

in actes du séminaire de la SHF ( Société Hydrotechnique de France )  
23<sup>e</sup> journées de l'Hydraulique Nîmes 14-16 sept. 1994

# MERCEDES : UN MODELE HYDROLOGIQUE D'ANALYSE ET DE PREVISION DE CRUES EN MILIEU HETEROGENE

Ch. BOUVIER  
ORSTOM Montpellier

G. FUENTES  
R. DOMINGUEZ  
Instituto de Ingenieria UNAM Mexico

## RESUME :

Le modèle Mercedes a été élaboré pour analyser et prévoir les crues sur des bassins présentant une forte hétérogénéité spatiale. Ce travail résume les principes du modèle, les résultats portant sur l'évaluation des paramètres du modèle à l'échelle régionale des versants qui entourent la ville de Mexico, et diverses applications du modèle, notamment prévision en temps réel et impact de l'urbanisation. Deux exemples illustrent le bénéfice que l'on peut tirer de l'application de Mercedes, par rapport à celle des modèles globaux classiques.

## INTRODUCTION

La variabilité spatiale des facteurs qui conditionnent les crues réduit considérablement le domaine d'application des modèles dits globaux, qui s'appuient sur une évaluation moyenne des caractéristiques des bassins et des précipitations. Les bassins montagneux qui entourent la ville de Mexico représentent un cas typique de milieu fortement hétérogène, avec des bassins très allongés suivant le gradient altimétrique, de 2200 à plus de 4000 m, et des longueurs ne dépassant pas 25 km. Le relief important induit notamment une forte variabilité spatiale des précipitations, des pentes et de l'occupation des sols. L'étude menée par l'ORSTOM et par l'Institut d'Ingénierie de l'Université de Mexico a conduit à l'élaboration d'un modèle hydrologique spatialisé, MERCEDES [1], testé sur trois bassins expérimentaux d'une trentaine de km<sup>2</sup> [2], qui a permis d'une part d'obtenir une évaluation régionale des paramètres du ruissellement, et qui constitue d'autre part un outil de simulation pour l'aménagement et l'évaluation des risques d'inondations.

## 1. LES CONCEPTS DE MERCEDES

Mercedes calcule la transformation des pluies en débits en s'appuyant sur une discrétisation du bassin en mailles carrées (fig.1-1), pour chacune desquelles on déterminera les pentes, directions de drainage et autres caractéristiques laissées à l'appréciation de l'utilisateur. Le calcul de ces caractéristiques est facilité par l'utilisation des différents systèmes géographiques d'analyse spatialisée (SIG, MNT, imagerie satellitaire), interfacés avec le modèle.

On calcule ensuite, pour chaque maille et chaque pas de temps  $t_i$ , la pluie brute, la pluie qui ruisselle et enfin l'hydrogramme élémentaire de cette contribution à l'exutoire du bassin. La pluie reçue par la maille au pas de temps  $t_i$  est calculée par interpolation des pluies observées (fig1-2). On applique à cette pluie brute une combinaison de pertes au ruissellement (fig1-3), représentées par des pertes initiales (1 paramètre STO),



et/ou des pertes continues constantes (1 paramètre INF), et/ou des pertes continues proportionnelles à l'intensité de l'averse (1 paramètre 1-COEF). La contribution de la maille au pas de temps  $t_i$  est alors transférée à l'exutoire (fig1-4), en suivant le chemin défini par les directions de drainage et en considérant un temps de propagation  $T_m$  et un facteur d'amortissement  $K_m$ . Ces deux caractéristiques qui dépendent de la position de la maille sur le bassin et des caractéristiques du cheminement, se déduisent d'une évaluation de la vitesse d'écoulement  $V_k$  sur les mailles du cheminement :

$$V_k = V_0 \cdot p_k^\alpha \quad (2 \text{ paramètres } V_0 \text{ et } \alpha, p_k \text{ étant la pente de la maille } k) \quad (1)$$

et sont reliées par la relation :

$$K_m = \text{Ln}(K_0) \cdot T_m \quad (1 \text{ paramètre } K_0) \quad (2)$$

L'équation de l'hydrogramme élémentaire à l'exutoire du ruissellement provenant de la maille  $m$  au cours du temps  $t_i$  s'écrit, si  $V_r$  désigne le volume de la contribution :

$$\begin{aligned} Q_m(t) &= 0 && \text{si } t < t_i + T_m \\ Q_m(t) &= V_r \cdot 1/K_m \cdot \exp(-(t - (t_i + T_m))/K_m) && \text{si } t \geq t_i + T_m \end{aligned} \quad (3)$$

équation qui s'apparente à celle du modèle à stockage linéaire à un réservoir, dans lequel on a introduit le facteur de retardement  $T_m$ .

On obtient finalement l'hydrogramme complet de la crue en sommant les différents hydrogrammes élémentaires pour chacune des mailles et chacun des pas de temps  $t_i$  (fig1-5).

Pour appliquer Mercedes, l'utilisateur doit donc fixer les valeurs des 6 paramètres du modèle (STO, INF et COEF pour la fonction de production,  $V_0$ ,  $\alpha$  et  $K_0$  pour la fonction de transfert), qu'il pourra faire varier en fonction des caractéristiques géographiques du bassin. Par exemple : occupation des sols pour les paramètres de production, mailles versant et mailles réseau pour les paramètres de transfert.

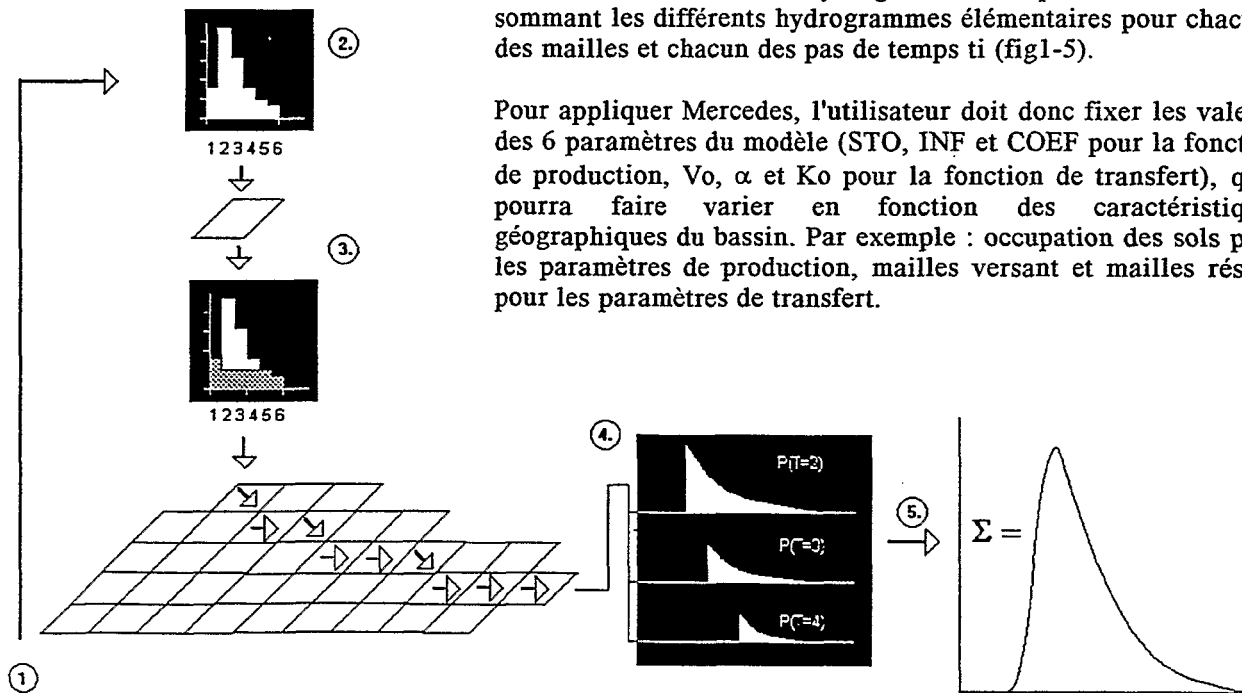


Figure 1 : Transformation de la pluie en débit par Mercedes

## 2. COMMENTAIRES SUR L'ANALYSE DES CRUES

Le calage du modèle sur les données observées sur 3 sous-bassins expérimentaux du bassin de Mexico a conduit à évaluer les paramètres du ruissellement de la façon suivante :

- les paramètres de production varient en fonction des altitudes, qui déterminent de façon assez précise à l'échelle régionale la densité du couvert végétal. On a finalement retenu 3 classes différentes :

2200-2500 m	STO=5 mm	INF=15 mm/h	COEF=100 %
2500-3000 m	STO=10 mm	INF=20 mm/h	COEF=100%
> 3000 m	STO=15 mm	INF=25 mm/h	COEF=100%

- les paramètres de transfert sont peu variables et peuvent être définis uniformément par :

$$V_0=5 \text{ m/s} \quad \alpha=0.3 \quad K_0=3.5$$

Ces paramètres ayant été obtenus pour des événements de moyenne (voire faible) importance, il convenait de se demander sur les possibilités d'extrapolation pour les événements les plus forts. Il est clair en particulier que les forts débits induisent une accélération de l'écoulement, qui doit se traduire principalement par une augmentation du paramètre  $V_0$ , dans un rapport pouvant atteindre 2 ou 3. Ceci, qui exprime la non-linéarité de la fonction de transfert, n'a pu être modélisé faute d'observations en nombre suffisant, mais devrait faire intervenir un paramètre supplémentaire lié par exemple à la pluie nette. En revanche, la liaison entre propagation et amortissement semble peu variable d'un bassin à l'autre, ce qui pourrait alors libérer l'un des paramètres du modèle. En ce qui concerne les paramètres de production, il semble avantageux de choisir un schéma de pertes continues constantes plutôt que multiplicatives pour garantir une extrapolation plus fiable. L'influence de l'humidité initiale du sol pourrait être prise en compte par le seul paramètre de pertes initiales. Là encore, la modélisation n'a pas été possible faute d'observations en nombre suffisant.

Ces quelques commentaires illustrent les limites actuelles de Mercedes. Ils ne doivent cependant pas remettre en question le choix des modèles distribués par rapport aux modèles globaux, qui seraient soumis aux mêmes problèmes tout en présentant bon nombre d'inconvénients supplémentaires. Il convient simplement de poursuivre le test de Mercedes sur un plus grand nombre de données provenant d'autres bassins. Pour s'en convaincre, le paragraphe suivant montre l'intérêt du modèle par rapport aux modèles globaux classiques.

## 3. EXEMPLES D'APPLICATIONS DE MERCEDES

On suppose ici que les paramètres hydrologiques sont convenablement évalués. Un premier exemple établit la comparaison des hydrogrammes calculés à l'aide de Mercedes et d'un modèle global, pour une pluie localisée sur la partie basse du bassin dans le premier cas, sur la partie haute dans le second. On supposera dans cet exemple que les paramètres hydrologiques sont uniformes sur le bassin.

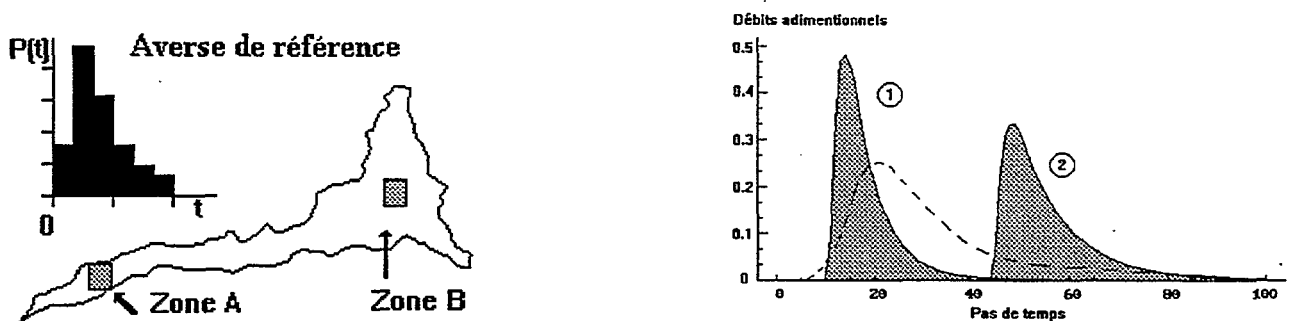


Figure 2 : Reconstitution des hydrogrammes dus à des pluies localisées

La figure 2 montre que Mercedes restitue deux hydrogrammes distincts, pour lesquels on observe que quand s'éloigne la localisation de la pluie, le débit de pointe diminue et le temps de montée, le temps de base et le temps de réponse augmentent. Le modèle global, en revanche, ne différencie pas les hydrogrammes et fournit la même évaluation moyenne (en pointillés) dans les deux cas. L'utilisation de Mercedes s'avère donc avantageuse, notamment dans l'optique de la prévision des crues en temps réel.

Un deuxième exemple illustre l'impact de changements d'occupation des sols. Sur un bassin initialement naturel, on souhaite connaître l'impact de l'urbanisation de la moitié inférieure dans le premier cas, de la moitié supérieure dans le second. On supposera dans cet exemple que la pluie est uniforme sur le bassin. La figure 3 montre que Mercedes restitue deux hydrogrammes distincts, qui traduisent un impact différent selon le cas envisagé. Comme pour l'exemple précédent, le modèle global ne différencie pas les hydrogrammes et fournit la même évaluation moyenne dans les deux cas.

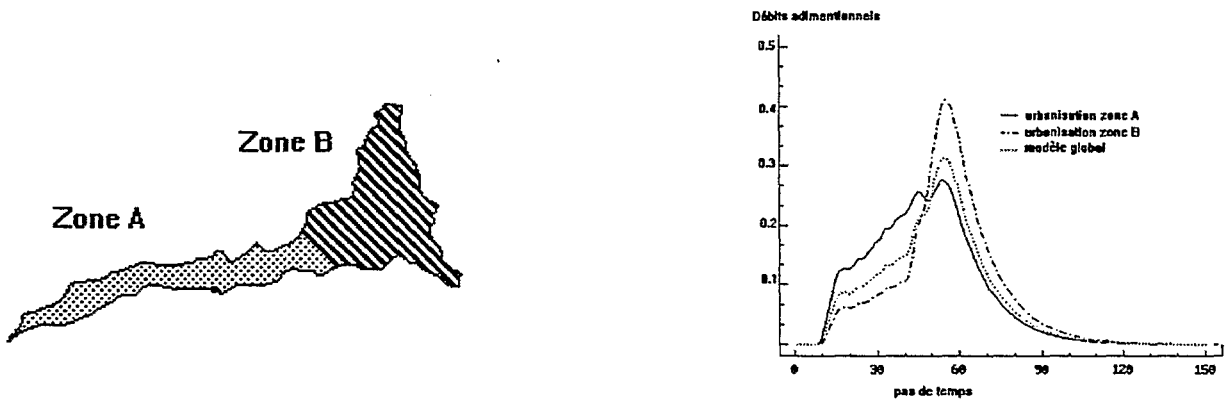


Figure 3 : Impact de l'urbanisation sur la détermination des crues

L'utilisation d'un modèle globale dans les deux cas présentés est bien sûr abusive, mais reste actuellement extrêmement fréquente. Ces exemples montrent l'avantage d'utiliser Mercedes en cas d'hétérogénéité spatiale de l'un ou de plusieurs facteurs qui conditionnent les crues.

## CONCLUSIONS

En milieu hétérogène, la prise en compte de la variabilité spatiale des facteurs qui conditionnent les crues est impérative. Dans ce contexte, le modèle Mercedes offre à l'utilisateur de nombreuses possibilités d'analyse et de prévision des crues, à l'aide d'une paramétrisation relativement simple. Testé initialement sur des petits bassins montagneux d'une trentaine de km<sup>2</sup>, Mercedes pourrait également convenir à d'autres milieux pour lesquels il est difficile de réunir les conditions d'homogénéité nécessaires à l'application des modèles globaux, et notamment dans le cas des grands bassins ou des bassins semi-urbains.

## BIBLIOGRAPHIE :

- [1] Bouvier, Ch., 1994. "Mercedes : Principes du modèle et notice d'utilisation". ORSTOM, 40p. + annexes.
- [2] Bouvier Ch., Fuentes G., Dominguez R., 1994. "Evaluacion regional de las avenidas en las vertientes de la Ciudad de Mexico". Orstom - Instituto Ingenieria UNAM, 120p. + annexes.