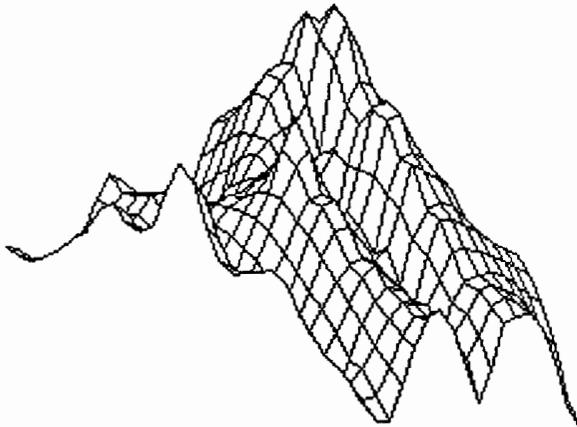


# ORSTOM

Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération

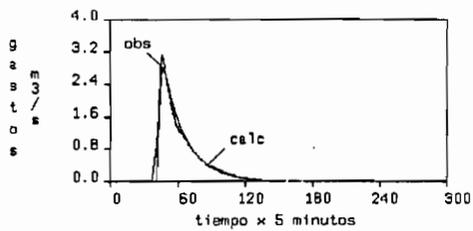


## MERCEDES

Maillage Élémentaire Régulier

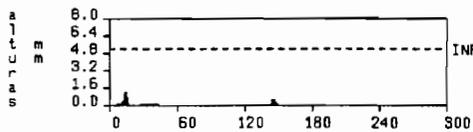
Carré pour l'Etude Des

Ecoulements Superficiels



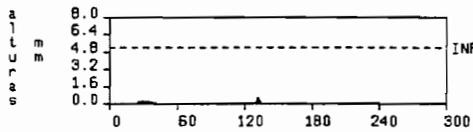
HIDROGRAMAS

SAN MARCOS  
02.09.1991

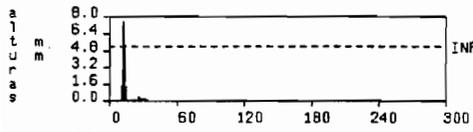


HIETOGRAMAS

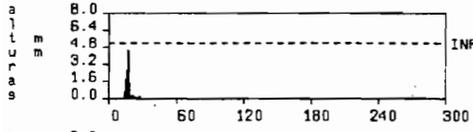
Coatepec  
02.09.1991



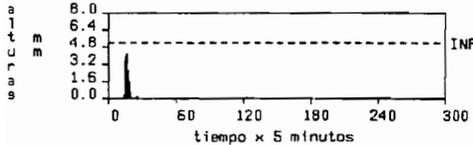
Chalco  
02.09.1991



Campamiento  
02.09.1991



Venta Nueva  
02.09.1991



Venta de Cordoba  
02.09.1991

Notice d'utilisation

C. Bouvier  
F. Rossel

Décembre 1992

## AVANT-PROPOS

MERCEDES est un modèle distribué de la relation pluie-débit, écrit en FORTRAN77 pour station de travail (Sun, Apollo....).

MERCEDES comporte 4 paramètres d'ajustement, et prend en compte la variabilité spatiale des averses et la variabilité spatiale du relief.

De par <sup>du modèle</sup> sa conception, les paramètres calés sur un bassin expérimental peuvent prétendre à une bonne adéquation régionale, et convenir en particulier à l'analyse des écoulements sur d'autres bassins non jaugés.

Destiné initialement à l'analyse des écoulements sur les petits et moyens bassins montagneux, MERCEDES est également susceptible de convenir à d'autres milieux géographiques hétérogènes, et à d'autres situations pour lesquelles il s'avère difficile de définir des averses "unitaires".

Ce document contient la notice d'utilisation du modèle MERCEDES. On trouvera par ailleurs des exemples d'utilisation du modèle pour des petits bassins montagneux naturels situés à la périphérie de la Ville de Mexico (Bouvier et al., 1992 ; Bouvier et Rossel, 1992).

# NOTICE UTILISATION

## Modèle MERCEDES

### Maillage Elémentaire Régulier Carré pour l'Etude Des Ecoulements Superficiels

SOMMAIRE :	Page
Introduction.....	1
1. Description du modèle.....	2
2. Organigramme et fonctions du programme.....	6
3. Comment constituer les fichiers d'entrée ? .....	8
3.1 : Constitution du fichier 63 des données de pluie et de débit.....	9
3.2 : Constitution des fichiers des pentes et des directions de drainage.....	13
3.3 : Constitution du fichier masque.....	14
3.4 : Constitution au fichier des options d'exécution du modèle .....	15
4. Installation et exécution du programme.....	19
4.1 Installation .....	19
4.2 Exécution du programme .....	19
4.3 Programmes utilitaires .....	19
5. Les fichiers en sortie.....	20
6. Exécution du programme dans le système SIGNE.....	24
Bibliographie.....	26

## NOTICE UTILISATION

### Modèle MERCEDES

#### Maillage Élémentaire Régulier Carré pour l'Étude Des Ecoulements Superficiels

##### Introduction :

L'influence du relief se manifeste souvent par une forte hétérogénéité spatiale des caractéristiques qui interviennent dans la formation des crues : averses, mais aussi pentes et occupations des sols (paysages) pour ne citer que les facteurs les plus évidents. Pour prendre en compte la variabilité spatiale de ces facteurs, le modèle que nous proposons repose sur une discrétisation du bassin en mailles élémentaires carrées : on espère ainsi obtenir d'une part une bonne reconstitution des crues, et d'autre part une évaluation robuste des paramètres d'ajustement utilisés, afin d'appliquer le modèle sur des bassins non jaugés.

Ce modèle a donné de bons résultats sur le bassin de Chalco (Mexique) et de ses sous-bassins, pour des superficies voisines de 30 km<sup>2</sup> comprises entre 2240 à 3500 mètres d'altitude.

De par sa conception, le modèle est par ailleurs susceptible de convenir à d'autres milieux géographiques hétérogènes, et à d'autres situations où il s'avère difficile d'obtenir des averses "unitaires", ce qui est notamment le cas des grands bassins.

Dans ce document, nous donnons les éléments nécessaires à l'application du modèle, et à l'exécution du programme correspondant.

1. Description du modèle
2. Organigramme et fonctions du programme
3. Comment constituer les fichiers d'entrée ?
4. Comment installer et exécuter le programme ?
5. Description des fichiers de sortie
6. Intégration et exécution du programme dans le système SIGNE.

## 1. Description du modèle

Le modèle travaille événement par événement. Les valeurs de pluies et de débits sont lues à pas de temps fixe (choisi par l'utilisateur) dans un fichier de type 63 (voir le paragraphe 3.1).

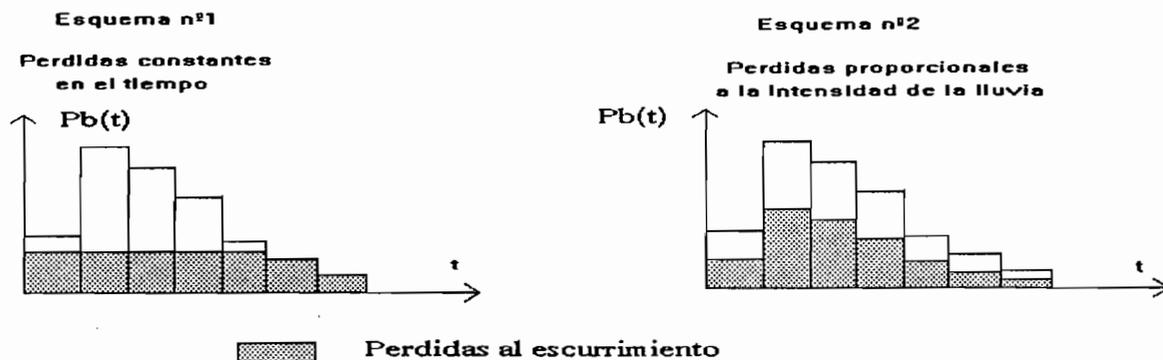
La discrétisation du bassin s'effectue à 2 niveaux : polygones de Thiessen pour la fonction de production, mailles carrées (de taille unique, fixée par l'utilisateur) pour la fonction de transfert.

*Fonction de production :*

Deux schémas de production (figure 1) sont proposés, chacun faisant intervenir un seul paramètre :

- \* pertes constantes dans le temps (1 paramètre INF)
- \* pertes proportionnelles à l'intensité de l'averse (1 paramètre COEF).

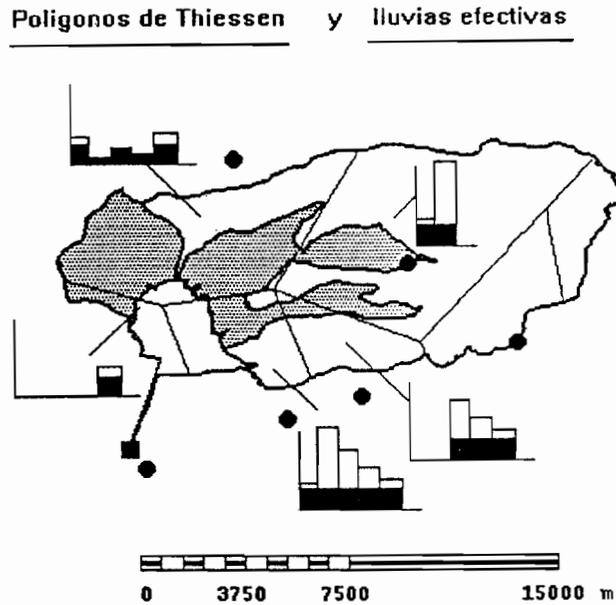
**Figure 1 : Schématisations des pertes à l'écoulement**



Dans les deux cas, les pertes sont uniformes sur la totalité du bassin, c'est à dire que les paramètres INF ou COEF sont constants sur l'ensemble du bassin. Il est donc nécessaire de travailler par sous-bassins si l'on souhaite faire varier les pertes à l'écoulement sur le bassin (on pourra utiliser un fichier masque pour individualiser les différentes unités, voir le paragraphe 3.3).

Ces schémas de production sont appliqués à chaque polygone de Thiessen (figure 2). On obtient donc autant de hyétogrammes de pluies nettes qu'il y a de polygones de Thiessen, ce qui permet de respecter la variabilité spatiale des averses.

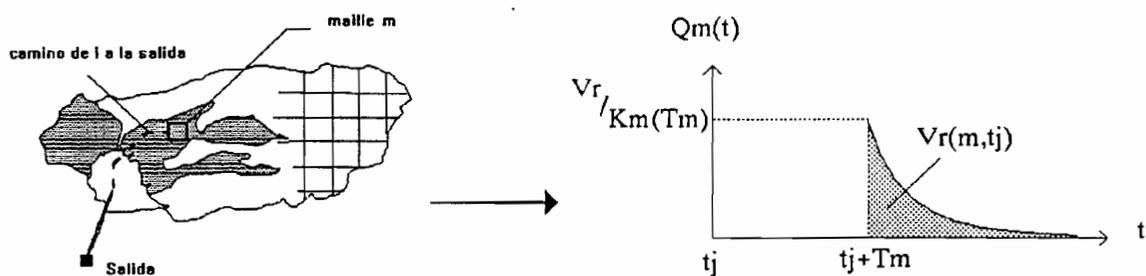
Figure 2 : Calcul des hyétogrammes de pluie nette



*Fonction de transfert :*

On procède ensuite à un découpage du bassin en mailles carrées. A chacune des mailles est affecté un hyétogramme de pluie nette, en fonction de l'appartenance de la maille à tel polygone de Thiessen. On calcule ensuite pour chacune des mailles et pour chaque tranche du hyétogramme un hydrogramme élémentaire à l'exutoire du bassin (figure 3).

Figure 3 : Calcul des hydrogrammes élémentaires



Ce calcul s'appuie sur la connaissance d'un temps de propagation  $T_m$ , et d'un facteur d'amortissement  $K_m$  :

$T_m$  est une intégration des temps de parcours de l'ensemble des mailles situées entre la maille considérée et l'exutoire du bassin, et fait intervenir les pentes des mailles intermédiaires et deux coefficients numériques d'ajustement,  $V_0$  et  $\alpha$  ;

$K_m$  est une fonction soit linéaire, soit logarithmique (les deux sont proposées), du temps  $T_m$ . L'amortissement de l'écoulement est dans les deux cas une fonction croissante du temps de propagation, faisant intervenir un paramètre  $K_0$ . La valeur de  $K_m$  est bornée inférieurement à 1.

Les hydrogrammes élémentaires sont calculés d'après le système d'équations suivantes :

$$Q_m(t) = 0 \quad \text{si } t < t_j + T_m \quad (1)$$

$$Q_m(t) = Vr(m, t_j) * 1/K_m * \exp(-(t - (t_j + T_m))/K_m) \quad \text{si } t \geq t_j + T_m \quad (2)$$

$$T_m = \sum_{k \in \{\text{chemin de } m \text{ à l'exutoire}\}} (L_k/V_k) \quad (3)$$

$$\text{où } V_k = V_0 \cdot P_k^\alpha, \quad (4)$$

avec  $P_k$  pente de la maille  $k$ , et  $L_k$  longueur de la maille  $k$ .

N.B. : Les vitesses ne devant pas être nulles, les pentes sont bornées inférieurement par 0,1 m/km.

$$K_m = K_0 \cdot T_m \quad (5)$$

ou

$$K_m = K_0 \cdot \ln(T_m), \quad \text{où } \ln \text{ désigne le logarithme népérien} \quad (6)$$

suivant le choix de la relation entre amortissement et propagation.

Les contributions des mailles sont indépendantes entre elles, pour chaque pas de temps. L'hydrogramme de la crue s'obtient par sommation des hydrogrammes élémentaires, pour l'ensemble des mailles et l'ensemble des pas de temps.

#### *Détermination des paramètres de production et de transfert :*

Le calcul des hydrogrammes requiert de fixer les 4 paramètres qui interviennent, soit INF ou COEF pour la production, et  $V_0$ ,  $\alpha$  et  $K_0$  pour le transfert.

Deux cas peuvent se présenter, suivant que l'on dispose ou non de données de pluies et de débits sur le bassin étudié :

\* dans l'affirmative, il est prévu dans le programme de déterminer les paramètres par minimisation de fonctions critères, à l'aide de la méthode d'optimisation non linéaire de Nelder et Mead (Himmelblau, 1972; Servat et Dezetter, 1988). Pour la production, INF est déterminé par minimisation de la différence de la somme des pluies nettes et du volume ruisselé (COEF

étant quant à lui déterminé directement et exactement par la même quantité). Pour le transfert, les 3 paramètres sont déterminés par minimisation de la fonction :

$$EC = \text{SQRT} \left( \frac{\sum_j (Q_{\text{obs}}(t_j) - Q_{\text{cal}}(t_j))^2}{\sum_j (Q_{\text{obs}}(t_j))} \right) \quad (7)$$

où  $Q_{\text{obs}}$  et  $Q_{\text{cal}}$  sont respectivement les débits observés et calculés pour chaque intervalle de temps  $t_j$ .

\* sinon, on choisira, arbitrairement ou non, les valeurs de ces paramètres. Compte tenu du petit nombre de bassins qui ont été traités jusqu'à présent par ce modèle, il n'est pas possible de fournir de relations précises pour la prédétermination des paramètres sur des bassins non jaugés. Les paramètres de production sont naturellement influencés par, entre autres, la perméabilité des sols du bassin et les précipitations antérieures. Les paramètres de transfert pourraient en revanche être peu variables d'un bassin à l'autre, étant donné qu'une part importante de la variabilité des conditions de transfert est a priori prise en compte dans le modèle par la distribution des pentes et des directions de drainage.

## 2. Organigramme et fonctions du programme

Le programme est écrit en Fortran77, pour station de travail (Sun, Apollo....). L'organigramme général est représenté sur la figure 4.

Les différents constituants du programme sont :

MAIN : lectures de données, appels sous-routines, écriture résultats

LEC63M : lecture des données hydro-pluviométriques

MAILLES :

détermination des mailles actives du bassin .....  
 appel polygones de Thiessen ..... 1er passage  
 lecture des fichiers type Lamont .....  
 calcul des temps de parcours  $T_m$  ..... passages suivants  
 écriture fichier des temps de parcours ..... dernier passage

SIMPLE : optimisation des paramètres du modèle par la méthode de Nelder et Mead

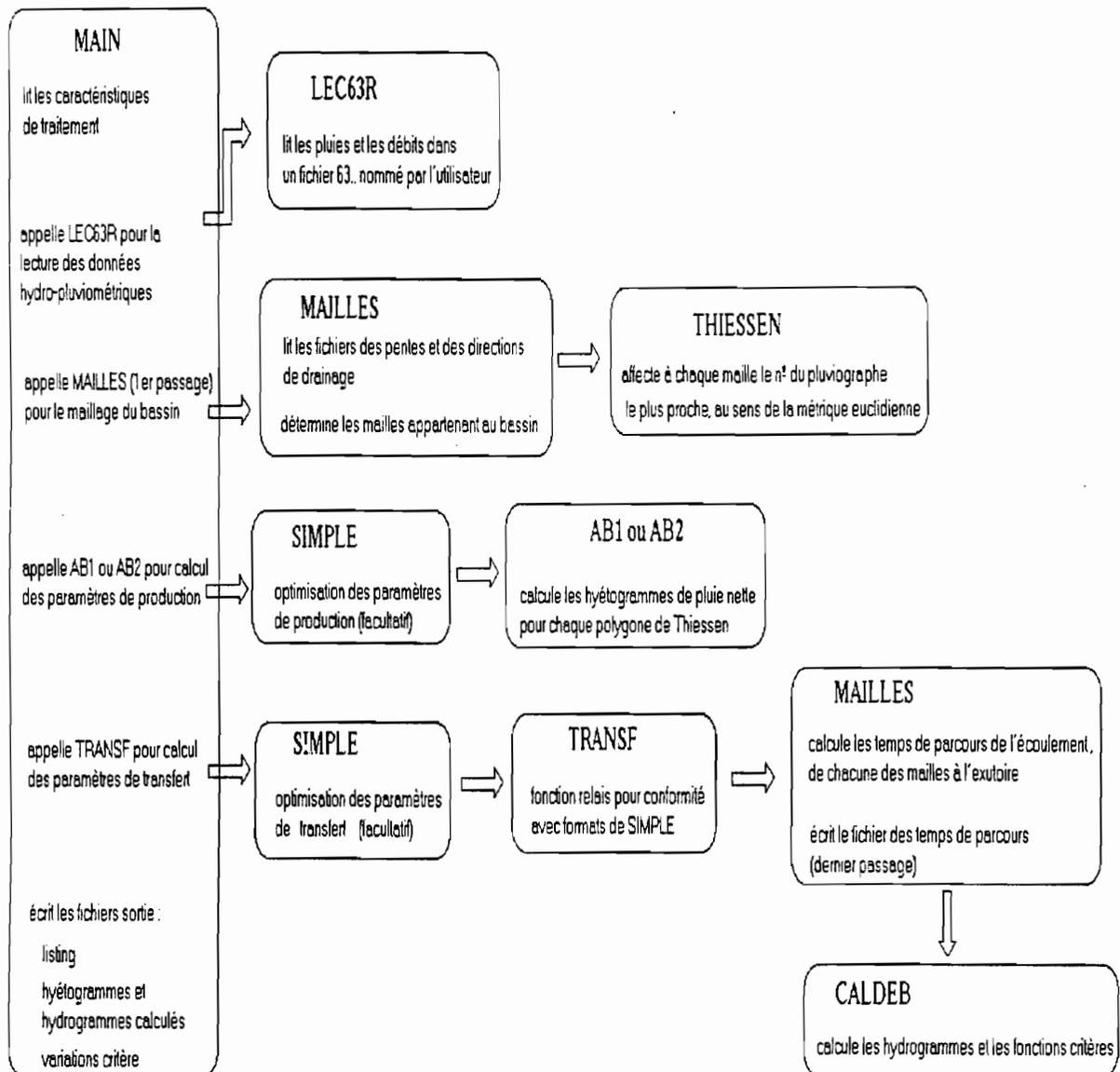
AB1 : schéma de production (pertes constantes)

AB2 : schéma de production (pertes proportionnelles)

TRANSF : fonction relais compatible avec les arguments de SIMPLE, appelle MAILLES et CALDEB

CALDEB : calcule les débits et les fonctions critères

Figure 4 : Organigramme du programme



### 3. Comment constituer les fichiers d'entrée ?

Quatre (éventuellement cinq) fichiers doivent être préalablement constitués avant de lancer l'exécution du programme. Il s'agit :

- \* du fichier des données hydro-pluviométriques (type 63),
- \* du fichier des directions de drainage (type LAMONT),
- \* du fichier des pentes (type LAMONT),
- \* (éventuellement) du fichier masque (type LAMONT),
- \* du fichier des caractéristiques de traitement, contenant l'ensemble des spécifications nécessaires à l'exécution du programme.

### 3.1 : Constitution du fichier 63 des données de pluie et de débit

Un exemple de présentation des données hydro-pluviométriques est indiqué en figure 5.

Figure 5 : Exemple de fichier type 63

```

6300 3 10San Marcos - Fichier averses/cruets pdt=05mn          0
  9 1 9 (18,2X,14F5.0,(/10X,14F5.0))                          0
  5 9 1                                                         0
2571010801-8 122.6000 San Marcos                               0
2571010714 0.0000 Coatepec                                    0
2571010801 0.0000 Avila Camacho                              0
2571010803 0.0000 Chalco                                     0
2571010804 0.0000 San Rafael                                 0
2571010817 0.0000 Campamiento                               0
2571010818 0.0000 Santa Maria                              0
2571010819 0.0000 Llano grande                              0
2571010821 0.0000 Venta Nueva                               0
2571010822 0.0000 Venta de Cordova                          0
6300 71991 169
9191630 0. 0. 0. 0. 0. 41. 2. 1. 2. 13.
9191635 0. 0. 0. 0. 0. 15. 4. 1. 10. 10.
9191640 0. 1. 0. 0. 0. 23. 1. 1. 28. 32.
9191645 0. 1. 0. 0. 0. 6. 1. 1. 25. 44.
9191650 0. 1. 3. 0. 0. 7. 0. 1. 7. 42.
9191655 0. 33. 7. 0. 0. 19. 0. 1. 8. 31.
9191700 0. 18. 6. 0. 0. 6. 0. 1. 11. 14.
9191705 0. 19. 2. 0. 0. 3. 2. 1. 11. 4.
9191710 0. 9. 2. 0. 0. 3. 4. 1. 5. 2.
9191715 0. 6. 2. 14. 0. 2. 4. 0. 2. 2.
9191720 0. 1. 2. 21. 0. 1. 4. 0. 2. 2.
9191725 0. 0. 2. 18. 0. 1. 18. 0. 2. 2.
9191730 0. 0. 1. 19. 0. 1. 18. 0. 1. 1.
9191735 0. 0. 1. 20. 0. 1. 19. 0. 0. 0.
9191740 0. 0. 1. 0. 0. 1. -10. 0. 0. 0.
9191745 0. 0. 1. 0. 0. 1. -10. 0. 0. 0.
9191750 0. 0. 0. 0. 0. 1. -10. 0. 0. 0.
9191755 0. 0. 0. 0. 0. 1. -10. 0. 0. 0.
9191800 0. 0. 0. 0. 0. 1. -10. 0. 2. 0.
9191805 0. 0. 0. 0. 0. 1. -10. 0. 1. 0.
9191810 0. 0. 0. 0. 0. 0. -10. 0. 0. 0.
9191815 0. 0. 0. 0. 0. 0. -10. 0. 0. 0.
9191820 0. 0. 0. 0. 0. 0. -10. 0. 0. 0.
9191825 0. 0. 0. 0. 0. 0. -10. 0. 0. 0.
9191830 0. 0. 0. 0. 0. 0. -10. 0. 0. 0.
9191835 0. 0. 0. 0. 0. 0. -10. 0. 0. 0.
9191840 0. 0. 0. 0. 0. 0. -10. 0. 0. 0.
9191845 0. 0. 0. 0. 0. 0. -10. 0. 0. 0.
9191850 0. 0. 0. 0. 0. 0. -10. 0. 0. 0.
9191855 3275. 0. 0. 0. 0. 0. -10. 0. 0. 0.
9191900 4100. 0. 0. 0. 0. 0. -10. 0. 0. 0.
9191905 4166. 0. 0. 0. 0. 0. -10. 0. 0. 0.
9191910 4205. 0. 0. 0. 0. 0. -10. 0. 0. 0.
9191915 4230. 0. 0. 0. 0. 0. -10. 0. 0. 0.
9191920 4237. 0. 0. 0. 0. 0. -10. 0. 0. 0.
9191925 4242. 0. 0. 0. 0. 0. -10. 0. 0. 0.

```

Ce fichier correspond au format 63 utilisé à l'ORSTOM, et peut être constitué soit manuellement, soit à l'aide de la chaîne de traitement des données provenant de Pluviom et de Hydrom. Cette chaîne de traitement a déjà été décrite dans EXCAR (Bouvier, 1989), et nous en rappelons les étapes principales :

# constitution d'un fichier des hauteurs de pluie à pas de temps fixe (choisi par l'utilisateur) par le programme RPI62B :

fichiers entrées :

- . options de traitement (précisant en particulier le pas de temps choisi et la liste de station-années),
- . fichier des averses issu de Pluviom (type .lab)

fichier sortie :

- . fichier 62 des averses à pas de temps fixe

# fusion des pluies et débits à pas de temps fixe par le programme MIX6268 :

fichiers entrées :

- . options de traitement (précisant en particulier le nom du fichier 62 des averses à pas de temps fixe et le nom du fichier 68 des débits à pas de temps fixe, ce dernier issu directement de Hydrom).

fichier sortie :

- . fichier 62 des pluies-débits à pas de temps fixe

# extraction des épisodes par le programme P6263 :

fichiers entrées :

- . dates de début et fin des épisodes
- . fichier 62 des pluies-débits à pas de temps fixe

fichier sortie :

- . fichier 63 des épisodes pluies-débits à pas de temps fixe

N.B. :

1) les pluies et débits figurant dans le fichier 63 doivent respectivement être exprimées en 1/10<sup>e</sup> de millimètres et en format Hydrom (3498 pour 0,498 m<sup>3</sup>/s, 2140 pour 0,014 m<sup>3</sup>/s) pour être lues par le modèle.

2) on vérifiera donc que les deux derniers chiffres de la troisième ligne du fichier 63 sont bien 9 et 1, fixant le choix des unités susdites. Dans le cas contraire, un message d'erreur sera envoyé par le programme, suspendant son exécution.

3) les lacunes de pluie sont notées par -10, les lacunes de débit par -100.

### Format 63 :

Le format 63 est constitué de :

3 enregistrements en tête :

NCOD,NHEAD,NBRANC,TITRE,ISUIT	(I4,2I3,A68,I2)
NEPI,NBRQ,NBRP,FORDAT,ISUIT	(I4,2I3,A68,I2)
PDTEMP,QUNITE,PUNITE,ISUIT	(I4,2I2,70X,I2)

N enregistrements suivants (N=NBRANC=NBRQ+NBRP) :

NBRQ enregistrements QID, QSURF, ISUIT	(A12,F12.4,54X,I2)
NBRP enregistrements PID, PSURF, ISUIT	(A12,F12.4,54X,I2)

NEPI blocs de données (1 bloc par épisode) comportant :

1 enregistrements NCOD, NUEPI, LANNEE, NBRENR	((3I4,I6)
NBRENR enregistrements	
LADAT,(Q(IQ),IQ=1,NBRQ),(P(IP),IP=1,NBRP)	format FORDAT

++ Le format de LADAT - inclus dans FORDAT - est obligatoirement en I8 : Mois-Jour-Heure-Minute, et correspond à la fin de la période.

Exemple : 03011530 = le 1er mars à 15h30

### Définition des variables :

NCOD*	INT*4	N° de code du fichier
NHEAD	INT*4	Nombre de lignes en tête (3 normalement)
NBRANC	INT*4	Nombre de lignes stations
TITRE*	CHAR*68	Titre du fichier
ISUIT	INT*4	Code poursuite ligne (si 9)
NEPI	INT*4	Nombre d'épisodes du fichier
NBRQ,NBRP	INT*4	Nombre de stations (débits, pluies)
FORDAT	CHAR*68	Format de lecture des enregistrements données
PDTEMP	INT*4	Pas de temps, en minutes
QUNITE,PUNITE	INT*4	Unité des débits, pluies

QID,PID	CHAR*12	Identification des stations (débits, pluies)
NUEPI	INT*4	Numéro de l'épisode
LANNEE	INT*4	Année de début de l'épisode
NBREN	INT*4	Nombre d'enregistrements de l'épisode
LADAT	INT*4	Date de chacun des enregistrements
Q(.),P(.)	REAL*4	Valeurs des débits et des pluies
QSURF*	REAL*4	Surface du bassin amont
PSURF*	REAL*4	Surface contrôlée par le pluvio

\* facultatif pour le fonctionnement du modèle

### 3.2 : Constitution des fichiers des pentes et des directions de drainage

Il s'agit préalablement de constituer un MNT, dont l'analyse fournira les fichiers demandés. Plusieurs systèmes permettent d'obtenir un MNT aux noeuds d'une grille de mailles carrées régulières, en particulier DEMIURGE (Depraetere, 1991) ou BABEL (Souris et Remy, 1989), auxquels on se référera pour plus de détails. Les fichiers lus par le modèle sont au format Lamont (voir Demiurge), et, dans le cas de l'utilisation d'un autre système, il est donc nécessaire d'effectuer une correction de format (dans le cas de BABEL, cette conversion est assurée par l'utilitaire Bablam).

Cette étape est relativement lourde, aussi bien par la digitalisation des courbes de niveau que par le contrôle de la qualité du MNT. Lors de l'application du modèle sur les bassins de Chalco, le MNT a été constitué pour un pas de 100 mètres, à partir de courbes de niveau également équidistantes de 100 mètres.

Rappelons que la qualité du MNT et de ses fichiers dérivés (en particulier pentes et directions de drainage) est directement liée au choix du pas de discrétisation et à la densité des courbes de niveau digitalisées. Il paraît prudent de contrôler en général la qualité des fichiers établis d'après le MNT. Nous suggérons ainsi de veiller à :

- \* l'absence de phénomène de striage, correspondant à l'apparition intempestive de crêtes parasites le long d'une des 8 directions de drainage utilisées par le MNT. Ce phénomène est d'autant plus marqué que la densité des courbes digitalisées est faible ; il varie également suivant le système utilisé ;
- \* la bonne coïncidence du réseau hydrographique principal (cartographié) et du réseau reconstitué par le fichier des directions de drainage (par exemple l'ensemble des mailles qui drainent un minimum de N mailles en amont),
- \* la bonne coïncidence des lignes de crête, cartographiées et reconstituées par le fichier des directions de drainage.

Des corrections manuelles du fichier des directions de drainage sont généralement nécessaires pour rectifier le réseau hydrographique et les lignes de crêtes du bassin.

Les boucles de drainage sont automatiquement détectées lors de l'exécution du modèle et suspendent son exécution. Ces boucles doivent être supprimées avant de relancer l'exécution.

Enfin, signalons que de plus en plus fréquemment, il est possible de se procurer des MNT déjà constitués (par l'IGN en France, l'INEGI au Mexique), qui permettent d'éviter la phase de digitalisation des courbes de niveau.

### 3.3 : Constitution du fichier masque

Cette opération est facultative. Elle est destinée à sélectionner une partie du bassin (type de sol, classe d'altitude, sous-bassin) afin d'individualiser sa contribution au ruissellement. Ce fichier doit être au format Lamont, avec le même nombre de profils et des points que dans les fichiers des pentes et des directions de drainage. Les pixels situés dans le masque sont repérés par des valeurs positives, et hors du masque par des valeurs négatives ou nulles.

Dans certains cas (classe d'altitude, sous-bassin), il est possible d'obtenir directement le masque à partir des fichiers dérivés du MNT (altitude, drainage) à l'aide de l'utilitaire Lam\_Masq figurant dans Lamont.

Dans d'autres cas, en particulier pour des données ne relevant pas du relief, le masque doit être établi par digitalisation de l'information. Les masques peuvent également être produits directement à partir de cartes gérées par le SIG SAVANE (Souris, 1990), ou à partir d'images satellites gérées par PLANETE (Rakoto et al., 1990), préalablement transférées dans SAVANE. Les conversions au format Lamont sont réalisées par l'utilitaire Salam.

### 3.4 : Constitution du fichier des options d'exécution du modèle

Ce fichier contient toutes les instructions nécessaires à l'exécution du programme (figure 6). Toutes les valeurs demandées figurent en format libre, dans un champ réservé correspondant aux 50 premières colonnes de chaque ligne. Le texte commentaire situé à droite ne doit pas empiéter sur cet espace réservé.

Figure 6 : Exemple de fichier des caractéristiques de traitement

a1			Numero essai
/home/users/dupont/demo.dat			Nom du fichier des donnees hydro-pluvio (type 63)
/home/users/dupont/demo.dra			Nom du fichier de drainage
/home/users/dupont/demo.pen			Nom du fichier des pentes
/home/users/dupont/demo.mas			Nom du fichier masque (en blanc si non)
250 159 100			Caracteristiques fichiers Lamont (profils,points,pas)
2571010801-8			Numero station hydro
29 32			Coordonnees de l'exutoire
1			Nombre d'evenements a traiter
7			Numero des evenements a traiter
7			Nombre pluviographes
2571010714	60	133	No pluvio, coordonnees en X et en Y
2571010801	150	65	No pluvio, coordonnees en X et en Y
2571010803	32	24	No pluvio, coordonnees en X et en Y
2571010817	120	95	No pluvio, coordonnees en X et en Y
2571010819	193	73	No pluvio, coordonnees en X et en Y
2571010821	78	40	No pluvio, coordonnees en X et en Y
2571010822	104	48	No pluvio, coordonnees en X et en Y
.020			Debit minimal (non utilise dans cette version)
300 300			Longueur des vecteurs pluie et debit
AB2			Nom de la fonction de production choisie (AB1 ou AB2)
Log			Forme de la relation amort/propag (Lin ou Log)
50 1			Nombre iterations pour optimisation, produc. et transfert
5. .001 20.			Valeur et limites du parametre de transfert 1
-.3 .001 20.			Valeur et limites du parametre de transfert 2
6.0 .001 20.			Valeur et limites du parametre de transfert 3
20. -1000. 1000.			Valeur et limites du parametre de production (si AB1)
1 1			Nombre de noeuds en X et en Y pour grille SURFER
10 3			Valeurs initiales en X et en Y pour la grille SURFER
1 1			Pas iteration en X et en Y pour la grille SURFER
/home/users/dupont/lst			Nom du fichier listing de controle
/home/users/dupont/res			Nom du fichier des resultats (type 63)
/home/users/dupont/sur			Nom du fichier isovaleurs du critere (type Surfer)
/home/users/dupont/iso			Nom du fichier des isochrones (type Lamont)

## CARACTERISTIQUES DES FICHIERS ENTREE

**Numéro Essai** : ce numéro sera ensuite utilisé comme extension des noms des fichiers de sortie, permettant de conserver la trace des traitements réalisés.

**Nom du fichier des données hydro-pluvio, type 63** : il s'agit du fichier constitué lors de l'étape 3.1. Ce nom ne doit pas dépasser 50 caractères.

**Nom du fichier des directions de drainage** : il s'agit du fichier constitué lors de l'étape n°3.2. Ce nom ne doit pas dépasser 50 caractères.

**Nom du fichier des pentes** : commentaire identique au précédent.

**Nom du fichier masque** : il s'agit du nom du fichier constitué lors de l'étape 3.3. Ce nom ne doit pas dépasser 50 caractères. Si l'on ne souhaite pas utiliser de fichier masque, laisser les 50 caractères en blanc.

**Caractéristiques des fichiers type Lamont** : indiquer le nombre de profils, de points par profils et le pas des fichiers en mètres.

## CARACTERISTIQUES DU BASSIN

**Numéro de la station hydrométrique** : déclarer le numéro (12 caractères) de la station de référence. Cette station doit nécessairement exister dans le fichier 63. Dans le cas de la simulation d'un hydrogramme à un exutoire différent de l'emplacement de la station, il faut de toute façon déclarer un numéro de station hydrométrique figurant dans le fichier 63

**Coordonnées de l'exutoire** : déclarer les coordonnées de l'exutoire du bassin choisi, dans le repère du MNT, c'est à dire n°profil et n°point de l'exutoire. Le choix du bassin est entièrement déterminé par ces coordonnées.

## CARACTERISTIQUES DE L'EVENEMENT A TRAITER

**Nombre d'événements à traiter** : dans la version actuelle, le nombre d'événements est toujours égal à 1.

**Numéro de l'événement à traiter** : indiquer le n° de l'événement figurant dans le fichier 63

**Nombre de pluviographes** : déclarer le nombre de pluviographes que l'on souhaite utiliser (en général, l'ensemble des pluviographes ayant une influence sur le bassin). Si

le polygone de Thiessen associé à l'un des pluviographes demandé n'a pas d'intersection avec le bassin, ce poste sera éliminé automatiquement par le programme.

**Numeros et coordonnées des pluviographes :** entrer les numeros (10 caractères) et les coordonnées des pluviographes dans le repère du MNT, c'est à dire les n° du profil et les n° du point de chaque pluviographe. Une ligne pour chaque pluviographe.

**Seuil de débit minimal (en m<sup>3</sup>/s) :** ce seuil permet de limiter la crue à la partie de l'écoulement supérieur à un certain débit constant. On pourra utiliser ce seuil pour séparer un écoulement superficiel du débit de base, ou pour supprimer une décrue anormalement longue. Sinon, on choisira la valeur 0. (Cette fonction n'est pas opérationnelle dans la version actuelle du programme).

**Longueur des vecteurs pluies et débits :** choisir une taille, exprimée en pas de temps, permettant de faire apparaître l'intégralité des hyétogrammes et des hydrogrammes de l'événement choisi. Cette taille est actuellement limitée à 300 pas de temps (parameter NMAX=300 dans MAIN, AB1, AB2, TRANSF).

## FONCTIONS DE PRODUCTION ET DE TRANSFERT

**Nom de la fonction de production :** choisir AB1 pour les pertes à l'écoulement constantes, AB2 pour les pertes à l'écoulement proportionnelles à l'intensité de l'averse.

**Choix de la fonction d'amortissement :** entrer Lin pour une relation linéaire entre le coefficient d'amortissement  $K_m$  et le temps de propagation  $T_m$ , Log pour une relation logarithmique.

**Nombre itérations production et transfert :** entrer le nombre d'itérations souhaitées pour l'optimisation des paramètres de production et pour l'optimisation des paramètres de transfert. La procédure d'optimisation est ignorée si le nombre d'itérations est fixé à 1.

**Valeurs initiales et limites des paramètres de transfert :** déclarer les valeurs initiales et les bornes des 3 paramètres de transfert,  $V_o$  (m/s),  $a$  et  $K_o$  (adimensionnels). Une ligne par paramètre. Si la valeur initiale est précédée du signe moins, ce paramètre ne sera pas concerné par la procédure d'optimisation, et conservera sa valeur initiale déclarée. La procédure d'optimisation sera ignorée si tous les paramètres ont des valeurs initiales précédées d'un signe moins.

**Valeur initiale et bornes du paramètre de production :** déclarer la valeur initiale et les bornes du paramètre de production, c'est à dire INF (en 0,1mm/pas de temps) si AB1 a été choisie, COEF (adimensionnel, ex:0,27) si AB2 a été choisie. Mêmes commentaires que précédemment si la valeur initiale déclarée est précédée du signe moins.

## ETUDE DES VARIATIONS DU CRITERE

Dans les trois lignes suivantes, on fixera les modalités d'étude des variations de la fonction critère, en fonction des variations de **deux** paramètres de transfert. Les deux paramètres choisis auront nécessairement des valeurs initiales déclarées positives, tandis que le troisième paramètre devra être déclaré avec une valeur initiale précédée d'un signe moins. Les résultats seront exprimés sous la forme d'un fichier type SURFER.

**Nombre de noeuds en X et en Y :** déclarer le nombre d'itérations en X et en Y. Si la valeur 1 est choisie pour chacun des 2 axes, la procédure sera ignorée.

**Valeurs initiales en X et en Y :** fixer les valeurs minimales des paramètres, à partir desquelles seront effectuées les itérations.

**Pas itération en X et en Y :** fixer le pas d'itération sur chacun des axes, c'est à dire la variation élémentaire des paramètres d'une itération à l'autre.

## CARACTERISTIQUES DES FICHIERS SORTIE :

Dans les 4 lignes suivantes, on demande de nommer les 4 fichiers de sortie possibles. Attention, aux noms donnés sera ajoutée systématiquement une extension correspondant au numéro de l'essai, déclaré en première ligne.

**Nom du fichier listing :** déclarer le nom du fichier (maximum 50 caractères) qui contiendra le listing du déroulement du programme.

**Nom du fichier résultats, type 63 :** déclarer le nom du fichier (maximum 50 caractères) qui contiendra les pluies brutes et pluies nettes, hydrogrammes observé et calculé correspondant au traitement demandé. Ces résultats peuvent être visualisés directement par le programme GRAF.

**Nom du fichier des variations du critère, type SURFER :** déclarer le nom du fichier (maximum 50 caractères) qui contiendra les différentes valeurs du critère en fonction des variations de deux des paramètres de transfert. Ce fichier pourra être visualisé directement par SURFER.

**Nom du fichier des temps de parcours, type LAMONT :** déclarer le nom du fichier (maximum 50 caractères) qui contiendra les temps de parcours associés à chaque maille, calculés avec les valeurs finales des paramètres de production et de transfert. Ce fichier peut être visualisé par LAMONT, pour faire apparaître par exemple les différentes surfaces isochrones.

## 4. Installation et exécution du programme

### 4.1 Installation

Les fichiers vous sont remis soit sur une cartouche, soit sur une disquette. Il s'agit donc d'effectuer un transfert vers votre disque :

\* vous choisirez un répertoire sur votre disque pour l'installation du programme,

\* après vous être placé sous ce répertoire, vous exécuterez les instructions :

```
    dans le cas d'une cartouche
    mt rew
    tar xvf /dev/rst0
```

```
    dans le cas d'une disquette
    tar xvf /dev/rfd0
```

Une fois les fichiers copiés sous Unix, la version exécutable du programme peut être lancée (voir paragraphe suivant). Il se peut cependant qu'une nouvelle compilation soit nécessaire. Pour ce faire, vous lancerez l'instruction :

### **Make\_Mercedes**

Cette instruction réalisera la compilation de l'ensemble des sources, et déclenchera automatiquement l'exécution du programme, en lisant le fichier demo.opt.

### 4.2 Exécution du programme

Le programme est lancé par l'instruction :

```
mcdes < nomfich
```

où nomfich est le fichier des caractéristiques de traitement constitué préalablement (voir 3.4).

### 4.3 Programmes utilitaires

Plusieurs utilitaires figurent également sur la disquette, pour faciliter la gestion des fichiers de données :

\* l'utilitaire graf (fonctionnant seulement sous SUNVIEW) permet de visualiser graphiquement les hyétogrammes et hydrogrammes contenus dans les fichiers type 63; les fichiers susceptibles d'être traités sont par exemple demo.dat et demo.res.a1. Cet utilitaire est lancé par l'instruction :

### **graf**

et l'utilisateur doit répondre ensuite aux questions : nom du fichier à lire ?, n° de l'événement à lire ?

\* l'utilitaire bablam assure la conversion d'un MNT constitué par BABEL au format LAMONT. Cet utilitaire est lancé par l'instruction :

### **bablam**

qui demande :

- le nom de la base dans laquelle se trouve le MNT (sous SAVANE),
- le nom du MNT BABEL,
- le nom à donner au MNT LAMONT,
- le profil origine (en bas à gauche de l'image)
- le point origine (en bas à gauche de l'image)
- le nombre de profils à extraire,
- le nombre de points à extraire.

\* l'utilitaire Salam assure la conversion des images raster du SIG SAVANE au format LAMONT. Cet utilitaire est lancé par l'instruction :

### **lambab**

qui demande :

- le nom de la base dans laquelle se trouve l'image raster (sous SAVANE),
- le nom de l'image raster,
- le nom à donner au fichier Lamont en sortie,
- le profil origine (en bas à gauche de l'image)
- le point origine (en bas à gauche de l'image)
- le nombre de profils à extraire,
- le nombre de points à extraire.

\* d'autres utilitaires sont prévus, en particulier pour la gestion des fichiers type Lamont sous Unix : visualisation des images raster, modifications des directions de drainage.... Ces programmes ne sont pas disponibles actuellement.

La compilation des utilitaires est réalisée par l'instruction Make\_util.

## 5. Les fichiers en sortie

Il est possible d'obtenir 4 (ou moins) fichiers en sortie, en fonction des caractéristiques du traitement. Les noms de ces fichiers sont déterminés par :

le numéro essai déclaré,  
les 4 dernières lignes du fichier des caractéristiques de traitement.

Par exemple, si l'on a déclaré a1 comme n° d'essai et si les 4 dernières lignes sont :

```
/home/users/lst
/home/users/res
/home/users/iso
/home/users/sur
```

les fichiers de sortie porteront les noms :

```
/home/users/lst.a1
/home/users/res.a1
/home/users/iso.a1
/home/users/sur.a1
```

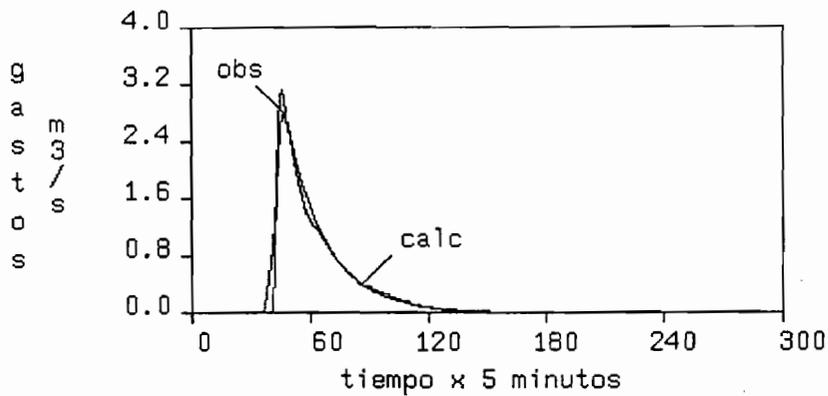
Le fichier lst.a1 conserve le détail des opérations : valeurs lues, résultats numériques de l'optimisation, etc...

Le fichier res.a1 est un fichier type 63, contenant hydrogrammes observés et calculés, hyétogrammes des pluies brutes et des pluies nettes, pour l'événement demandé. Ce fichier peut être visualisé directement par GRAF (figure 8).

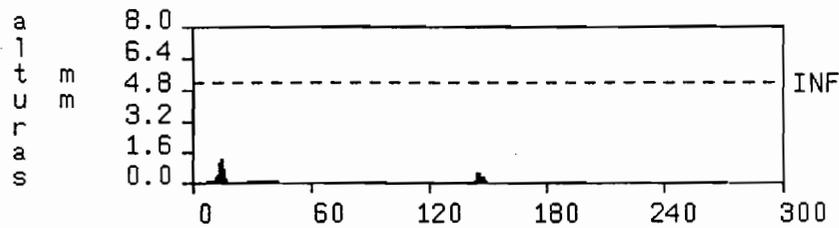
**Figure 7 : Représentation des isochrones**

Le fichier iso.a1 est un fichier type Lamont, contenant les temps de parcours de chacune des mailles à l'exutoire, utilisant les derniers paramètres calculés pour la production et le transfert. Ce fichier, traité par Lamont, permet de faire apparaître les différentes zones isochrones du bassin (figure 7).

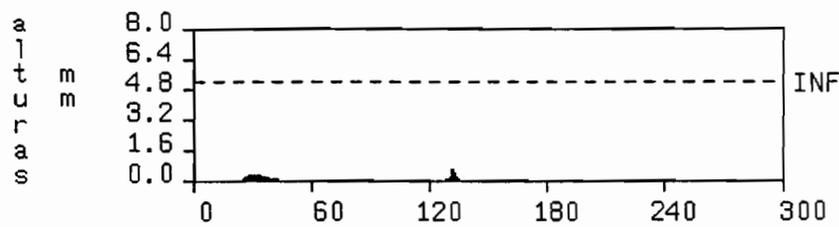
Figure 8 : Visualisation des hydrogrammes et des hyétogrammes

HIDROGRAMAS

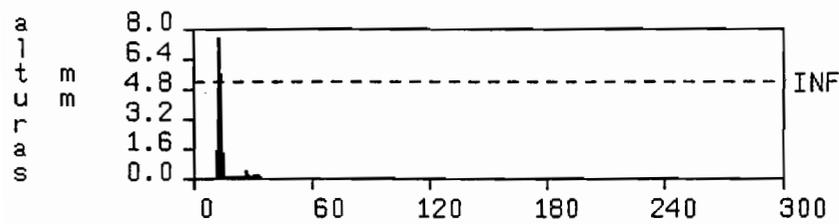
SAN MARCOS  
02.09.1991

HIETOGRAMAS

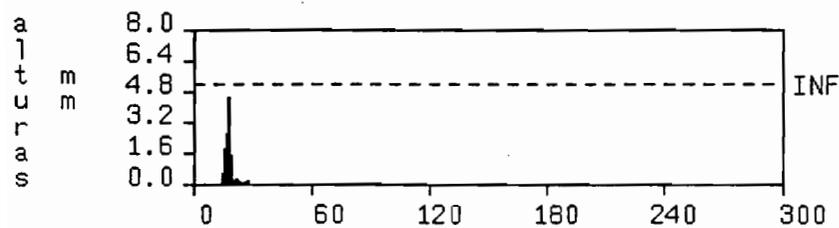
Coatepec  
02.09.1991



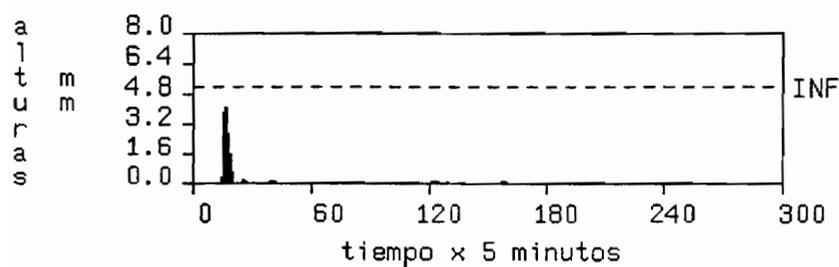
Chalco  
02.09.1991



Campamiento  
02.09.1991



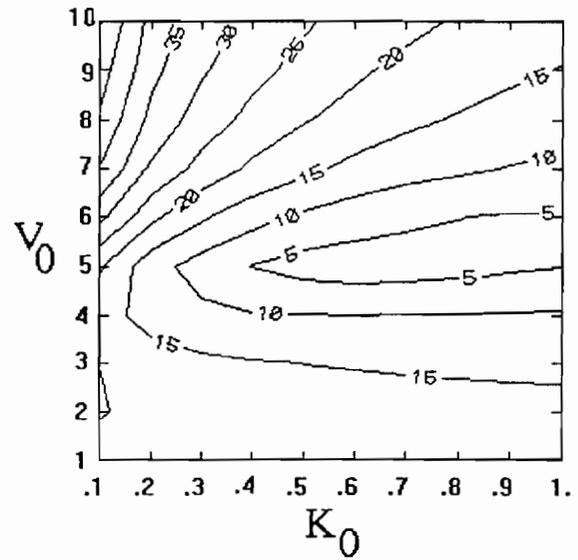
Venta Nueva  
02.09.1991



Venta de Cordoba  
02.09.1991

Le fichier sur.a1 est un fichier au format GRD de Surfer, contenant les valeurs de la fonction critère obtenues en faisant varier 2 des paramètres de transfert. Le fichier peut donc être lu directement par Surfer, et permet de définir la sensibilité de la fonction critère aux variations des paramètres (figure 9).

Figure 9 : Variations de la fonction critère



## 6. Exécution du programme dans le système SIGNE

SIGNE, Système Intégré de Gestion Numérique des Ecoulements, a été développé par F. Rossel sur station Sun dans le but de regrouper les différentes étapes de la modélisation hydrologique dans un système convivial compacté. SIGNE s'appuie sur l'environnement Sunview, et s'inspire de la présentation du SIG SAVANE.

SIGNE comporte actuellement plusieurs modules (figure 10) :

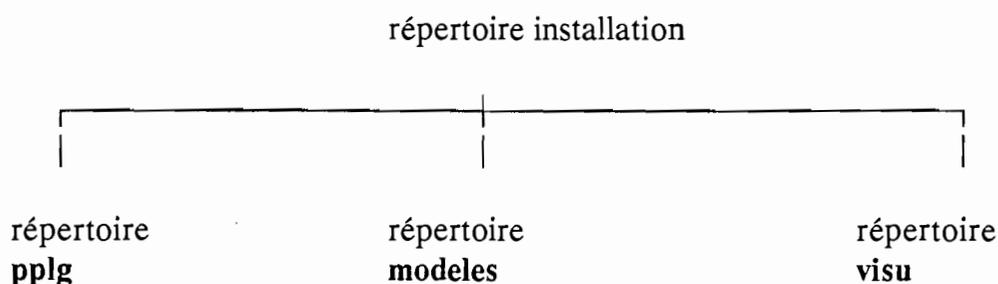
. Préparation des données hydro-pluviométriques : ce module regroupe les différentes étapes de la chaîne de traitement ORSTOM pour la constitution de fichiers au format 63 ;

. Application des modèles : ce module propose un choix de modèles hydrologiques d'usage plus ou moins courant. Le choix d'un modèle fait apparaître un écran comportant les caractéristiques de traitement correspondantes (noms des fichiers entrée-sortie, options diverses). Seul le modèle Mercedes est actuellement disponible.

. Visualisation : ce module permet de visualiser les hyétogrammes et hydrogrammes figurant dans les fichiers au format 63.

. D'autres modules sont prévus : utilitaires de conversion au format Lamont, visualisation des fichiers Lamont, etc...

L'installation de SIGNE respecte la structure arborescente suivante :



Le système vous est remis sur cartouche ou sur disquette. Pour l'installation, vous choisirez d'abord sur votre disque un répertoire d'accueil (exemple : signe), et après vous être placé sous ce répertoire, vous exécuterez :

```

dans le cas d'une cartouche
mt rew
mt fsf 1
tar xvf /dev/rst0

```

dans le cas d'une disquette  
tar xvf /dev/rfd0

Le système est ensuite prêt à fonctionner. Il peut être cependant probablement nécessaire de procéder à une nouvelle compilation. Vous réaliserez cette compilation par l'instruction Make\_Signe, dans le répertoire d'installation du système.

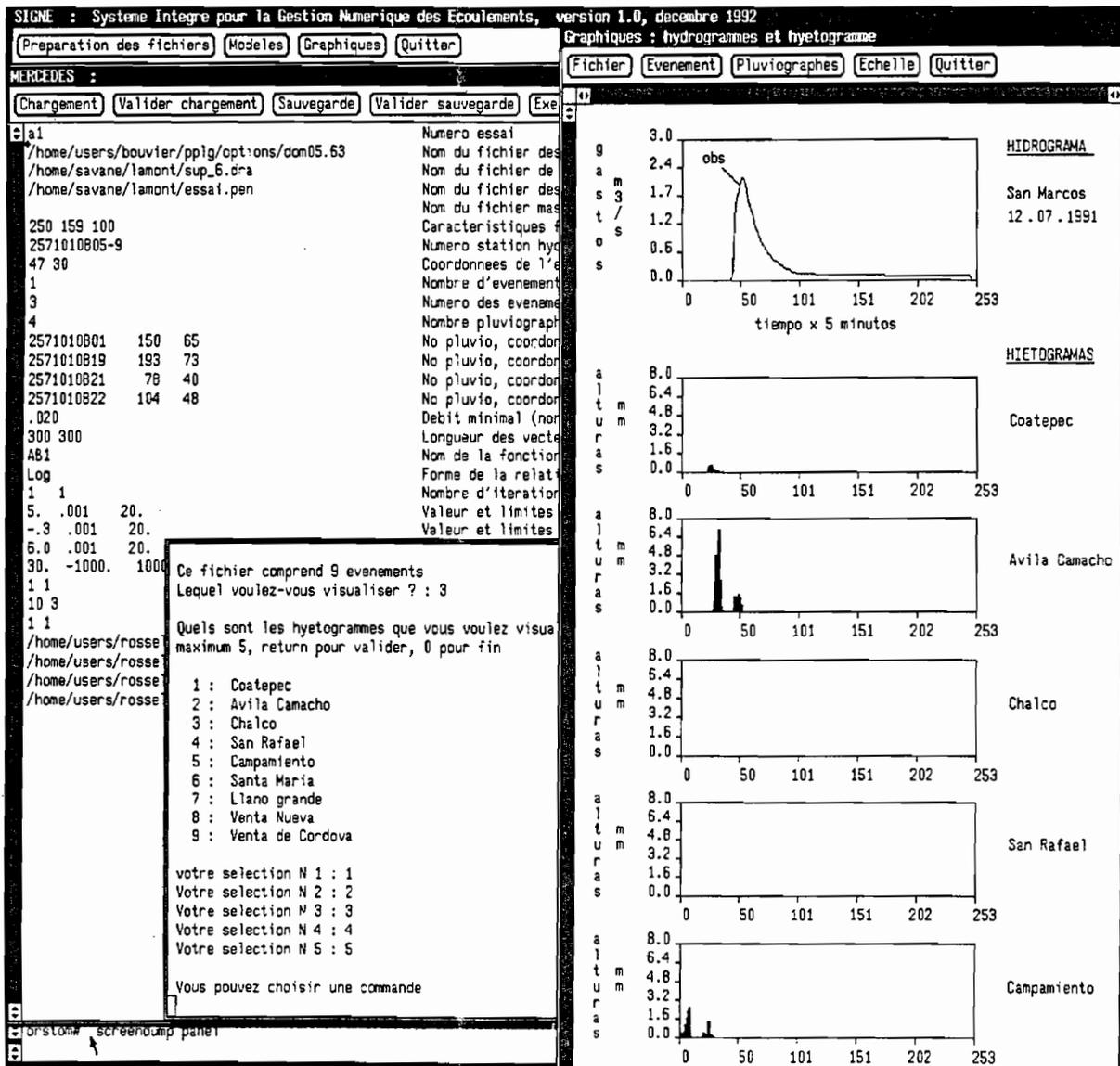
Pour lancer SIGNE, tapez l'instruction :

**signe**

dans le répertoire d'installation.

Les options de traitement sont ensuite sélectionnées en cliquant sur le bouton droit de la souris, ou en maintenant ce bouton enfoncé pour faire apparaître les différents items.

Figure 10 : Présentation du système SIGNE



N.B. : dans sa version actuelle, SIGNE doit être considéré comme une maquette d'un environnement modulaire et de fonctions destinés à une utilisation pratique des modèles hydrologiques. Cette maquette est probablement appelée à évoluer (introduction de nouveaux modules, choix d'un support standardisé autre que Sunview, optimisation de la programmation informatique). Toutes les suggestions des utilisateurs sont bienvenues pour orienter cette évolution.

#### BIBLIOGRAPHIE :

Bouvier C., Fuentes G., Dominguez R., Renault S., 1992. "Hidrologia de la Cuenca de Chalco. Mediciones en 1991. Modelacion de las avenidas de la Cuenca San Marcos", 70p., Instituto de Ingenieria / ORSTOM.

Bouvier C., Rossel F., 1992. "Modélisation des crues sur le bassin de Chalco - San Marcos. Résultats et applications." Journées Hydrologiques de l'ORSTOM, 22 et 23 septembre 1992, Montpellier.

Bouvier C., 1989. "EXCAR, logiciel de calcul des caractéristiques des événements averse-crues." ORSTOM, Notice OVNIh n°2.

Depraetere, 1991. "DEMIURGE 2.0: Chaîne de production et de traitement de Modèles Numériques de Terrain. Logiciels TOPOLOG, OROLOG et LAMONT." 3 tomes, Editions de l'ORSTOM.

Himmelblau D.M., 1972. "Applied non linear programming." 497p., McGraw-Hill.

Rakoto, M., Andrianasolo H., Mering C., 1990. "Guide de l'utilisateur de PLANETES." Editions de l'ORSTOM.

Servat E. et Dezetter A., 1988. "SIMPLE et ROSEN : deux méthodes d'optimisation non linéaire. Théorie et Pratique." ORSTOM, Notice OVNIh n°1.

Souris M. et Remy D., 1989. "Modèles Numériques de Terrain : le logiciel BABEL." SEMINFOR 3, pp 135-140, Editions de l'ORSTOM.

Souris M., 1990. "SAVANE : un Système d'Informations Géographiques à vocation scientifique." ORSTOM.



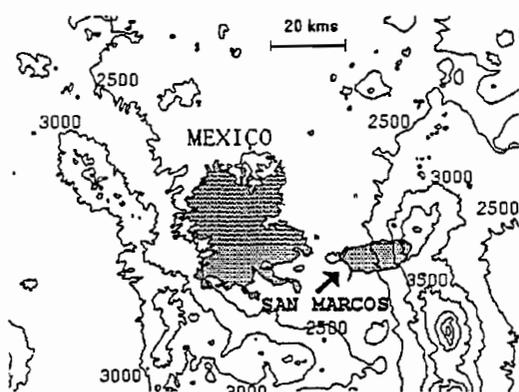
## Modélisation des crues sur le bassin de Chalco-San Marcos (110 km<sup>2</sup>)

### Résultats et Applications

Ch. Bouvier\*, F. Rossel\*\*

Lancé en 1991 en coopération avec la UNAM, le programme dans lequel s'inscrit cette présentation a pour objectif de modéliser les crues sur le versant naturel Sud-Est de l'agglomération de Mexico, en espérant ensuite appliquer les résultats à d'autres versants entourant Mexico, et plus largement, à d'autres versants de l'Altiplano Mexicain.

Figure 1 : Situation du bassin



Le bassin de Chalco-San Marcos, étudié en 1991, constitue un bon exemple régional, avec de forts reliefs qui induisent une grande variabilité des conditions de production et de transfert de l'écoulement (voir la situation du bassin en figure 1). L'analyse des crues observées sur ce bassin a conduit à l'élaboration d'un modèle distribué de la relation pluie-débit, dans laquelle les paramètres sont censés avoir une meilleure signification régionale que celle à laquelle pourrait prétendre une modélisation globale.

Nous présentons ici les premiers résultats du modèle, obtenus à partir des observations réalisées sur le bassin en 1991. En 1992, de nouvelles mesures sont en cours de réalisation, sur ce même bassin et sur l'un des bassins adjacents. L'analyse de ces dernières mesures permettra de mieux évaluer les performances du modèle, et son aptitude à décrire les crues à l'échelle régionale.

### 1. DESCRIPTION DU BASSIN

Le bassin San Marcos couvre une superficie de 110 km<sup>2</sup>, en périphérie sud-est de l'agglomération de Mexico. Les altitudes varient de 2240 à 4000 m, et influencent directement les conditions climatiques et géographiques locales :

\* les précipitations annuelles varient de 600 à 1100 millimètres; l'extension spatiale des averses est généralement très limitée, ce qu'illustre la carte des isovaleurs des intensités maximales en 5 minutes de 2 événements observés en 1991 (voir figure 2);

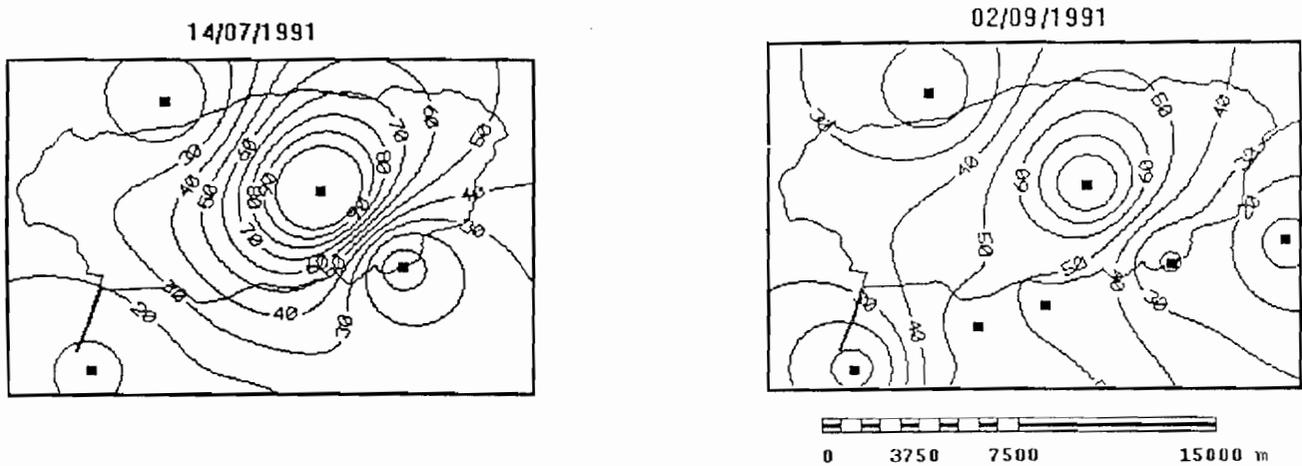
\* la géographie du bassin comprend trois zones distinctes : la plaine agricole, dont les pentes sont quasi nulles; le piémont, à dominante également agricole, avec des pentes variant de 1 à 5 %; la montagne, couverte de forêts de pin, avec des pentes atteignant jusqu'à 25 %.

Sur l'ensemble du bassin, les perméabilités des sols sont élevées, en raison de leur nature volcanique, et de l'importance de l'activité agricole ou du couvert végétal (voir figure 3).

\* Hydrologue ORSTOM, Ciceron 609, 11450 Mexico D.F.

\*\* VSN ORSTOM, Ciceron 609, 11450 Mexico D.F.

Figure 2 : Isovaleurs des intensités maximum en 5 minutes



Du point de vue hydrographique, le drainage de la partie terminale du bassin est assurée par un canal artificiel, d'environ 5 kilomètres de longueur et de pente moyenne égale à 0,5 %.

Enfin, et surtout, l'écoulement sur le bassin est bloqué en plusieurs points par des aménagements destinés à la protection contre les inondations. A l'issue d'un travail de terrain exhaustif, ces ouvrages ont été localisés et pris en compte pour redéfinir les limites réelles du bassin. La zone de plaine située à une altitude inférieure à 2280 m ne participe pas non plus à l'écoulement, compte tenu des faibles pentes, des perméabilités élevées des sols agricoles, et de la surélévation du canal par rapport à la plaine.

Figure 3 : Altitudes et occupation du sol

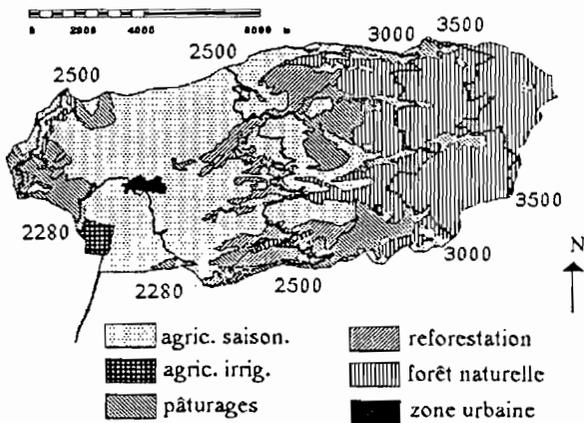
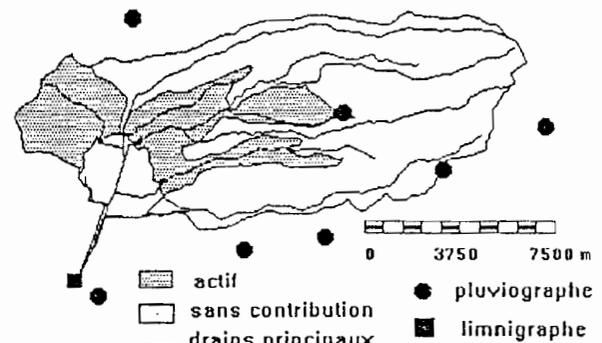


Figure 4 : Drainage et appareils de mesure



Finalement, la surface active du bassin se réduit à 30 km<sup>2</sup>, localisée essentiellement en zone de piémont (voir figure 4). La variabilité des facteurs du ruissellement reste grande, notamment en ce qui concerne les averses, les pentes et les conditions de drainage.

Compte tenu de cette variabilité, et compte tenu de la position éloignée de la station de mesure par rapport à la surface productive du bassin, il nous a paru préférable de travailler sur des unités restreintes, ayant une meilleure homogénéité au sens des facteurs de ruissellement. La distribution du bassin est ainsi réalisée de la façon suivante :

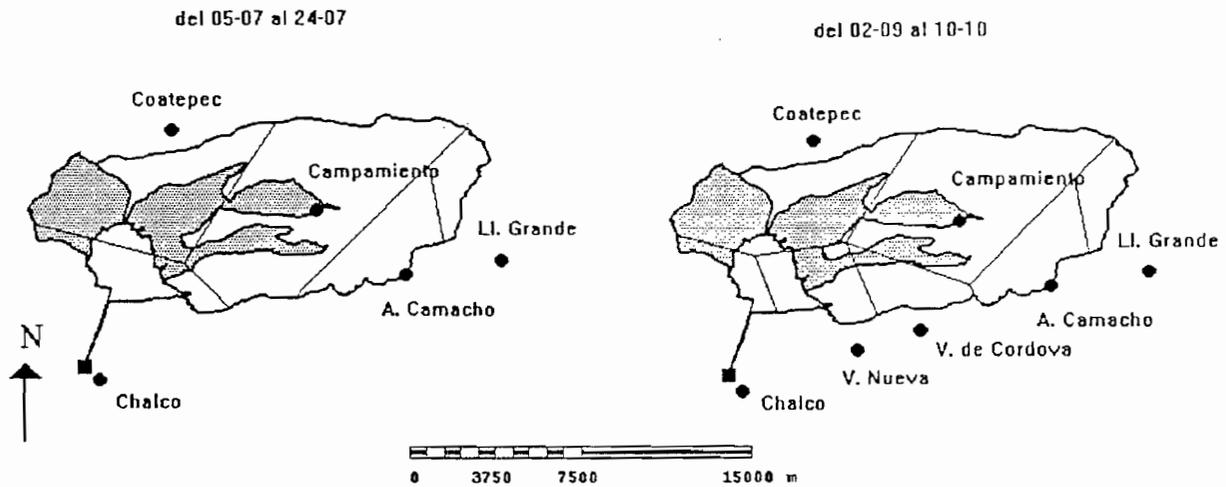
- \* à l'échelle des polygones de Thiessen, pour la fonction de production du modèle,
- \* à l'échelle de mailles carrées de 100 mètres de côté, pour la fonction de transfert.

## 2. PRESENTATION DU MODELE

### 2.1 Hyétogrammes de la pluie brute

Le bassin est découpé en polygones de Thiessen, dans lesquels l'averse est supposée identique à celle du poste de référence (voir figure 5); les hyétogrammes sont discrétisés en tranches de 5 minutes.

Figure 5 : Polygones de Thiessen



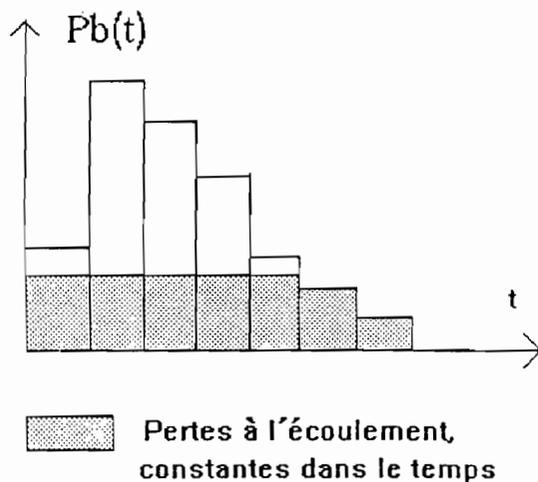
### 2.2 Hyétogrammes de la pluie nette

Les hyétogrammes de pluie nette  $P_n$  se déduisent des hyétogrammes de pluie brute  $P_b$  par soustraction d'un terme constant, INF (voir figure 6). On applique ainsi à chaque polygone de Thiessen  $i$  et à chaque pas de temps  $t_j$  la formule :

$$P_n(i,t_j) = P_b(i,t_j) - \text{INF} \quad (1)$$

où INF est un terme constant indépendant du pas de temps et du polygone de Thiessen.

Figure 6 : Shéma des pertes à l'écoulement



On admet ainsi que les pertes à l'écoulement sont constantes dans le temps et en tout point du bassin, ce qui peut se justifier dans notre cas en considérant que la surface active du bassin est restreinte à la zone de piémont. Il est cependant possible de travailler par sous-bassins indépendants si l'on souhaite faire varier les pertes à l'écoulement (voir le paragraphe 4.3).

### 2.3 Transfert de l'écoulement

Le modèle de transfert proposé peut être résumé comme étant la combinaison d'un effet de propagation et d'un effet de stockage, à l'échelle de mailles carrées dont la taille a été choisie égale à 100 mètres de côté. Le modèle s'appuie sur les données fournies par un Modèle Numérique de Terrain (MNT) du bassin, pour la détermination des pentes et des directions de drainage de chacune des mailles. Le modèle de drainage dérivé du MNT a été contrôlé, voire corrigé, de façon à ce qu'un échantillon choisi de cours d'eau et de bassins soit correctement restitués (Bouvier et Fuentes, 1992).

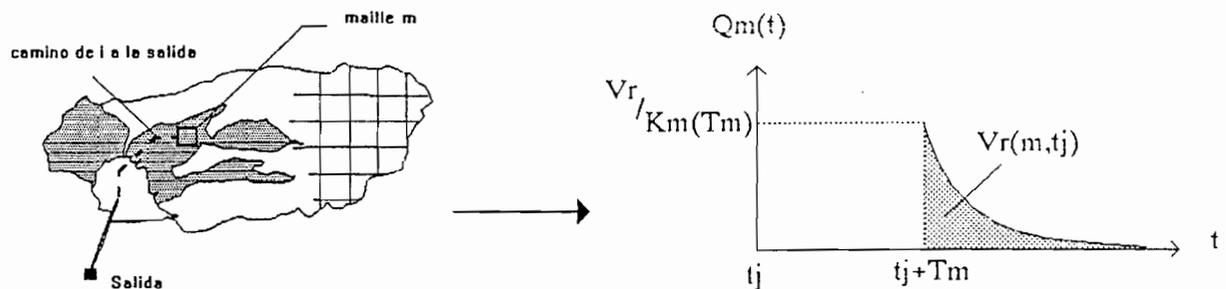
La figure 7 décrit le schéma de transfert à l'échelle de chaque maille. Si  $V_m(t_j)$  est la contribution au ruissellement de la maille  $m$  pendant le temps  $t_j$  :

\* l'hydrogramme correspondant commence à la date  $t_j + T_m$ , où  $T_m$  peut être considéré comme le temps de propagation de la tête de crue,

\* les débits sont distribués dans le temps suivant une loi exponentielle, d'expression :

$$Q_m(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } t < t_j + T_m \\ V_r(m, t_j) * 1/K_m * \exp(-(t - (t_j + T_m))/K_m) & \text{si } t \geq t_j + T_m \end{cases} \quad (4)$$

Figure 7 : Schéma de transfert par mailles élémentaires



Le calcul de  $T_m$  pour chaque maille est réalisé par intégration des vitesses de l'écoulement sur le chemin hydraulique entre la maille  $m$  et l'exutoire. L'expression de la vitesse élémentaire  $V_k$  sur la maille  $k$  a été choisie comme étant fonction de la pente, soit :

$$V_k = V_0 \cdot P_k^\alpha \quad (6)$$

ce qui conduit, pour le calcul de  $T_m$ , à l'expression :

$$T_m = \sum_{k \in \{\text{chemin de } m \text{ à l'exutoire}\}} (L_k / V_k) \quad (5)$$

où  $L_k$  est la longueur de la maille  $k$ , soit 100 ou 141 m dans notre cas.

La valeur de  $K_m$ , amortissement de la contribution en provenance de la maille  $m$ , dépend du temps de propagation  $T_m$ , c'est à dire de l'éloignement (en temps) de la maille  $m$ . L'expression choisie pour  $K_m$  est ainsi :

$$K_m = K_0 \cdot T_m \quad (7)$$

où  $K_0$  est un paramètre d'ajustement adimensionnel.

Il est clair néanmoins que de nouveaux essais doivent être effectués pour mieux évaluer les pertes à l'écoulement, et garantir le bon fonctionnement du modèle hors de son domaine de mise au point.

### 3.2 Calage du transfert

Le calage du transfert a d'abord été réalisé événement par événement, en conservant pour INF les valeurs du tableau 2. Compte tenu du faible nombre d'événements, le paramètre  $\alpha$  a été prédéterminé et sa valeur a été fixée à 0,3 pour chaque événement : cette valeur conduit à un rapport des vitesses de l'ordre de 5 pour des pentes variant de 0,1 à 20 %. Les deux autres paramètres  $V_0$  et  $K_0$  ont alors été déterminés par minimisation du critère EC :

$$EC = \text{SQRT} \left( \frac{\sum_j (Q_{\text{obs}}(t_j) - Q_{\text{cal}}(t_j))^2}{\sum_j (Q_{\text{obs}}(t_j))} \right) \quad (8)$$

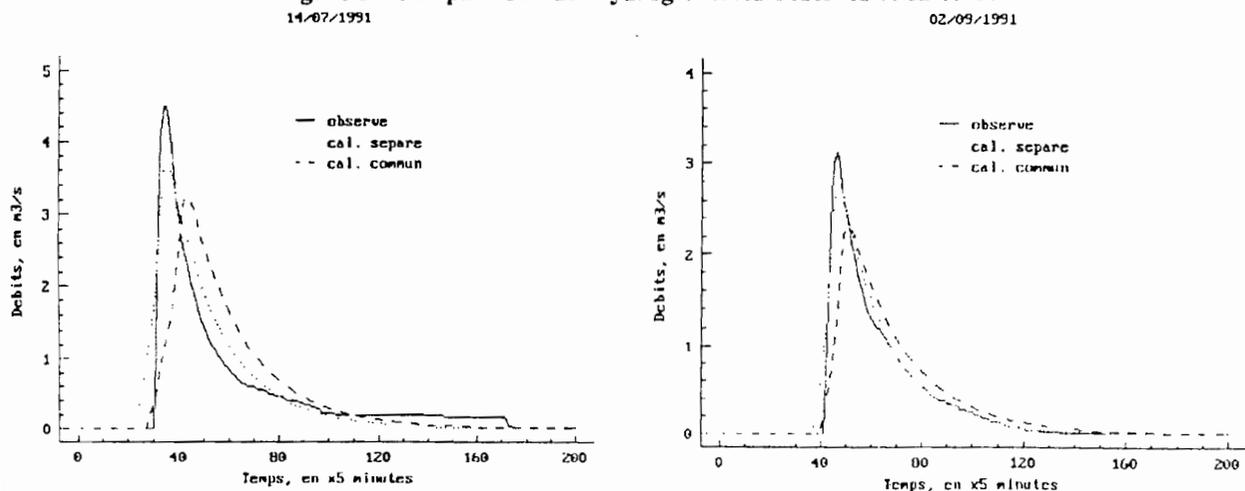
La reconstitution des hydrogrammes observés est généralement très bonne (voir figure 8). Les valeurs obtenues pour  $V_0$  et  $K_0$  figurent dans le tableau 3, et ont pour valeurs moyennes 5,0 et 0,70.

Tableau 3 : Valeurs des paramètres de transfert et des critères après calage séparé des événement

Date	05/07	11/07	14/07	24/07	02/09	19/09	01/10	10/10
$V_0$ (m/s)	2,5	4,2	6,3	7,5	5,5	5,3	4,7	3,7
$\alpha$ (adim.)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
$K_0$ (adim.)	0,29	0,55	0,81	1,21	0,64	0,69	0,56	0,81
EC (%)	6,6	3,5	4,3	6,1	2,6	1,5	2,1	1,9
EC(5,0.7) (%)	17,1	7,2	9,1	11,1	6,2	2,8	3,2	11,0

Un deuxième essai de comparaison des hydrogrammes a ensuite été réalisé avec ces valeurs moyennes, soit  $V_0=5,0$  et  $K_0=0,70$ . Les critères calculés, EC(5,0.7), sont également indiqués dans le tableau 3. La reconstitution des hydrogrammes observés est acceptable (voir figure 8), ce qui démontre une bonne stabilité dans la détermination des paramètres de transfert.

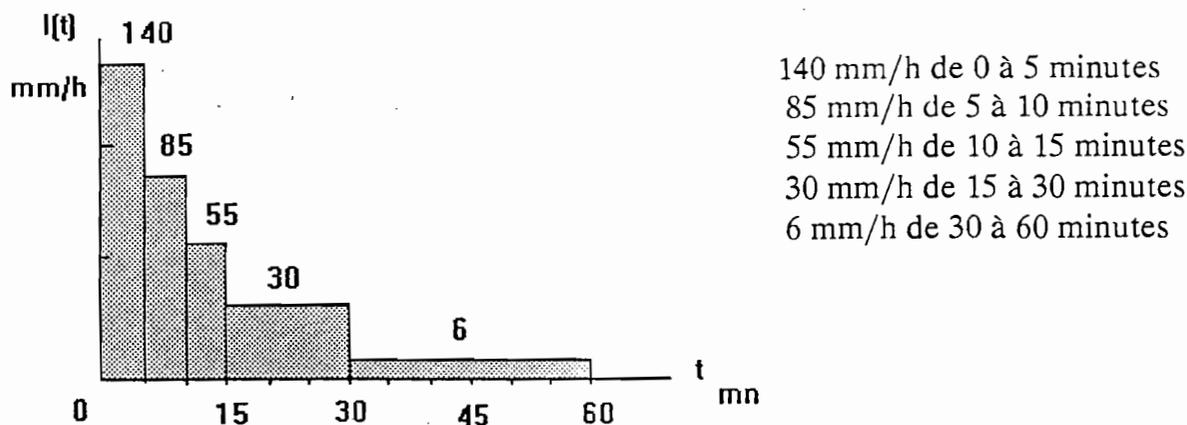
Figure 8 : Comparaison des hydrogrammes observés et calculés



#### 4. EXEMPLES DE SIMULATION

A défaut de valider le fonctionnement du modèle en dehors de son domaine de mise au point, les quelques exemples de simulation de crue qui suivent permettent de contrôler la pertinence des résultats. Ces exemples se rapportent tous à l'averse représentée sur la figure 9, dont les intensités correspondent approximativement aux valeurs maximales de fréquence quinquennale, sur la zone de Mexico. On a en plus supposé que cette averse couvrait uniformément l'ensemble du bassin.

Figure 9 : Définition de l'averse pour simulations



##### 4.1 Simulation de l'hydrogramme à l'exutoire

Le modèle a été appliqué avec les valeurs  $INF=40$  mm/h,  $V_0=5,0$  m/s,  $\alpha=0,3$ ,  $K_0=0,70$ . La surface du bassin est de  $30$  km<sup>2</sup>. Le débit de pointe calculé à l'exutoire est égal à  $44$  m<sup>3</sup>/s, ce qui est sensiblement égal au débit maximum observé sur une période de 20 ans à cette même station. La surestimation du débit calculé peut être attribué à l'absence de prise en compte de l'abatement spatial de la précipitation.

##### 4.2 Simulation d'hydrogrammes en plusieurs points du bassin

Le modèle a été appliqué dans les mêmes conditions que précédemment, mais en 3 autres points du bassin, soit :

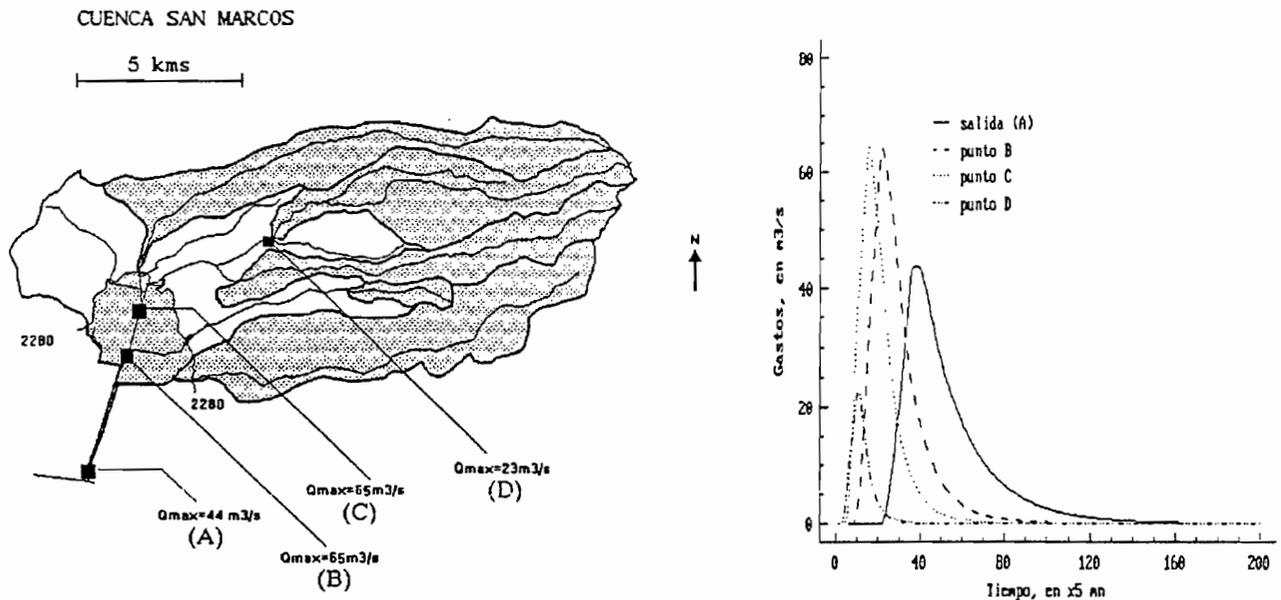
- point B : dans le canal, en aval du dernier apport latéral;
- point C : à l'entrée amont du canal;
- point D : à la sortie d'un petit bassin versant naturel.

Les débits calculés sont respectivement  $65$ ,  $65$  et  $23$  m<sup>3</sup>/s, que l'on peut comparer aux  $44$  m<sup>3</sup>/s calculés à la sortie du canal, repérée par le point A (voir figure 10) : on constate ainsi que dans le dernier bief AB du canal d'une longueur d'environ 3 kilomètres, sans apports latéraux, la diminution du débit de pointe est de l'ordre de 30 %, uniquement due à la propagation puisque le modèle néglige les pertes dans le canal.

Une telle diminution pourrait être excessive, et si tel était le cas, le modèle compenserait l'influence réductrice du canal par une surestimation des débits sur les versants, par exemple au point D. Or, d'un point de vue conceptuel, les valeurs relatives obtenues aux points B, C et D sont commandées principalement par le choix de la formule  $K_m = K_0 \cdot T_m$ , qui exprime pour chaque maille élémentaire la variation de l'amortissement en fonction du temps de propagation à l'exutoire.

Un nouvel essai a donc été réalisé en substituant à la formule  $K_m = K_0 \cdot T_m$  une expression  $K_m = K_0 \cdot \text{Log}(T_m)$ , pour minimiser la variation de  $K_m$ . L'application du modèle avec les valeurs  $V_0 = 5,0$  et  $K_0 = 6,0$  donne des résultats pratiquement identiques à ceux de la figure 8 en ce qui concerne la reconstitution des hydrogrammes observés à l'exutoire du bassin. En revanche, les débits calculés aux points B, C et D sont respectivement 52, 46 et 13  $\text{m}^3/\text{s}$ , ce qui montre dans ce cas une régulation plus douce de l'écoulement dans le canal, et une contribution également plus douce des versants.

Figure 10 : Hydrogrammes reconstitués en différents points du bassin



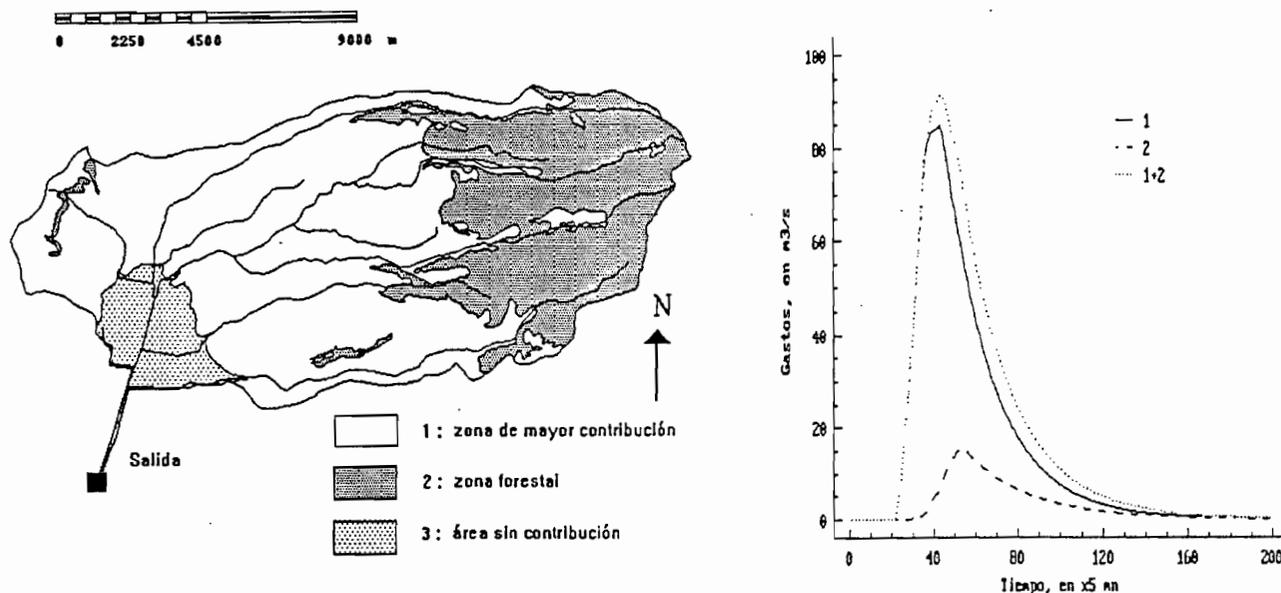
#### 4.3 Simulation de crue sous conditions naturelles de drainage

Dans cet exemple, on a fait abstraction des ouvrages de rétention existant dans le bassin, et considéré une surface active de  $105 \text{ km}^2$ , soit la totalité du bassin moins la zone de plaine située à moins de 2280 mètres d'altitude. Le modèle a été appliqué séparément sur deux zones différenciées par le couvert forestier, avec les valeurs :

- \* INF = 40 mm/h,  $V_0 = 5 \text{ m/s}$ ,  $\alpha = 0,3$ ,  $K_0 = 0,70$  pour la zone non forestière,
- \* INF = 80 mm/h,  $V_0 = 5 \text{ m/s}$ ,  $\alpha = 0,3$ ,  $K_0 = 0,70$  pour la zone forestière.

L'hydrogramme résultant est calculé par sommation des hydrogrammes provenant de chacune des zones (voir figure 11). Le débit de pointe atteint  $92 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Figure 11 : Hydrogramme reconstitué sans prendre en compte les aménagements du bassin



## 5. CONCLUSIONS

La mise au point du modèle présenté répond à la nécessité de traiter un cas difficile, du fait de la variabilité des caractéristiques climatiques, géographiques et hydrauliques du bassin étudié. Sur l'échantillon des données obtenues en 1991, le modèle parvient à reconstituer correctement les crues observées, à condition d'ajuster événement par événement l'unique paramètre INF de pertes à l'écoulement. En revanche, la forme des crues est convenablement restituée en utilisant les mêmes paramètres de transfert d'un événement à l'autre.

La variabilité de INF, autour d'une valeur moyenne de l'ordre de 45 mm/h, peut en partie s'expliquer par une connaissance très imprécise des précipitations, due au faible nombre d'appareils de mesure en regard de la variabilité du phénomène. La paramétrisation très sommaire des pertes à l'écoulement et l'hypothèse d'uniformité de ces pertes sont également à considérer pour interpréter la variabilité de INF. L'incertitude portant sur les mécanismes de production est actuellement la faiblesse du modèle. En matière d'interprétation, on remarquera tout au plus que la valeur moyenne de INF traduit globalement la perméabilité des sols volcaniques, accrue par le travail agricole et par le couvert végétal du bassin (voir figure 3).

Les résultats concernant les mécanismes de transfert sont plus encourageants. La stabilité des paramètres sur l'ensemble des événements mesurés laisse espérer la possibilité d'extrapoler avec succès le modèle, au moins sur le bassin. Mais surtout, on peut espérer que l'essentiel de la variabilité du bassin ait été prise en compte indépendamment des paramètres (par les pentes, par les distances à l'exutoire, par les polygones de Thiessen entre autres), de sorte que la variance résiduelle que constituent ces paramètres soit minimale, et qu'ils puissent convenir également à d'autres bassins.

Les simulations effectuées sur le bassin à l'aide du modèle assurent un premier contrôle de la pertinence des paramètres, dans la mesure où les débits calculés sont compatibles avec les valeurs historiques ou supposées. Les simulations réalisées en des points intermédiaires montrent cependant qu'il y a encore lieu d'ajuster la fonction reliant l'amortissement de l'écoulement à son temps de transfert.

Compte tenu du faible volume de données acquises à ce jour, le modèle proposé s'appuie sur des schémas simples. Les facteurs privilégiés sont les précipitations, les pentes, et implicitement, la forme du bassin. Du point de vue de l'utilisation pratique, le point délicat consiste à obtenir un MNT, qui restituera correctement les pentes et le modèle de drainage du bassin. Une fois ces données acquises, l'application du modèle est extrêmement simple.

L'objectif est maintenant d'obtenir la validation des paramètres du modèle, ce qui nous a conduit à réaliser en 1992 une nouvelle campagne de mesures, sur le bassin San Marcos et sur son bassin adjacent, le Santo Domingo, d'une superficie égale à 30,2 km<sup>2</sup>. Nous souhaitons également pouvoir tester ce modèle sur d'autres bassins expérimentaux pour lesquels on dispose déjà de données.

#### BIBLIOGRAPHIE :

Bouvier C., Fuentes G., Dominguez R., Renault S., 1992. "Hidrologia de la Cuenca de Chalco. Mediciones en 1991. Modelación de las avenidas de la Cuenca San Marcos", 70p., Instituto de Ingenieria / ORSTOM.

Bouvier C., Fuentes G., 1992. "Elaboración de un Modelo Numérico de Terreno para las cuencas San Marcos y Santo Domingo". En préparation.