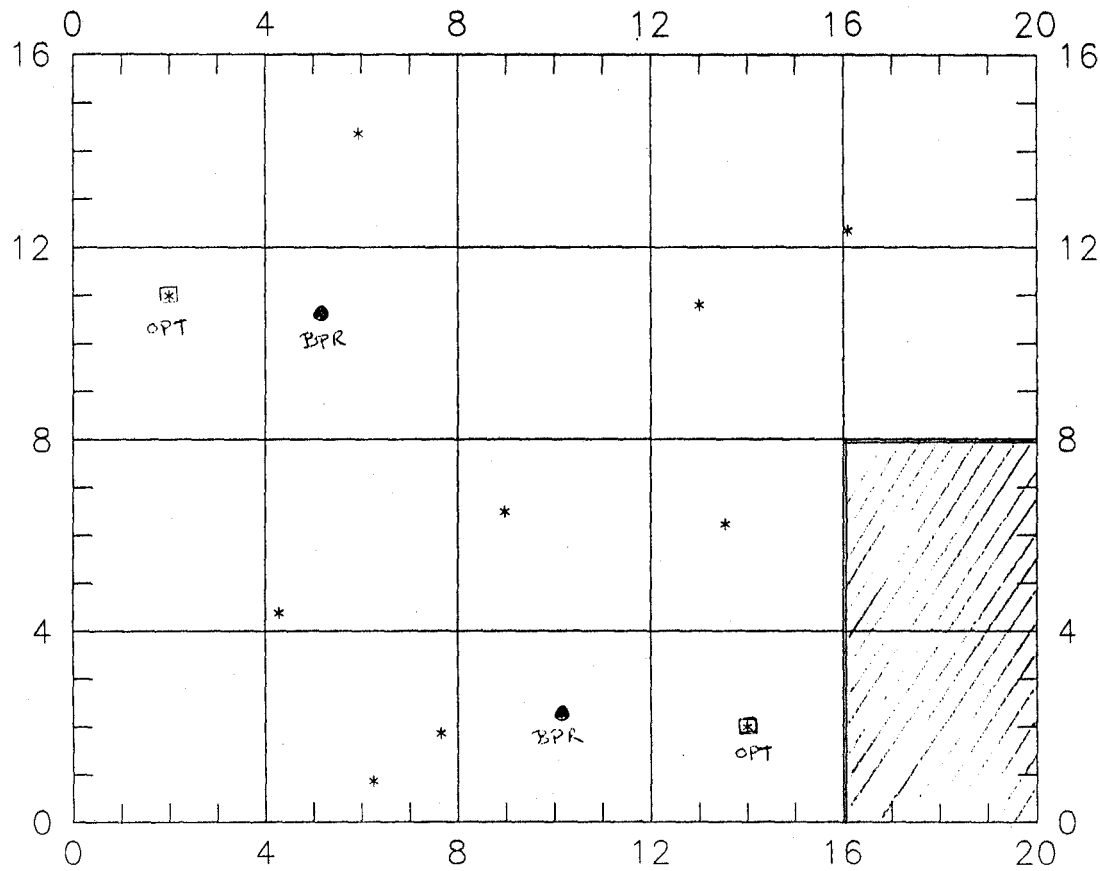


FIGURE 5

# CHOIX DE DEUX PLUVIOMETRES ADDITIONNELS



# CHOIX LOCAL DE PLUVIOMETRES ADDITIONNELS

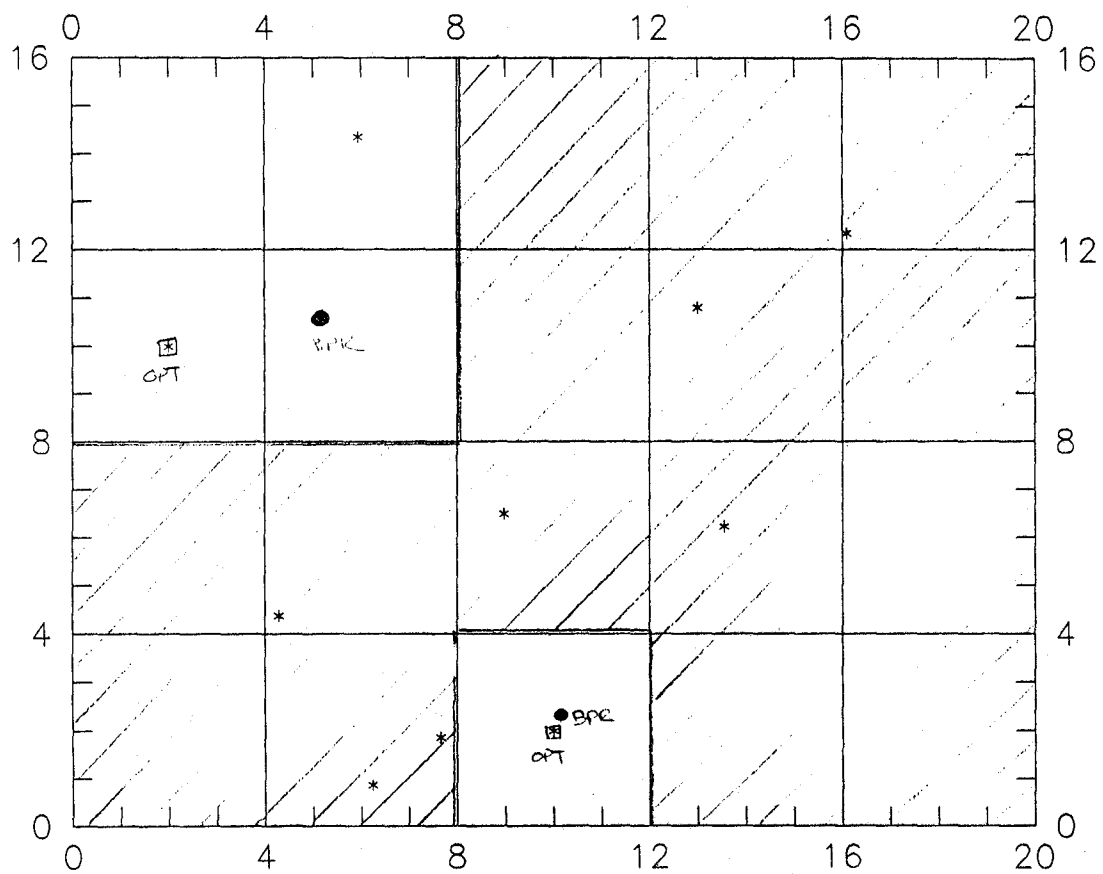


FIGURE 7