

وزارة الجامعات  
Ministère aux Universitaires  
المدرسة الوطنية للتكنولوجيا  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

2 ex

# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

### SUJET

ETUDE COMPARATIVE DES MODELES  
CONCEPTUELS PLUIE-DEBIT  
AU PAS DE TEMPS JOURNALIER  
APPLICATION AU BASSIN VERSANT DE LA CHEFFIA

Proposé par :  
N.DECHEMI

Etudié par :  
M. ATTOU

Dirigé par :  
H. CHAMIBAZ  
N. DECHEMI

PROMOTION 1991

## Abstract

The specialized literature may give the impression that the rainfall-runoff process is considered as a quite solved problem. However, when we examine the current models, we notice that they are difficult to calibrate and not very satisfying by their results. Therefore, one may wonder whether it wouldn't be possible to get the same results with far simpler models. The present work is an attempt to conceive a daily rainfall-runoff model.

## Résumé

En consultant la littérature spécialisée, on pourrait croire que le processus pluie-débit est un problème résolu. Cependant, quand on examine les modèles actuels, on remarque que ceux-ci sont difficiles à calibrer et ne donnent pas des résultats très satisfaisants. Aussi, on essaye d'obtenir ces résultats par des modèles plus simplifiés. Le présent travail est un essai de conception d'un modèle pluie-débit à pas de temps journalier.

## ملخص

عندما نطلع على البحوث المتخصصة، نستطيع أن نزعم أن المسار  
مكتمل - تدفق مشكل غير عويص ولكن عند الإطلاع على معظم النتائج نرى  
الشيء العويص ليس بسيطاً، لاحتوائه على عناصر متغيرة ولا تعطي نتائج  
مرضية. ومن ثم أتينا لاستعمال مناخ سهل التناول. وهذه الأهمية  
محاولة ابتكار نموذج مكر-تدفق يومي.

## REMERCIEMENTS

je remercie Monsieur H. Chambaz  
de m'avoir dirigé dans mon travail et dont  
les conseils m'ont été d'une aide précieuse.

je remercie également,  
Monsieur N. Dechemi de m'avoir orienté  
malgré ses nombreuses occupations.

Finalement, je tiens à  
exprimer ma reconnaissance à Monsieur  
S. Benziada et Monsieur A. Dermad pour  
leur aide.

**A mes proches parents**

I-	INTRODUCTION	1
II-	SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES MODELES PLUIE-DEBIT	2
II-1	STRUCTURE GENERALE	2
II-2	BUT DES MODELES PLUIE-DEBIT	2
II-3	CLASSIFICATION DES MODELES PLUIE-DEBIT	3
II-3.1.	LES MODELES PHYSIQUES	3
II-3.2.	LES MODELES MATHEMATiques	3
II-3.2.1.	LES MODELES DETERMINISTES	3
II-3.2.1.1.	LES MODELES "à reservoirs"	4
III-	ETUDE DU MODELE GR1	17
III-1	LES BASES DU MODELE GR1	17
III-2	DEVELOPPEMENT DU MODELE GR1	17
III-2.1.	FONCTIONNEMENT DU RESERVOIR SUPERFICIEL	17
III-2.2.	FONCTIONNEMENT DU RESERVOIR DE ROUTAGE	18
III-2.3.	SCHEMA D'ENSEMBLE DU MODELE GR1	19
IV-	ETUDE DU MODELE GR2	20
IV-1	LES BASES DU MODELE GR2	20
IV-2	DEVELOPPEMENT DU MODELE GR2	20
IV-2.1.	SCHEMA D'ENSEMBLE DU MODELE GR2	21
V-	ETUDE DU MODELE GR3	22
V-1	LES BASES DU MODELE GR3	22
V-2	DEVELOPPEMENT DU MODELE GR3	22
V-2.1.	LE RESERVOIR-SOL	22
V-2.1.1.	ALIMENTATION DU RESERVOIR-SOL	22
V-2.1.2.	SOUTIRAGE DANS LE RESRVOIR S	23
V-2.2.	LE RESRVOIR- EAU GRAVITAIRE	23
V-2.3.	L'HYDROGRAMME UNITAIRE	24
V-2.4.	SCHEMA D'ENSEMBLE DU MODELE GR3	25
VI-	ORGANIGRAMME ET PROGRAMMATION	26
VI-1	STRUCTURE INFORMATIQUE DU LOGICIEL	26
VI-1.1.	LE MODULE ENTREES	26
VI-1.2.	LE MODULE CALCULS	27
VI-1.3.	LE MODULE SORTIES	28
VI-2	ORGANIGRAMME GENERAL DU LOGICIEL	30
VI-3	ORGANIGRAMME DU MODELE GR1	32
VI-4	ORGANIGRAMME DU MODELE GR2	34
VI-5	ORGANIGRAMME DU MODELE GR3	34
VII-	INTERPRETATION DES RESULTATS	36
VII-1	FONCTIONS CRITERES	36
VII-2	METHODE DE RECHERCHE DE L'OPTIMUM	36
VII-3	RESULTATS	37
VIII-	CONCLUSION GENERALE	53
	BIBLIOGRAPHIE	

**I - Introduction -I**

---

**Chapitre I**

**INTRODUCTION**

On désigne par modèle pluie - débit un outil mathématique qui permet de construire à partir de données de pluie et d'évapotranspiration potentielle, les débits les plus proches possibles de ceux réellement observables sur un bassin versant.

Les qualités que l'on peut attendre d'un modèle pluie - débit sont nombreuses et on peut en citer :

- précision ;
- robustesse ;
- généralité ;
- universalité ;
- richesse ;
- et adaptabilité.

Néanmoins, la crédibilité des modèles pluie - débit n'est pas toujours démontrée à cause de la présence d'incertitudes et d'erreurs dues d'une part à la modélisation, et d'autre part aux mesures de données (pluie, débit, évapotranspiration).

Dans cette optique, on a élaboré un modèle conceptuel, dénommé aussi modèle "à réservoirs".

Ce travail comporte quatre axes principaux :

- Etude bibliographique des modèles pluie - débit ;
- Présentation de la structure des modèles élaborés (GR1, GR2, GR3) ;
- Description du logiciel ;
- et Critique des résultats obtenus.

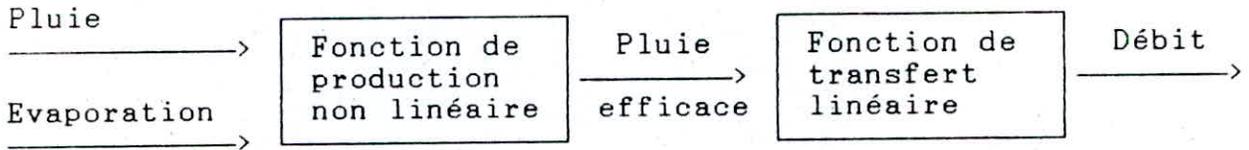
Les applications seront faites sur le bassin versant de la Cheffia dont la superficie est de 564 km<sup>2</sup>.

**Chapitre II**

**SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE  
SUR  
LES MODELES PLUIE-DEBIT**

## II - 1. Structure générale :

La structure générale des modèles "pluie - évapotranspiration - débit" est schématisée comme suit (BASTIN, 1984) :



Le rôle de la fonction de production est de transformer la pluie totale (P) en une pluie efficace (PE) alors que la fonction de transfert permet d'obtenir les débits recueillis à l'exutoire du bassin hydrographique à partir des pluies efficaces.

## II - 2. Buts des modèles pluie - débit :

Les modèles pluie - débit sont conçus en vue de répondre à certains objectifs, parmi lesquels :

- la bonne compréhension des processus intervenant dans la genèse des débits ;
- le palliatif des lacunes des relevés des stations de jaugeage ;
- l'estimation des caractéristiques hydrologiques de bassins versants non pourvus de stations de jaugeage ;
- la prévision en temps réel des hauteurs d'eau des débits.

Ainsi, les modèles pluie - débit sont nécessaires pour :

- la prévision
- la simulation
- et le contrôle.

## **II - 3. Classification des modèles pluie - débit :**

Les modèles pluie - débit appartiennent en général à deux grandes classes :

- les modèles physiques et les modèles mathématiques.

### **II - 3.1. Les modèles physiques :**

Ils sont ponctuels et ne concernent que des parcelles élémentaires (quelques mètres carrés, ares ou parfois hectares), basés sur la solution d'équations différentielles pour l'étude fine et détaillée de l'évapotranspiration, de l'infiltration surtout, et de l'écoulement. Ces types de modèles sont utilisés comme moyens de vérification en laboratoire des modèles digitaux.

### **II - 3.2. Les modèles mathématiques :**

Les modèles mathématiques sont les plus utilisés des modèles pluie - débit. Ils se subdivisent en modèles déterministes et modèles stochastiques.

#### **II - 3.2.1. Les modèles déterministes :**

Il s'agit des modèles paramétriques, basés sur des formulations mathématiques. Les différents paramètres sont à déterminer sur la base d'observations.

Les modèles déterministes sont classés en modèles "Boîte Noire" ("Black Box") et modèles conceptuels. Les premiers modèles ignorent la complexité des processus hydrologiques ; ils s'efforcent, à partir "d'entrées" connues, de reproduire au mieux des "sorties" connues. Leurs paramètres, plus difficilement identifiables à des variables hydrologiques, prennent des valeurs numériques qui dépendent essentiellement de la qualité de la reproduction.

Par contre, les modèles conceptuels, contrairement aux modèles "Boîtes Noires", s'attachent à décrire les relations fonctionnelles liant les sollicitations aux réponses du système. En d'autres termes, les modèles conceptuels sont basés sur des théories ou concepts physiques du comportement du bassin, assimilé par exemple à celui d'un système de réservoirs affectés de divers asservissements.

Ainsi, un modèle mathématique de type déterministe est tel que la variable  $Y$  résultante à laquelle on s'intéresse est une fonction, de certaines quantités (paramètres)  $X_1 \dots X_k$  et l'étude du modèle vise à déterminer cette fonction à partir de séries d'observations du passé.

#### II - 3.2.1.1. Les modèles "à réservoirs" :

Les modèles à réservoirs représentent ce qui, le plus, séduit quelques chercheurs du domaine, si l'on en juge par leur nombre. Ces systèmes sont constitués de réservoirs d'eau en série ou/et en parallèle ; la loi de remplissage de chaque réservoir est conditionnée par la structure amont du système, la loi de vidange lui étant propre (figure 1).

Les combinaisons de ces réservoirs sont multiples, de même que le nombre de paramètres à ajouter. Ils permettent soit :

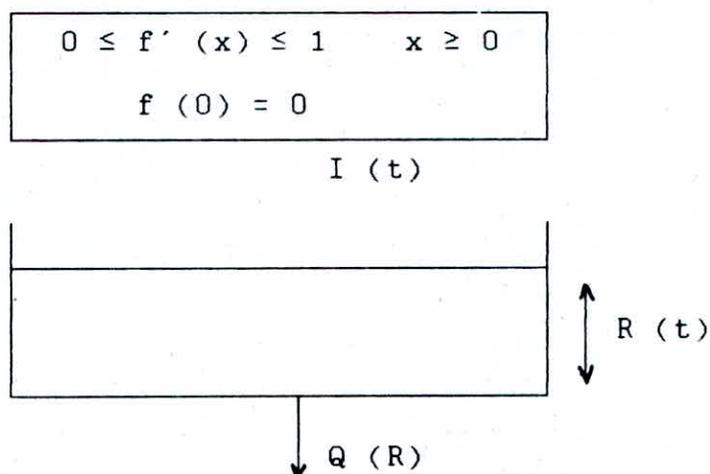
- de représenter uniquement la réduction de la pluie brute en volume d'eau ruisselé localement après prélèvement des parts évaporées et infiltrées, pour ensuite réaliser les deux opérations production - transfert à l'exutoire.
- de représenter la totalité du processus pluie-débit avec :
  - . soustraction des pertes ;
  - . et détermination du volume ruisselé.

## II - 3.2.1.1.1. Fonctionnement d'un réservoir :

Si l'entrée est désignée par  $I(t)$ , le niveau du réservoir par  $R(t)$ , la sortie est alors une fonction de  $R$ . Cette fonction de  $R$  est la spécification du réservoir :

$$Q = f(R)$$

Si l'on suppose que le réservoir fonctionne en valeurs sur un pas de temps fixe, il doit satisfaire aux conditions suivantes :



Un élément de base pour le transfert : le réservoir.

- Si le réservoir est linéaire, on a  $Q = f(R) = R/K$   
K ayant la dimension d'un temps.
- Si le réservoir est quadratique, on a  $Q = f(R) = KR^2$ .

L'équation de continuité s'écrit alors :

$$\frac{dR}{dt} = I - Q \quad (1)$$

Comme  $Q = f(R)$

On obtient l'équation différentielle :

$$\frac{dR}{dt} + f(R) = I \quad (2)$$

### Etude du réservoir linéaire :

L'équation différentielle (2) devient :

$$\frac{dR}{dt} + \frac{R}{k} = I(t)$$

Après intégration sur un pas de temps de durée U, on obtient :

$$Q = \alpha R(0) + P - (1 - \alpha) \int_0^U I(t) e^{t/k} \cdot dt$$

avec :

$$\alpha = 1 - e^{-U/k}$$

et 
$$P = \int_0^U I(t) \cdot dt$$

### Etude du réservoir quadratique :

L'équation différentielle (2) donne :

$$\frac{dR}{dt} + KR^2 = I(t) \quad (3)$$

Cette équation n'est intégrable que dans le cas où I(t) est une constante, d'où la solution :

$$t = \frac{1}{2\sqrt{I(t) \cdot k}} \log \frac{\sqrt{I(t)} + \sqrt{k} R}{\sqrt{I(t)} - \sqrt{k} R}$$

### A/ Modèle STANFORD (1962, 1966) :

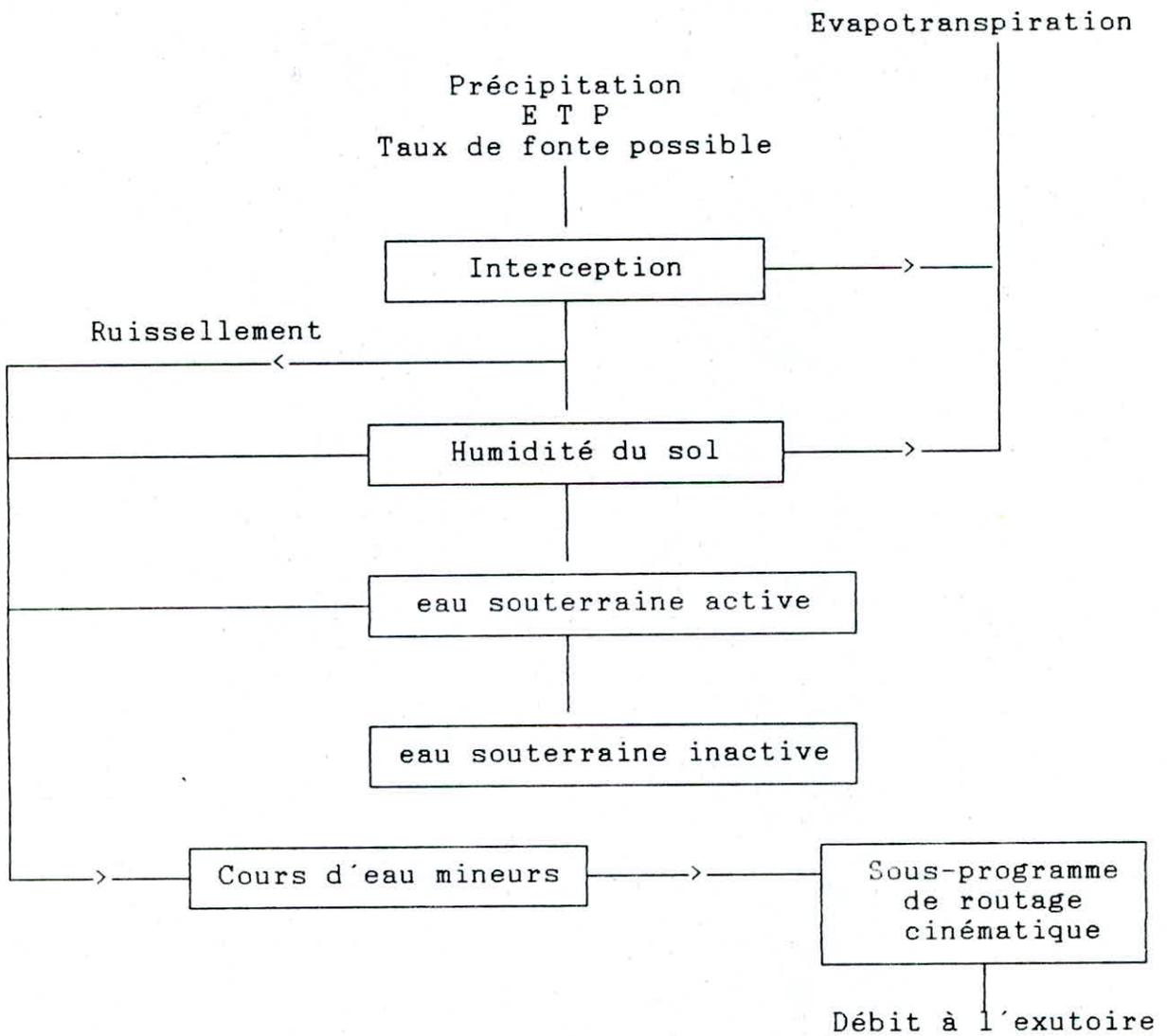
C'est le premier modèle "à réservoir" en date ; il a été élaboré par LINSLEY et CRAWFORD ; une version récente est présente sur la figure (2). Il compte 34 paramètres (en tenant compte des stocks neigeux).

**B/ Modèle SIMERO (1972, 1975) :**

Ce modèle calcule les débits moyens journaliers à partir d'entrées journalières de précipitation et d'évaporation et des conditions initiales d'humidité du sol ; il comporte 75 paramètres dont 30 doivent être ajustés par itération pour obtenir la réponse du bassin.

**C/ Le Modèle HYSIN de MANLEY (1977, 1979) :**

C'est un modèle à réservoir assez simple, il comporte 17 paramètres dont la structure est donnée ci-après.



Ce modèle est un modèle d'entrée - sortie ayant comme principales variables d'entrée la pluie et l'ETP et comme principales sorties le débit de la rivière et l'ETR. Le but de la construction de ce modèle est l'extension de séries de débit.

#### **D/ Le Modèle GIRARD :**

C'est un modèle "à réservoirs", de type plus complexe que celui de STANFORD, mais plus réaliste. Par contre, le nombre de paramètres est très grand. Une représentation schématique de ce modèle est donnée par la figure 3.

Dans ce modèle, les réservoirs  $R_3$  et  $R_6$  sont en forme de cul-de-sac, destinés à absorber les infiltrations non récupérables.

#### **E/ Le Modèle SIM de GIRARD :**

C'est une version simplifiée du modèle GIRARD, le bassin est représenté par cinq (5) réservoirs au maximum ; chaque réservoir comporte deux sorties, l'une au fond, l'autre à une distance  $H_0$  du fond.

L'évaporation ETR des réservoirs est réglée suivant deux paramètres HETMI et HETMA (figure 4) ; le nombre de paramètres reste assez réduit.

#### **F/ Le Modèle d'AYERS :**

Le modèle d'AYERS a été utilisé uniquement pour exprimer les transferts souterrains (figure 5).

### G/ Le Modèle CREC (1967) :

En 1957, CORMARY a mis au point un modèle comportant seulement deux réservoirs. Plus tard, en 1967, le même chercheur construisait le modèle CREC (figure 6). C'est un modèle assez simple d'une part, d'autre part,  $R_1$  est un réservoir en cul-de-sac.

### H/ Le Modèle MODGLO :

Conçu à l'ORSTOM en 1974 par G. GIRARD, il fonctionne au pas de temps journalier et utilise des fonctions de production et de transfert individualisées. La fonction de production est organisée autour d'un réservoir "sol", dépendant de deux paramètres :

- CRT : la valeur moyenne de la rétention en eau sur le bassin versant.
- DCRT : paramètre permettant l'introduction de l'hétérogénéité de la rétention en eau des sols.

Par contre, la fonction de transfert ne concerne que le terme EAUG (l'eau livrée à l'écoulement retardé), distribué dans quatre (4) réservoirs (figure 7).

### II - 3.2.2. Les modèles stochastiques et probabilistes :

Dans ce genre de modèles, on introduit le concept de probabilité dans la formulation du modèle. En d'autres termes, ce type de modèle prend en considération la composante aléatoire des phénomènes hydrologiques.

Si la probabilité d'apparition d'un événement est fonction du temps, on dit que le modèle est stochastique, si elle est indépendante du temps, on parle de modèle probabiliste.

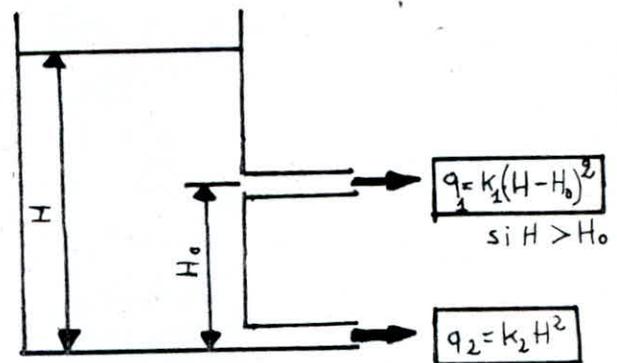
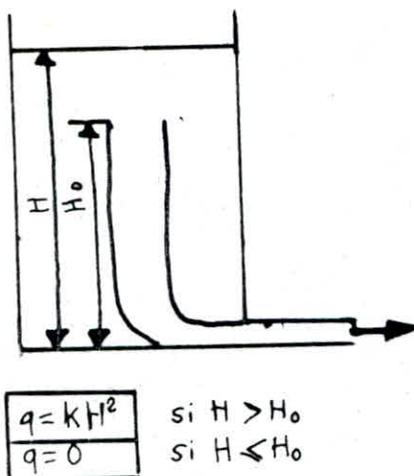
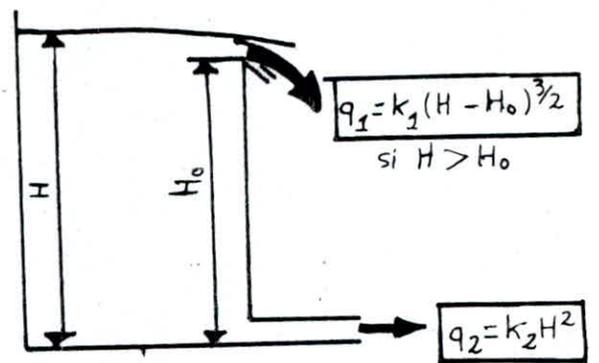
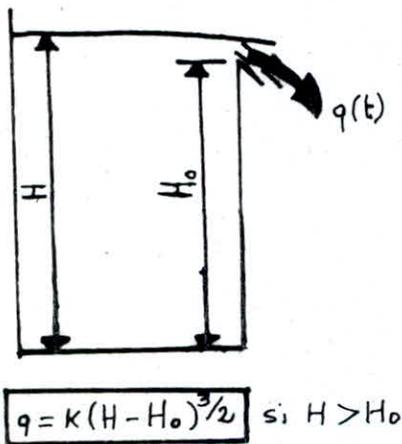
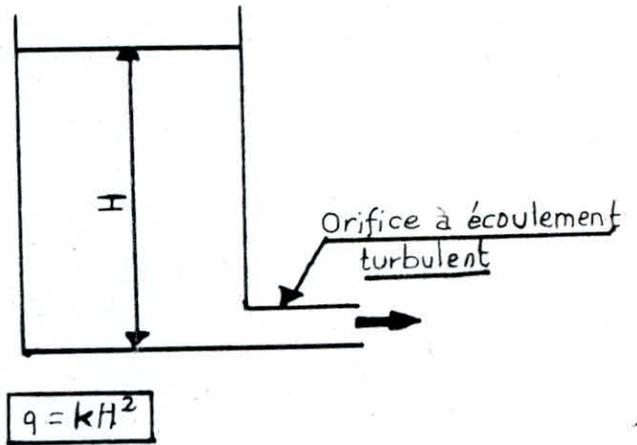
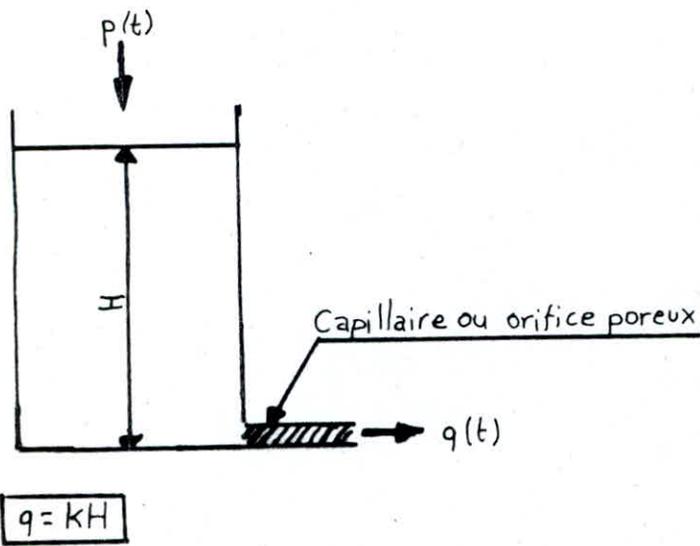


FIG. 1. Different type DE VIDANGE

# MODÈLE DE STANFORD

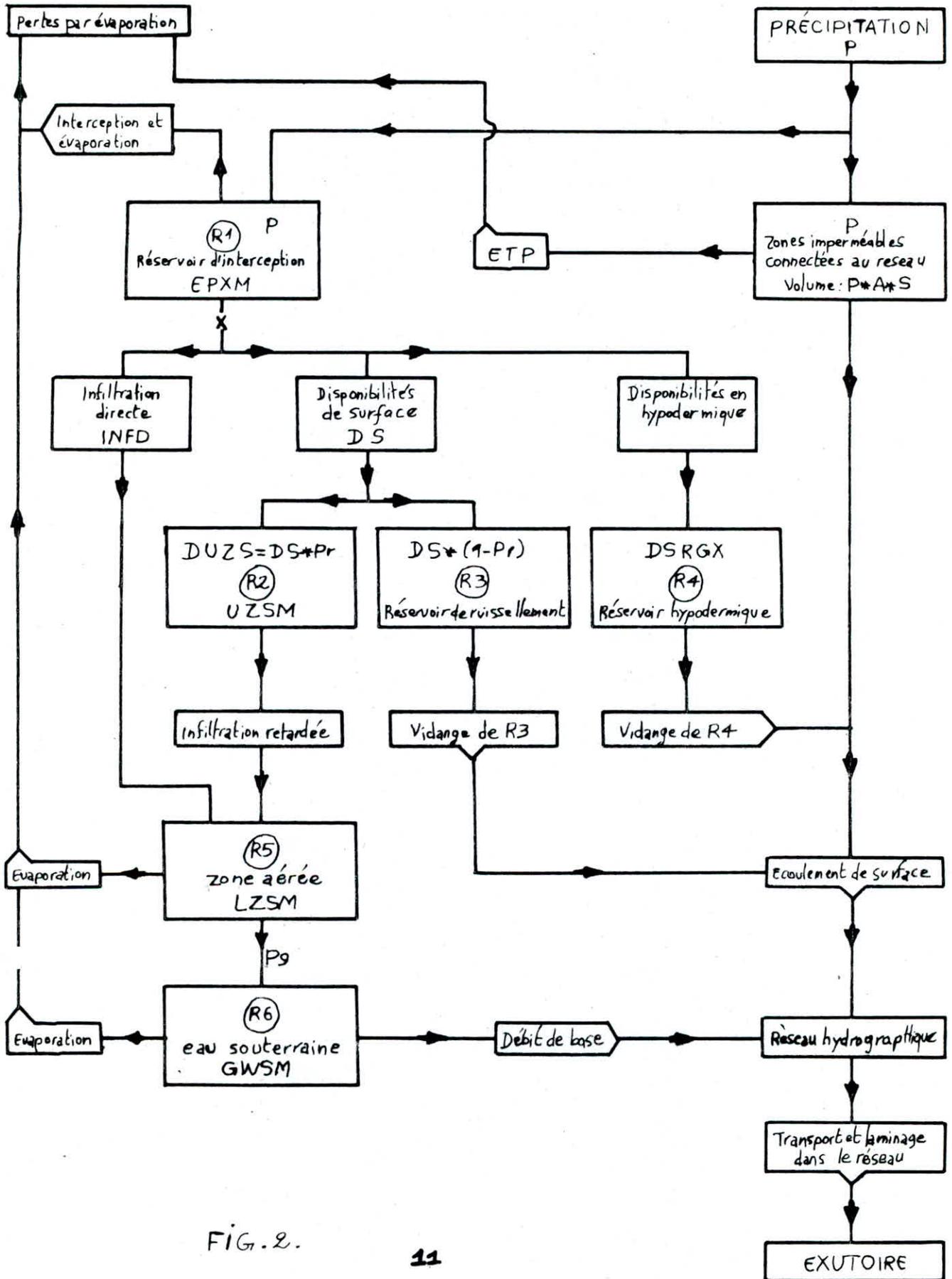


FIG. 2.

# MODÈLE GIRARD

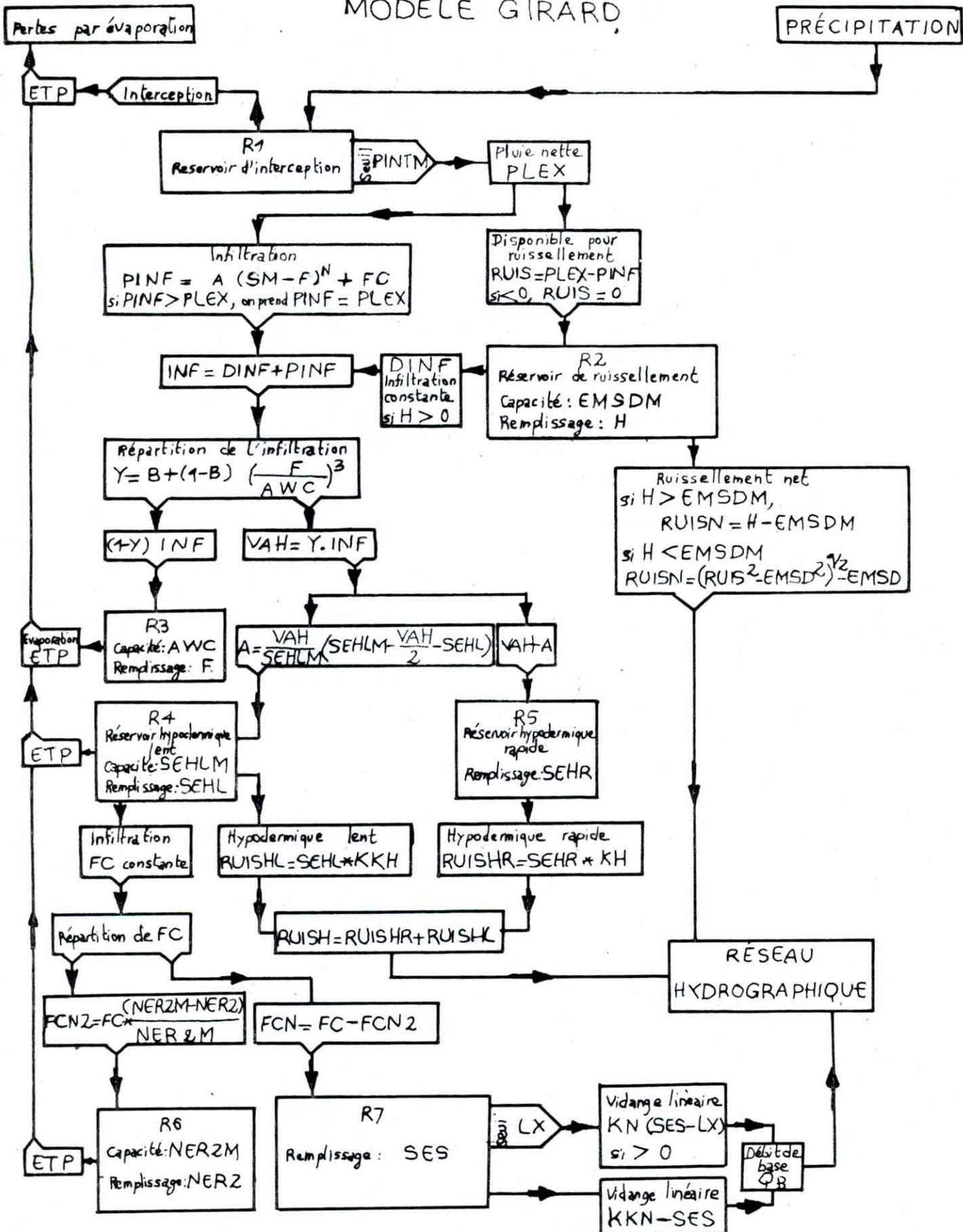


FIG. 3 - 12

# MODÈLE SIM DE GIRARD

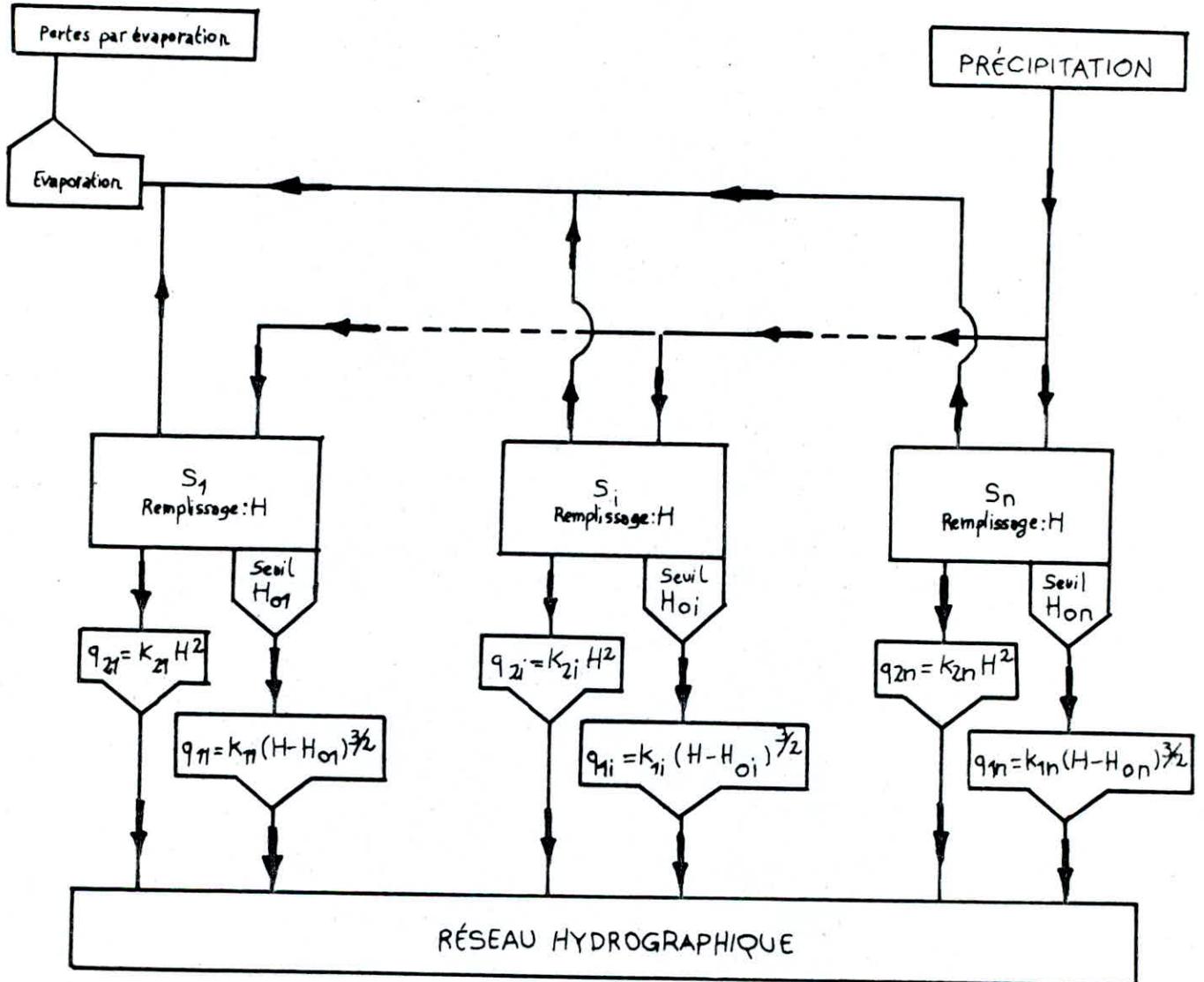


FIG. 4

# MODÈLE D'AYERS,

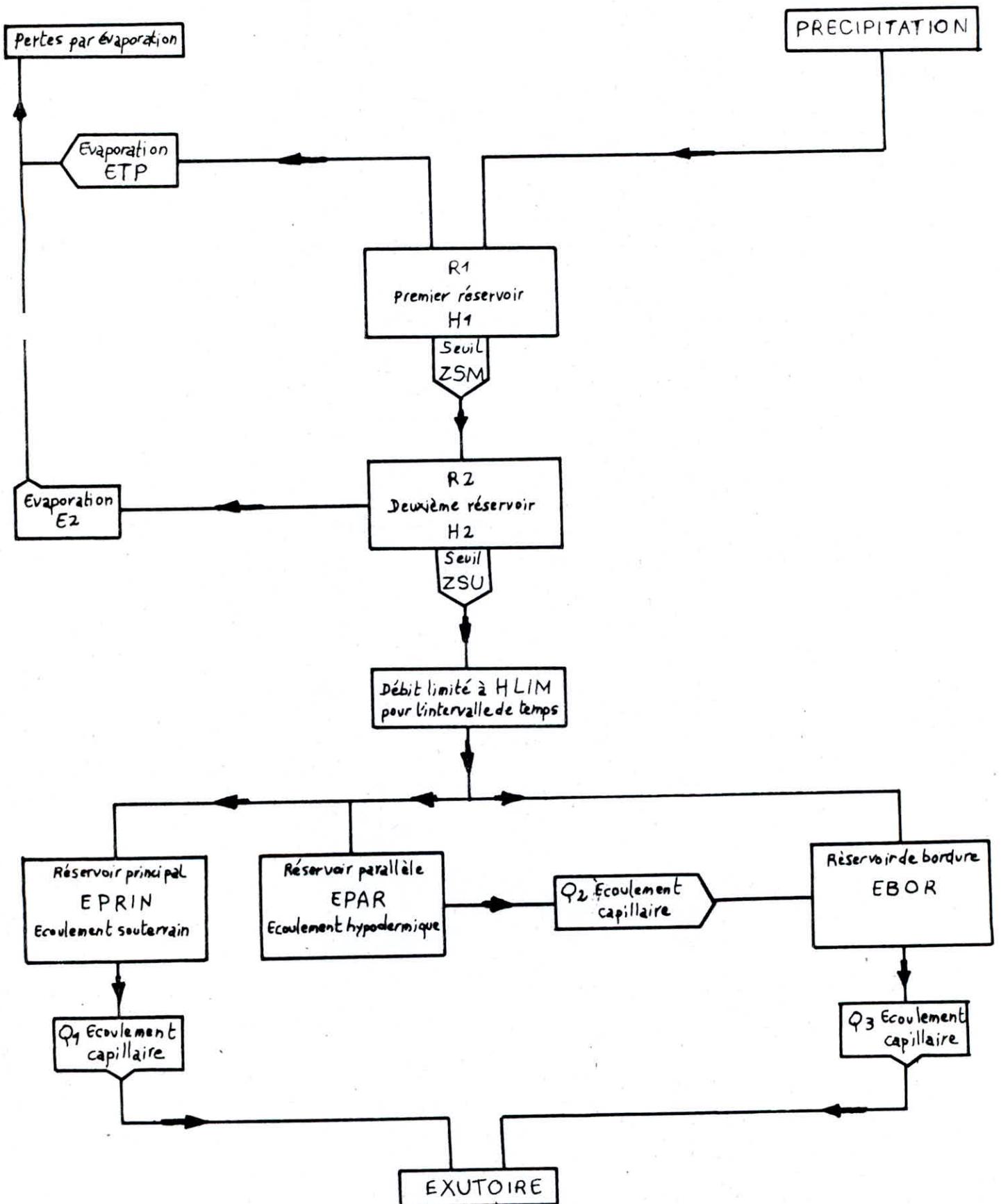


FIG. 5. 14

# MODÈLE CREC DE CORMARY

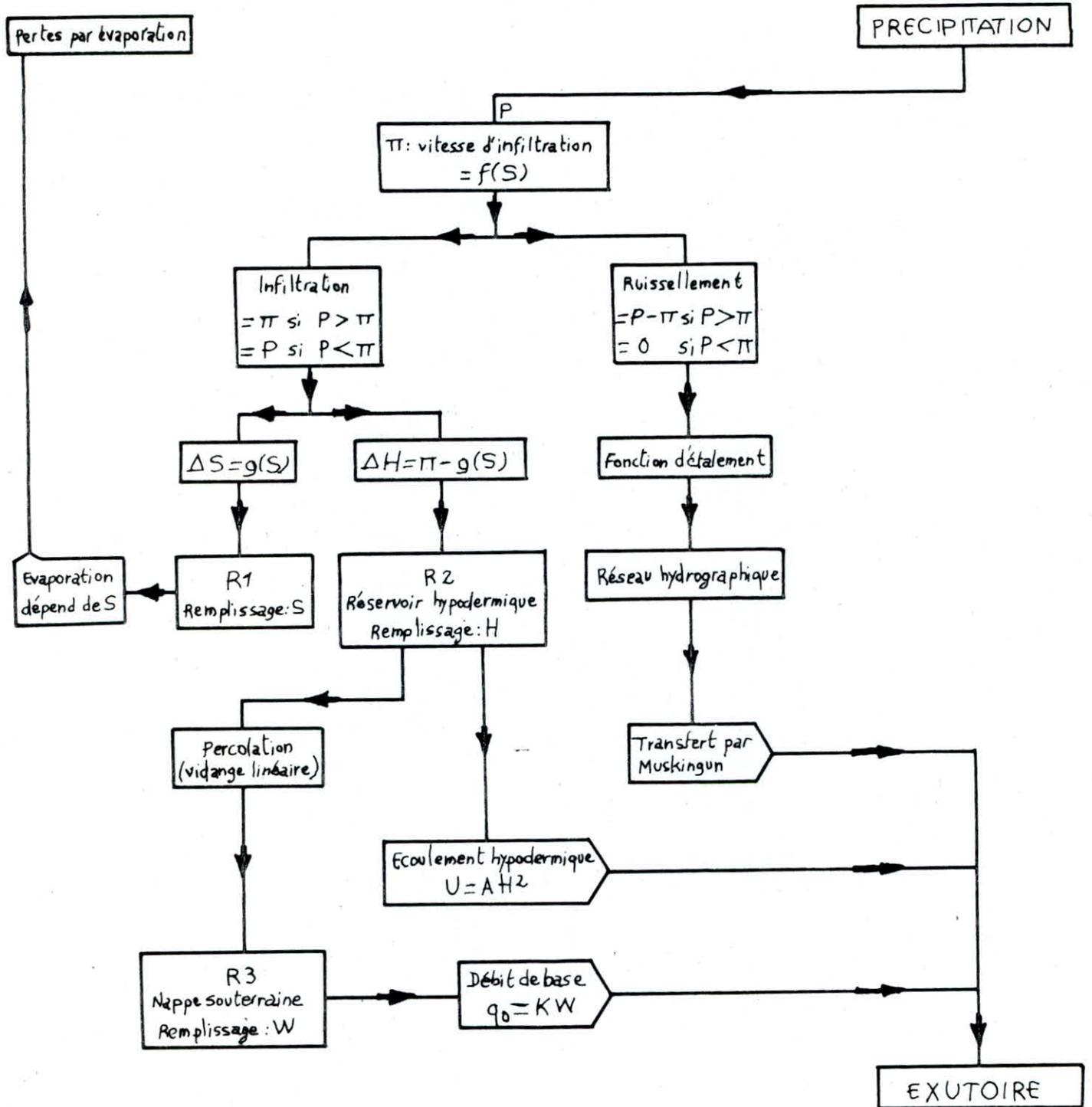


FIG. 6.

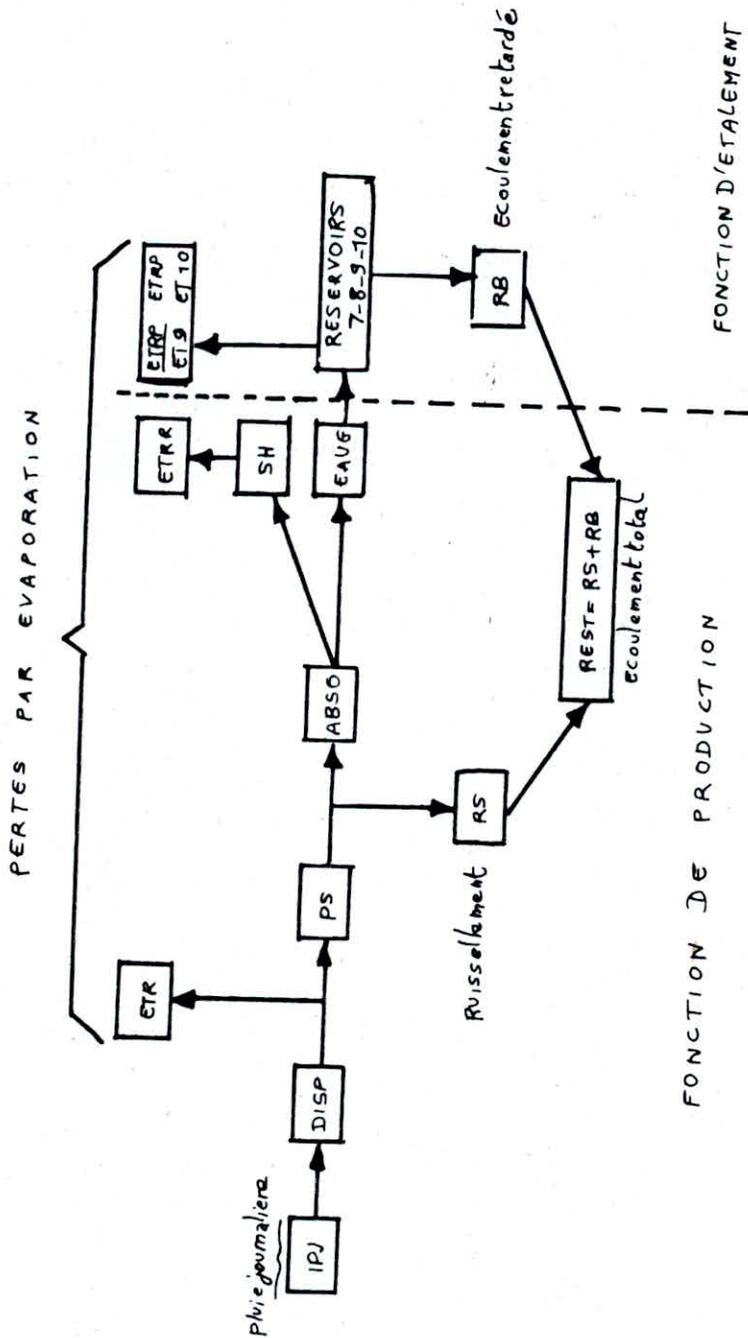


FIG. 7. - Schéma conceptuel du modèle MODGLO

Chapitre III

**ETUDE DU MODELE GR1**

### III - 1. Les bases du Modèle GR1 :

Le modèle a été conçu à deux (2) réservoirs :

- . un réservoir (S) assurant le bilan hydrologique ;
- . et un réservoir (R) assurant le routage des débits.

Le schéma du modèle est celui indiqué par la figure 1.

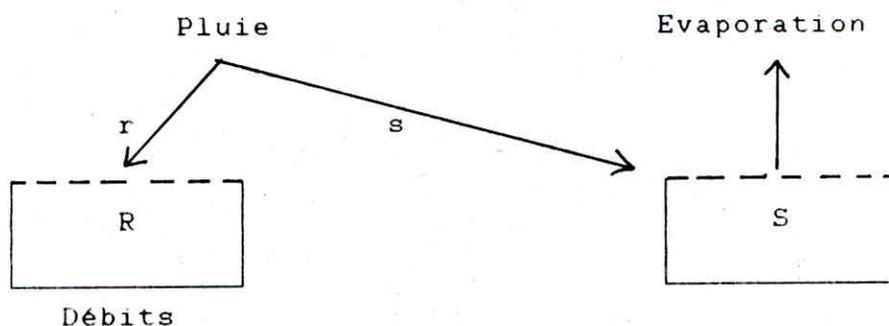


Figure 1 - Schéma du modèle GR1  
Les niveaux maximum des deux réservoirs sont égaux.

### III - 2. Développement du Modèle GR1 -

#### III - 2.1. Fonctionnement du réservoir superficiel :

La pluie "P" sert à faire face à l'évapotranspiration potentielle  $E_p$ . Deux cas peuvent se présenter :

- $E_p > P$  :  $E'_p = E_p - P$  et  $P' = 0$
- $E_p \leq P$  :  $E'_p = 0$  et  $P' = P - E_p$

où

$E'_p$  et  $P'$  représentent successivement l'évapotranspiration potentielle restante et la pluie restante.

Dans le cas où la pluie "P" n'arrive pas à faire face à  $E_p$ , on calcule l'évapotranspiration réelle, qui varie linéairement en fonction du réservoir "S".

- Si  $S = 0$   
 $E_r = 0$

- Si  $S = A$  (capacité maximale)

$$E_r = E'_p$$

il en découle donc la relation suivante :

$$E_r = E'_p \cdot S/A.$$

Ce réservoir a pour rôle de fixer la proportion de pluie "r" qui est admise à s'écouler. Pour expliciter "r" (et donc  $S = 1 - r$ ), on est amené à utiliser la relation établie par le Soil Conservation Service (U.S.D.A.). Ce dernier pose que le ruissellement consécutif à la pluie  $P'$  est donné par la relation

$$(P' - u)^2 / (P' + v)$$

u et v sont deux paramètres tels que  $v \gg u$ , d'où pour simplifier, on a pris  $u = 0$ . Et il est rationnel de poser :

$$v = A - S$$

Il vient :

$$r = P' / (P' + A - S)$$

et par conséquent

$$s = (A - S) / (P' + A - S)$$

### III - 2.2. Fonctionnement du réservoir de Routage :

Le réservoir de Routage R sert au transit de la fraction r, de la pluie ( $P'$ ) prédéterminée à l'écoulement du débit. Alors le débit Q fourni par celui-ci est fonction d'une puissance du niveau de ce réservoir.

Pour mieux comparer les débits journaliers observés et calculés, le décalage est de un (1) jour :

$$Q_{j+1} = \frac{R^2_j}{R_j + B}$$

B : niveau maximum du réservoir R

R<sub>j</sub> : niveau du réservoir

L'équation de continuité de vidange du réservoir R s'écrit :

$$R_{j+1} = R_j - Q_{j+1}$$

III - 2.3. Schéma d'ensemble du Modèle GR1 :

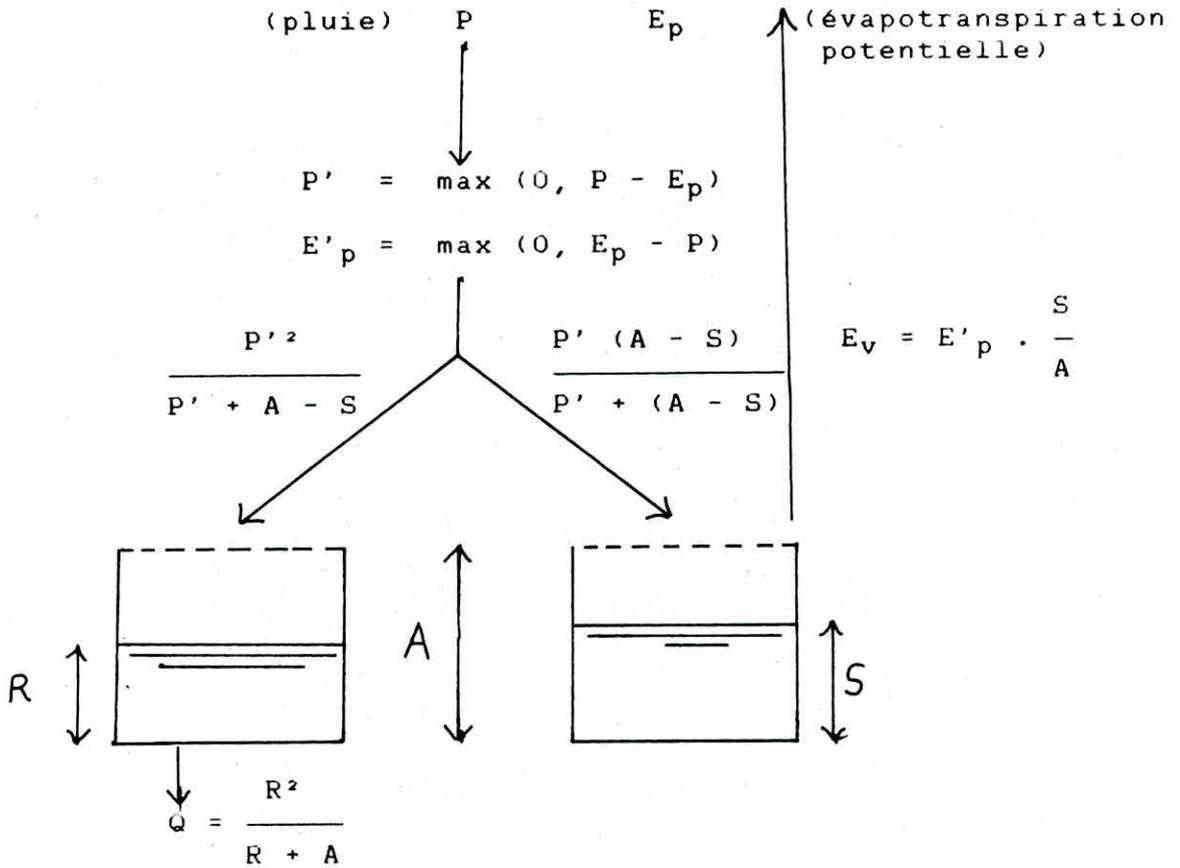


Figure 2 : Schéma d'ensemble du modèle GR1

Chapitre IV

**ETUDE DU MODELE GR2**

#### IV - 1. Base du Modèle GR2 :

Le modèle GR2 est un modèle global à deux réservoirs chacun, décrit par un paramètre ; A et B sont respectivement :

- . la capacité maximale du réservoir (S)
- . la capacité maximale du réservoir (R).

#### IV - 2. Développement du Modèle GR2 :

C'est une version améliorée du GR1. Il en a la même structure avec, cependant, quelques différences, à savoir, le calcul de l' $E_r$ .

Le modèle GR2 avait conduit à une fonction de réduction de l'évapotranspiration potentielle en évaporation réelle exprimée par le coefficient suivant :

$$\frac{E_r}{E'_p} = \sqrt{S/A}$$

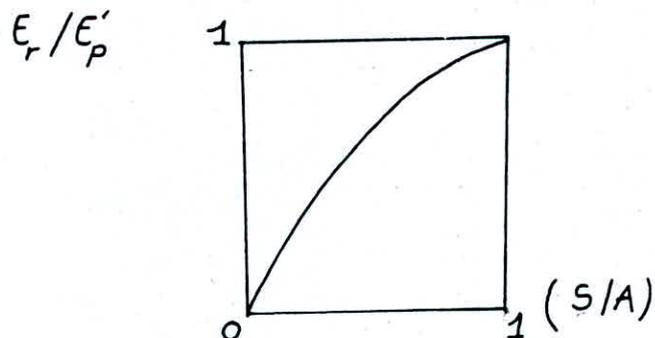


Figure 3 : La fonction réduction d'ETP dans le modèle GR2

- La fraction qui ruisselle devient

$$r = P (S/A)^2$$

- celle qui pénètre au niveau du sol

$$s = P' [1 - (S/A)^2]$$

Le réservoir quadratique recueille la pluie nette et relâche un débit  $Q$  :

$$Q_{j+1} = R^2_j / (R_j + B)$$

IV - 2.1. Schéma d'ensemble du Modèle GR2 :

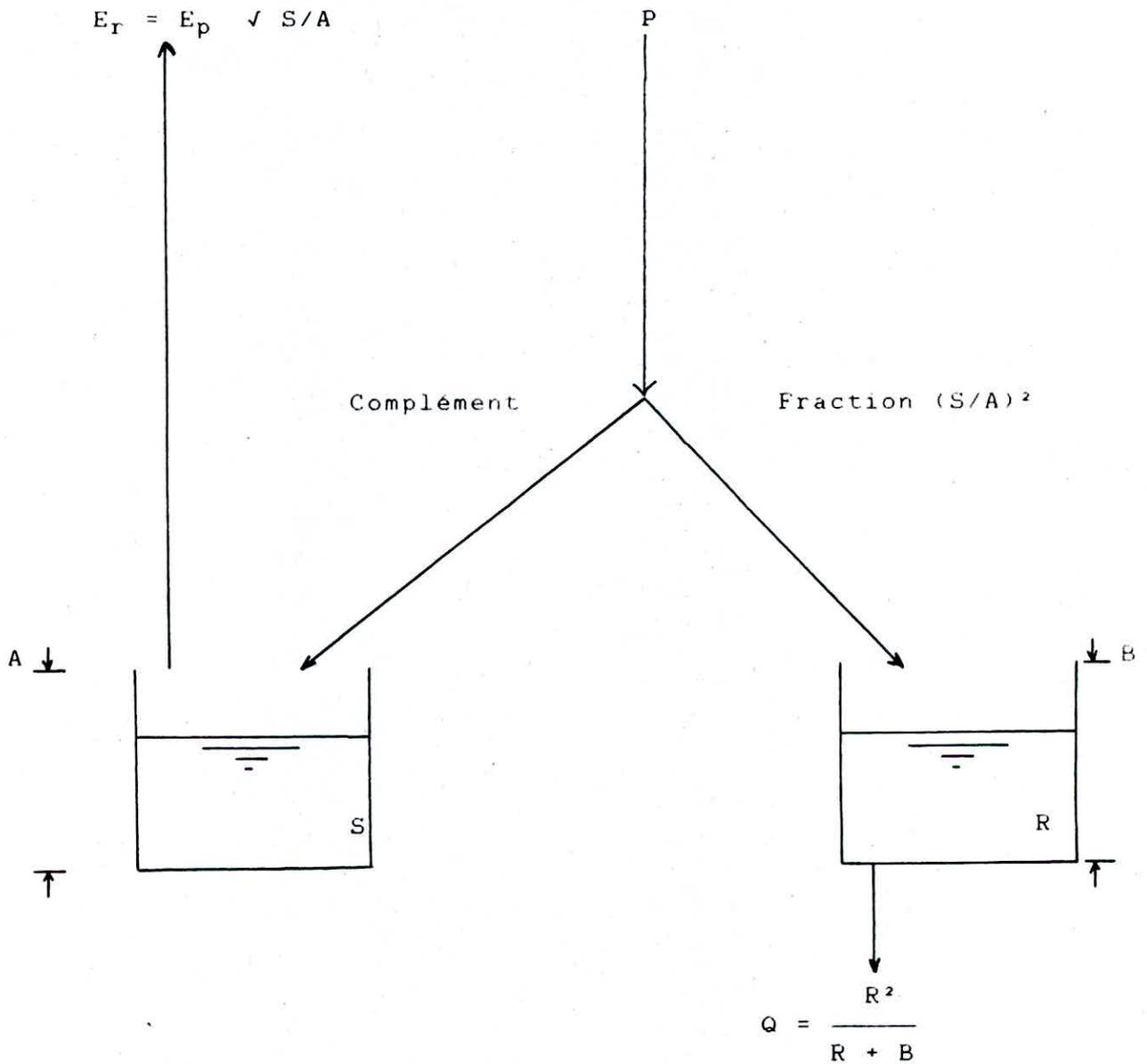


Figure 4 : Schéma du Modèle GR2.

Chapitre V

**ETUDE DU MODELE GR3**

## V - 1. Base du modèle :

Le modèle GR3 dérive du modèle CREC, mis au point par Y. COMMARY et A. GUILBOT (1969).

La structure du modèle dépend de trois opérateurs dont chacun dépend d'un seul paramètre :

- le réservoir - sol ;
- l'hydrogramme unitaire ;
- et le réservoir eau gravitaire.

## V - 2. Développement du modèle GR3

### V - 2.1. Le réservoir - sol :

Il est caractérisé par sa capacité A, premier paramètre du modèle GR3 (figure 6).

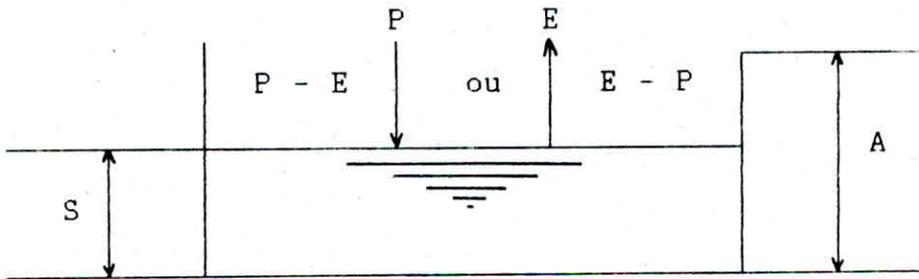


Figure 5 : le réservoir - sol

Le niveau du réservoir S est sujet à deux situations :  
alimentation et soutirage.

#### V - 2.1.1. Alimentation du réservoir - sol :

Lorsque la pluie dépasse l'évapotranspiration potentielle, le réservoir fonctionne d'une manière instantanée :

$$dS = [1 - (S/A)^2] dP'$$

Le niveau du réservoir - sol passe de S à S' qui peut être formulé, après intégration de l'équation précédente par :

$$(S'/A) = \frac{(S/A) + \tan h (P'/A)}{1 + (S/A) \tan h (P'/A)}$$

#### V - 2.1.2. Soutirage dans le réservoir S :

Lorsque, contrairement au cas précédent, l'évapotranspiration potentielle est supérieure à la pluie, on a l'équation suivante :

$$dS = - (S/A) [2 - (S/A)] dE'_P$$

Au cours d'un pas de temps où le réservoir est soumis à l'évapotranspiration potentielle  $E_P$ , le réservoir - sol passe de l'état S à l'état S' et l'on a après intégration :

$$(S'/A) = \frac{(2 S/A)}{(S/A) + [2 - (S/A)] e^{2(E'_P/A)}}$$

#### V - 2.2. Le réservoir - eau gravitaire :

C'est un réservoir de type quadratique qui délivre le débit journalier de la rivière. Il est caractérisé par sa "rétention maximale à un jour" B, deuxième paramètre du modèle GR3. Ce réservoir reçoit, en début de pas de temps, le débit délivré par l'hydrogramme unitaire. Le niveau R du réservoir eau - gravitaire détermine le débit Q (lame d'eau journalière) qu'il peut relâcher :

$$Q = \frac{R^2}{R + B}$$

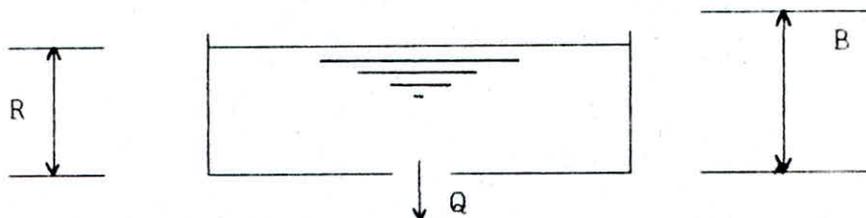


Figure 6 : le réservoir - eau gravitaire

### V - 2.3. L'hydrogramme unitaire :

Pour résoudre le problème du temps d'accès au réservoir - eau - gravitaire, la solution proposée est de réaliser un décalage progressif par utilisation de l'opérateur classique qu'est l'hydrogramme unitaire, dépendant d'un seul paramètre, sa durée C. C'est donc le troisième et dernier paramètre du modèle GR3 ; il est exprimé en jours. Sous sa forme continue, cet hydrogramme unitaire est de forme parabolique ; il s'écrit alors :

$$q(t) = \frac{3}{C^3} t^2$$

Sa forme discrétisée par son utilisation dans GR3 s'écrit :

$$q_j = \int_{j-1}^j q(t) \cdot dt = \frac{3j^2 - 3j + 1}{C^3}$$

j : représente le temps en jour, j allant de 1 à N.

N : valeur entière de C.

Si  $N < C$  :

$$q_{N+1} = 1 - [N/C]^3$$

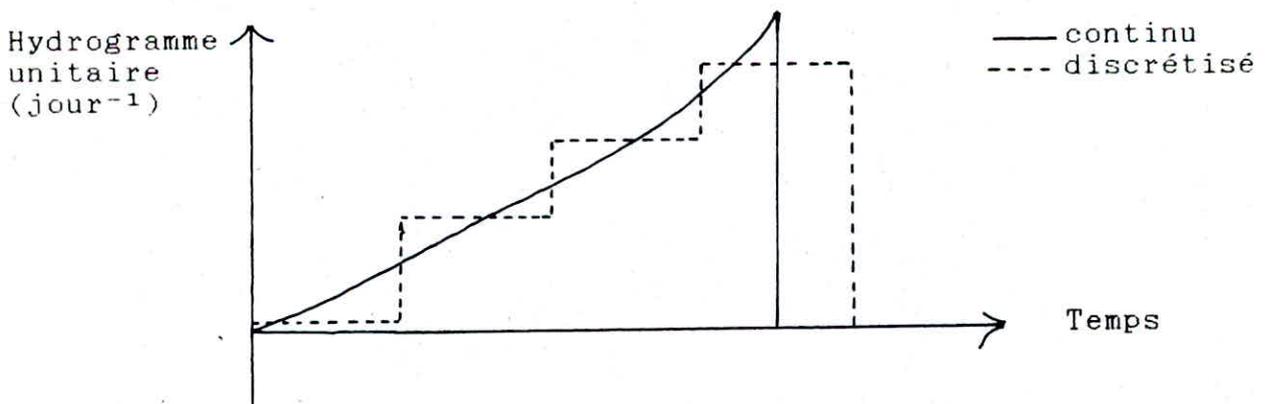
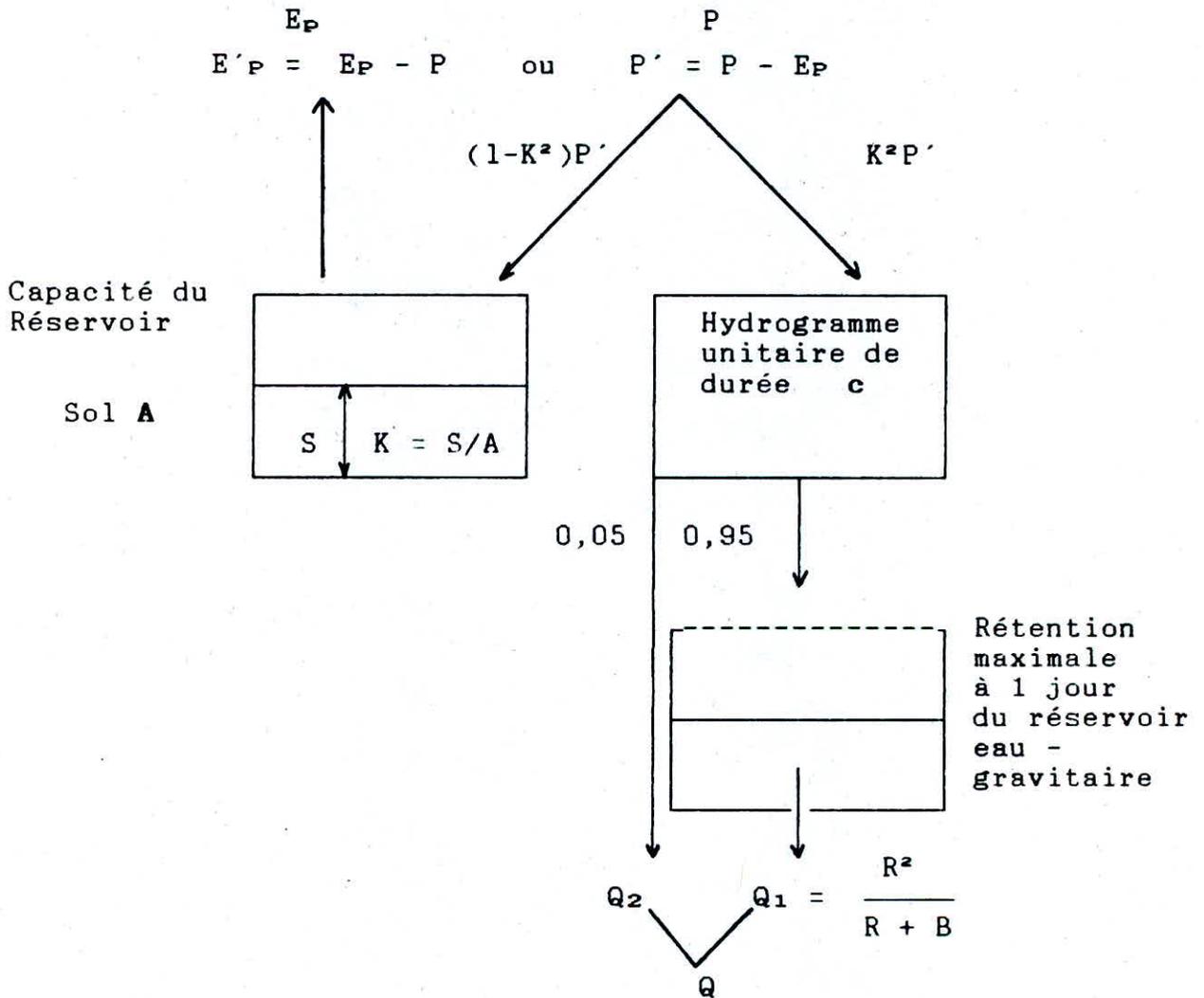


Figure 7 : Hydrogramme unitaire simulant le transfert au réservoir eau - gravitaire.

V - 2.4. Schéma d'ensemble du modèle GR3 :



Chapitre VI

**ORGANIGRAMME  
ET  
PROGRAMMATION**

## VI - 1. Structure informatique du Logiciel :

La structure du logiciel est une organisation de type modulaire. On y distingue trois modules au sens large : entrées, calculs, sorties.

### VI - 1.1. Le Module ENTREES :

Ce premier module a pour objectif de lire et de stocker en mémoire toutes les données et tous les paramètres définissant un état de fonctionnement du modèle. Il comprend un fichier évapotranspiration, un fichier pluie, un fichier débit et un fichier paramètre. Ce dernier contient les paramètres du modèle (production, transfert) ; c'est le seul fichier spécifique du modèle.

### VI - 1.2. Le Module CALCULS :

Deux types de fonctionnement ont été distingués :

- Optimisation : calage automatique
- Simulation : calcul des débits au pas de temps journalier, c'est le "coeur" du modèle, appelé à chaque pas de temps.

### VI - 1.3. Le Module SORTIES :

Les résultats, qui sortent sur écran, apparaissent sous la forme de tableaux journaliers de débits observés et calculés. Le logiciel Grapher nous a permis le tracé des séries chronologiques des lames écoulées observées et calculées à des pas de temps journaliers.

ORGANISATION MODULAIRE DES  
PROGRAMMES

ENTREES

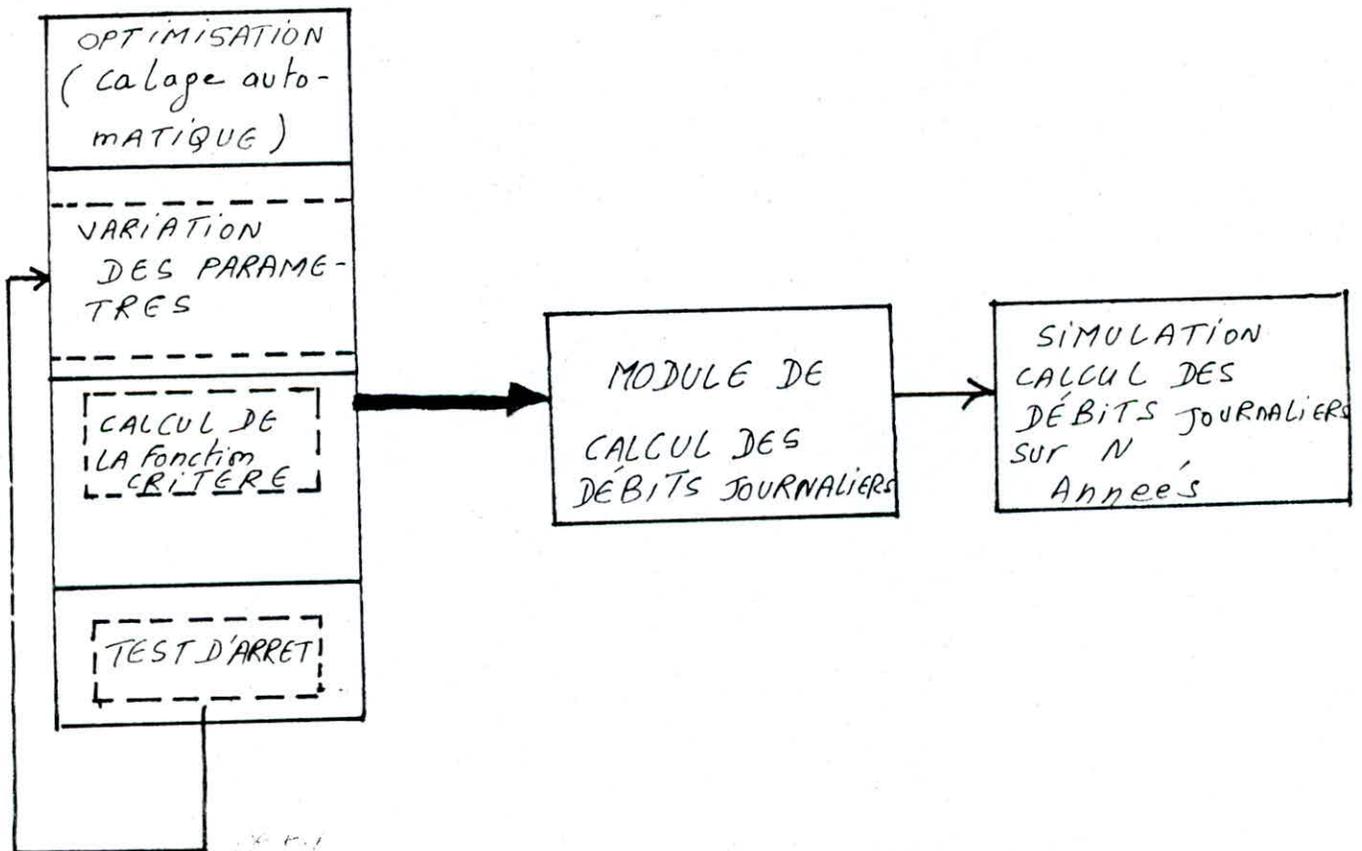
Fichier  
PARAMETRES

Fichier  
EVAPOTRANS-  
PIRATION

Fichier  
PLUIES

Fichier  
DEBITS

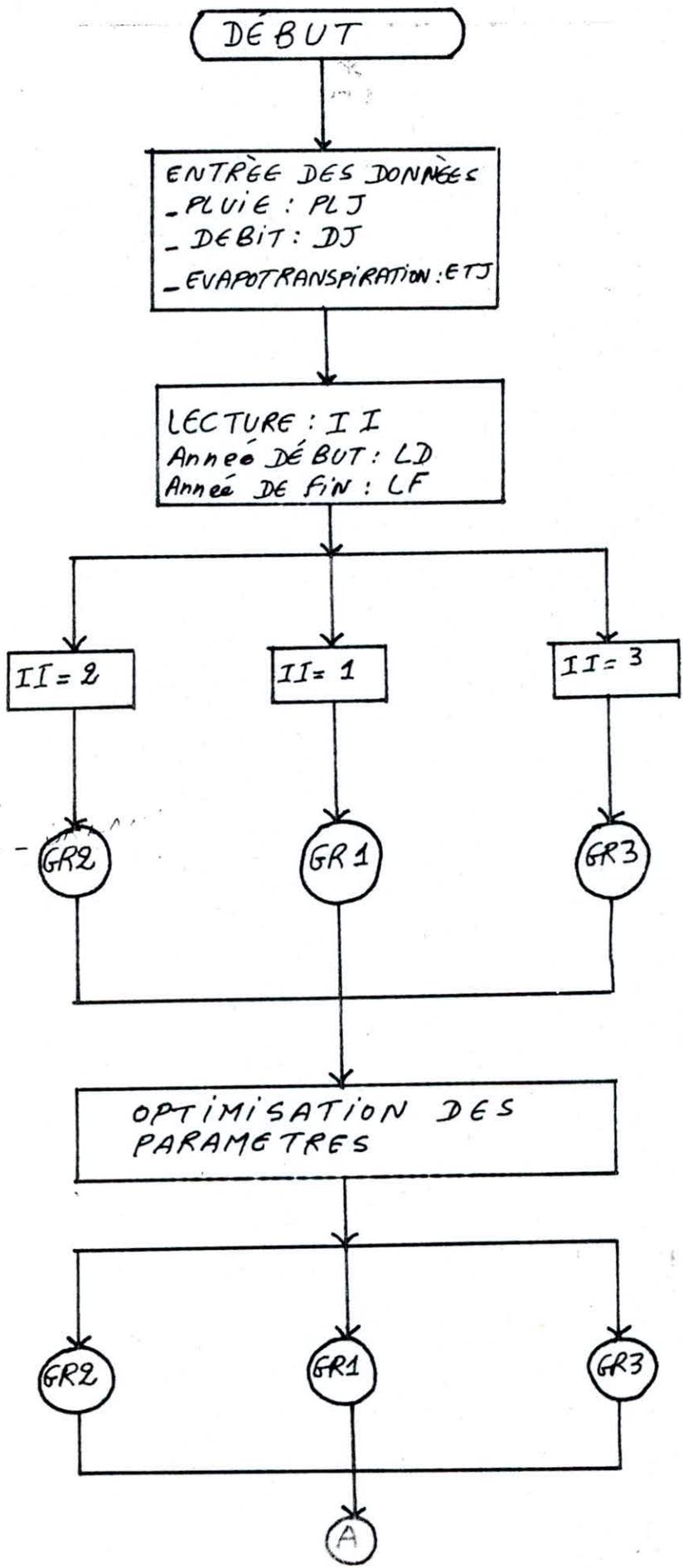
CALCULS

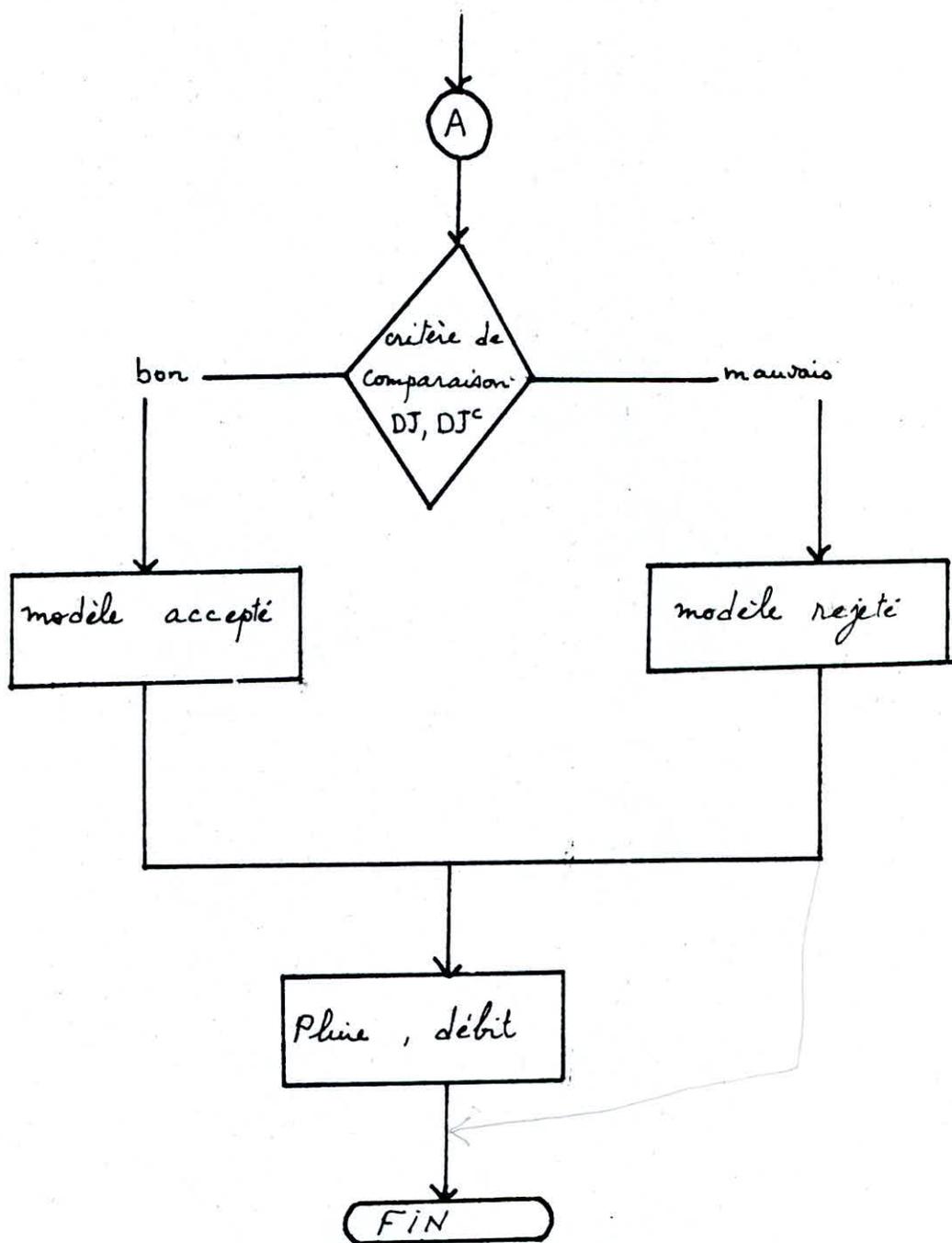


SORTIES

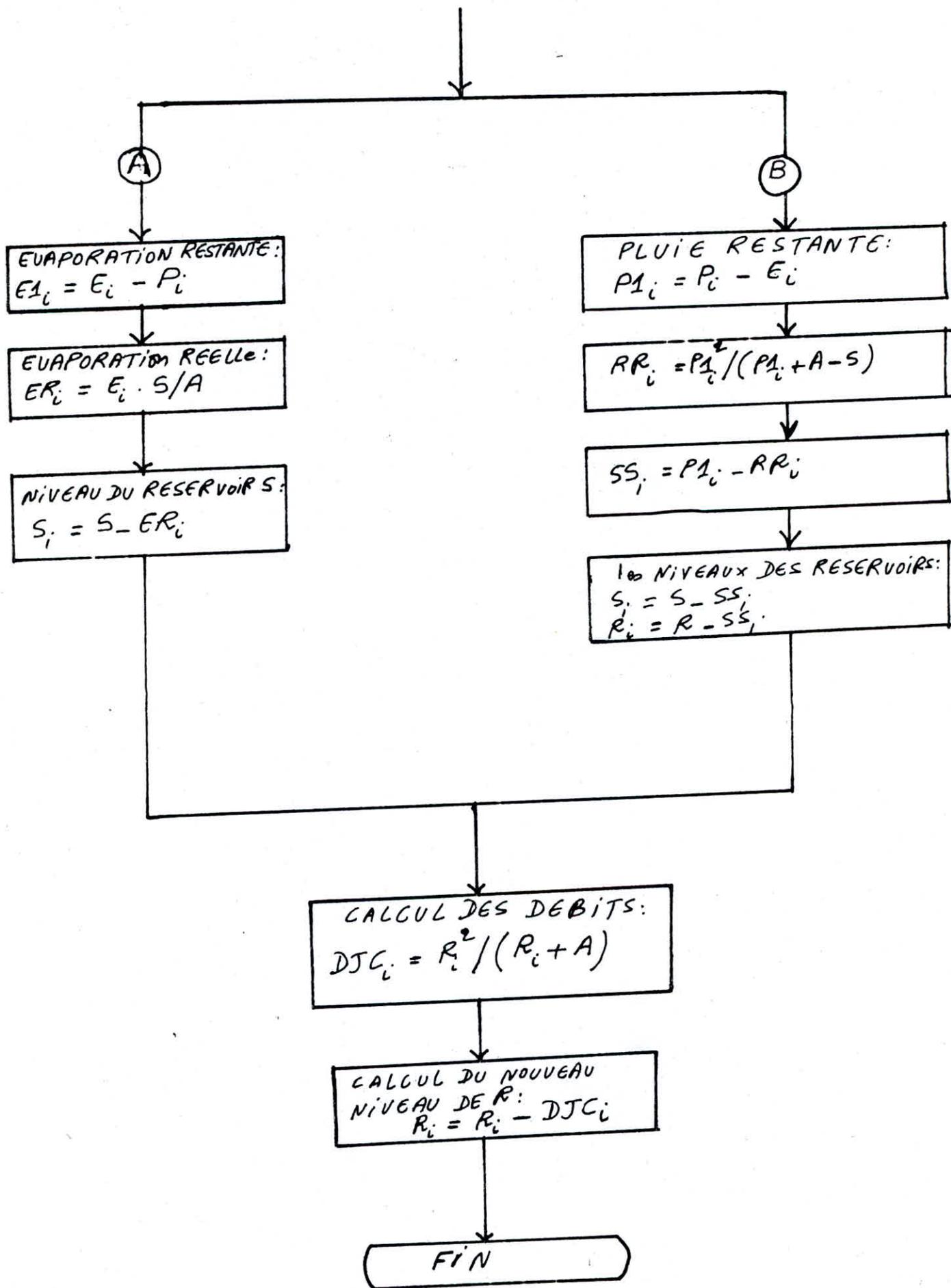
TABLEAUX JOURNALIERS  
• PLUIES  
• DEBITS

# VI\_2\_ ORGANIGRAMME GÉNÉRAL DU LOGICIEL :

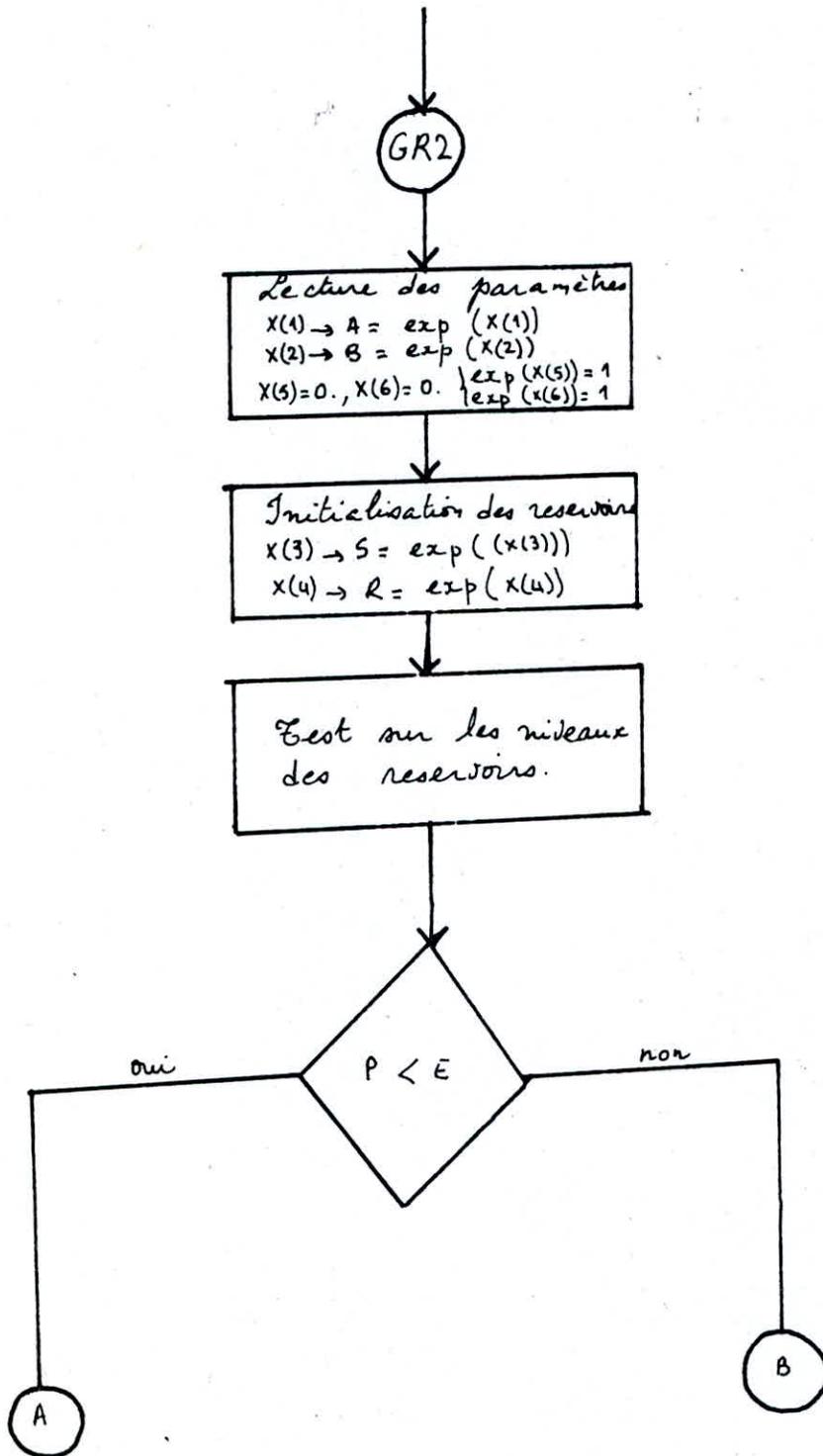


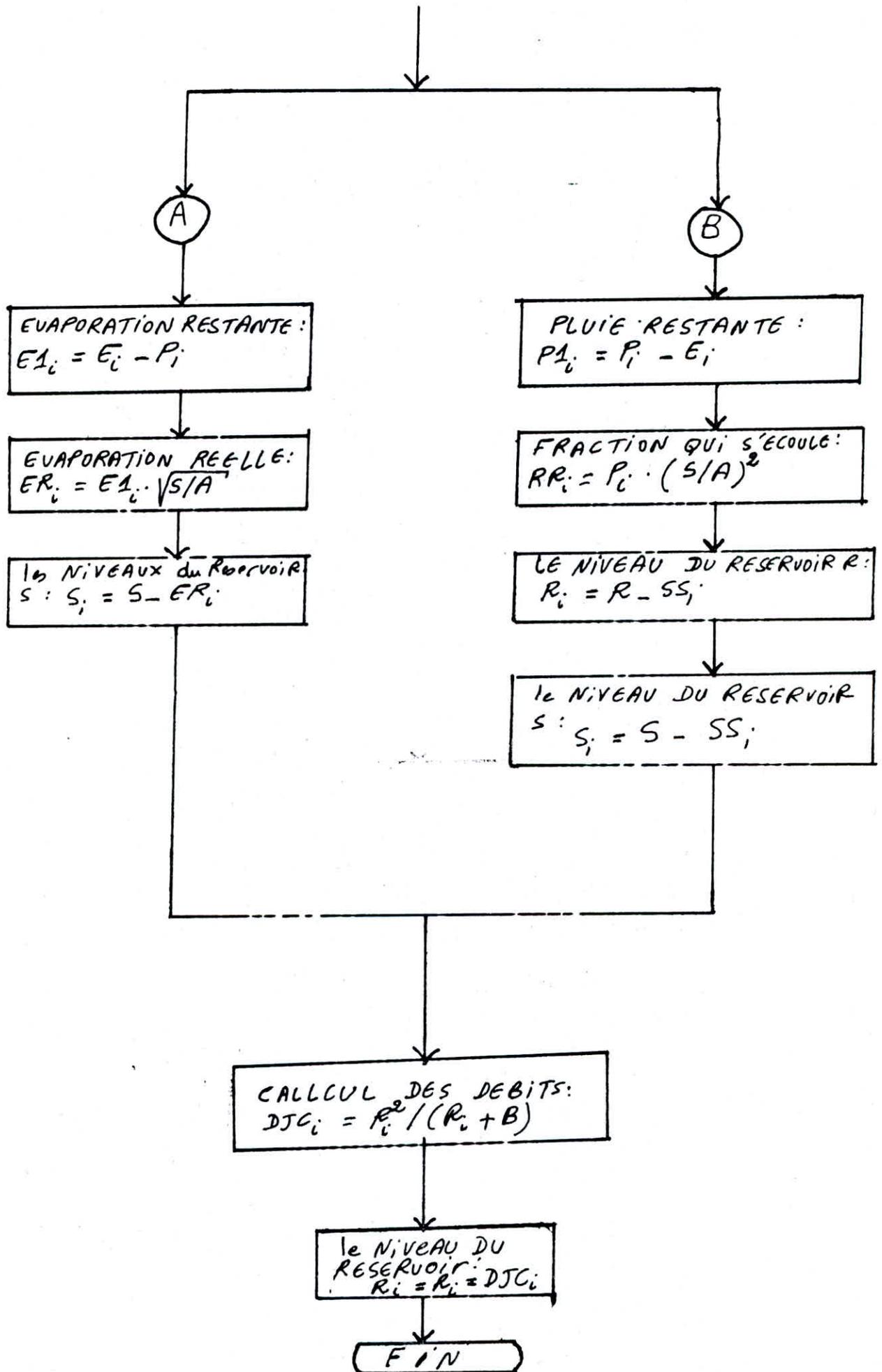




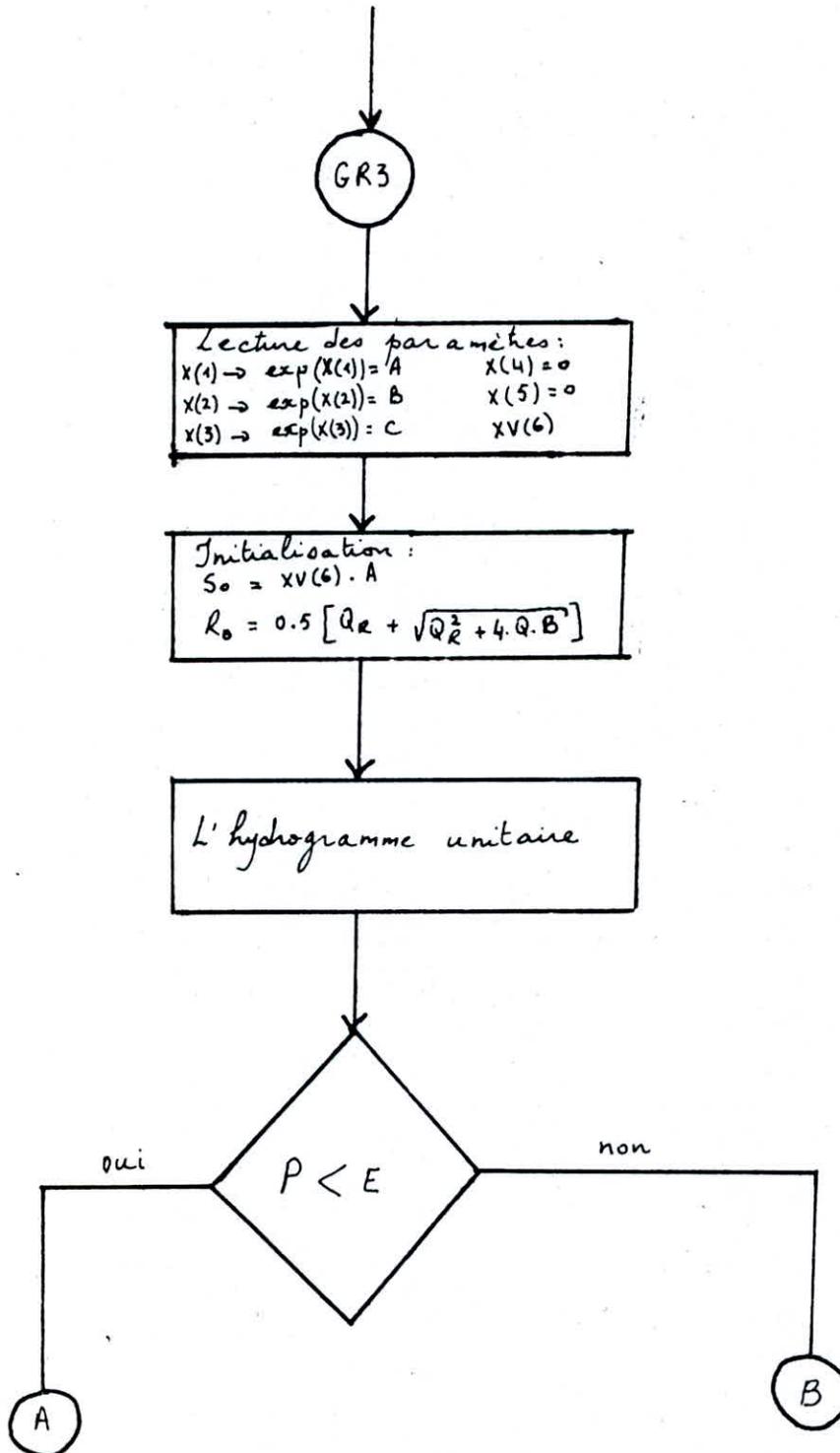


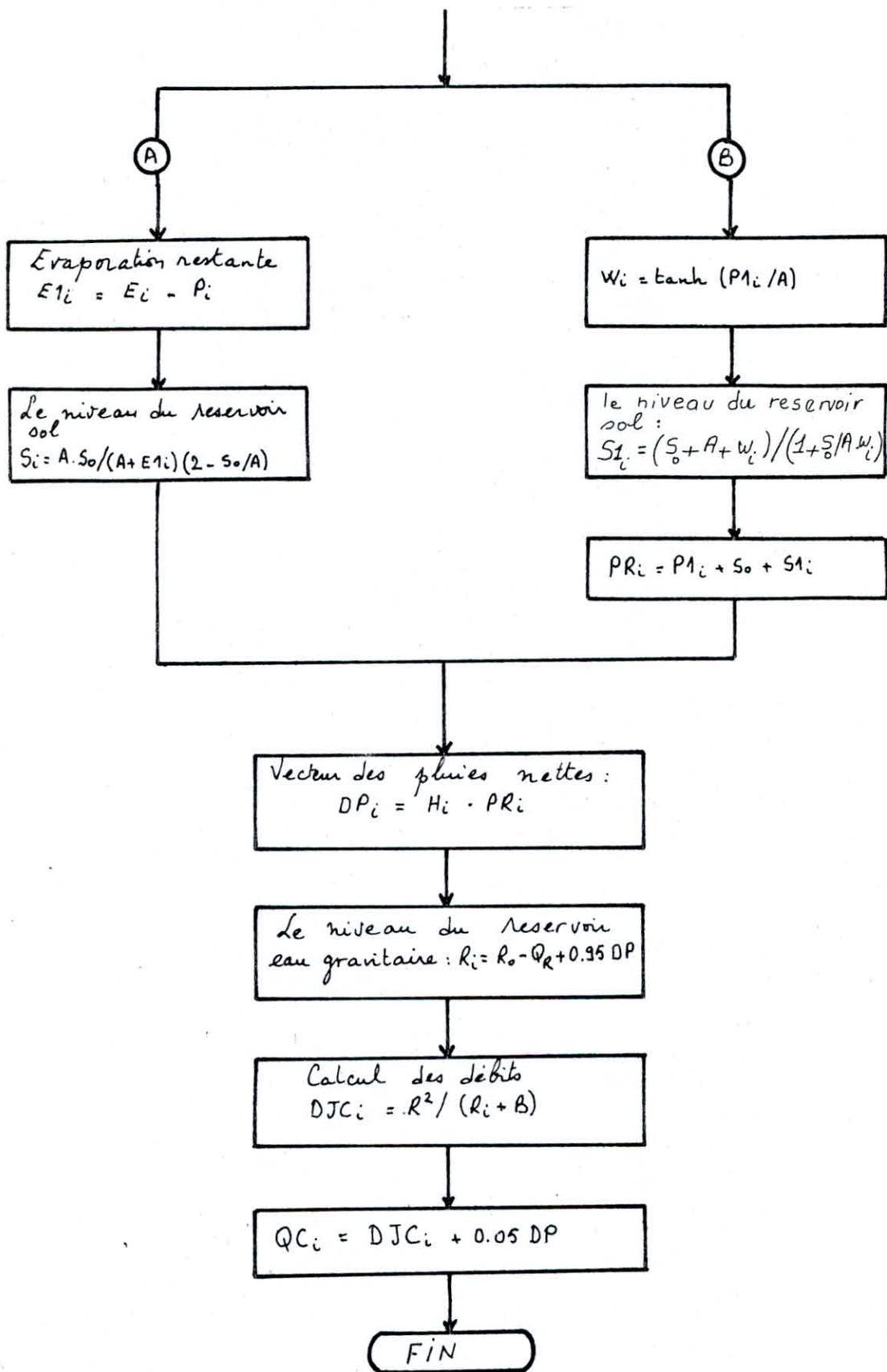
VI.4. ORGANIGRAMME DU MODELE GR2 :





VI.5. ORGANIGRAMME DU MODELE GR3:





**Chapitre VII**

**INTERPRETATION  
DES  
RESULTATS**

## VII - 1. Fonctions critères :

Les critères numériques qui mesurent la proximité de deux séries de nombres peuvent être très variés. Il est apparu que le critère simple des moindres carrés est encore le plus répandu :

$$\text{Critère à minimiser : } \sum_{j=1}^n (Q_j - Q_j^1)^2$$

(n étant la durée de la série chronologique).

Cependant, le critère adimensionnel commode est le nombre T exprimé en pourcentage et donné par :

$$T = 100 (1 - U/V)$$

En principe :  $0 \leq T \leq 100$

avec :

$$nU^2 = \sum_{j=1}^n (Q_j - Q_j^*)^2 : \text{moyenne quadratique des erreurs}$$

et

$$nV^2 = \sum P_j^2 : \text{moyenne quadratique des pluies.}$$

## VII - 2. Méthode de recherche de l'optimum (méthode pas à pas)

La méthode utilisée est le balayage systématique de tout le domaine de variation des paramètres du modèle. Ce balayage permet, non seulement la détermination du jeu de paramètres optimal, mais aussi de représenter la fonction critère ; en d'autres termes, d'obtenir une étude de sensibilité des paramètres. On a eu recours à une méthode de gradient, dite méthode ROSENBROCK.

On procède à une transformation préalable de l'espace des paramètres par la fonction logarithmique. On débutera la recherche à

partir d'un point initial et l'on se déplacera sur chaque axe d'une même quantité  $\delta x$  pouvant évoluer au fur et à mesure de l'avancement.

Chaque paramètre sera modifié de plus ou moins  $\delta x$ . Lorsque les  $n$  paramètres auront été modifiés, on acceptera les paramètres dont le critère est faible.

### VII - 3. Résultats

Les résultats présentés dans le tableau ci-dessous :

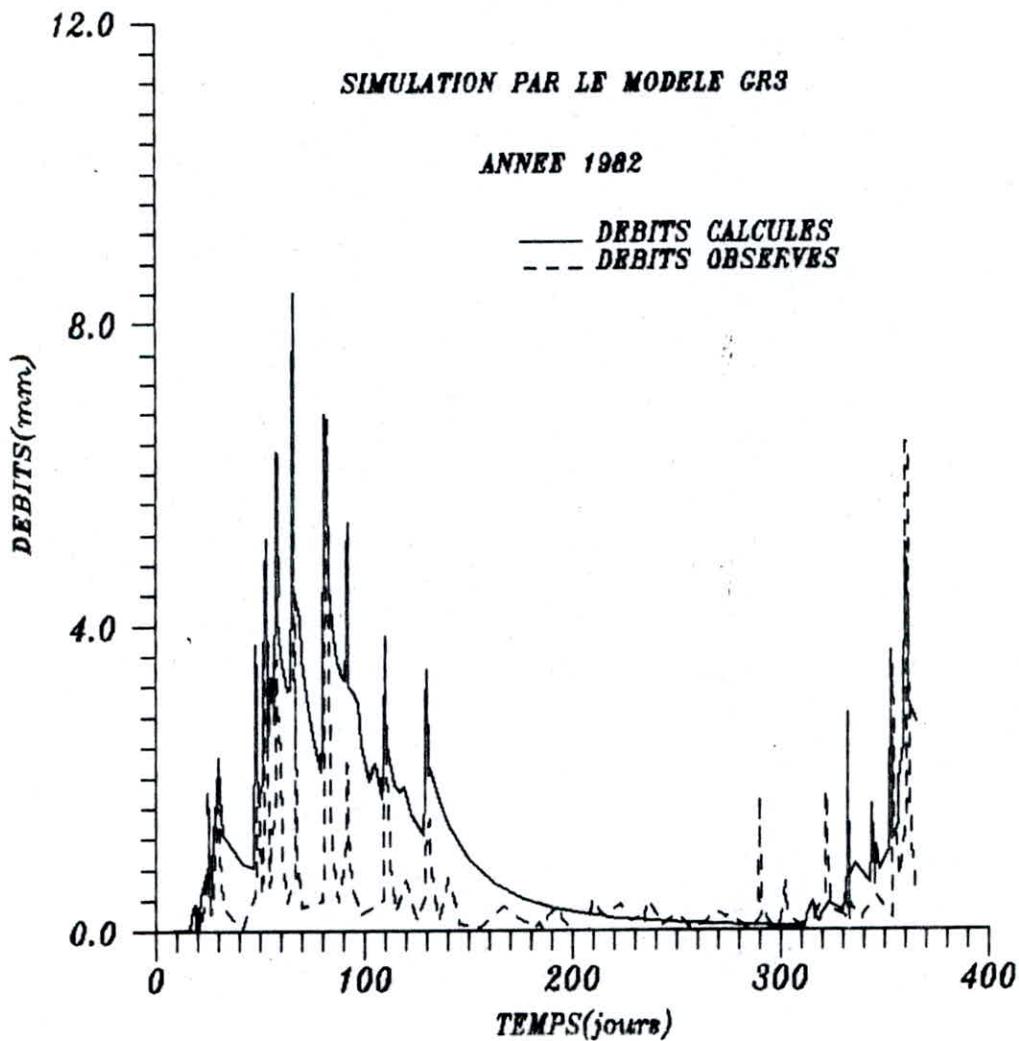
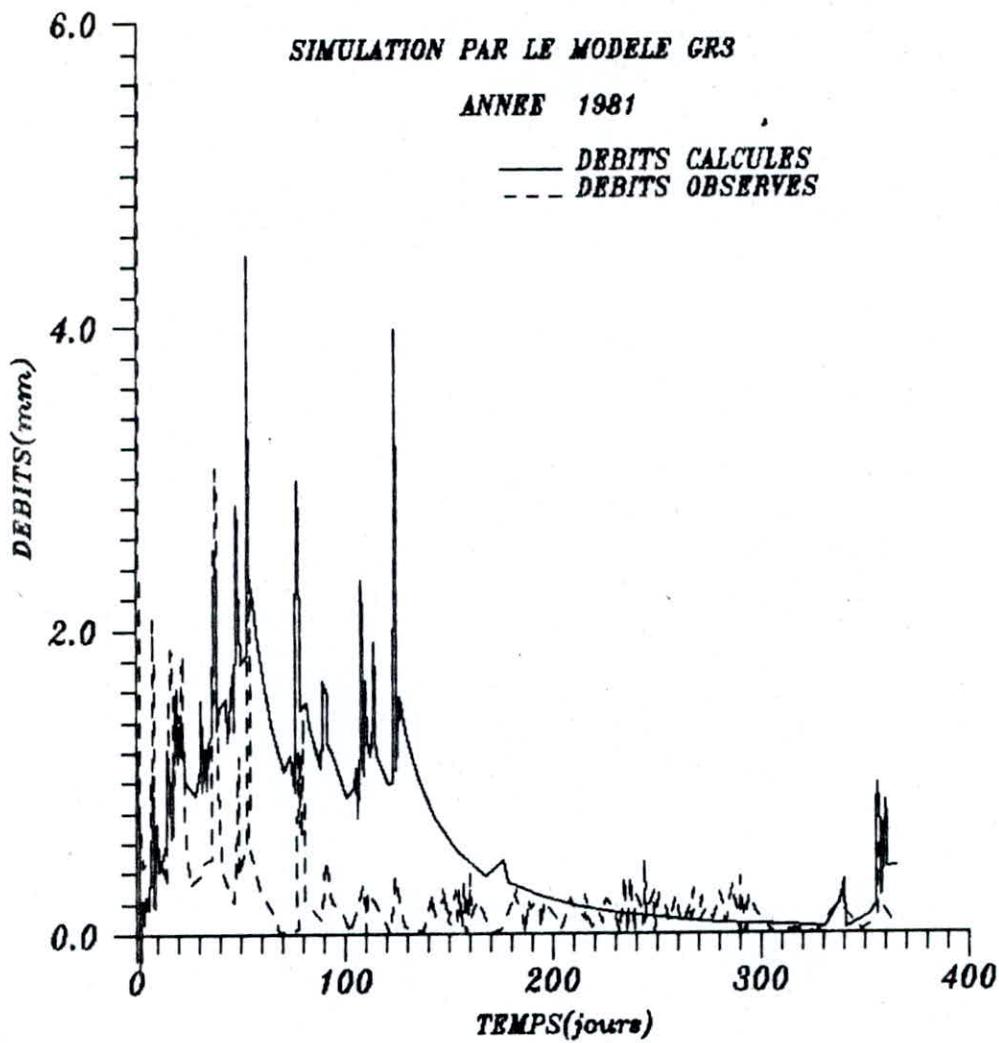
Paramètres	GR1	GR2	GR3
Paramètres initiaux	A = 150 mm S = 55 mm R = 55 mm	A = 150 mm B = 55 mm S = 55 mm R = 20 mm	A = 150 mm B = 55 mm  C = 2 jours
Paramètres optimisés	A = 125 mm S = 55 mm R = 0,62 mm	A = 31 mm B = 145 mm S = 6 mm R = 8 mm	A = 204 mm B = 2 540 mm  C = 0,9 jour
Critère T (%)	85	77	70

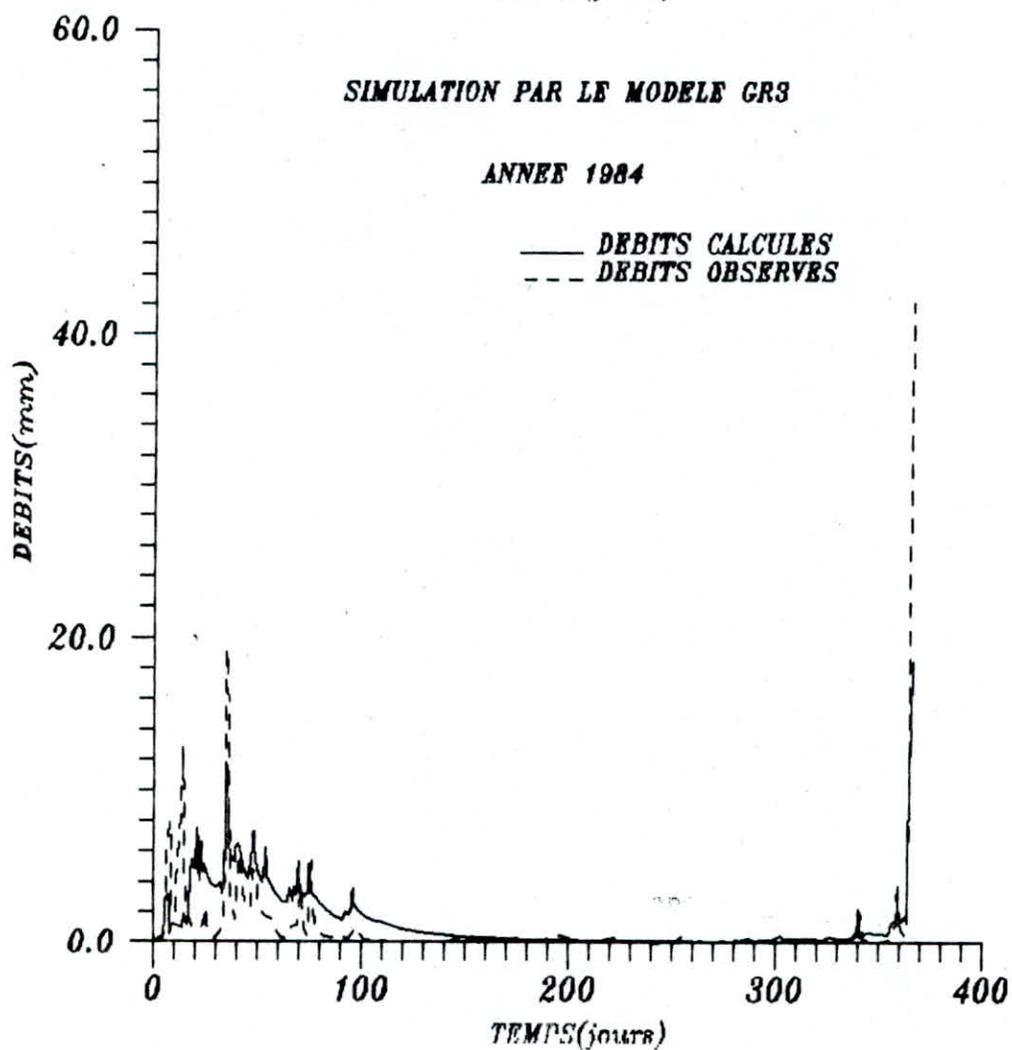
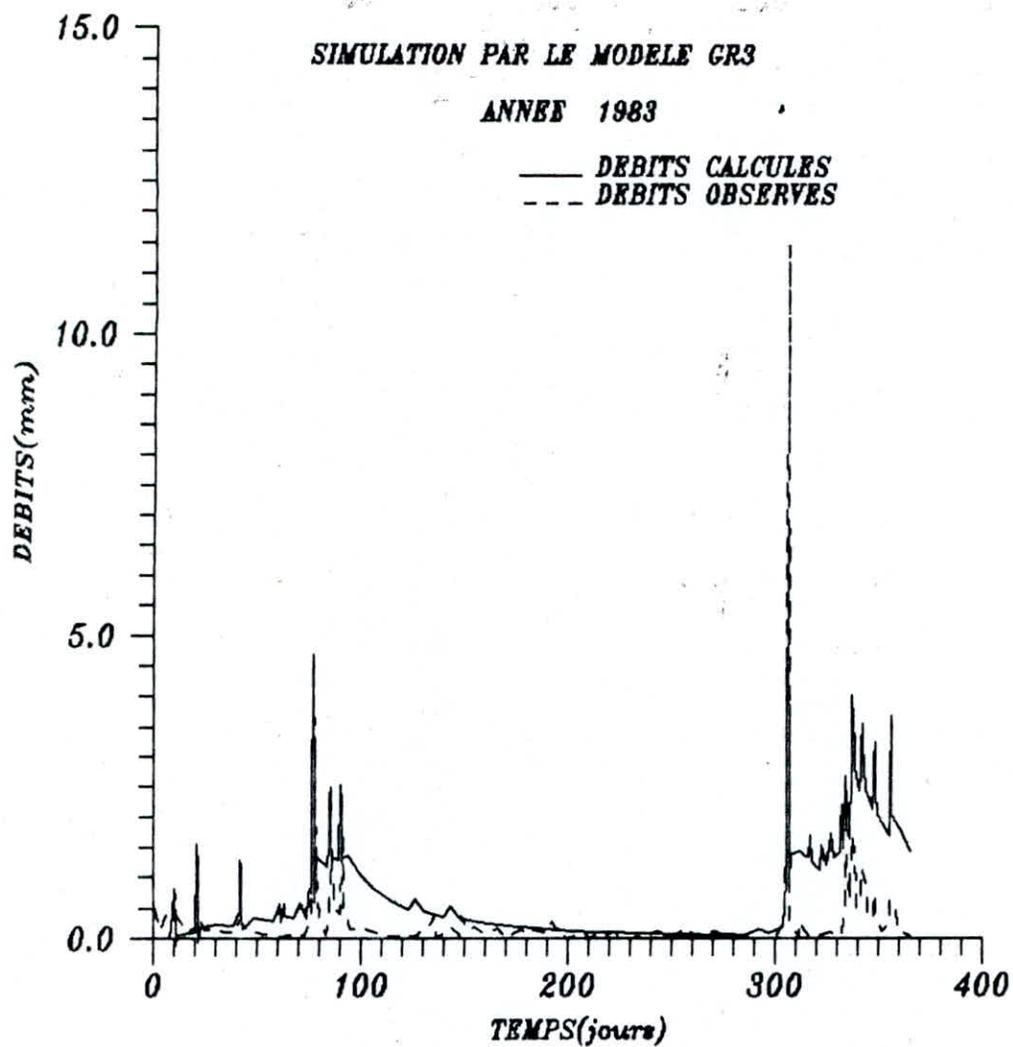
sont obtenus pour une période de calage de trois ans (1978 - 1980) et une période de contrôle de neuf ans (1981 - 1989), la première année ne servant qu'à la mise en train des modèles.

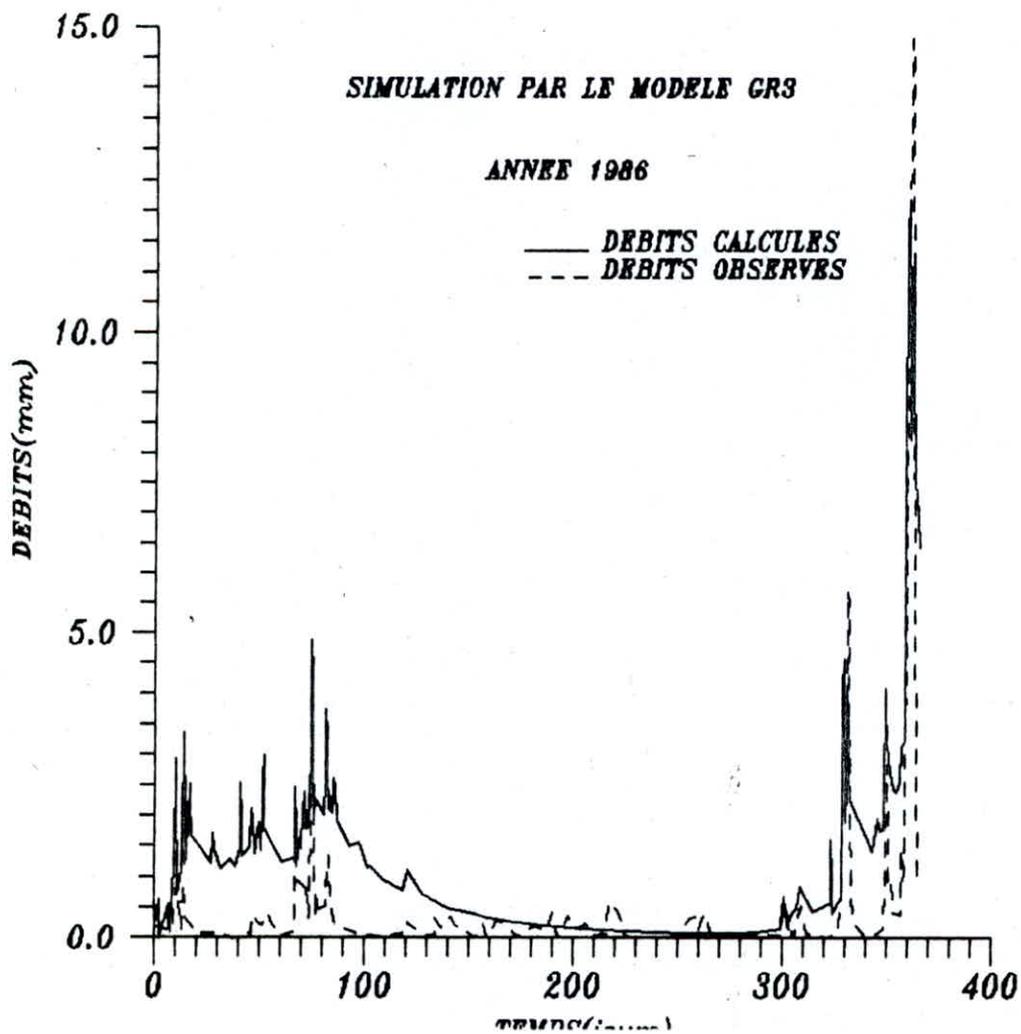
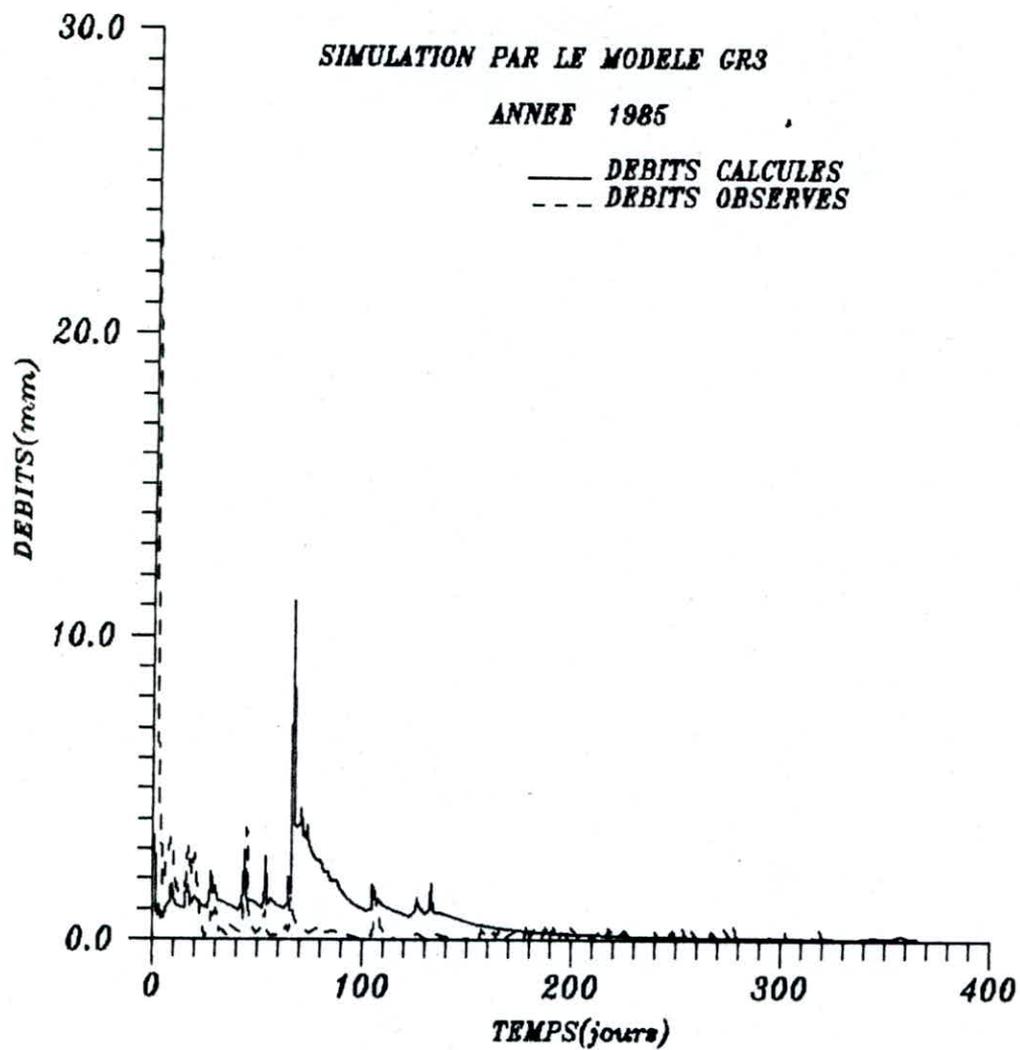
Pour l'ensemble des trois modèles, les débits obtenus sont satisfaisants. De ce fait, les pointes de crues sont apparentes.

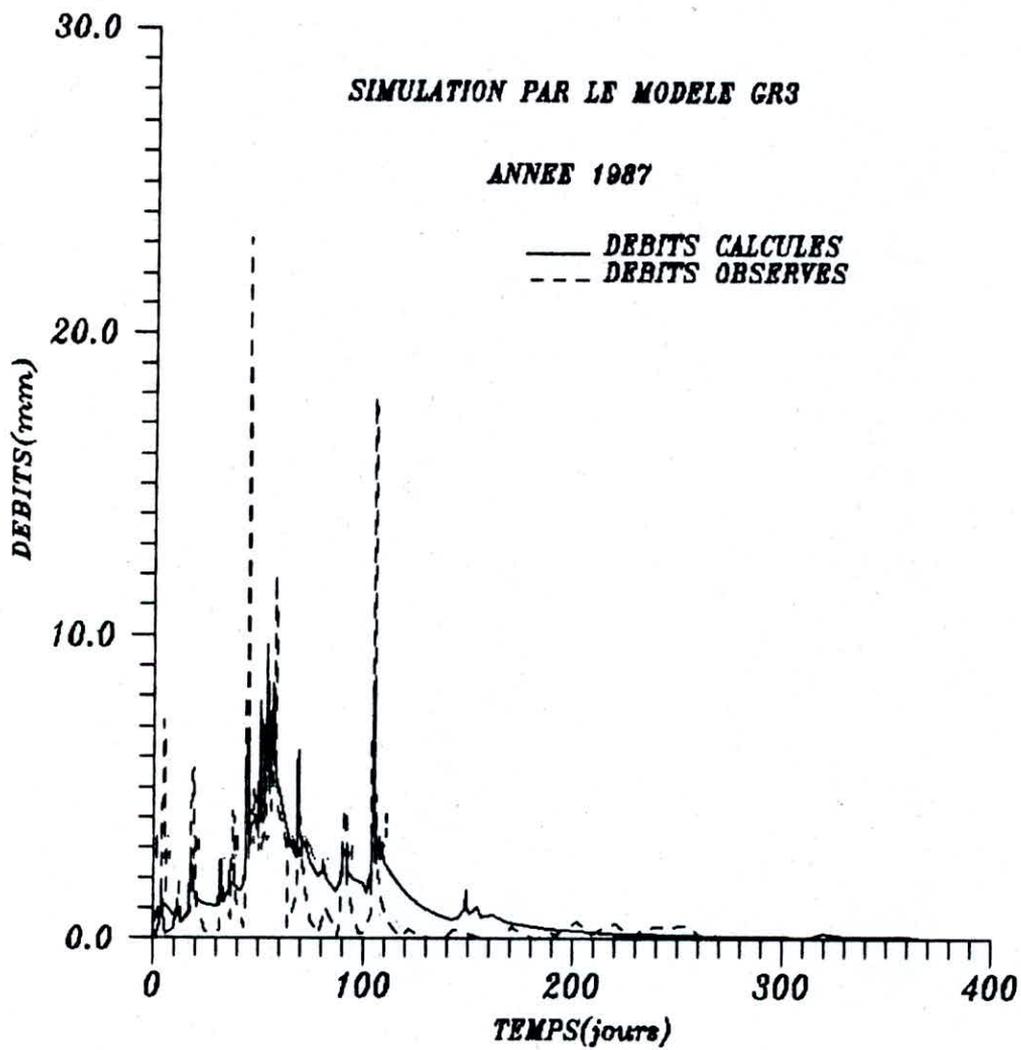
Pour illustrer ceci, nous citerons à titre d'exemple que le débit maximum observé pendant l'année 1986 est de 14,75 mm, alors que ceux obtenus par les modèles GR1, GR2 et GR3 sont respectivement de : 11 mm ; 18,10 mm et 12,5 mm.

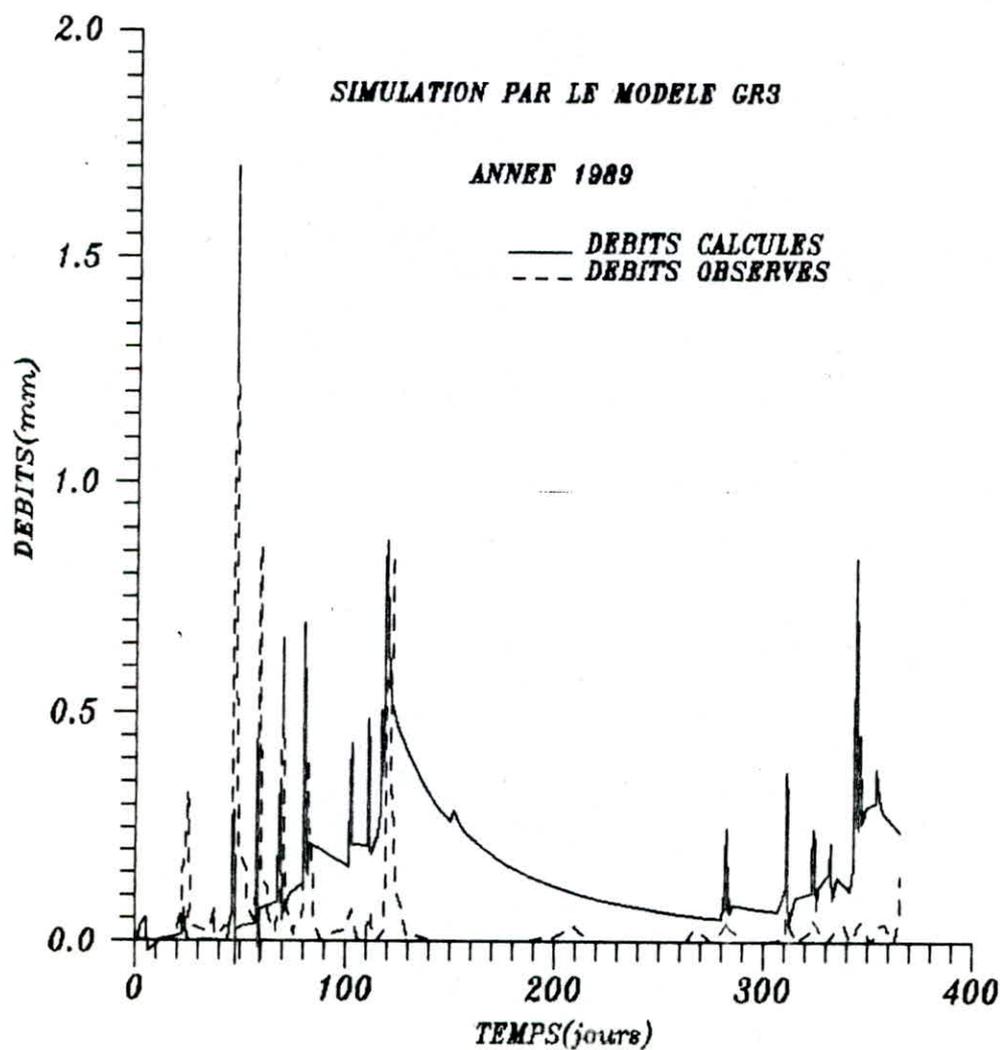
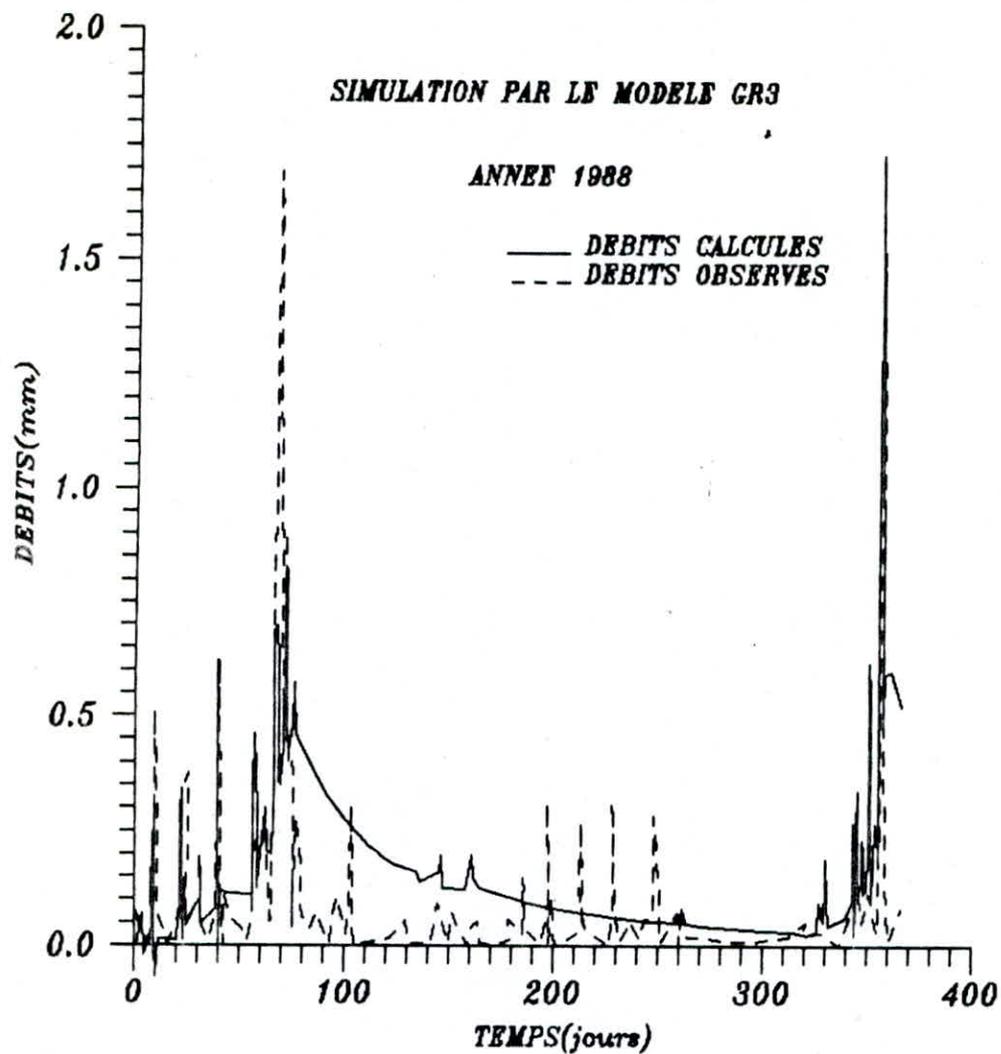
Il est intéressant de noter que les modèles GR1 et GR3 représentent mieux les années sèches. Ainsi, pour l'année 1989, le débit maximum observé est de 1,52 mm, alors que ceux calculés par les modèles GR1 et GR2 sont de 0,7 mm et 1,57 mm respectivement. Par contre, celui obtenu par le modèle GR3 est de 3,2 mm.





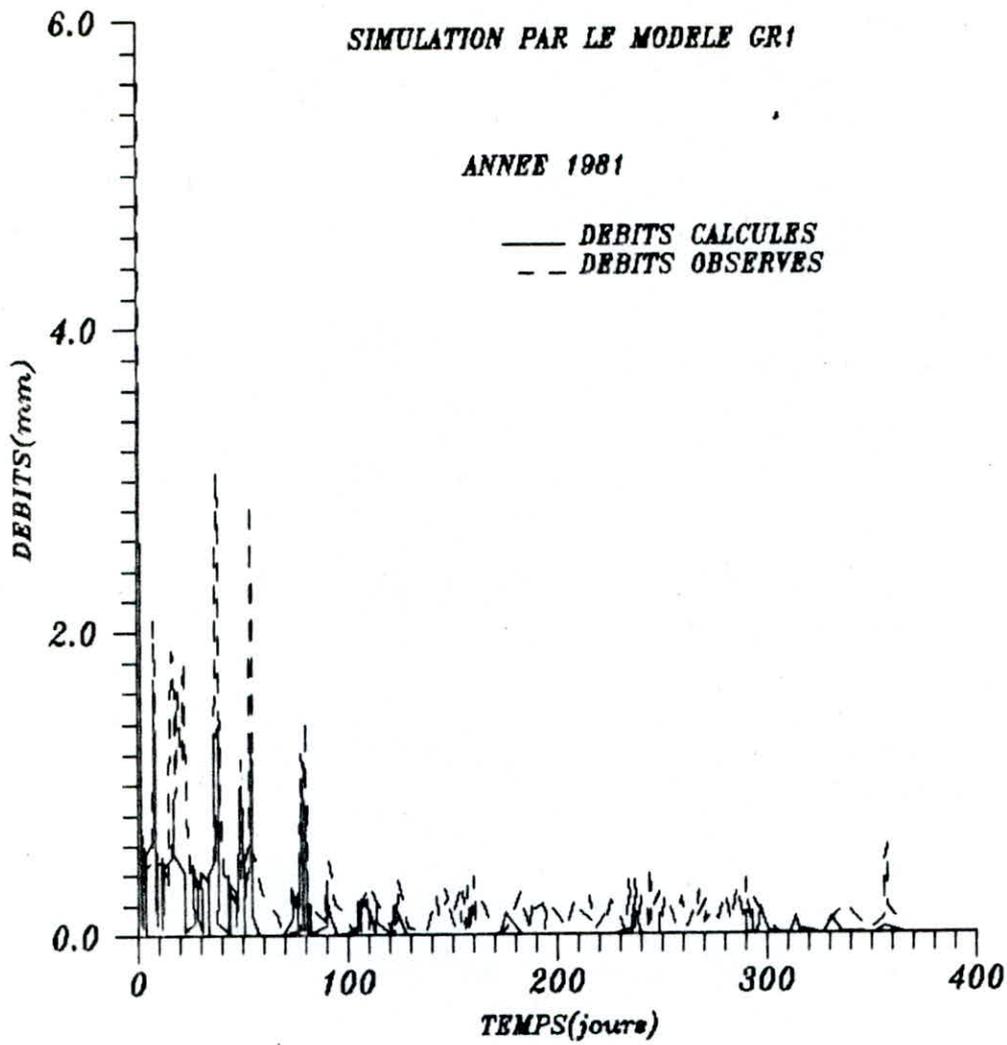






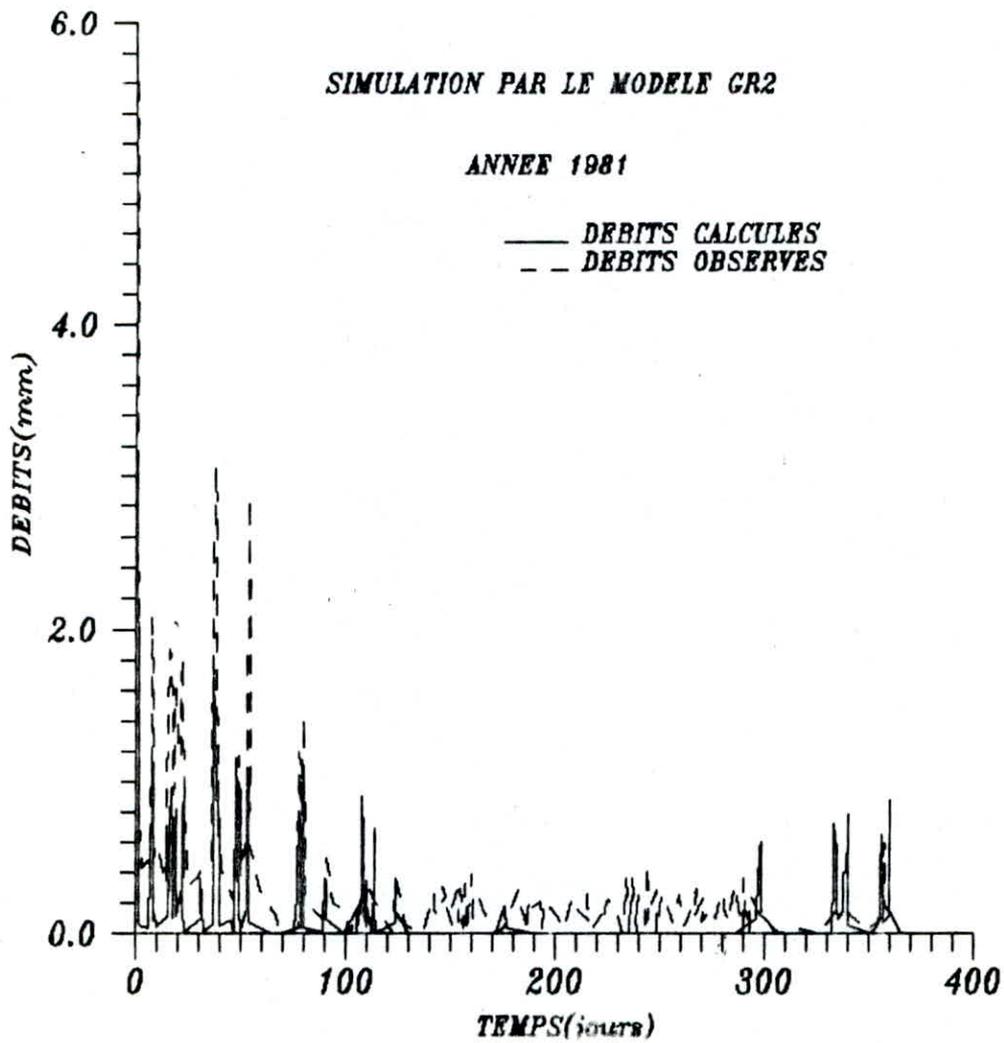
SIMULATION PAR LE MODELE GR1

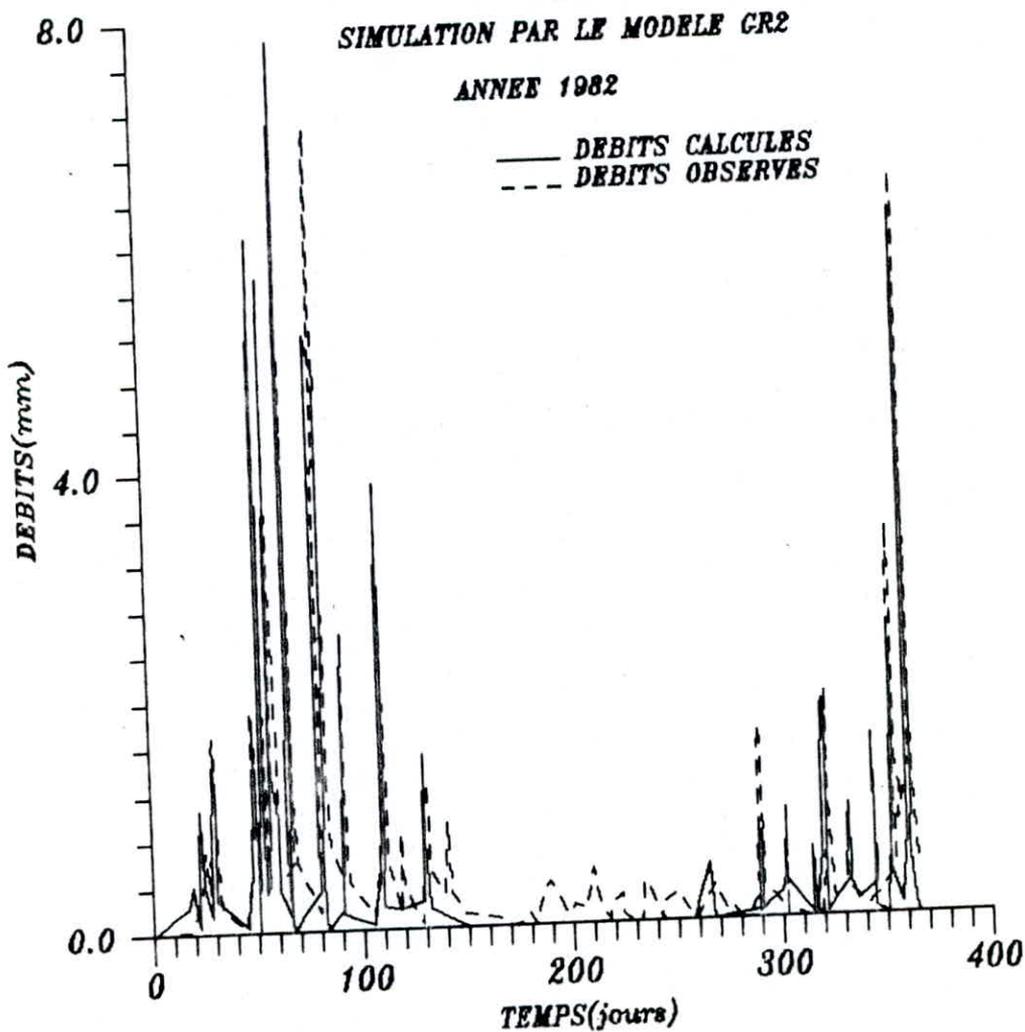
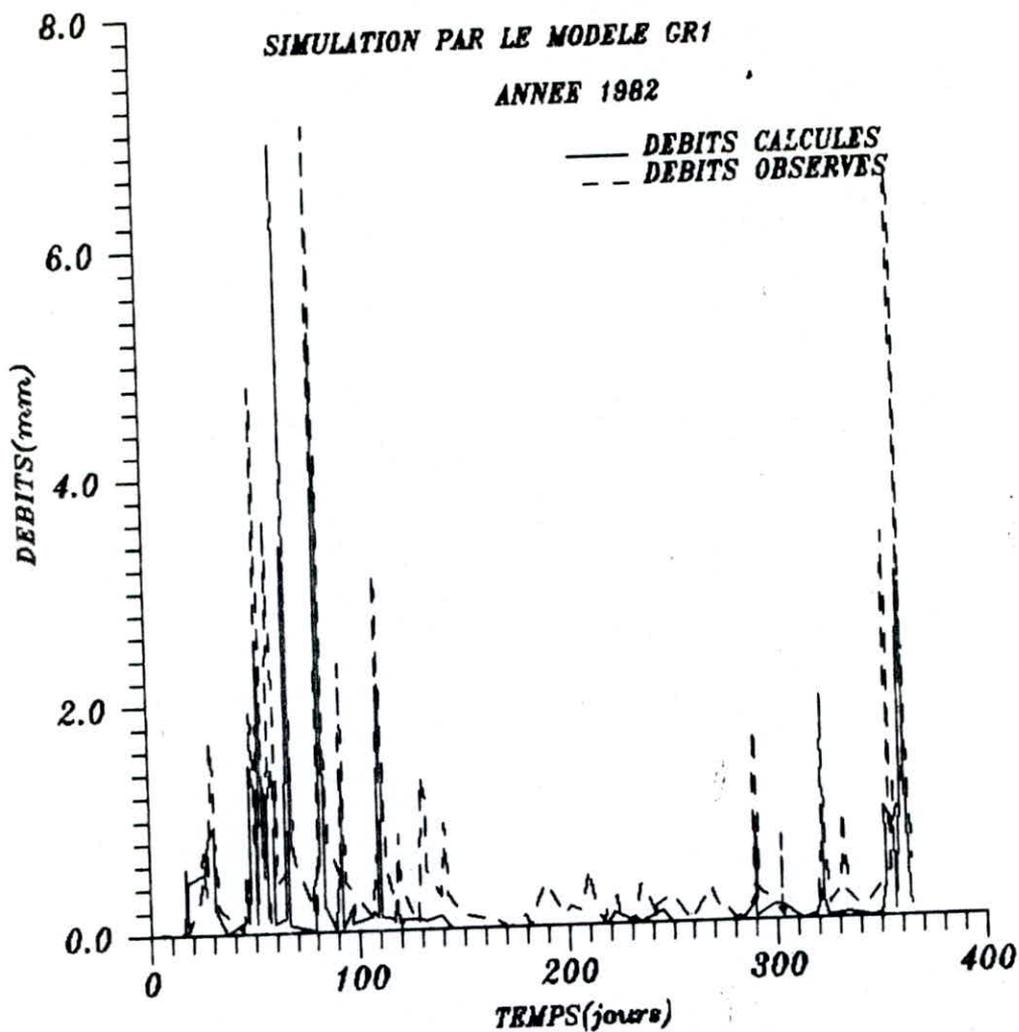
ANNEE 1981

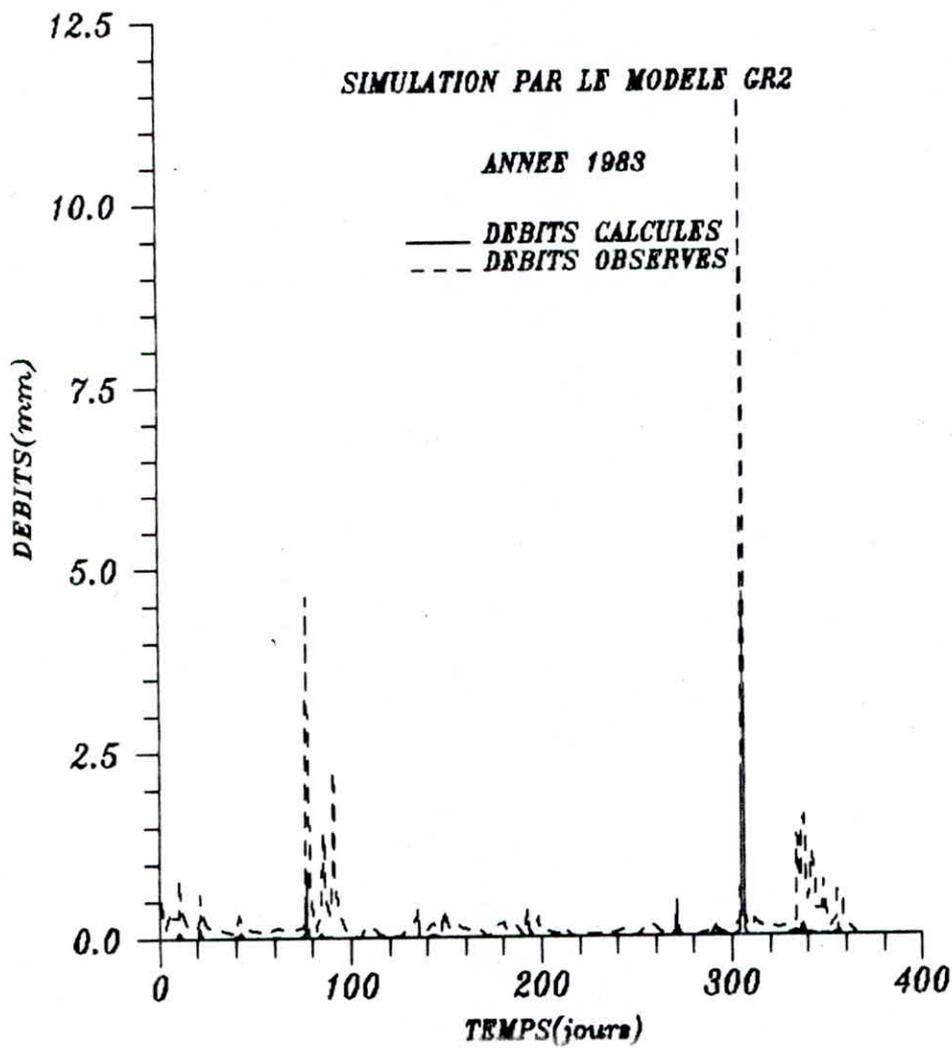
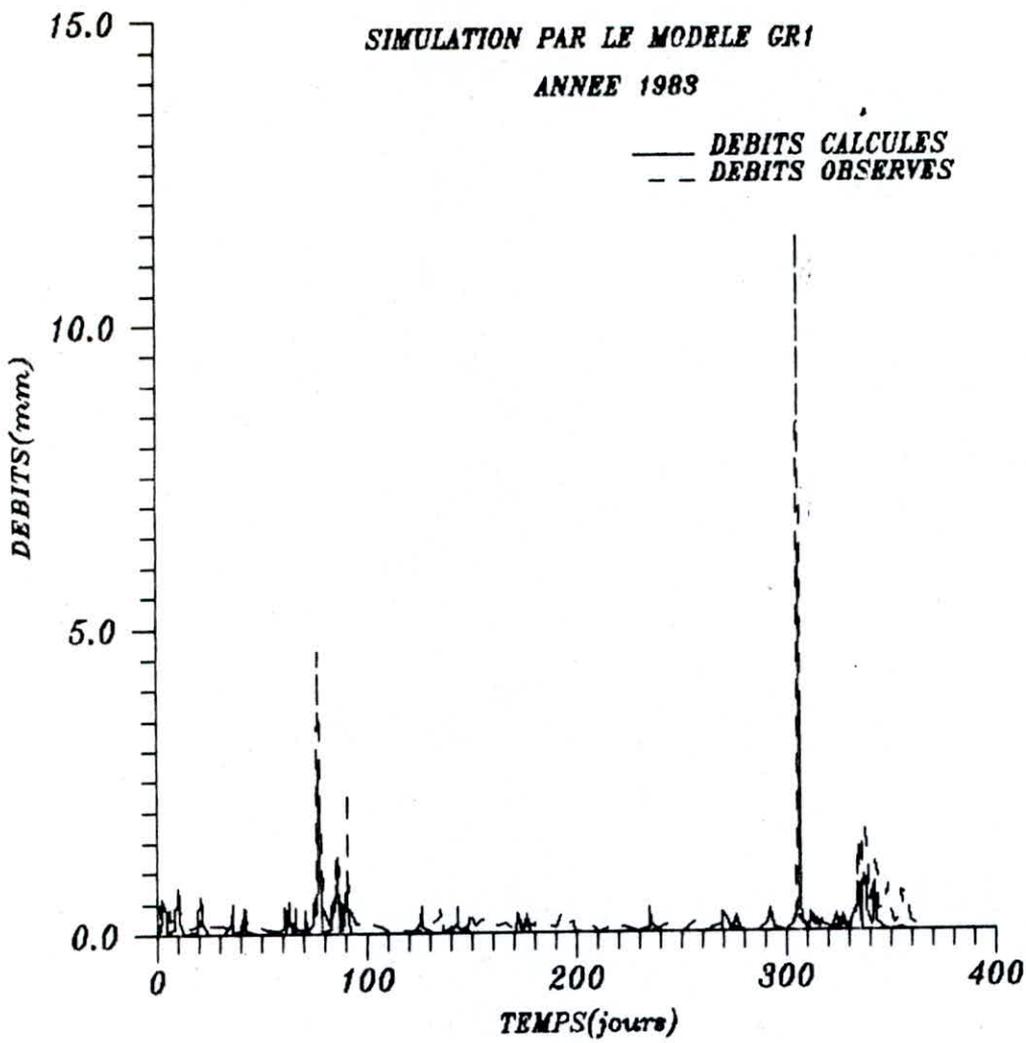


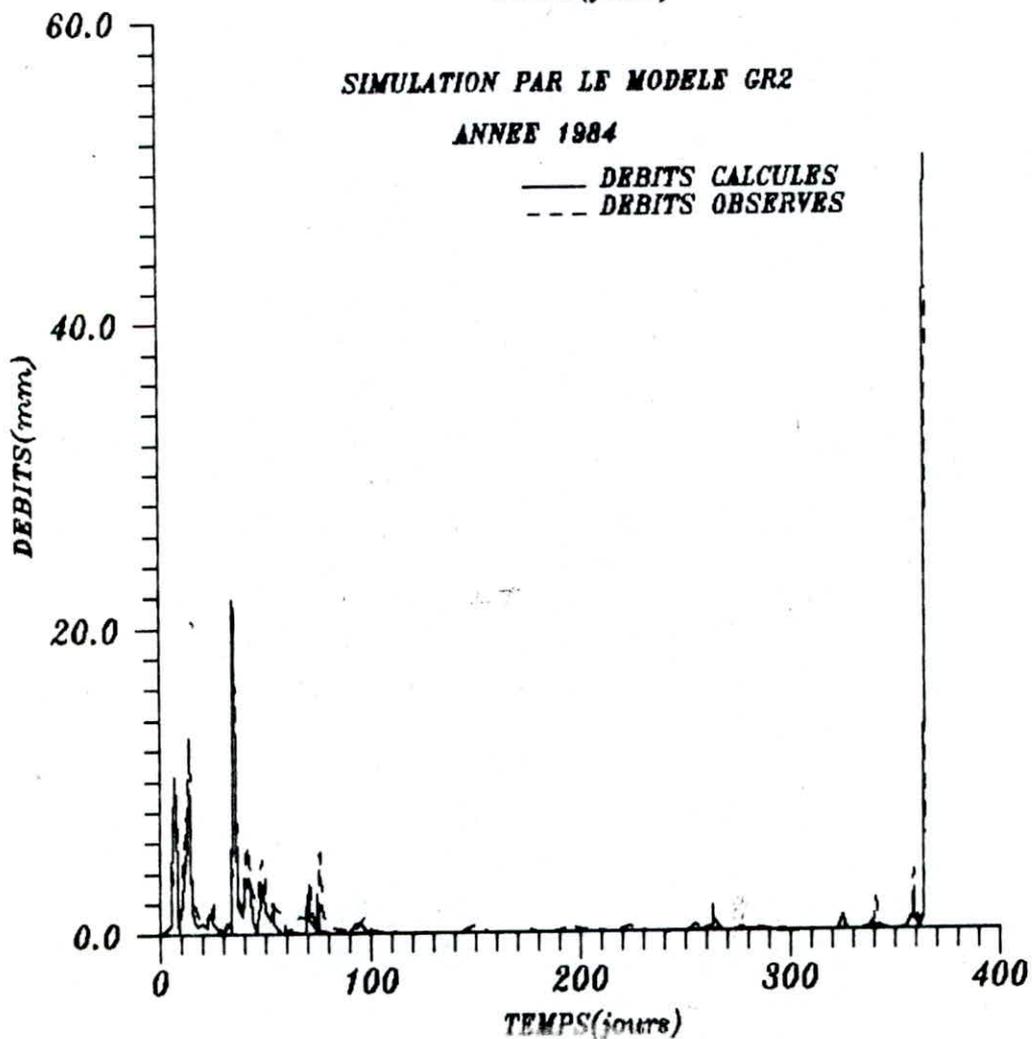
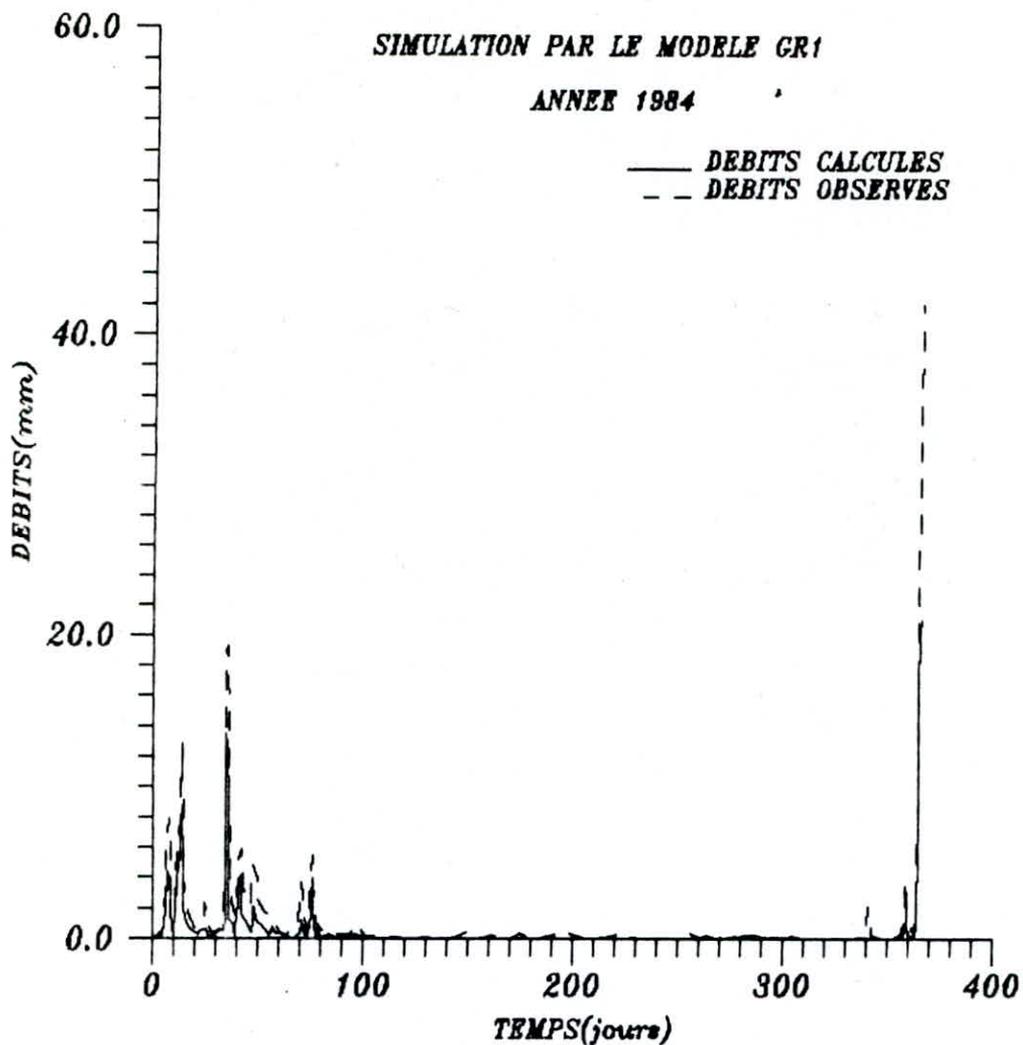
SIMULATION PAR LE MODELE GR2

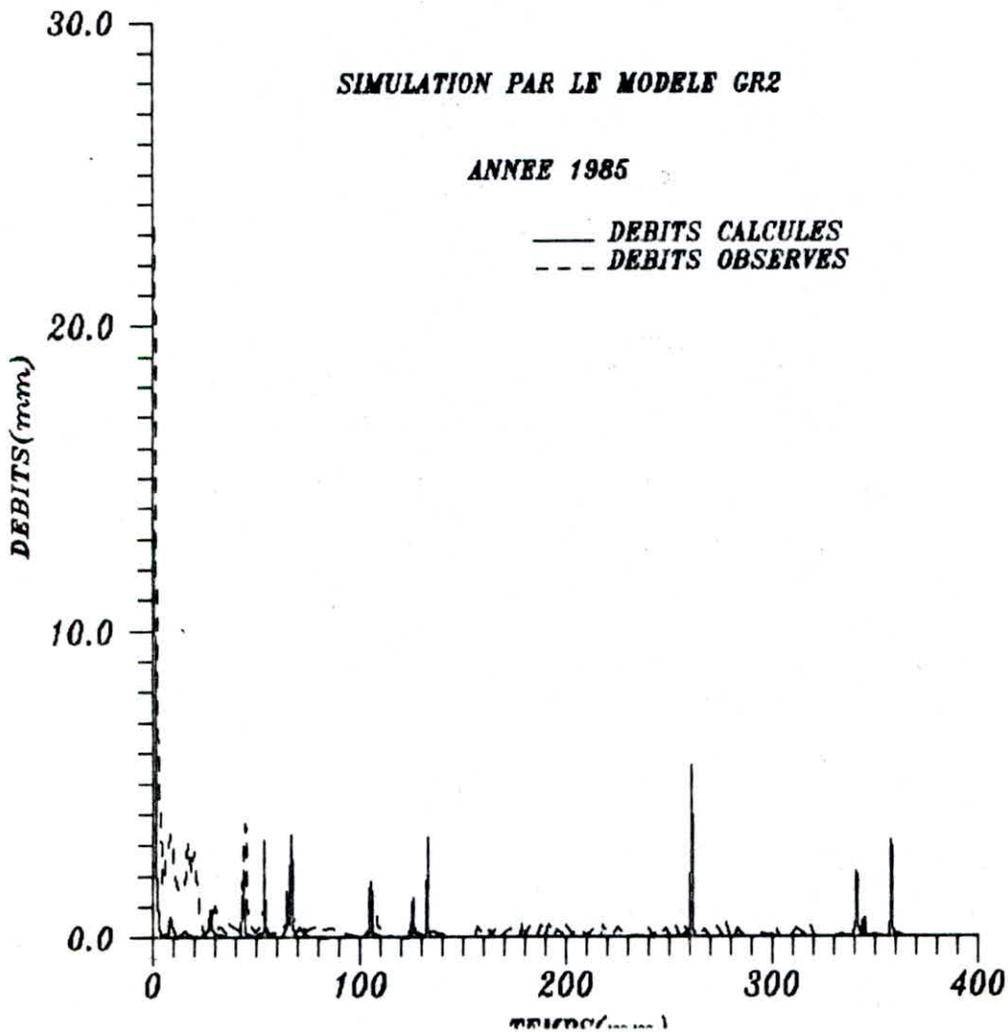
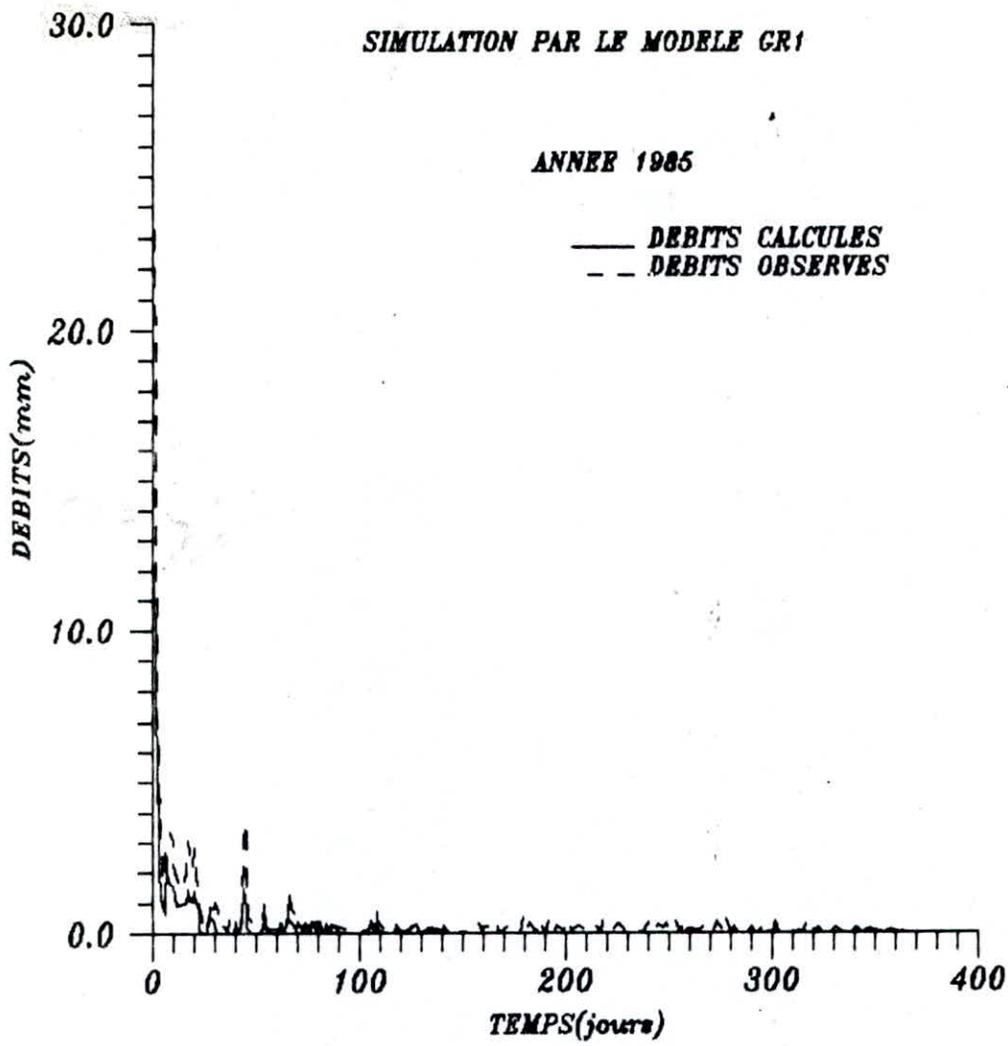
ANNEE 1981

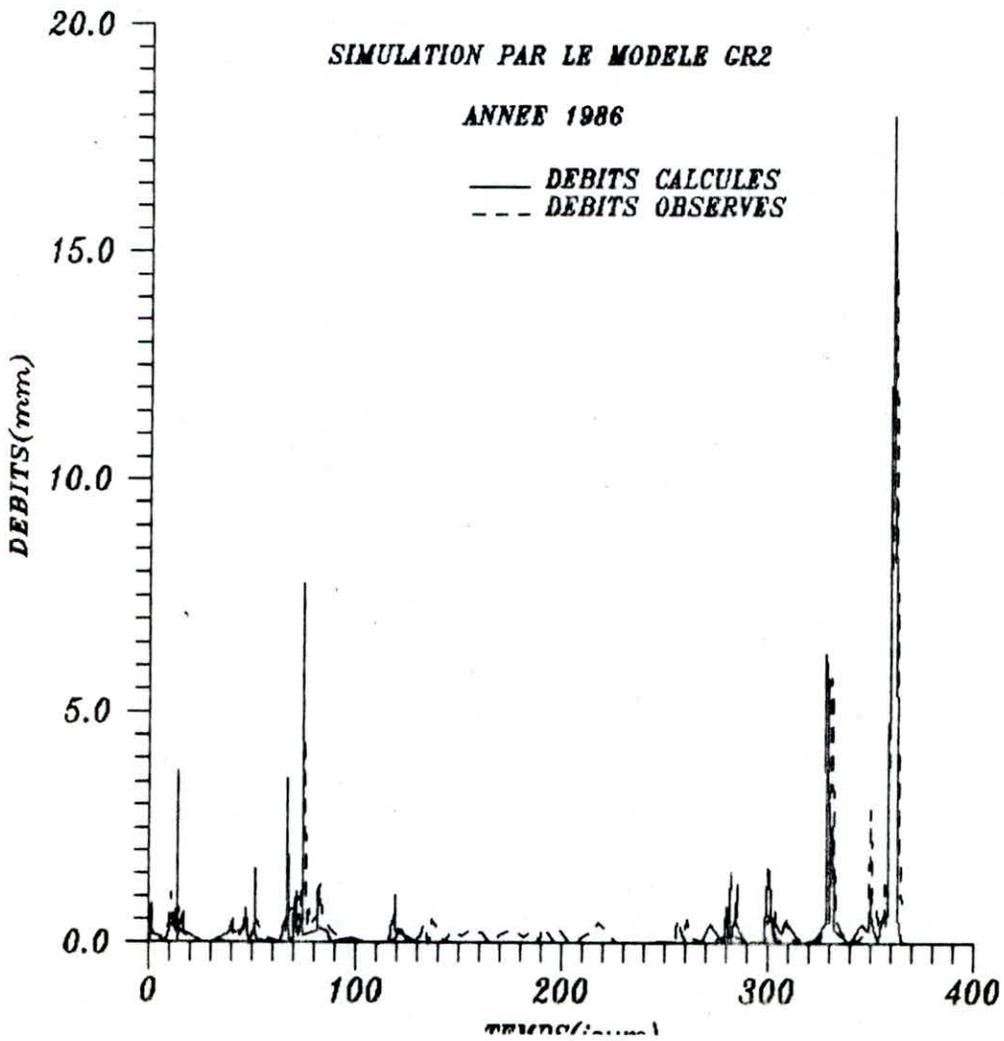
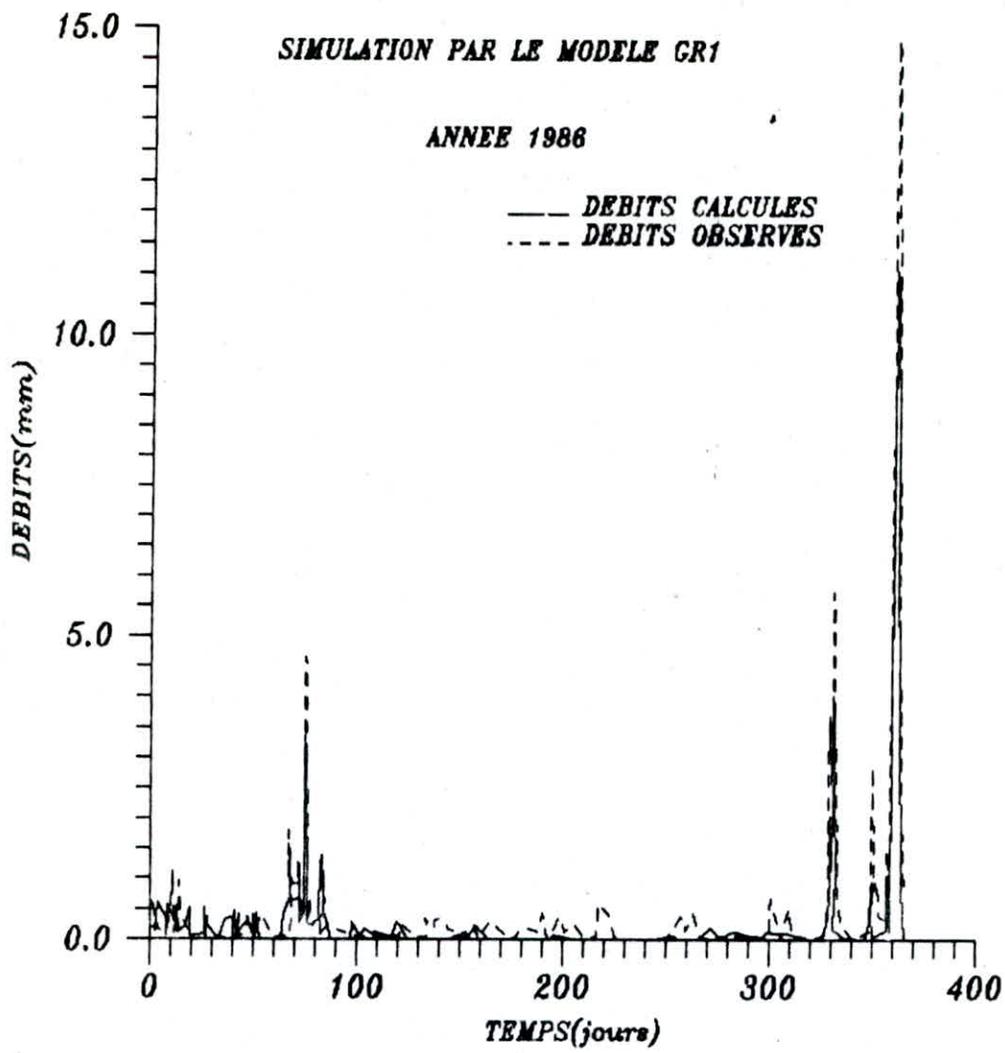


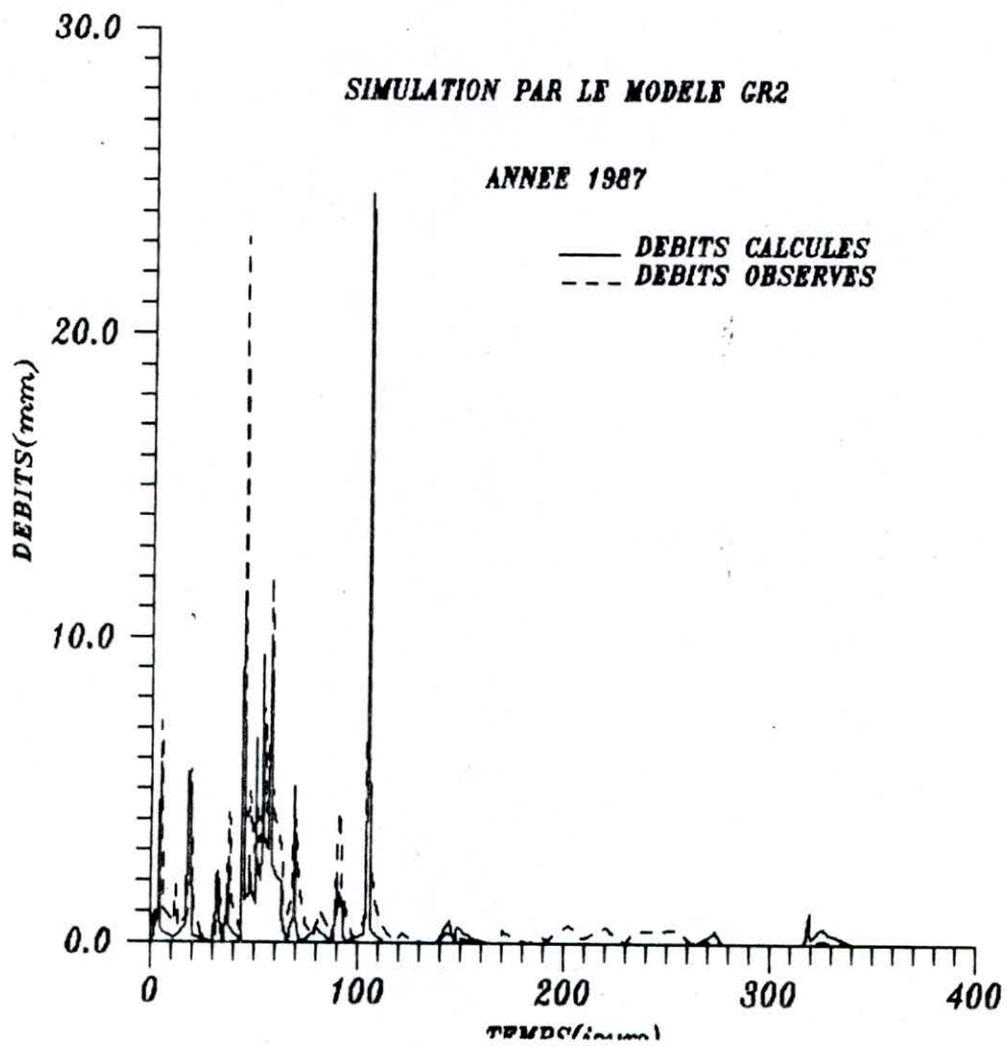
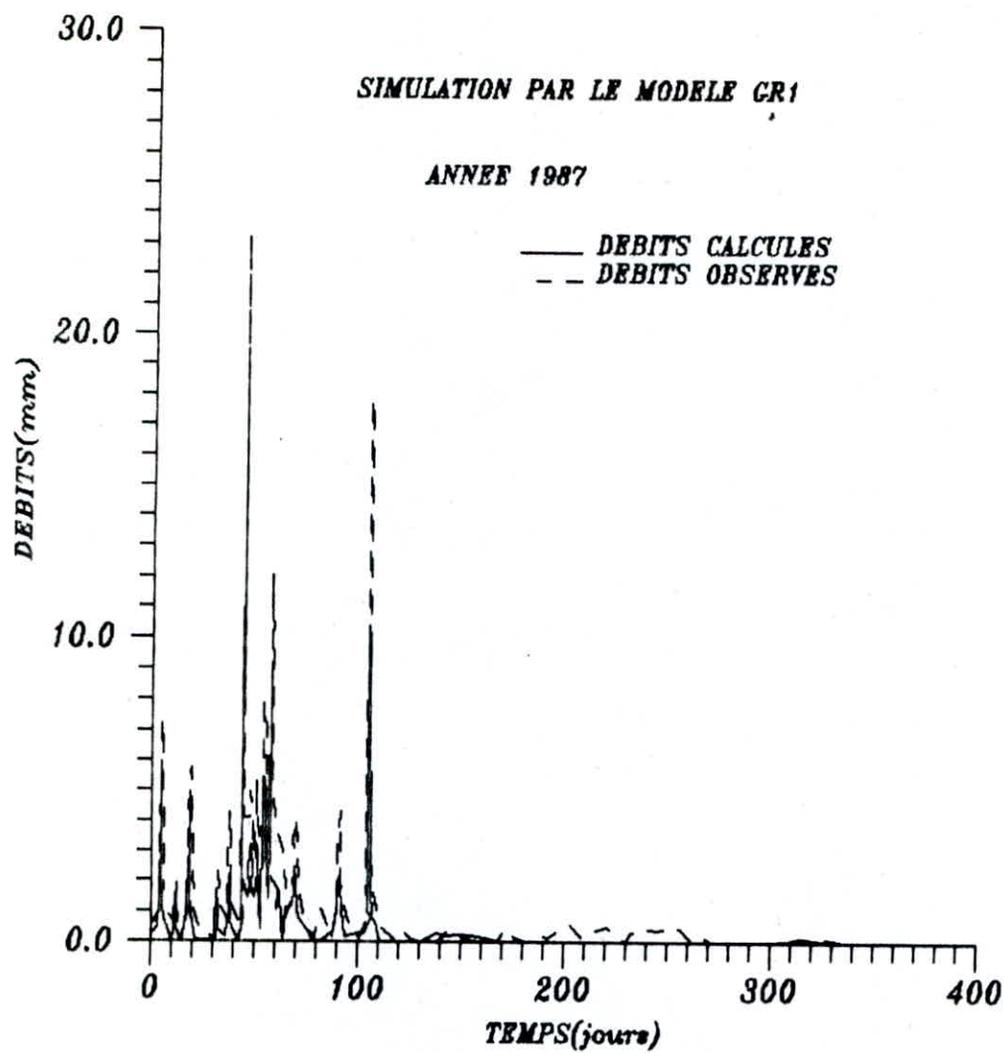


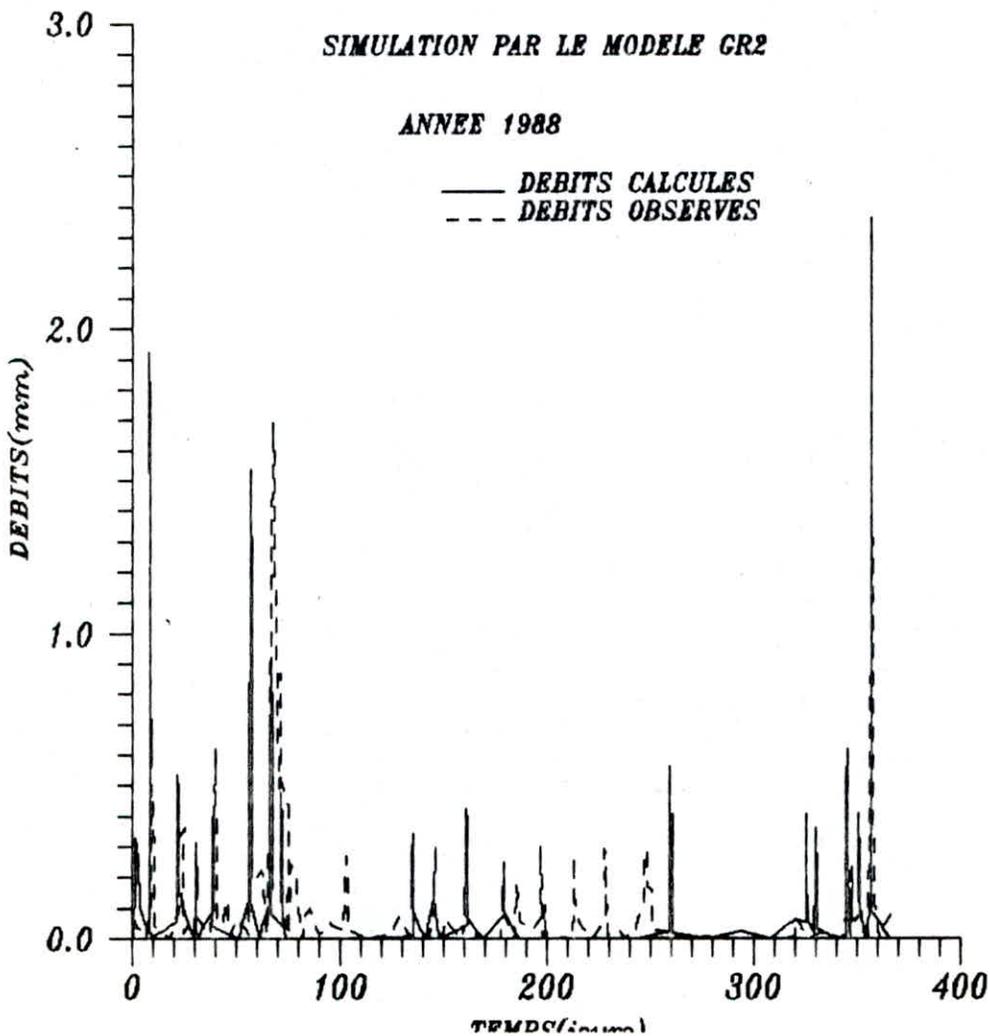
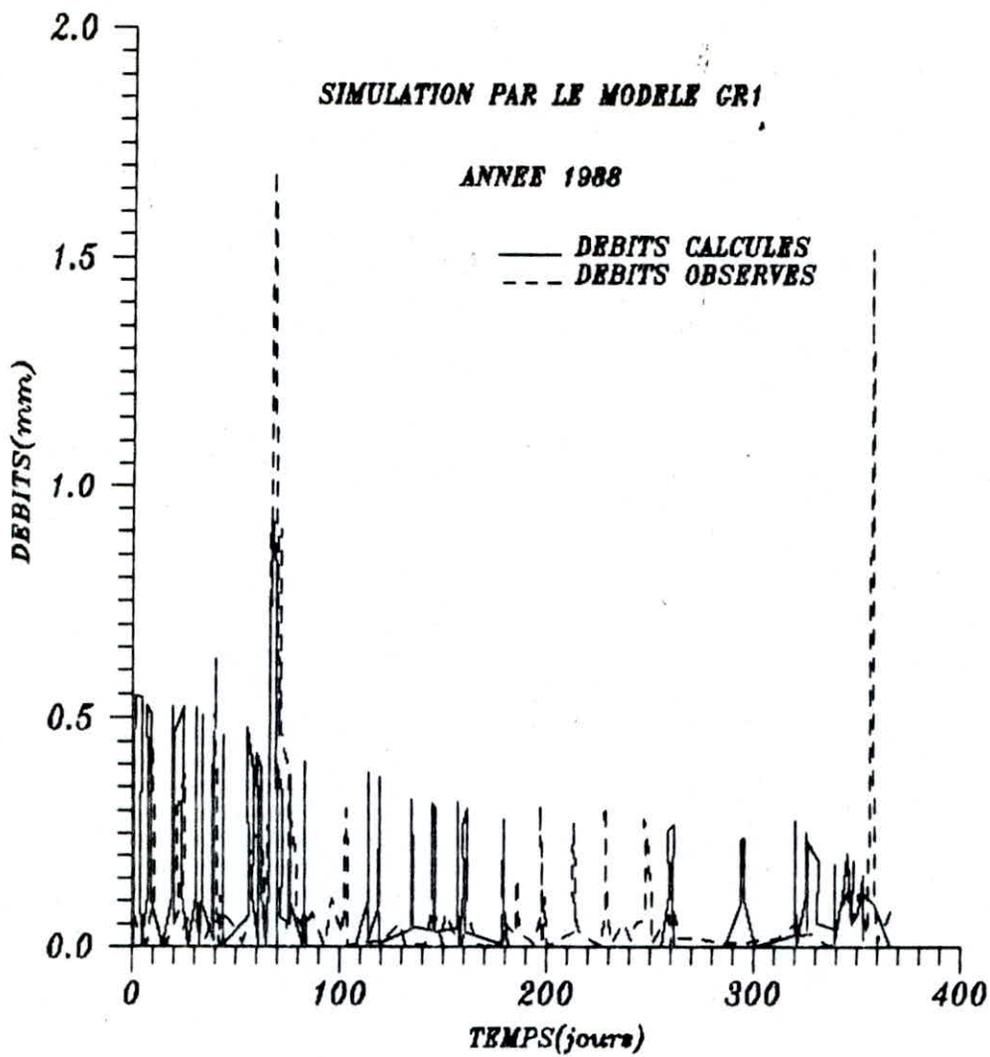


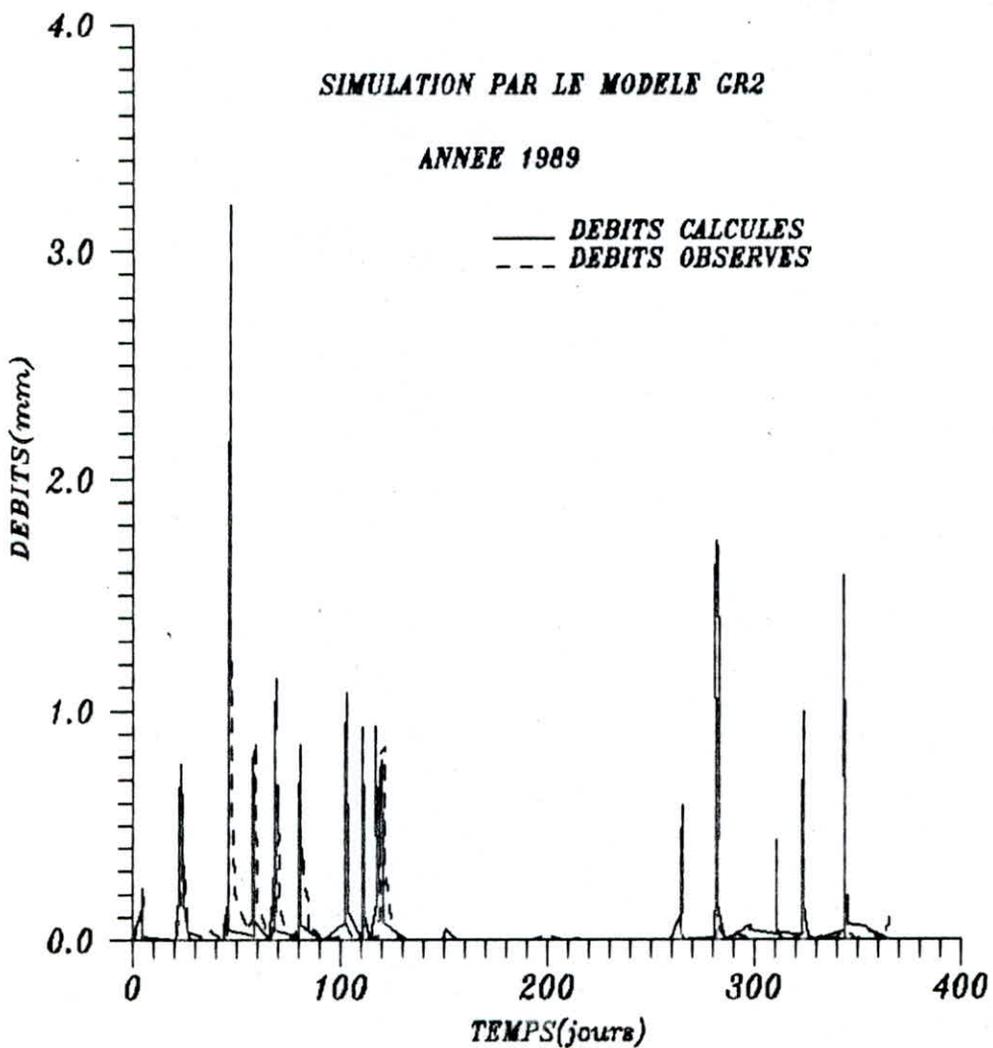
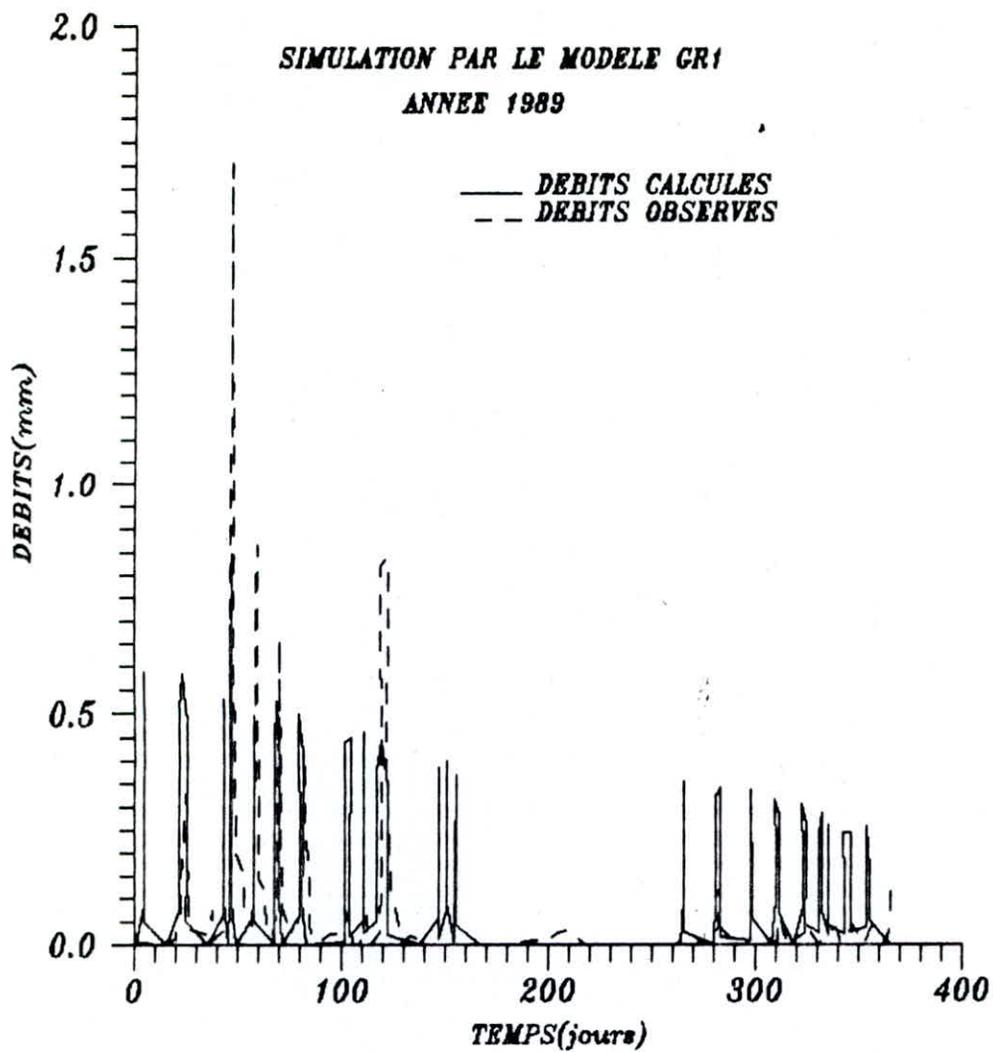












**Chapitre VIII**

**CONCLUSION GENERALE**

A travers ce travail, nous espérons avoir contribué à crédibiliser une méthode dont l'intérêt ne fait pas encore l'unanimité sur les bassins versants algériens. Si les applications faites ont donné des résultats intéressants, quelques-uns de ceux-ci entretiennent le doute.

Par conséquent, on propose de pousser la recherche :

- en expliquant les paramètres en fonction des caractéristiques identifiables du bassin versant ;
- et en étudiant la sensibilité des paramètres.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 - BERNIER, J. : "Ajustement des modèles probabilistes en Hydrologie de surface", La Houille Blanche n° 2, pp. 141 - 145 (1971).
- 2 - BONNET, M. : "Méthodologie des modèles de simulation en Hydrologie", Thèse Doctorat d'Etat ès Sciences, Institut National Polytechnique de Lorraine, NANCY (1978).
- 3 - C.E.M.A.G.R.E.F. : Hydrologie appliquée aux petits bassins ruraux.
- 4 - EDIJATNO et MICHEL, C. : "Un modèle pluie - débit journalier à trois paramètres", La Houille Blanche n° 2, pp. 113 - 121 (1989).
- 5 - EDIJATNO et MICHEL, C. : Recherche sur la mise au point d'un modèle journalier pluie - débit pour les petits bassins non jaugés, C.E.M.A.G.R.E.F. (1989).
- 6 - MICHEL, C. : "Que peut-on faire en Hydrologie avec un modèle conceptuel à un seul paramètre ?", La Houille Blanche n° 1, pp. 39 - 44 (1983).
- 7 - ROCHE, M. : "Les divers types de modèles déterministes", La Houille Blanche n° 2, pp. 111 - 341 (1971).
- 8 - ROCHE, P.A. : Guide de prévision des crues, Tome I.
- 9 - RODIER, J. : "Relation pluie - débit", La Houille Blanche n° 4/5, pp. 233 - 234 (1980).

- 10 - SERVAT, E. et DEZETTER, A. : Modélisation globale de la relation pluie - débit : des outils au service de l'évaluation des ressources en eau, Hydrologie Continent., vol. 3, n° 2, pp. 117 - 129 (1988).
- 11 - Société Hydrotechnique de France :  
Les modèles mathématiques en Hydrologie de surface.
- 12 - TODINI, E. : "Rainfall - Runoff Modeling, Past, Present and Future", Journal of Hydrology, pp. 341 - 352 (1988).

