

**UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES  
DU LANGUEDOC**

**Laboratoire d'hydrologie mathématique  
34000 MONTPELLIER**

**BUREAU DE RECHERCHES  
GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

**SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL  
Département EAU**

**B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX**



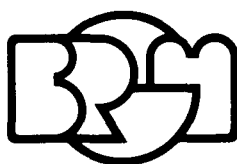
n° 8416

**ÉTUDE DES RELATIONS ENTRE  
LES PARAMÈTRES D'UN MODÈLE GLOBAL PLUIE-DÉBIT  
ET LES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES  
DU BASSIN VERSANT CORRESPONDANT**

**Application à 17 bassins versants bretons**

par

**B. MAZENC**



Rapport du B.R.G.M.

**81 SGN 525 EAU**

**Août 1981**

## R E S U M E

---

Le thème de cette recherche est l'étude des relations entre les caractéristiques physiques d'un bassin versant et les paramètres d'un modèle hydrologique global permettant d'en simuler la relation pluie-débit.

Dans ce but, deux modèles hydrologiques journaliers -le modèle AMANDE et le modèle MARTINE- ont été étudiés en détail sur un bassin versant déjà bien connu par d'autres études : le bassin de l'Ellé à Pont-ty-Nadan, situé en Bretagne du Sud. L'étude a porté en particulier sur la stabilité des paramètres obtenus par calage sur différentes périodes, sur la sensibilité des résultats à chaque paramètre et sur les éventuelles redondances de paramètres.

Après cette première étude, 17 bassins bretons de nature très différentes ont été étudiés individuellement et les deux modèles ont été ajustés sur chacun d'eux. On a alors étudié sur cet échantillon de 17 bassins, la relation entre chaque paramètre et les caractéristiques géomorphologiques des bassins versants, de façon à établir par régression multiple une équation de prédétermination.

On a alors vérifié sur des bassins témoins (n'ayant pas servi à établir les équations de régression) que les paramètres des modèles déterminés à partir des caractéristiques du bassin versant permettent de reproduire de façon convenable les débits observés à partir des précipitations journalières.

# PLAN

---

## INTRODUCTION

## CHAPITRE 1 - LES MODELES HYDROLOGIQUES

### 1 - GENERALITES SUR LES MODELES

### 2 - CHOIX DU MODELE

### 3 - APPLICATION DES DEUX MODELES AU BASSIN VERSANT DE L'ELLE

#### 3.1. RESULTATS OBTENUS AVEC LE MODELE AMANDE

##### 3.1.1. Calage sur 18 années d'observation

##### 3.1.2. Calage sur différentes périodes de durées variables

##### 3.1.2.1. Ecoulements et décomposition

###### A - ECOULEMENTS

*Périodes de calage sur 4 années d'observation*

*Périodes de calage sur 1 année d'observation*

###### B - DECOMPOSITION DE L'ECOULEMENT

*Périodes de calage sur 4 années d'observation*

*Périodes de calage sur 1 année d'observation*

###### C - CONCLUSION

##### 3.1.2.2. Paramètres

###### A - VARIATION DES PARAMETRES

###### B - INFLUENCE DES PARAMETRES ET DE CERTAINES FONCTIONS SUR LA QUALITE DE LA SIMULATION

###### C - STABILITE DES PARAMETRES POUR DIFFERENTES PERIODES DE CALAGE SUR 1 ANNEE D'OBSERVATION

###### D - ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES DES PARAMETRES DU MODELE AMANDE.

#### 3.2. RESULTATS OBTENUS AVEC LE MODELE MARTINE

##### 3.2.1. Calage sur 18 années d'observation

##### 3.2.2. Calage sur différentes périodes de durées variables

##### 3.2.2.1. Ecoulements et décomposition

###### A - ECOULEMENTS

*Périodes de calage sur 4 années d'observation*

*Périodes de calage sur 1 année d'observation*

###### B - DECOMPOSITION DE L'ECOULEMENT

*Périodes de calage sur 4 années d'observation*

*Périodes de calage sur 1 année d'observation*

C - CONCLUSION

3.2.2.2. Paramètres

A - VARIATION DES PARAMETRES

B - INFLUENCE DES PARAMETRES ET DE CERTAINES FONCTIONS  
SUR LA QUALITE DE LA SIMULATION

C - STABILITE DES PARAMETRES POUR DIFFERENTES PERIODES  
DE CALAGE SUR UNE ANNEE D'OBSERVATION

D - ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES DES PARAMETRES  
DU MODELE MARTINE

4 - CONCLUSIONS

CHAPITRE 2 - APPLICATION DES DEUX MODELES A UNE REGION : LA BRETAGNE

- description des bassins versants

- résultats des modélisations

1 - DESCRIPTION DES BASSINS VERSANTS

1.1. DONNEES HYDROLOGIQUES

1.2. DONNEES CLIMATOLOGIQUES

1.3. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

1.3.1. Caractéristiques morphologiques

1.3.1.1. Superficie

1.3.1.2. Indice de forme

1.3.1.3. Pente

1.3.1.4. Longueur du cours d'eau principal

1.3.2. Caractéristiques géologiques

1.3.3. Caractéristiques de végétation

1.3.4. Analyses des relations entre les caractéristiques  
physiques

2 - RESULTATS DES MODELISATIONS

2.1. COMPARAISON DES RESULTATS

2.1.1. Qualité des ajustements

2.1.2. Ecoulements

2.1.2.1. Débit moyen annuel

2.1.2.2. Répartition des écoulements

2.1.3. Calcul de l'évapotranspiration

2.2. PARAMETRES

2.2.1. Analyses en composantes principales des paramètres  
des modèles

- 2.2.1.1. Paramètres du modèle AMANDE
- 2.2.1.2. Paramètres du modèle MARTINE
- 2.2.1.3. Paramètres des deux modèles
- 2.2.2. *Analyse de la variation des paramètres*

## CHAPITRE 3 - RECHERCHE DES RELATIONS ENTRE LES PARAMETRES DE MODELE ET DES CARACTERISTIQUES DE BASSIN

### 1 - ANALYSE STATISTIQUE MULTIDIMENSIONNELLE

#### 1.1. PARAMETRES DU MODELE AMANDE - CARACTERISTIQUES DE BASSIN

- 1.1.1. *Analyse en composantes principales*
- 1.1.2. *Analyse factorielle des correspondances*
- 1.1.3. *Conclusions*

#### 1.2. PARAMETRES DU MODELE MARTINE - CARACTERISTIQUES DE BASSIN

- 1.2.1. *Analyse en composantes principales*
- 1.2.2. *Analyse factorielle des correspondances*
- 1.2.3. *Conclusions*

### 2 - REGRESSION MULTIPLE

- 2.1. *PARAMETRES DU MODELE AMANDE*
- 2.2. *PARAMETRES DU MODELE MARTINE*
- 2.3. *CONCLUSIONS*

### 3 - APPLICATION DES RESULTATS DES REGRESSIONS MULTIPLES

- 3.1. *BASSINS AYANT SERVI AUX CALCULS DE REGRESSION*
- 3.2. *BASSINS NOUVEAUX*
- 3.3. *CONCLUSIONS*

## CONCLUSIONS GENERALES

## BIBLIOGRAPHIE

- ANNEXES I - DESCRIPTION DES MODELES DE SIMULATION DE BASSINS HYDROLOGIQUES
  - le modèle AMANDE
  - le modèle MARTINE
- II - SIMULATION ELLE (1966 à 1973) - Modèle AMANDE, Modèle MARTINE
- III - DONNEES HYDROLOGIQUES ET CLIMATOLOGIQUES DES 17 BASSINS ETUDIES

- IV - SIMULATION DE L'AVEN ET DU CAREIL, par les modèles AMANDE  
et MARTINE
- V - ETUDE DE LA VARIATION DES PARAMETRES DES MODELES AMANDE  
ET MARTINE - Exemples de quelques bassins
- VI - ANALYSES EN COMPOSANTES PRINCIPALES ET FACTORIELLES DES  
CORRESPONDANCES DES PARAMETRES DES MODELES AMANDE ET MARTINE,  
ET DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE BASSIN
- VII - COMPARAISON DES DEBITS CALCULES, SIMULES PAR OPTIMISATION  
DES PARAMETRES ET SIMULES PAR CALCUL DES PARAMETRES

## LISTE DES FIGURES

---

- Figure 1 Schéma fonctionnel de la méthode du modèle
- Figure 2 Cycle de l'Eau
- Figure 3 Plan de situation du bassin de l'Ellé
- Figure 4 Variation de critère d'ajustement total du modèle AMANDE pour des calages sur des périodes de durée différente (bassin de l'Ellé)
- Figure 5 Courbe des débits classés (Ellé) - modèle AMANDE
- Figure 6 Débits mensuels moyens (Ellé) - modèle AMANDE
- Figure 7 Comparaison des débits de pointe (Ellé) - modèle AMANDE
- Figure 8 Débits mensuels moyens (Ellé) - modèle AMANDE (4 périodes de calage sur 4 années d'observation)
- Figure 9 Débits mensuels moyens (Ellé) - modèle AMANDE (moyenne des 18 périodes de calage sur 1 année d'observation)
- Figure 10 Variation absolue des paramètres du modèle AMANDE - Bassin de l'Ellé
- Figure 11 Variation relative des paramètres du modèle AMANDE - Bassin de l'Ellé
- Figure 12 Analyse en composantes principales des paramètres du modèle AMANDE - Bassin de l'Ellé
- Figure 13 Courbe des débits classés (Ellé) - modèle MARTINE
- Figure 14 Débits mensuels moyens (Ellé) - modèle MARTINE
- Figure 15 Comparaison des débits de pointe (Ellé) - modèle MARTINE
- Figure 16 Débits mensuels moyens (Ellé) - modèle MARTINE (4 périodes de calage sur 4 années d'observation)
- Figure 17 Débits mensuels moyens (Ellé) - modèle MARTINE (moyenne des 18 périodes de calage sur 1 année d'observation)
- Figure 18 Variation absolue des paramètres du modèle MARTINE - Bassin de l'Ellé

- Figure 19 Variation relative des paramètres du modèle MARTINE - Bassin de l'Ellé
- Figure 20 Analyse en composantes principales des paramètres du modèle MARTINE - Bassin de l'Ellé
- Figure 21 Plan de situation des bassins versants
- Figure 22 Carte des précipitations annuelles moyennes calculées sur 10 ans (1967-1976)
- Figure 23 Analyse en composantes principales des caractéristiques de bassins versants
- Figure 24 Analyse en composantes principales des paramètres du modèle AMANDE
- Figure 25 Analyse en composantes principales des paramètres du modèle MARTINE
- Figure 26 Plan de situation des nouveaux bassins versants



## I N T R O D U C T I O N

Depuis longtemps, de nombreux auteurs (1, 2, 3, 4)\* ont cherché à estimer des débits de passins versants non jaugés (débits de pointe de crue, débits d'étiage, forme de l'hydrogramme de crue, ..). Deux types d'approche sont fréquemment utilisés :

- établir des relations, statistiques ou empiriques, entre les débits et des caractéristiques morphologiques, physiques et climatiques de bassins,
- appliquer un coefficient multiplicateur, proportionnel à la superficie, aux débits du plus proche bassin jaugé.

Cependant, de telles méthodes présentent quelques inconvénients :

- soit elles ne peuvent tenir compte de la variabilité du phénomène "débit", liée à l'état hydrique antérieur, à la répartition temporelle des précipitations, etc...
- soit elles font appel à des hypothèses qui sont souvent loin d'être vérifiées (égalité des débits spécifiques, par exemple).

Partant de l'hypothèse qu'il existait des relations entre les caractéristiques physiques d'un bassin et les paramètres d'un type de modèle hydrologique, nous avons pensé contribuer à résoudre, en partie, les problèmes posés par l'estimation des débits de cours d'eau non jaugés. En effet, le calcul de ces débits est possible à l'aide de modèles de simulation hydrologique dont les valeurs des paramètres seraient obtenues à partir de relations établies entre des données physiques se rapportant au bassin versant et les paramètres de ces modèles. Ces relations, propres à une région étudiée, sont calculées à partir des valeurs de paramètres obtenues lors de "calage" sur des bassins jaugés.

Pour cette étude nous avons utilisé deux modèles globaux de relation pluie-débit\*\*\*, mis au point au département EAU du Bureau de Recherches

---

\* Référence aux travaux cités dans la bibliographie. [(1) DUBREUIL P., 1970 - (2) PAOLINI A., 1969 - (3) SANCHEZ M., 1980 - (4) HIRSCH F., 1963]

\*\*\* Le modèle AMANDE et le modèle MARTINE.

Géologiques et Minières d'Orléans.

Dans le premier chapitre, nous appliquons les deux modèles aux données du bassin versant de l'Elle à Pont-Ty Nadan qui a déjà fait l'objet d'études précédentes (5 et 6)\*. Nous étudions en particulier :

- la qualité de la simulation pour des périodes de calage de durées différentes,
- la stabilité des paramètres pour ces différentes périodes,
- l'influence des paramètres et des fonctions dans lesquelles ils interviennent sur la qualité de la simulation.

Nous appliquons, dans le second chapitre, les deux modèles de simulation de débits à 16 autres bassins versants situés aussi en Bretagne. Nous obtenons ainsi 16 séries de paramètres pour chacun des modèles. Nous calculons aussi pour les bassins étudiés des caractéristiques physiques susceptibles d'avoir une influence sur les valeurs des paramètres :

- caractéristiques morphologiques,
- caractéristiques géologiques,
- caractéristiques de végétation.

Dans le troisième chapitre, nous analysons statistiquement les relations entre les caractéristiques physiques des bassins versants et les paramètres des modèles. A l'aide d'analyses multidimensionnelles, nous mettons en évidence l'existence de ces relations. Puis nous établissons des équations de régression permettant de calculer les paramètres à partir des caractéristiques des bassins. La validité de ces équations est vérifiée en simulant les débits :

- de bassins versants ayant servi aux calculs de régression,
- d'autres bassins situés dans la même région, mais qui n'ont pas été utilisés pour ces calculs.

---

\* [(5) THIERY D., 1978 - (6) OUDIN M.F., 1979]

## CONCLUSIONS GENERALES

Le présent travail avait pour objet l'étude des relations entre les caractéristiques physiques de bassin et les paramètres de modèles hydrologiques pluie-débit dans le but de pouvoir simuler les débits de cours d'eau non jaugés.

Nous avons d'abord fait une étude détaillée de deux modèles hydrologiques de simulation de débits : les modèles AMANDE et MARTINE. Pour cela, nous avons appliqué ces deux modèles à un bassin versant témoin qui avait déjà fait l'objet de plusieurs études et dont les données climatologiques et hydrologiques étaient fiables. Cette analyse a porté sur :

- la qualité de simulation des débits par les deux modèles pour différentes durées de la période de calage,
- la sensibilité des paramètres des modèles,
- la stabilité de ces paramètres lors de calage sur des périodes différentes,
- la nécessité ou la redondance de certaines fonctions des modèles dans le cas du bassin étudié.

Nous avons ensuite choisi 16 autres bassins versants situés dans la même région : la Bretagne, et possédant pour une même période les données climatologiques et hydrologiques permettant une simulation de leur débit. Nous avons ainsi constitué pour chaque modèle 16 séries de paramètres. Nous avons aussi déterminé pour chacun de ces 16 bassins des caractéristiques physiques (morphologie, géologie et végétation) pouvant avoir une influence sur les débits. Nous avons alors cherché à mettre en évidence des relations entre chaque paramètre de modèle et des caractéristiques physiques.

Dans ce but, nous avons, dans un premier temps, appliqué des méthodes d'analyse multidimensionnelle (analyse en composantes principales, analyse factorielle des correspondances) afin de montrer l'existence de ces relations. Dans un second temps, nous avons essayé de mettre en équation ces relations à l'aide de régressions multiples.

Nous sommes ainsi arrivés à prédéterminer les paramètres des modèles à partir des caractéristiques de bassin et donc à simuler sans calage, de façon convenable, le débit de bassins non jaugés.

Ce travail nous a également permis :

- de tester deux nouveaux modèles hydrologiques pluie-débit sur des périodes de calage de durée différente et de voir ainsi l'intérêt, pour une étude des débits d'une rivière, d'utiliser un modèle même si on ne dispose que de peu d'années pour le caler ;
- de montrer l'importance relative de certains paramètres des modèles dans la qualité des simulations, mais aussi la redondance d'autres paramètres ;
- de mettre en évidence, à l'aide de relations statistiques, les équations permettant de calculer les paramètres de modèles déterministes, à partir des caractéristiques physiques de bassin ;
- de constater le peu d'intérêt au point de vue hydrologique, et non au point de vue comparatif, des critères classiques de caractérisation des bassins versants et la difficulté de trouver d'autres caractéristiques facilement mesurables sur carte ;
- de voir la possibilité d'utilisation de ces modèles pour la connaissance de la recharge des nappes.

La méthode ainsi mise au point pour la détermination des débits de cours d'eau non jaugés, donnant de bons résultats, pourrait vraisemblablement être améliorée :

- si le nombre de bassins utilisés pour le calcul des équations de régression est plus important, donnant ainsi la possibilité de calculer des équations propres à des classes de bassins (exemple : séparation des bassins à l'aide d'une analyse en composantes principales sur les caractéristiques physiques, puis calcul pour chaque groupe d'une équation de régression pour les constantes de temps de tarissement) ;

- si les paramètres ayant un rôle redondant peuvent être supprimés sans modification de la qualité de l'ajustement (exemple : temps de percolation du modèle AMANDE) ;
  
- si les capacités des différents réservoirs sont déterminées de façon précises par une étude détaillée de l'évolution du niveau au cours d'une simulation en période sèche ;
  
- si de nouvelles caractéristiques physiques, ayant des relations évidentes avec certains paramètres (rugosité, nature du sol par exemples), sont facilement mesurables à partir de cartes.