

Un modèle simplifié de calcul des écoulements mensuels par bilan hydrique

**Application : Variation de quelques
paramètres hydrologiques
d'après l'aspect des bassins**

D. IBIZA *

RÉSUMÉ

Le modèle simplifié de calcul des lames écoulées, au pas de temps mensuel, décrit dans cet article permet de définir rapidement le comportement hydrologique d'un bassin versant par la détermination de quelques paramètres physiographiques globaux.

ABSTRACT : A simplified model for monthly runoff calculation by water balance. Application : variation of some hydrological parameters from catchment aspects.

This note describes a simplified model calculating the depth of runoff at a monthly scale and allowing to define quickly the hydrological behaviour of a watershed by the determination of some global physiological parameters.

INTRODUCTION

Dans le cadre des applications du principe du bilan hydrologique, nous présentons un programme de calcul des lames écoulées mensuelles à partir de l'évaporation et des précipitations mensuelles, ainsi que les résultats obtenus sur un certain nombre de petits bassins. Son intérêt réside dans une grande simplicité de mise en œuvre due à l'emploi d'un opérateur global et à l'utilisation du pas de temps mensuel.

On a pu appliquer ce programme de façon opérationnelle sur sept bassins de la Guadeloupe de 7 à 60 km², et obtenir des extensions des lames écoulées mensuelles à partir de quelques postes pluviométriques de longue durée. Il a été également testé sur d'autres bassins situés dans des régimes climatiques très différents (Nord Tunisie, Korhogo, etc.).

La détermination des paramètres moyens qui régissent les aspects principaux des écoulements permet d'envisager une première classification de bassins de référence, dans l'optique d'une meilleure connaissance des régimes.

Pour les bassins de superficie plus étendue, on peut envisager un découpage en sous-bassins, mais la recombinaison des écoulements totaux se fait selon un principe purement statistique : au pas de temps mensuel, il n'est pas possible, en effet, de simuler une fonction de propagation des crues.

1. PRINCIPE DU BILAN HYDROLOGIQUE

Le principe de la détermination des écoulements par bilan hydrique a été clairement évoqué par Thornthwait au pas de temps mensuel. Au pas de temps journalier, il est couramment utilisé dans les fonctions de production de

* Maître de Recherches à l'ORSTOM.

modèles mathématiques dits « à réservoir ». La fonction de production « Canadienne » (ORSTOM-1972) est peut-être celle qui approche le mieux les phénomènes physiques et dont la plage d'application est la plus vaste.

Le bilan hydrologique mensuel s'écrit :

$$P = ER + EC + INF$$

où

P : représente les précipitations moyennes sur le bassin

ER : évaporation réelle du bassin, inférieure ou égale à l'évaporation potentielle IE, valeur en relation avec le climat, ou si l'on préfère, avec une certaine valeur de l'ETP régionale

EC : écoulement rapide immédiatement produit par la pluie P

INF : infiltration qui modifie l'état des réserves souterraines. Ces réserves sont elles-mêmes susceptibles de produire des écoulements retardés qui viennent s'ajouter à EC

Dans la pratique, on mesure l'écoulement total ECT :

$$ECT = EC + \text{Ecoulement retardé}$$

L'approche par bilan hydrologique revient à expliciter le déficit d'écoulement $P - ECT$ comme étant le résultat de l'évaporation réelle, des variations des réserves souterraines et des infiltrations profondes éventuelles qui échappent au contrôle hydrométrique.

Ce type d'approche est déconseillé lorsque le déficit d'écoulement dépasse 90% des précipitations.

1.1. LES PRÉCIPITATIONS

Les précipitations moyennes vraies ne sont vraiment bien connues que sur les bassins qui ont fait l'objet d'études intensives du type « bassin représentatif ». Seuls les bassins de ce type permettent d'aboutir à une détermination assez précise des paramètres d'écoulement, dans l'optique d'une classification. Pour les besoins d'application pratique à l'extension des données, l'homogénéisation préalable des données pluviométriques constituera un support appréciable.

1.2. L'ÉVAPOTRANSPIRATION DES PLANTES : PHÉNOMÈNE STABLE

Elle représente souvent la part essentielle du déficit d'écoulement observé. Elle se caractérise par un processus d'échanges complexes entre la végétation, le sol et l'atmosphère :

- infiltration des précipitations et stockage dans l'horizon végétal,
- prélèvement par les racines et restitution à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau.

L'évaporation potentielle est un phénomène assez bien lié au climat et assez peu variable d'une espèce végétale à une autre, par un coefficient d'affinité. La présence d'une couverture végétale à recouvrement suffisant permet d'assurer une certaine régularité du phénomène et sa transposition dans l'espace. Une implantation assez dense des racines aère le sol, favorise les infiltrations et active les échanges.

L'évaporation réelle des plantes apparaît comme un processus lié à l'ETP par un coefficient de réduction K ($0 \leq k \leq 1$) en relation avec l'état du déficit du sol. Les plantes ne peuvent en effet évaporer plus que la quantité d'eau dont elles disposent, qui provient :

- des précipitations,
- des réserves dans l'horizon végétal du sol.

L'évaporation sur sols nus risque, par contre, d'être un phénomène moins régulier et moins transposable. Le compactage de la couche superficielle des sols nus, provoquée par l'action directe de la pluie (pellicule de battance, etc.) peut entraîner une limitation de l'infiltration et de l'évaporation dans des proportions variables. Ainsi la végétation qui semble constituer une complication supplémentaire dans l'étude des transferts pluie-écoulement, pourrait au contraire jouer un rôle régulateur dans les échanges entre le sol et l'atmosphère.

1.2.1. ETP

La détermination de l'ETP régionale n'est pas encore très précise. Sa connaissance a été considérablement améliorée par les mesures sur bac Colorado et cases lysimétriques qui fournissent les valeurs de l'ETP pendant les

mois pluvieux humides. Pendant les mois très déficitaires, dans un environnement de sécheresse, ces mesures aboutissent parfois à une surévaluation de l'ETP : c'est le « *Phénomène d'Oasis* ». Certaines formules le prennent partiellement en compte (formule de Penman) parce qu'elles sont plus spécialement adaptées aux besoins de l'irrigation. L'affinement de la valeur de l'ETP régionale par élimination de l'effet d'oasis porte sur les mois secs. Cette correction qui s'effectue sur des mois non productifs d'écoulement n'est pas indispensable, mais elle est souhaitable, car on s'aperçoit alors que le coefficient de passage de l'ETP régionale à l'ETP du bassin (IE) devient naturel et, dans une certaine mesure, prévisible.

1.2.2. ETR

On va s'efforcer de déterminer une valeur vraisemblable de l'ETR en s'inspirant de lois existantes et d'observations plus récentes résultant de mesures de profils neutroniques. On est amené à distinguer deux modes de fonctionnement distincts, suivant qu'on se trouve en période d'assèchement ou en période de réhumidification.

1.2.2.1. Période d'assèchement

En l'absence de précipitation, l'évapotranspiration réelle se réduit graduellement jusqu'à devenir nulle, en fonction de la réserve disponible dans le sol ($W - W_f$) :

où W est la quantité d'eau dans l'horizon végétal,

W_f point de flétrissement.

La loi la plus couramment admise s'écrit :

$$ETR = ETP \times \frac{W - W_f}{WR - W_f} \quad (1)$$

où $WR - W_f$ est la capacité de stockage dans l'horizon végétal, comprise entre l'état de rétention (WR) et l'état correspondant au point de flétrissement, dite « *capacité utile* ».

Cette loi se vérifie mieux sur une végétation pérenne.

L'évapotranspiration réelle peut être mesurée, en période d'assèchement, au moyen de profils neutroniques d'humidité des sols.

Exemple : La figure 1 montre les déficits par rapport à l'état de saturation, établis en période d'assèchement en Tunisie du Nord, sur des sols argileux. L'horizon végétal apparaît nettement différencié par sa capacité à prélever de l'eau en dessous de l'état de rétention. La capacité utile de stockage de cet horizon est délimitée par le profil le plus sec et par un profil de rétention qu'on devine proche de l'état de saturation, pris comme axe de référence (Axe des Y).

Le bilan sur une période courte dT , en l'absence de précipitations s'écrit :

$$ETR = d(W - W_f)/dT \quad (2)$$

L'élimination de ETR entre les formules (1) et (2) aboutit à une équation différentielle qui montre que les réserves ainsi que l'ETR évoluent alors suivant une courbe exponentielle (fig. 2).

1.2.2.2. Période de réhumidification

Si les plantes semblent avoir du mal à extraire l'eau résiduelle du sol, elles peuvent, par contre, utiliser facilement l'eau des premières pluies parce que cette eau est disponible dans le sol. C'est le phénomène des « *pluies perchées* ». On a de nouveau, alors, $ETR = ETP$, jusqu'à épuisement éventuel des nouvelles réserves.

1.2.2.3. Loi de l'ETR adoptée

On admet une loi qui combine les deux effets en ajoutant un indice de pluie à la formule (1), suivant la forme :

$$ETR = ETP \times \frac{W - W_f}{WR - W_f} + f(P) \quad (3)$$

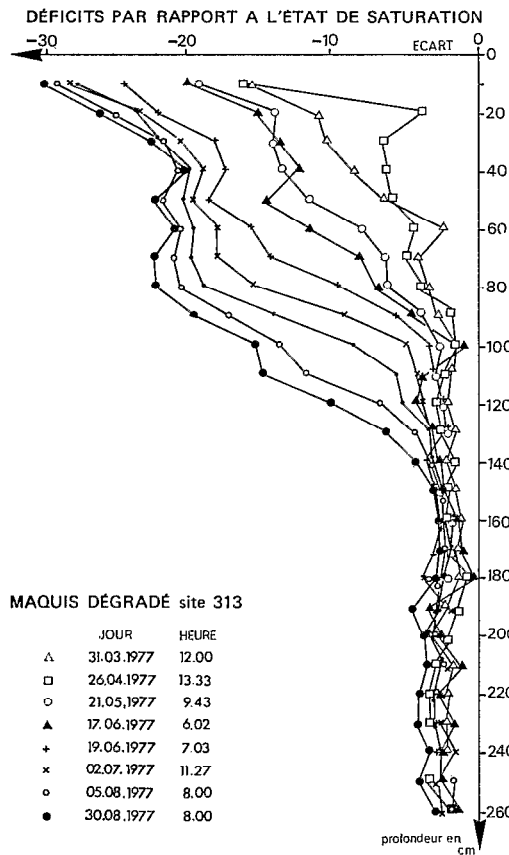


Fig. 1. — Mesures effectuées en période d'assèchement

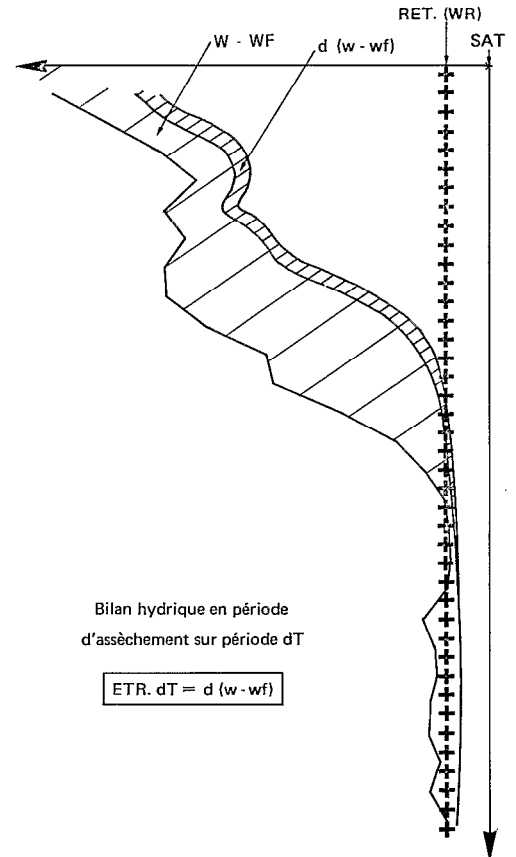


Fig. 2. — Réserves dans l'horizon végétal
 — Capacité utile : $W_u = W_r - W_f$
 — Réserve actuelle : W
 — Réserve utilisable : $W - W_c$

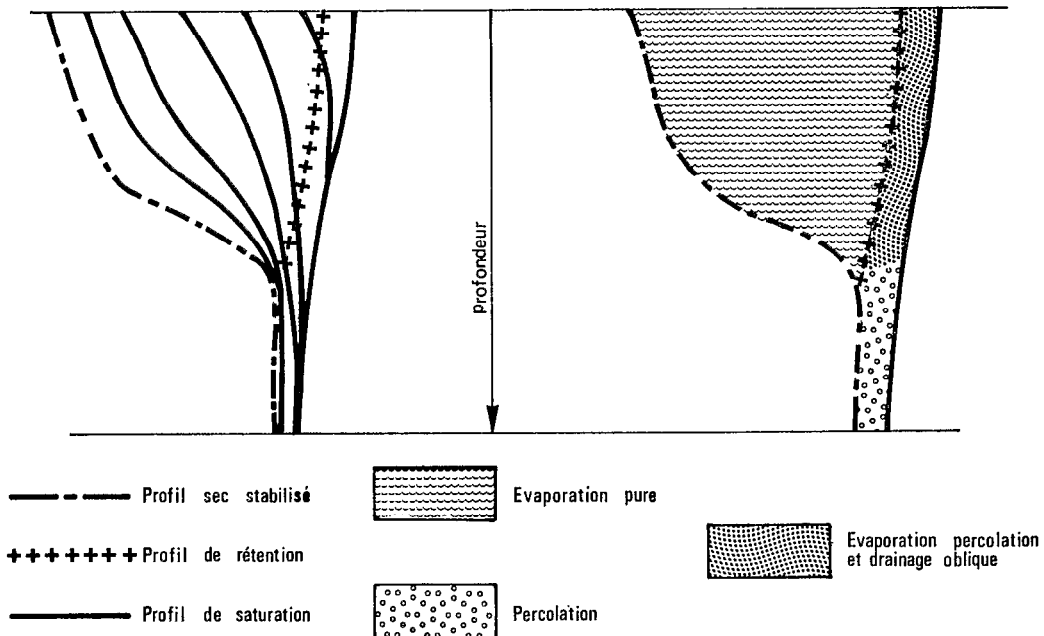


Fig. 3. — Dynamique des écoulements ETP — ETR.
 Profils neutroniques dans l'horizon végétal, sols argileux dans le nord Tunisie

1.3. VARIATIONS DES RÉSERVES SOUTERRAINES

1.3.1. Horizon végétal

Cet horizon joue un rôle multiple. Ses différentes fonctions sont les suivantes :

— *Phase de réhumidification.* Interception de la pluie et constitution des réserves de surface, jusqu'à l'état de rétention. Au cours de cette phase, les écoulements sont nuls ou faibles. Le stockage dans cet horizon ne sera repris que par évapotranspiration.

— *Phase d'écoulement.* Pendant les périodes pluvieuses excédentaires, l'horizon végétal se met en charge et les différents types d'écoulement peuvent apparaître : ruissellement, drainage oblique et percolation vers la nappe. L'étude de ces états transitoires doit être effectuée avec soin lorsqu'on s'intéresse aux phases aiguës du ruissellement sur des petits pas de temps (débit de pointe). Mais ces phénomènes correspondent à des variations de réserves, dans l'horizon végétal, faibles et surtout rapides qui ne sont pas prises en compte au pas de temps mensuel.

En résumé, l'horizon végétal peut être assimilé au fonctionnement d'un réservoir aveugle défini par :

— Sa dimension maximale ou capacité utile DEFMAX :

$$\text{DEFMAX} = \text{WR} - \text{Wf}$$

Cette dimension, en relation avec la profondeur et l'activité des racines, est supposée invariante pendant la durée de l'étude.

— Son niveau en début de mois, repéré par le déficit (DEFC) par rapport à l'état de remplissage WR :

$$\text{DEFC} = \text{WR} - \text{W} \text{ (début de mois)}$$

1.3.2. Réserve nappe

On considère que ces réserves sont « affectées » au bassin, c'est-à-dire que l'apport à la nappe, résultant des précipitations, et le drainage par la rivière évoluent en circuit fermé à l'intérieur des limites du bassin versant.

Cette hypothèse correspond à peu près à une réalité physique dans le cas d'une nappe topographique et, peut-être, lorsque les pentes du bassin sont assez fortes pour permettre un drainage suffisant.

Les variations des réserves « *nappe* » sont représentées par celle du niveau moyen (HNAP) de l'eau dans un réservoir qui se vide par un orifice d'ouverture AL.

Ce schéma est certainement simpliste, mais il correspond à un schéma minimal transposable. Toute complication supplémentaire reviendrait à introduire des spécificités propres au bassin étudié non transposables.

1.3.3. Infiltrations profondes

Il s'agit là des infiltrations profondes éventuelles qui échappent au contrôle hydrométrique, parce qu'elles ne sont pas restituées au bassin versant sous forme d'écoulement retardé. Ces infiltrations peuvent rejoindre des aquifères plus importants qui ont un drainage extérieur. Ce cas de non étanchéité du bassin peut être traité, mais il nécessite l'introduction d'un paramètre de fuite qui complique le calage des paramètres en donnant au système un degré de liberté supplémentaire.

Le cas est, semble-t-il, heureusement assez rare : les dépressions géologiques coïncident assez souvent avec les dépressions topographiques. Une enquête préalable doit permettre de repérer les formations ou les configurations qui infirment l'hypothèse d'étanchéité du bassin.

1.4. RESTRICTIONS D'UTILISATION

On a précisé çà et là quelques limites d'utilisation de ce programme et, plus généralement, du principe du bilan hydrique à l'intérieur desquelles son application a plus de chances de succès.

— On a déconseillé son application lorsque l'écoulement était inférieur à 10% de la pluie. Cette restriction revient à exclure a priori les régions sahéliennes ou tropicales sèches comprises entre les isohyètes 1 000, en régime tropical, et 750 en régime méditerranéen.

— On a souhaité pouvoir travailler sur des terrains où la densité de recouvrement de la végétation était suffisante. Cette restriction ne porte pas sur le type de végétation ni sur son volume : un couvert de graminées pourra suffire si son occupation du sol est suffisante. D'un point de vue global géographique, cette restriction recoupe à peu près la précédente.

— On préfère les bassins à pente assez forte parce que la rivière a plus de chances, dans ce cas, d'assumer un meilleur drainage de la nappe.

1.5. VÉRIFICATION DU PRINCIPE DU BILAN HYDRIQUE SUR LES SÉQUENCES PLUVIEUSES

Exemple - Tunisie - Bassin Nord amont $S = 3,24 \text{ km}^2$

Sur ce bassin très imperméable, les écoulements de base sont faibles et on peut assez facilement individualiser les écoulements rapides LE_i qui correspondent aux séquences pluvieuses P_i s'étalant sur plusieurs jours. On représente successivement (fig. 4) les couples de points (LE, P) , $(LE, P - DEF)$, $(LE, P - DEF - EV)$ pour chaque séquence pluvieuse.

— DEF est le déficit initial dans le sol calculé jour par jour, suivant une loi d'ETP analogue à la loi (3) du paragraphe 1.2.2.

— EV est l'évaporation pendant la séquence pluvieuse. Les couples $(LE, P - DEF - EV)$ s'alignent selon une droite d'équation :

$$LE = 0,86 (P - DEF - EV)$$

La différence par rapport à la première bissectrice est due à la percolation.

2. SÉPARATION DES ÉCOULEMENTS

Reprenons l'équation du bilan hydrologique :

$$P = ER + EC + INF$$

2.1. ÉCOULEMENTS RAPIDES (EC)

2.1.1. Définition

C'est la somme des écoulements suivants :

- Le ruissellement pur qui se propage rapidement à l'exutoire sous forme de crues.
- Le ressuyage des rétentions de surface qui se poursuivent pendant quelques jours.

2.1.2. Report sur les mois suivants des écoulements rapides

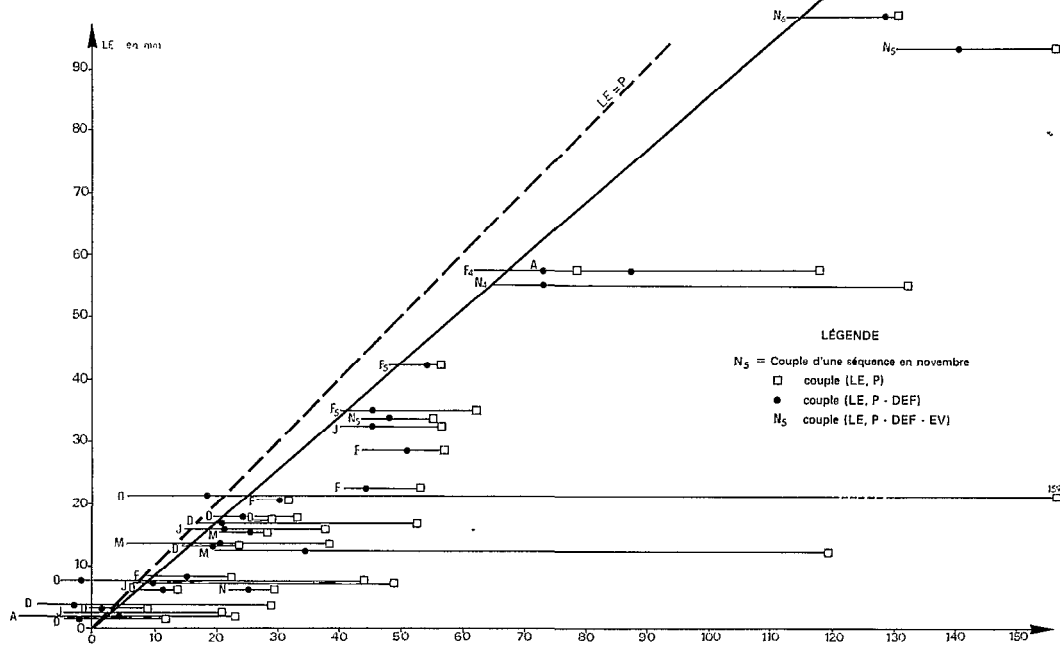
Le report de ces écoulements sur les mois suivants est possible et il est aléatoire au pas de temps mensuel. L'importance de ces reports est variable en fonction de la répartition des précipitations dans le mois. On pourra obtenir, par exemple, un report important si la pluie du dernier jour du mois est importante.

Ces reports aléatoires ne modifient pas le calage des paramètres mais ils font perdre, le cas échéant, de la précision aux volumes calculés. Ils restent en moyenne faibles et on admet un report moyen d'écoulements de ce type égal à 5% de EC

$$EC = 0,95 \times EC$$

report sur le mois suivant : 0,05 EC.

B.V. AMONT. BILAN HYDRIQUE SUR LES SEQUENCES PLUVIEUSES



B.V. AMONT. BILAN HYDRIQUE SUR LES SEQUENCES PLUVIEUSES

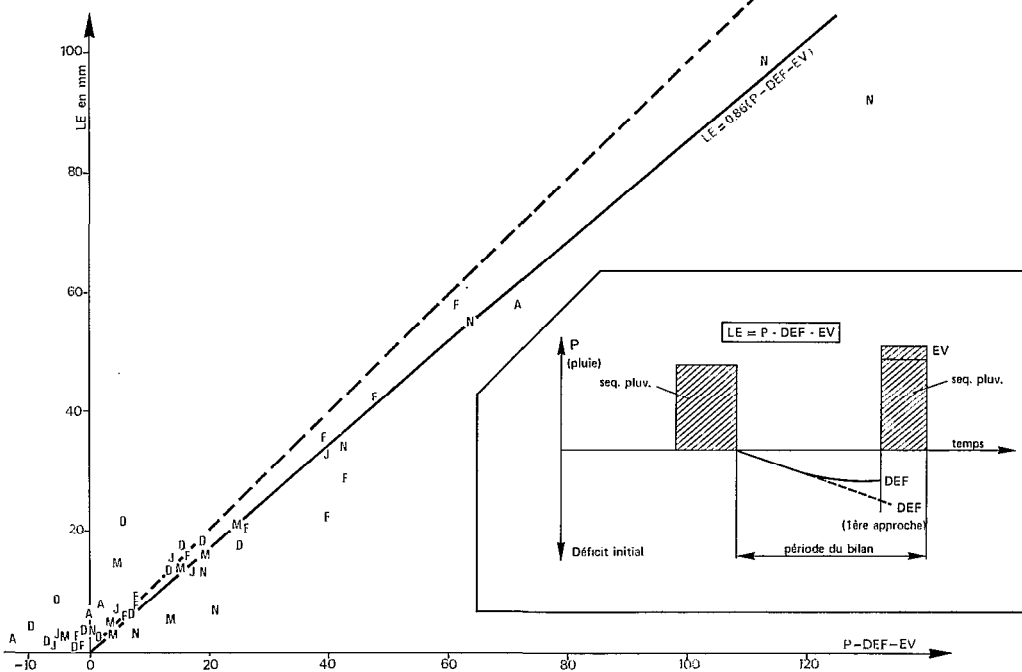


Fig. 4. — Vérification du bilan hydrique sur les séquences pluvieuses, B.V.N., Tunisie

2.2. ÉCOULEMENTS RETARDÉS

L'infiltration INF reconstitue en priorité les réserves de l'horizon végétal et l'excédent percole vers la nappe. La nappe produit à son tour des écoulements différés selon sa propre loi de vidange. Si HNAPF est la hauteur d'eau dans la nappe en fin de mois, l'écoulement reporté sur le mois suivant (TAR), par transit de la nappe, vaut :

$$\text{TAR} = \text{HNAPF} \times (1 - \exp(-\text{AL} \times 30))$$

2.3. OPÉRATEUR DE SÉPARATION DES ÉCOULEMENTS

En période excédentaire, lorsque les réserves sont reconstituées (DEFC = 0), les excédents hydriques sont représentés par la droite :

$$Y_0 = P - \text{IE}$$

$$\text{IE} = \text{ETP du bassin.}$$

Les écoulements rapides potentiels sont donnés par la courbe de la figure 5 qui a l'aspect d'une corrélation hydropluviométrique. On lui a donné la forme d'une hyperbole qui passe par l'origine.

— La première asymptote a pour équation

$$Y_2 = P - \text{IE} - \text{PERMAX} = Y_0 - \text{PERMAX}$$

La valeur de PERMAX, paramètre du modèle, est liée à la perméabilité du bassin.

L'infiltration (INF) est représentée par :

$$\text{INF} = Y_0 - Y$$

Cette valeur tend, dans ce cas de figure, vers PERMAX pour les fortes valeurs des précipitations. On peut penser, en effet, que l'infiltration, qui est limitée par la capacité d'absorption du sol, ne peut croître indéfiniment avec les précipitations. La valeur de PERMAX représente chaque mois, la capacité d'infiltration maximale.

— La deuxième asymptote a pour équation :

$$Y_1 = -A/\text{IE}$$

La valeur de A permet de régler l'aplatissement sur les asymptotes de la courbe.

* Quand $A = 0$, l'hyperbole se réduit à la droite Y_2 et à l'axe des abscisses.

* On a pris $A = 2\,000$ pour donner aux courbes une allure vraisemblable. Cette valeur est restée constante sur tous les bassins étudiés.

L'équation de l'hyperbole s'écrit :

$$(Y + A/\text{IE})(Y - P + \text{IE} + \text{PERMAX}) = A/\text{IE} \times (\text{IE} + \text{PERMAX})$$

L'écoulement potentiel Y_i est donné, pour chaque mois d'indice i (P_i, IE_i), par l'équation :

$$Y_i^2 - Y_i(P_i - \text{IE}_i - \text{PERMAX} - A/\text{IE}_i) - P_i \times A/\text{IE}_i = 0$$

C'est une famille de courbes à un paramètre et qui fait intervenir, pour chaque mois, la valeur de la pluie et de IE

$$Y_i = f(P_i - \text{IE}_i, \text{IE}, \text{PERMAX})$$

La figure 7 donne l'allure de ces courbes pour différentes valeurs de PERMAX et de IE.

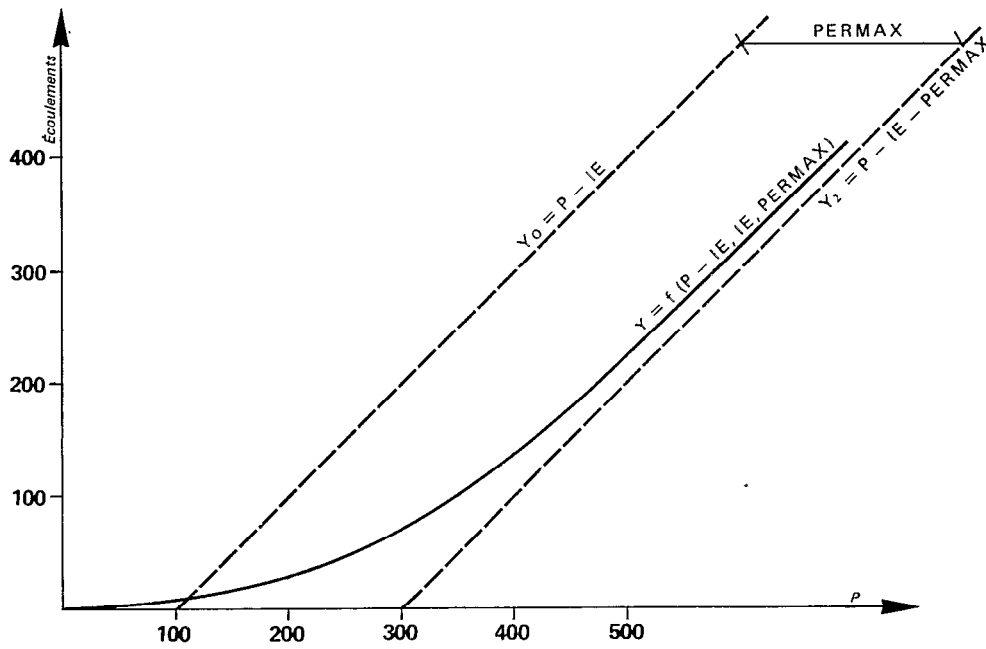


Fig. 5. — Séparation des écoulements potentiels

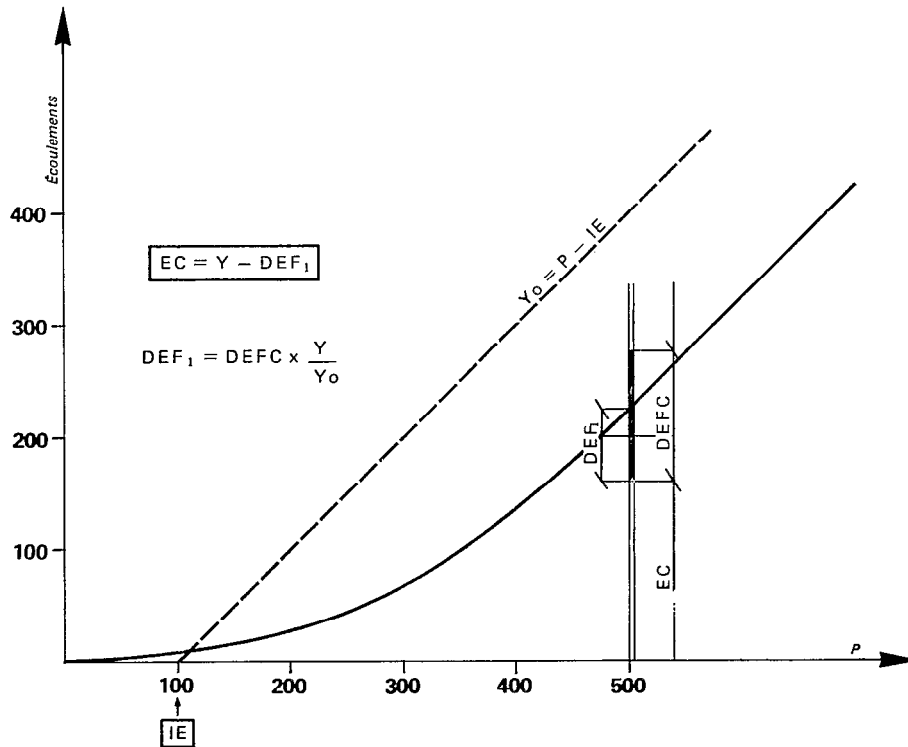


Fig. 6. — Séparation des écoulements rapides (EC)

ÉCOULEMENT POTENTIEL Y

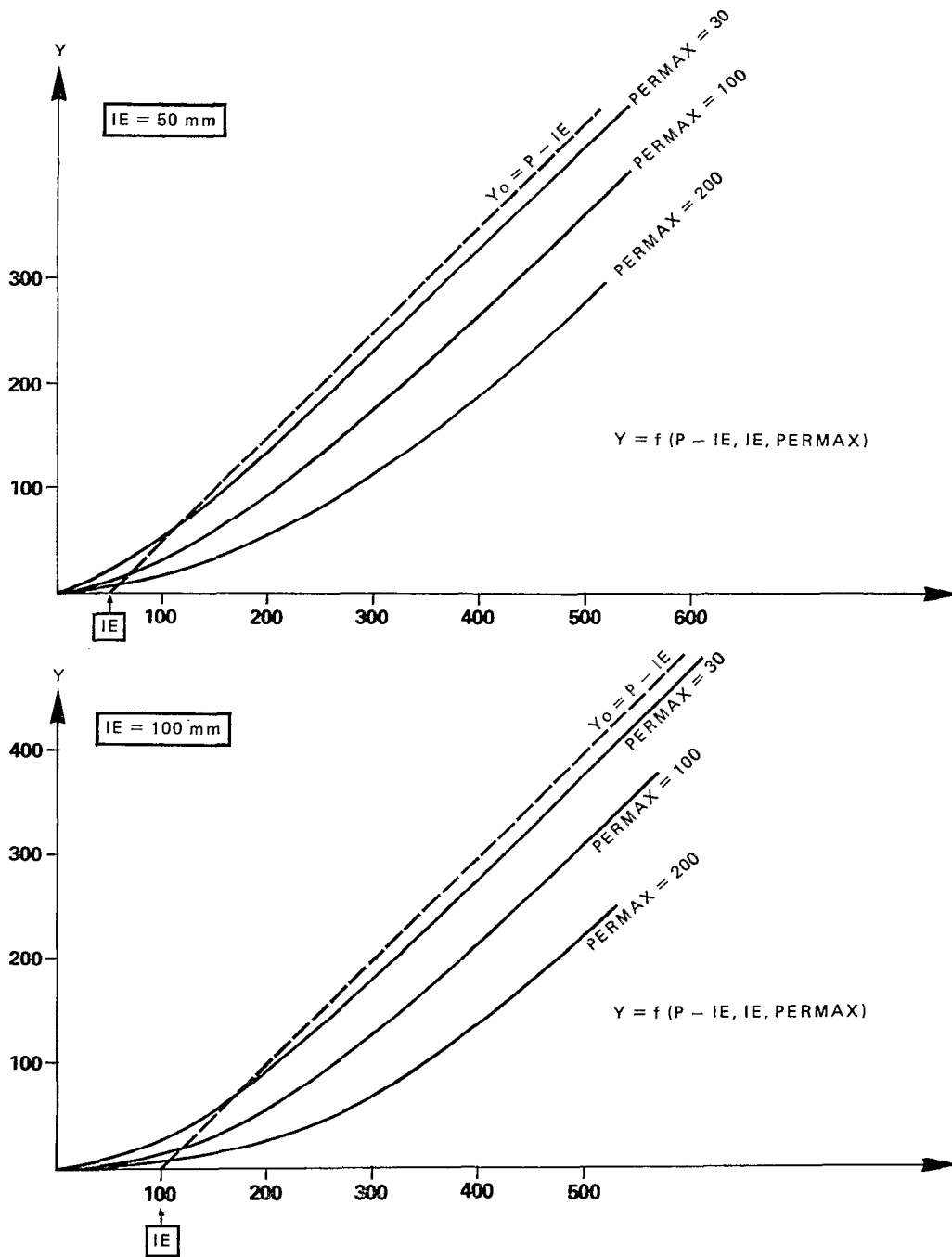


Fig. 7, 8. — Opérateur de séparation des écoulements.
Courbes $Y = f(P - IE, IE, PERMAX)$

3. FONCTIONNEMENT DU PROGRAMME

3.1. VARIABLES ET PARAMÈTRES

Les variables d'entrée sont les suivantes :

P Précipitation mensuelle moyenne sur le bassin
 IE Evapotranspiration potentielle mensuelle sur le bassin
 DEFC Déficit de l'horizon végétal au début du mois

$$0 \leq \text{DEFC} \leq \text{DEFMAX}$$

Le déficit au début du mois est limité par les valeurs 0 (état de rétention) et DEFMAX (déficit maximal de l'horizon végétal) correspondant à la capacité W_u du réservoir de surface

HNAPC Hauteur de la nappe dans le réservoir profond au début du mois

Les variables produites sont les suivantes :

Y Ecoulement potentiel du mois
 EC Ecoulement réel du mois dont une partie (RES) est transférée sur le mois suivant (dernières précipitations du mois)

$$\text{RES} = 0,5 \times \text{EC} \text{ et } \text{EC}_1 = 0,95 \text{ EC}$$

ER Evapotranspiration réelle du mois ($\text{ER} \leq \text{IE}$)
 PERC Percolation après réhumidification de l'horizon végétal
 PERC₂ Partie qui percole vers la nappe

$$\text{PERC}_2 = \text{PERC} \times (1 - \text{PARTI})$$

$$\text{HNAPF} = \text{HNAPC} - \text{TAR} + \text{PERC}_2$$

TAR Déficit transféré par la nappe (débit de base) sur le mois suivant :

$$\text{TAR} = \text{HNAPF} (1 - \text{EXP}(-30 \times \text{AL}))$$

DEFT Déficit de l'horizon végétal à la fin du mois

$$\text{DEFT} = \text{DEFC}_{i+1}$$

HNAPF Hauteur de la nappe à la fin du mois :

$$\text{HNAPF} = \text{HNAPC}_{i+1}$$

Les paramètres sont les suivants :

a) Paramètres de volume

COEF Coefficient d'affinité permettant de passer de l'évapotranspiration potentielle régionale à l'évapotranspiration potentielle du bassin (COEF varie avec l'altitude moyenne du bassin)

DEFMAX Dimension du réservoir de surface (horizon végétal)

PARTI Coefficient de répartition de la percolation entre la nappe (débit de base) et l'infiltration profonde

$$\text{PARTI} = 0 \text{ dans la plupart des cas}$$

b) Paramètres d'étalement

PERMAX Perméabilité moyenne du bassin

AL Coefficient de tarissement de la nappe en jour⁻¹

3.2. DÉROULEMENT DU CALCUL

Les calculs sont effectués en trois étapes :

— Détermination de l'écoulement rapide (EC) à partir de l'écoulement potentiel (Y), par soustraction d'une fraction du déficit DEFC. Calcul de l'écoulement rapide produit dans le mois : $\text{EC}_1 = 0,95 \text{ EC}$.

- Bilan de l'horizon végétal : calcul de ER et de DEFT à partir des valeurs de IE et de DEFC.
- Solde du bilan : calcul de PERC, PERC₂, HNAPF et TAR.

3.2.1. Ecoulements rapides

Sur les écoulements potentiels on prélève, le cas échéant, une partie du déficit en proportion du rapport de l'écoulement (Y) aux excédents hydriques $Y_0 = P - IE$

$$EC = Y - DEF_1 \quad (DEF_1 = DEFC \times Y/Y_0)$$

(cf. figure 6)

$$EC_1 = 0,95 EC$$

3.2.2. Evapotranspiration réelle

a) Formule utilisée

Elle s'inspire de la formule (3) du paragraphe 1.2.2.3.

$$ER = K \times IE \quad (0 \leq K \leq 1)$$

K est fonction du déficit moyen $DEFM = 1/2 (DEFC + DEFT)$ et d'un indice de pluie IP

$$K = (1 - DEFM/DEFMAX) + 1/2 IP / DEFMAX$$

C'est un algorithme statistique destiné à rendre au mieux l'évaporation en début de saison des pluies

$$* IP = P \text{ si } P \leq DEFM$$

$$* IP = DEFM \text{ si } P \geq DEFM$$

La deuxième équation est celle du bilan dans l'horizon végétal

$$DEFT = DEFC - P + EC + ER$$

avec $0 \leq DEFT \leq DEFMAX$

b) Mode de calcul

Les deux valeurs d'entrée sont IE et DEFC. On veut obtenir en fin de calcul les deux valeurs ER et DEFT. On procède par itérations successives au cours d'une boucle qui s'écrit : (expression FORTRAN)

```

« DEFT = 0
« DO 20 I = 1,10
« DEFCI = DEFT
« DEFM = .5 * (DEFC + DEFT)
« IP = MIN 1 (P, DEFM)
« ER = IE * (DEFMAX + .5 * IP - DEFM)/DEFMAX
« DEFT = DEFC - P + EC + ER
« DEFT = AMIN 1 (AMAX 1 (DEFC, 0.), DEFMAX)
« IF (DEFCI - DEFT. GT. 2.) GO TO 20
« IF (DEFCI - DEFT. GE. - 2.) GO TO (Sortie)
20 « CONTINUE

```

3.2.3. Solde du bilan

Le solde $INF = P - ER - EC$ est ensuite calculé :

— Si $INF \leq 0$: le bilan est négatif ; on se trouve en période d'assèchement. Il n'y a pas de percolation. L'évapotranspiration réelle est réduite et le déficit dans l'horizon végétal s'accroît jusqu'à ce que le déficit maximal soit atteint, le cas échéant.

— Si $INF > 0$ (période d'excédent hydrique), l'excédent dégagé est utilisé en priorité à la réhumidification de l'horizon végétal, le reste percole (PERC). La partie PERC₂ du résidu PERC alimente la nappe :

$$PERC_2 = (1 - PARTI) \times PERC$$

En général

$$PARTI = 0 \text{ et } PERC = PERC_2$$

Le report du débit de base du mois précédent, qui entre dans l'écoulement total du mois d'indice i vaut :

$$\text{TAR}_i = \text{HNAP}_i (1 - \exp(-30 \text{AL}))$$

En fin de mois, le niveau de la nappe est :

$$\text{HNAP}_{i+1} = \text{HNAP}_i - \text{TAR}_i + \text{PERC } 2_i$$

3.2.4. *Écoulement total du mois*

L'écoulement total du mois est la somme de $\text{EC}_i = 0,95 \text{EC}$, du report des écoulements rapides du mois précédent : $0,05 \text{EC}_{i-1}$ et du report du débit de base du mois précédent TAR_i .

$$\text{ECT}_i = 0,95 \text{EC}_i + 0,05 \text{EC}_{i-1} + \text{TAR}_i$$

4. EXEMPLE 1 : BASSIN DE KORHOGO (COTE D'IVOIRE) — $S = 3,6 \text{ km}^2$

Ce bassin a été étudié par l'ORSTOM de 1962 à 1972 (*).

Le programme a été appliqué sur la période 1962 à 1967.

— Les précipitations moyennes sont bien connues, car elles ont été calculées à partir de 12 postes pluviométriques. Le bassin se situe environ sous l'isohyète de 1 350 mm.

— La valeur de l'E.T.P. régionale qui est obtenue à partir des mesures sur bac, effectuées à 50 km du bassin, est par contre moins satisfaisante. La valeur du coefficient de passage entre l'ETP régionale et l'ETP du bassin est très faible ($\text{COEF} = 0,65$) et n'a pas de signification physique contrairement à ce qu'on obtient sur les bassins où on peut utiliser des mesures locales.

La valeur de l'ETP du bassin vaut 1 340 mm.

— Les résultats de l'ajustement sont résumés sur la fiche 1 et annexe 1. Le coefficient de corrélation entre les couples mensuels (lames observées, lames calculées) vaut 0,96 (fig. 10a).

a) *Bilan mensuel*

La figure 9 représente l'évolution des différentes variables calculées du bilan pour les trois premières années.

— ETR en période déficitaire, l'ETR décroît rapidement et n'est soutenue que par la pluie du mois. Les variations brutales s'expliquent par la minceur des réserves de l'horizon végétal ($\text{DEFMAX} = 60 \text{ mm}$).

Perméabilité — système Nappe

Une partie importante des écoulements est constituée d'écoulements de base.

Cette caractéristique observée du comportement est obtenue par une valeur de la perméabilité moyenne du bassin élevée ($\text{PERMAX} = 200 \text{ mm}$).

L'effet sensible d'accumulation du système nappe s'explique par un faible coefficient de tarissement ($\text{AL} = 0,058$) qui entraîne des reports d'écoulement importants sur les mois suivants.

b) *Bilan annuel*

On illustre (fig. 10b) la corrélation entre les déficits d'écoulement observés et les déficits calculés : ETR annuelle + variation des réserves.

Les variations des réserves constituent un élément mineur dans le bilan annuel bien que ces variations soient relativement importantes, même en année hydrologique (83 mm de stockage nappe entre avril 1962 et avril 1963).

Les valeurs de l'ETR annuelle sont de 824 mm, ce qui représente 62% de l'ETP.

(*) « Analyse et modélisation de l'écoulement superficiel d'un bassin tropical » (Camus, Chaperon, Molinier).

On observe, certaines années, des valeurs de l'ETR qui s'écartent sensiblement de cette valeur moyenne : 980 mm en 1964-65 et 728 en 1965-66. Ces variations s'expliquent par la répartition des précipitations mensuelles au cours de l'année.

5. GROUPE DE BASSINS DU NORD DE LA TUNISIE — EXEMPLE II

Les bassins BVN étudiés par l'ORSTOM (1973-1978) dans le Nord de la Tunisie sont constitués de quatre bassins emboîtés : AVAL ($S = 13,6 \text{ km}^2$), AMONT ($S = 3,24 \text{ km}^2$), ARGILES CALCAIRES ($S = 0,425 \text{ km}^2$), EUCALYPTUS ($S = 0,311 \text{ km}^2$). Ils sont situés sur des argiles géologiques imperméables et se différencient par la nature du sol en surface et par leur couvert végétal.

Sur le bassin AVAL, les argiles sont recouvertes sur 60% environ par un manteau de colluvions sablo-argileuses d'épaisseur variable (jusqu'à 1,50 m). Lorsqu'elles affleurent, les argiles ont évolué en argiles gonflantes (ARGILES CALCAIRES) qui présentent, en période d'assèchement, de larges fentes de retrait.

Une végétation pérenne, composée de maquis et d'eucalyptus (reforestation), occupe les argiles de colluvions, tandis que la végétation sur argiles calcaires est réduite à l'état de graminées annuelles.

Les sous-bassins présentent chacun un aspect typique de ces différents faciès :

- Bassin ARGILES-CALCAIRES : Graminées sur argiles calcaires
- Bassin EUCALYPTUS : Eucalyptus sur colluvions
- Bassin AMONT : Maquis sur colluvions.

L'application du programme sur ces quatre bassins a permis de mettre en évidence des comportements très voisins.

On a choisi le bassin AVAL pour illustrer ce groupe.

5.1. EXEMPLE II — BASSIN BVN AVAL — $S = 13,9 \text{ km}^2$

Ce bassin recueille des précipitations de 850 mm en valeur interannuelle et produit néanmoins 24% d'écoulement.

Valeur de COEF

Les précipitations moyennes sont bien connues. La valeur régionale de l'ETP a été obtenue à partir des mesures d'un bac enterré après élimination de l'« effet d'OASIS » sur les mois déficitaires d'été, grâce à des corrélations (ETP — P mensuelle).

La valeur du rapport entre ETP régionale et l'ETP du bassin est alors de 0,95%, valeur vraisemblable (COEF = 0,95).

Bilan mensuel

La caractéristique essentielle de ce bassin est la grande dimension de l'horizon végétal (DEFMAX = 180 mm) et les écoulements sont fortement conditionnés par l'état initial du déficit dans ce réservoir.

Grâce à ces réserves les valeurs les plus fortes de l'ETR sont obtenues au printemps (cf. fig. 11), alors que les précipitations y sont généralement déficitaires. Ces résultats sont confirmés par des mesures de profil d'humidité.

Percolation

L'infiltration dans les argiles est très faible et les reports sur les mois suivants, par écoulement de base, sont peu importants (PERMAX = 50 mm).

Ces résultats sont caractéristiques des argiles et correspondent à une infiltration en état de saturation qui a été évaluée, par ailleurs, à 2 mm/H environ.

Bilan annuel

Le déficit d'écoulement s'explique essentiellement par l'ETR. Elle varie entre 600 et 700 mm et représente environ 55% de la valeur de IE (1 224 mm).

5.2. RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES SUR LES AUTRES BASSINS

Valeur de DEFMAX

- Sur les argiles calcaires à couverture végétale faible, la dimension de DEFMAX reste de 185 mm car les fentes de retrait jouent le rôle d'un horizon végétal fictif.
- Des résultats analogues sont obtenus sur le bassin AMONT.
- Sur le bassin des eucalyptus, la valeur de DEFMAX atteint 230 mm. C'est une valeur « record ». On observe également sur ce bassin une valeur de l'ETP élevée $IE = 1\ 360$ mm (COEF = 1, 15).

Valeur de PERMAX

Elles varient sur ces bassins de 30 à 50 mm et traduisent la faible percolation en profondeur des argiles, quelles que soient les différences du sol de surface.

6. GROUPE DE BASSINS DE LA GUADELOUPE — EXEMPLES III ET IV

La Guadeloupe (*) est constituée de deux îles presque séparées, très différentes : La Grande Terre, plate, et calcaire, et la Basse Terre, montagneuse et volcanique. En Grande Terre, les précipitations sont comprises entre 1 000 et 2 000 mm. Elles varient en Basse Terre de 2 000 mm, en bordure de la mer, à 7 000 mm au point culminant, en raison de l'altitude.

Ces fortes variations sont cependant assez mal connues car les postes pluviométriques de longue durée sont très peu nombreux dans le massif forestier, au-delà de 300 m d'altitude.

Le calage du programme a été effectué sur sept bassins de 7 à 60 km² en s'appuyant sur les précipitations des quelques postes disponibles. Les résultats sont satisfaisants et suffisent pour l'extension des données hydrométriques pour constituer une masse de valeurs mensuelles vraisemblables, en vue d'une exploitation statistique. La qualité des résultats a cependant légèrement souffert de l'insuffisance des informations pluviométriques. Les paramètres d'écoulement ne sont pas toujours déterminés avec précision, sauf pour les deux bassins décrits dans les exemples III et IV.

Dans l'ensemble, les bassins de Basse Terre sont fortement perméables avec des valeurs de PERMAX de 200 à 250 mm, mais les réserves souterraines se tarissent rapidement ($AI = 0,0200$ à $0,0300$) grâce à un drainage efficace de la rivière, favorisé, sans doute, par des fortes pentes.

L'ETP varie en raison inverse de l'altitude. Elle est de 1 600 mm en Grande Terre et décroît assez rapidement jusqu'à atteindre 1 100 mm sur des bassins d'une altitude moyenne de 700 mm (Grande Rivière de Capesterre).

6.1. EXEMPLE III — BASSIN DE PETITE PLAINE — $S = 8,8$ km²

Ce bassin reçoit des précipitations de 2 980 mm environ et produit à peu près 1 660 mm d'écoulement, principalement pendant la saison des pluies, d'août à décembre.

Les précipitations sont contrôlées par un pluviographe installé à l'intérieur du bassin et bien situé. Les courbes d'étalonnage de la station ne sont pas très sûres, mais le calage du programme sur les sept dernières années est néanmoins satisfaisant.

L'ETP de bassin a été évaluée à 1 300 mm.

Bilan mensuel

On a représenté sur la figure 13 l'évolution des différentes variables calculées du bilan mensuel.

L'examen des précipitations montre que la saison des pluies est fortement accentuée d'août à décembre, mais les précipitations pendant la saison sèche sont rarement déficitaires et le sol reste humide (DEF_C = 0).

(*) « Ressources en eau de surface de la Guadeloupe » (L'Hôte, Chaperon, Vauchel).

On a le plus souvent $ETR = ETP$ ($K = 1$).

Les sols sont perméables ($PERMAX = 160$ mm).

Les quantités d'écoulement retardé qui transitent par la nappe sont importantes, mais les réserves s'épuisent rapidement en raison d'un coefficient de tarissement élevé.

Bilan annuel

L'ETR annuelle est assez voisine de l'ETP et pratiquement invariable.

Les reports annuels par variations de la nappe sont importants (122 mm d'avril 1976 à avril 1977), mais restent malgré tout faibles en regard des écoulements totaux.

6.2. EXEMPLE IV — RIVIÈRE DE SAINTE MARIE — $S = 7,6$ km²

Ce bassin reçoit environ 3 000 mm en valeur moyenne interannuelle. Les conditions climatiques sont assez voisines du bassin de Petite Plaine dans la mesure où les périodes déficitaires, faiblement marquées, n'entraînent pas une réduction considérable de l'évaporation. L'ETR vaut à peu près 92% de l'ETP. Cette dernière valeur est estimée à 1 444 mm.

Le système nappe présente sur ce bassin une grande inertie qui entraîne une assez forte régularisation des écoulements. Cet aspect du comportement est obtenu par un coefficient de tarissement relativement faible ($AL = 0,100$).

6.3. AUTRES RÉSULTATS — RAVINE GACHET — $S = 63,8$ km²

Sur ce bassin de Grande Terre très hétérogène, les écoulement ne représentent que 5% environ des précipitations, et on se trouve en principe en dehors des limites d'application du programme. Les écoulements ne proviennent que du ruissellement pur. Les infiltrations qui représentent le double, percolent vers une nappe profonde et ne sont pas restituées au bassin. On a pu cependant obtenir un calage assez satisfaisant pour permettre une extension des données hydrométriques sur une longue période.

7. GROUPE DE BASSINS DE MARTINIQUE

Quatre bassins de 0,7 à 1,5 km², répartis sur la moitié sud de la Martinique, ont été étudiés comme bassins représentatifs (*).

Le programme a été appliqué sur les trois bassins de superficie supérieure à 1 km².

— CAROLE	$S = 1,46$ km ²
— VAL D'OR	$S = 1,43$ km ²
— DUCHENE	$S = 1,51$ km ²

Les sols, issus de roches andésitiques ou basaltiques dégradées sur une grande profondeur, sont très argileux et le drainage par la rivière n'est pas très bien assuré, bien que les pentes soient assez élevées.

Elément du bilan

On a dû prendre en compte dans l'évaluation du bilan une part d'infiltration profonde en donnant au paramètre PARTI des valeurs différentes de 0 ($PARTI = 1$ ou 0,5).

(*) Etude hydrologique de quatre bassins versants représentatifs du Sud et du Centre de la Martinique (Chaperon, Mobeche).

Le calage du programme est rendu plus complexe puisqu'on dispose d'un paramètre supplémentaire pour le réglage des volumes écoulés, mais les autres éléments du bilan sont assez bien connus :

— Les précipitations moyennes vraies sont bien approchées grâce aux données fournies par les deux pluviographes de chaque bassin, bien situés.

— L'ETP varie de façon sensible avec l'altitude, mais on arrive cependant à une estimation des valeurs de l'ETP, pour chaque bassin, vraisemblable par un calage simultané des trois bassins, et en s'appuyant également sur les valeurs obtenues en Guadeloupe.

ETP régionale

La valeur de l'ETP régionale a été prise égale à 1 400 mm qui est celle que l'on obtient à une altitude de 300 m environ.

Les valeurs mensuelles sont, à une affinité près, celles observées sur le bac de classe A de la station INRA de Sainte-Anne (2 300 mm).

Le paramètre COEF permet d'ajuster l'ETP du bassin par rapport à cette valeur de l'ETP régionale.

7.1. EXEMPLE V — BASSIN CAROLE S = 1,46 km²

COEF = Le coefficient a été ajusté à 1,10. L'ETP du bassin est évaluée à 1 615 mm pour une altitude moyenne de 203 m.

Bilan mensuel

La réponse aux précipitations est très forte sur ce bassin lorsque les sols sont réhumidifiés. Le bassin est pratiquement imperméable avec PERMAX = 10 mm.

Cette réponse est typique d'argiles gonflantes. Les infiltrations profondes existent (PARTI = 1) mais restent très faibles et les écoulements retardés sont inexistantes.

L'élément prédominant dans le calcul des écoulements est l'état du déficit de l'horizon végétal.

Le régime des précipitations fait apparaître une période globalement déficitaire de janvier à juin, et une période excédentaire productrice d'écoulement d'août à décembre. Les précipitations restent cependant abondantes en période déficitaire et l'assèchement du sol se fait progressivement pendant cette période.

Bilan annuel (fig. 17 b)

L'ETR annuelle est élevée, car elle est soutenue pendant les mois secs par des précipitations conséquentes. Elle varie de 860 mm pour l'année la plus sèche, à 1 120 mm pour l'année la plus humide. La valeur de l'ETR annuelle constitue la base du déficit d'écoulement, aux variations des réserves de l'horizon végétal près. Elle représente ici en moyenne 61% de l'ETP.

7.2. EXEMPLE VI — BASSIN VAL D'OR (MARTINIQUE) — S = 1,43 km²

Ce bassin a un comportement assez voisin du bassin précédent, mais la réponse aux précipitations est moins forte. La valeur de PERMAX est de 80 mm pour des sols plus perméables mais encore très argileux.

Les infiltrations ne sont pas restituées sur ce bassin et les infiltrations profondes représentent environ 40% des écoulements de surface.

L'évaporation potentielle est évaluée à 1 718 mm pour une altitude moyenne du bassin de 44 m.

Le calage est très bon puisque le coefficient de corrélation obtenu sur les couples (écoulement observé, écoulement calculé) est de 0,99.

CALCUL DES LAMES ÉCOULÉES MENSUELLES

EXEMPLE I

BASSIN DE KORHOGO (Côte d'Ivoire)

S = 3,63 km²
Ip = 0,135
Alt. moyenne : 390 m environ

SOLS

- Ferrugineux tropicaux lessivés 15%
- Faiblement ferrallitiques (gravillonnaires) 41%
- Ferrallitiques lessivés 40%
- Hydromorphes (sablo-argileux) 4%

VEGETATION

- Cultures annuelles 50%
- Forêts anacardes et Teck 5%
- Savane arbustive 45%

PARAMETRES D'ÉCOULEMENT

Coef. (%)	DEFMAX (mm)	PARTI (%)	PERMAX (mm)	AL
0,65 *	60	0	200	0,0058

* Par rapport à valeur bac mesurée à Ferkessédougou.

RESULTATS ANNUELS

Variables (mm)	1962-63	1963-64	1964-65	1965-66	1966-67
P.	1 482	1 463	1 627	1 253	1 617
E.T.P.	1 339	1 339	1 339	1 339	1 339
E.T.R.	807	801	980	728	804
Ec. calc.	594	633	660	576	765
Ec. obs.	523	561	677	564	806
Def. ecoul.	959	902	950	689	811

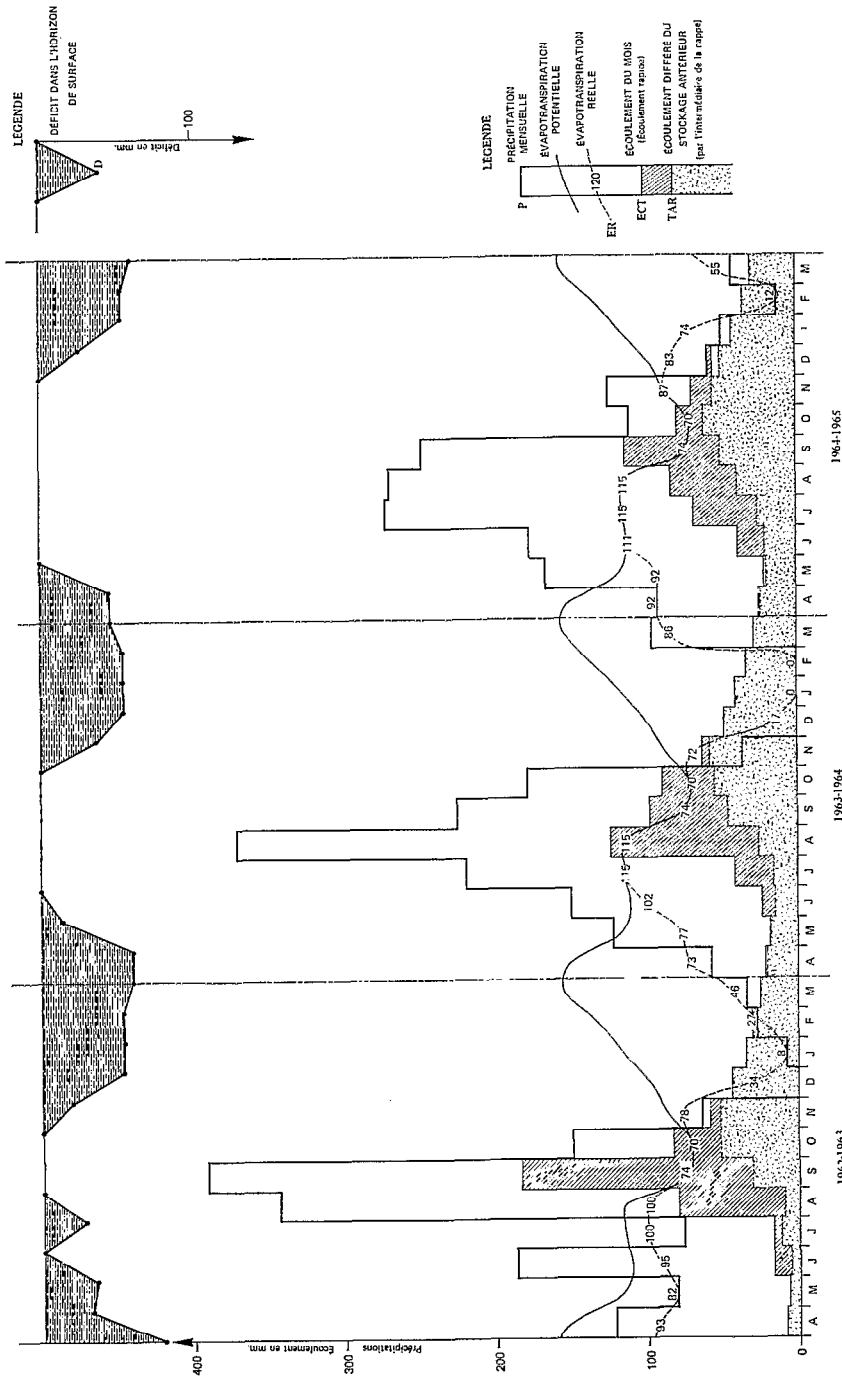
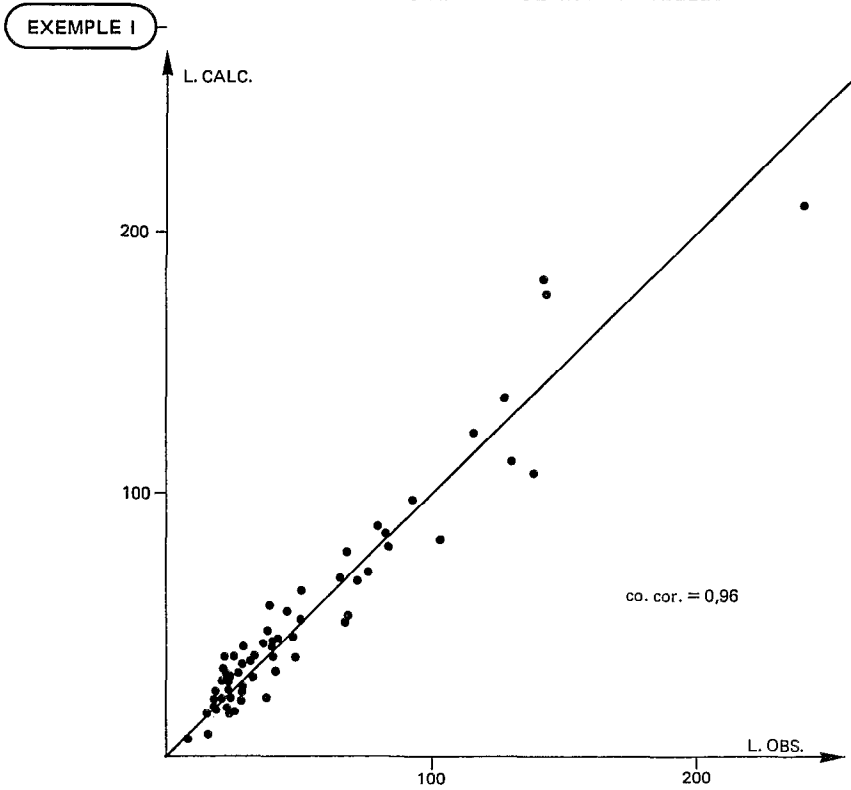
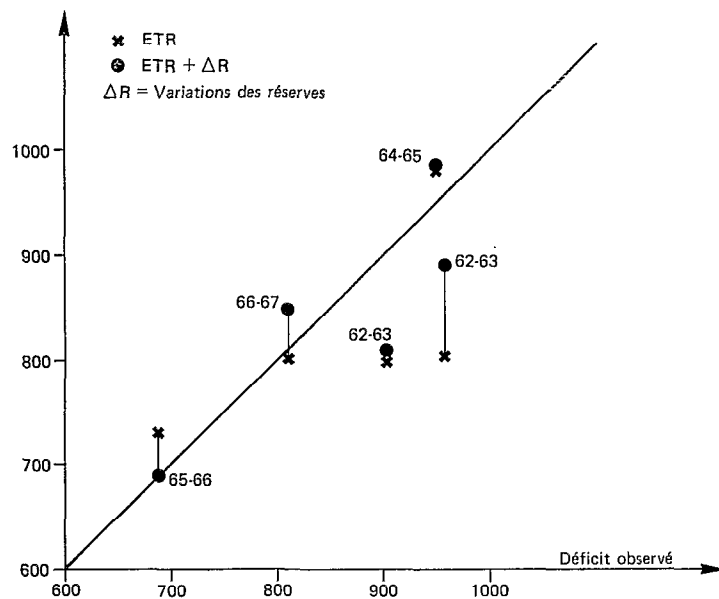


Fig. 9. — Bassin de Khorogo (Côte d'Ivoire).
Bilan hydrologique (avril 1962-mars 1965)

CALCUL DES LAMES ÉCOULÉES MENSUELLES



a) Corrélation des couples mensuels (LOBS. - L. CALC.)



b) Corrélation : Déficit observé - Déficit calculé

Fig. 10. — Bassin de Khorogo (Côte d'Ivoire)

CALCUL DES LAMES ÉCOULÉES MENSUELLES

EXEMPLE II

BASSIN B.V.N. AVAIL (Nord Tunisie)

$$S = 13,9 \text{ km}^2$$

$$I_p = 0,224$$

Alt. moyenne : 234 m

SOLS

- Argiles géologiques recouvertes sur 60% environ de la superficie d'un manteau de colluvions sablo-argileux d'épaisseur variable (jusqu'à 1,50 m). Les argiles non recouvertes (argiles calcaires) produisent des sols gonflants.

VEGETATION

- Eucalyptus 13%
 — Maquis 57%
 — Prairies, cultures 30%

La végétation basse est plus particulièrement rencontrée sur les bancs d'argiles gonflantes.

PARAMETRES D'ECOULEMENT

Coef. (%)	DEFMAX (mm)	PARTI (%)	PERMAX (mm)	AL
0,95	200	0	30	0,0240

RÉSULTATS ANNUELS

Variables (mm)	1973-74	1974-75	1975-76	1976-77	1977-78
Pluie	752	848	967	805	676
E.T.P.	1 125	1 125	1 125	1 125	1 125
E.T.R.	624	631	680	599	576
Ec. calc.	128	191	280	215	95
Ec. obs.	149	187	270	203	70
Def. ecoul.	603	661	697	590	606

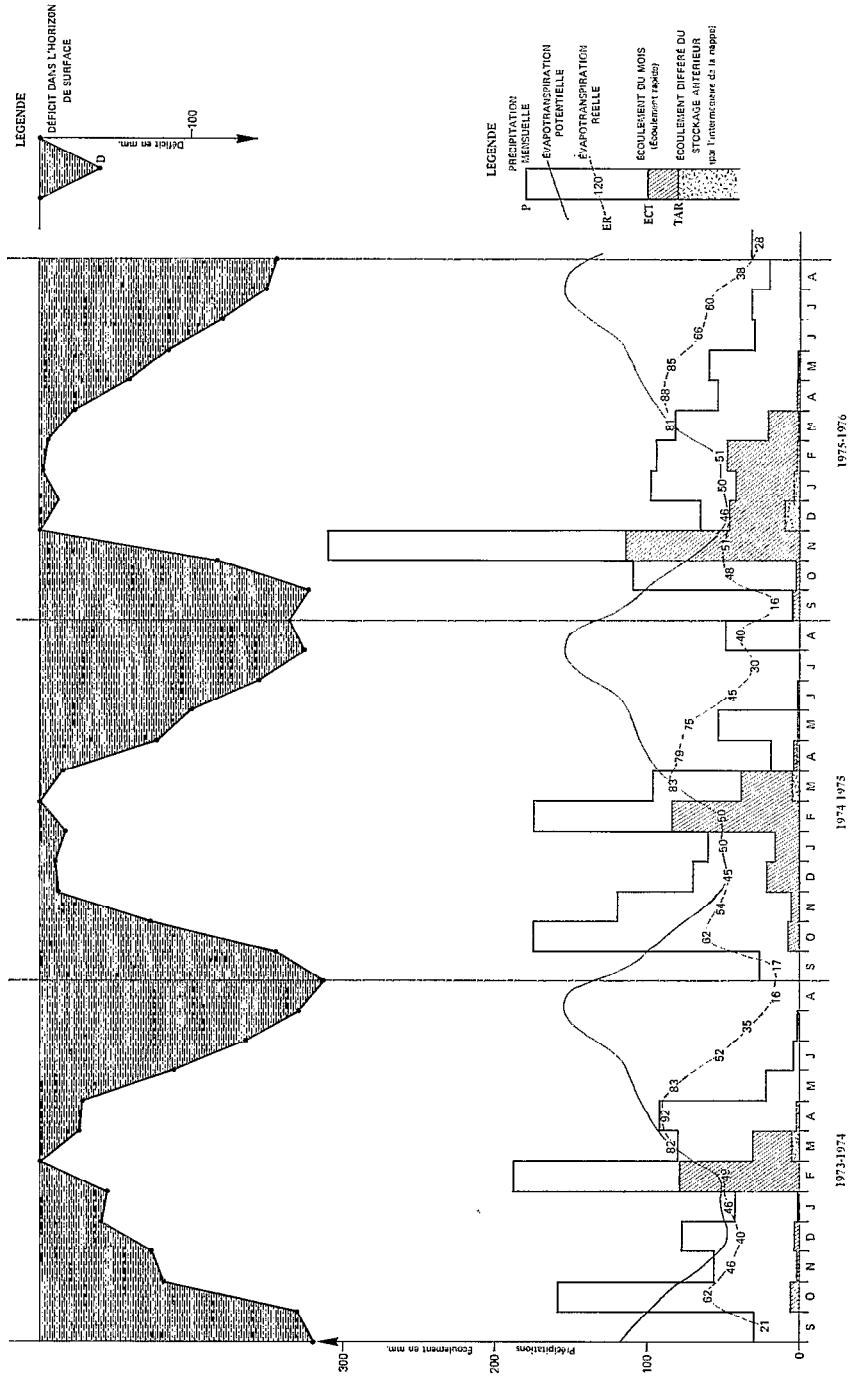
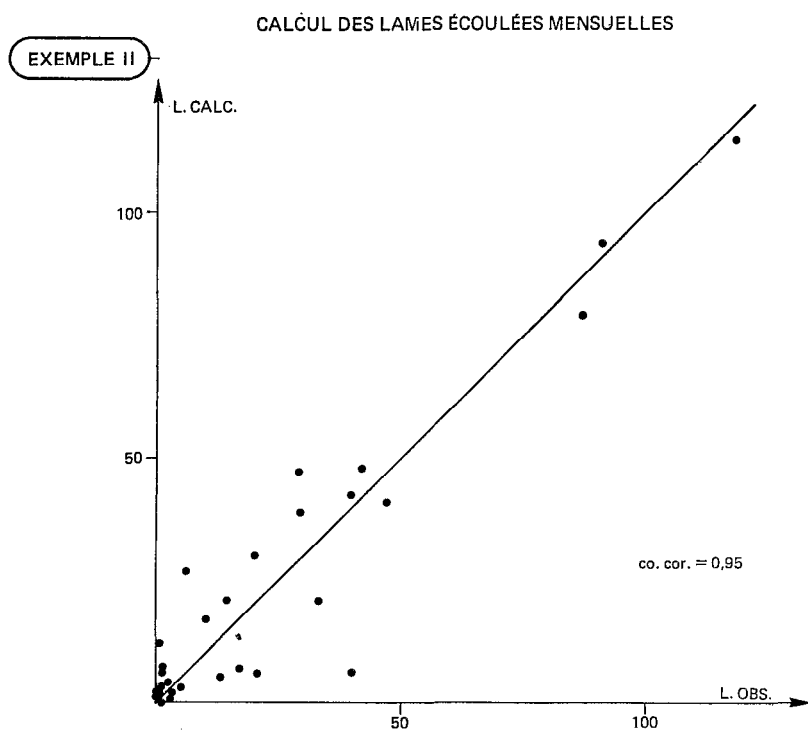
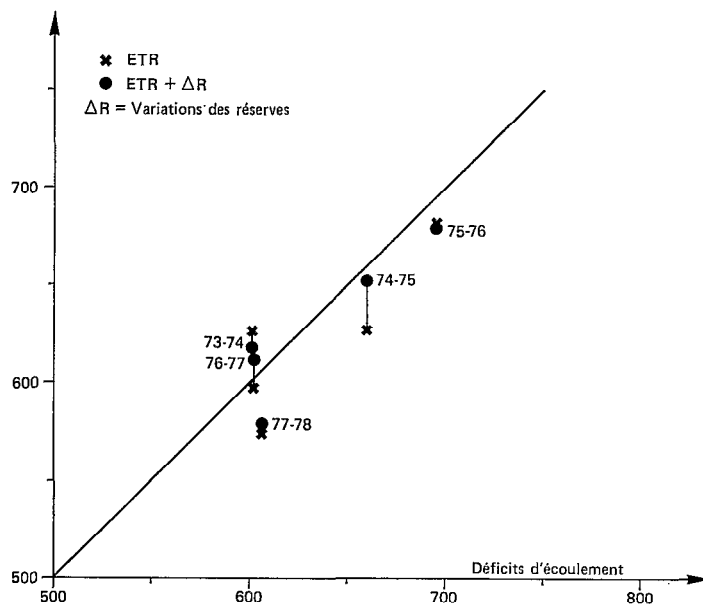


Fig. 11. — Bassin B.V.N. aval (nord Tunisie)
Bilan hydrologique (septembre 1973-août 1976)



a) Corrélation des couples mensuels (L. OBS. - L. CALC.)



b) Corrélations : Déficits annuels OBS. - CALC.

Fig. 12. — Bassin B.V.N. aval (Tunisie)

CALCUL DES LAMES ÉCOULÉES MENSUELLES

EXEMPLE III

RIVIERE PETITE PLAINE (Guadeloupe)

S = 8,8 km²
I_p = 0,392
Alt. moyenne : 455 m

SOLS

— Sols profonds ferrallitiques friables (oxysols)

VEGETATION

— Forêt humide et petites bananeraies

PARAMETRES D'ÉCOULEMENT

Coef. (%)	DEFMAX (mm)	PARTI (%)	PERMAX (mm)	AL 1/jours
1,00 *	150	0	160	0,018

* Rapportée à la valeur de 1 320 mm - Coef. varie avec l'altitude.

RESULTATS ANNUELS

Variables (mm)	1971-72	1972-73	1973-74	1974-75	1975-76	1976-77	1977-78
P	2 341	2 647	2 467	2 591	2 663	2 655	2 954
E.T.P.	1 320	1 320	1 320	1 320	1 320	1 320	1 320
E.T.R.	1 258	1 302	1 292	1 313	1 272	1 237	1 269
Ec. calc.	1 004	1 522	1 079	1 345	1 272	1 627	1 555
Ec. obs.	987	1 573	1 143	1 233	1 301	1 606	1 442
Def. ecoul.	1 354	1 074	1 324	1 358	1 362	1 049	1 512

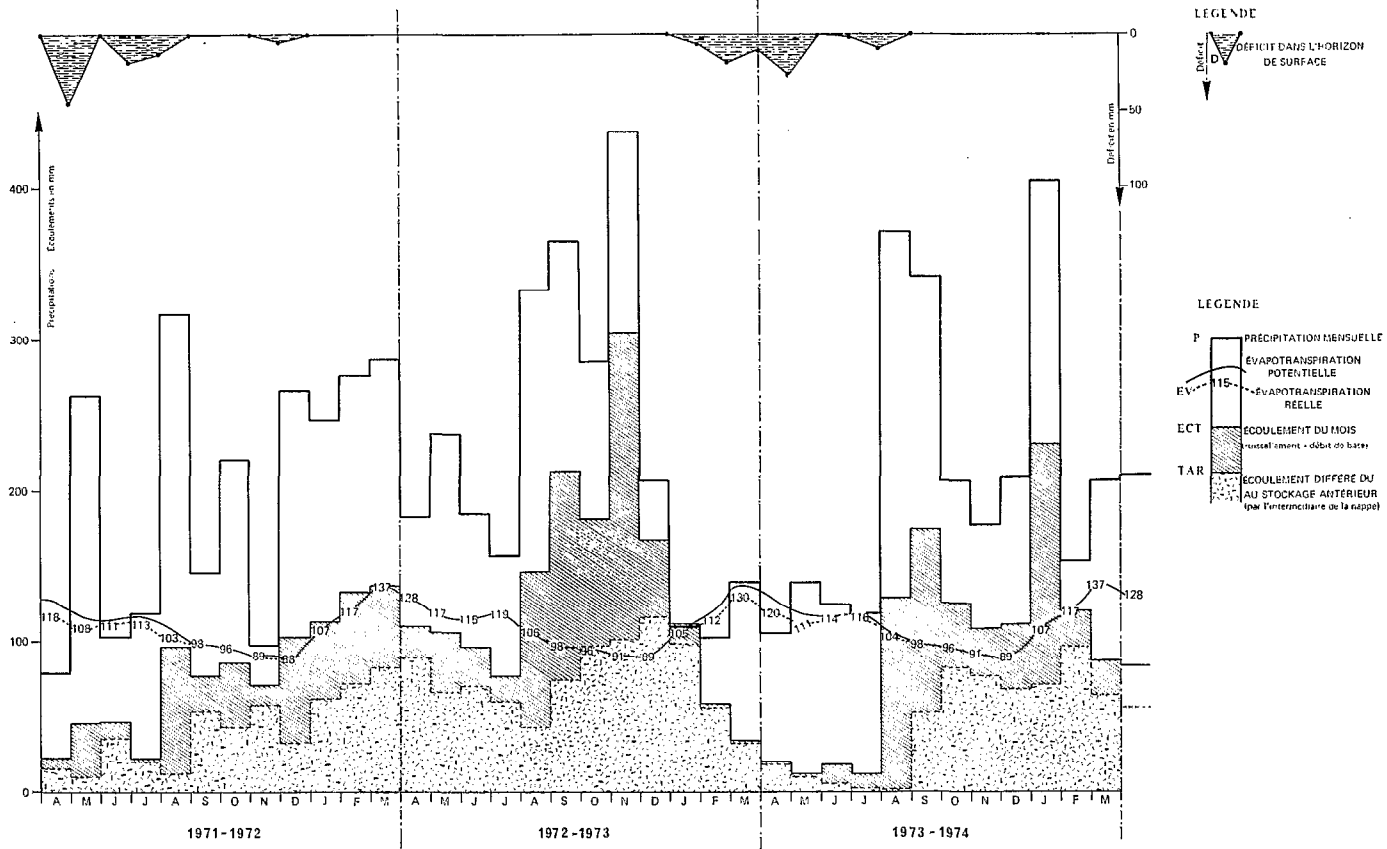
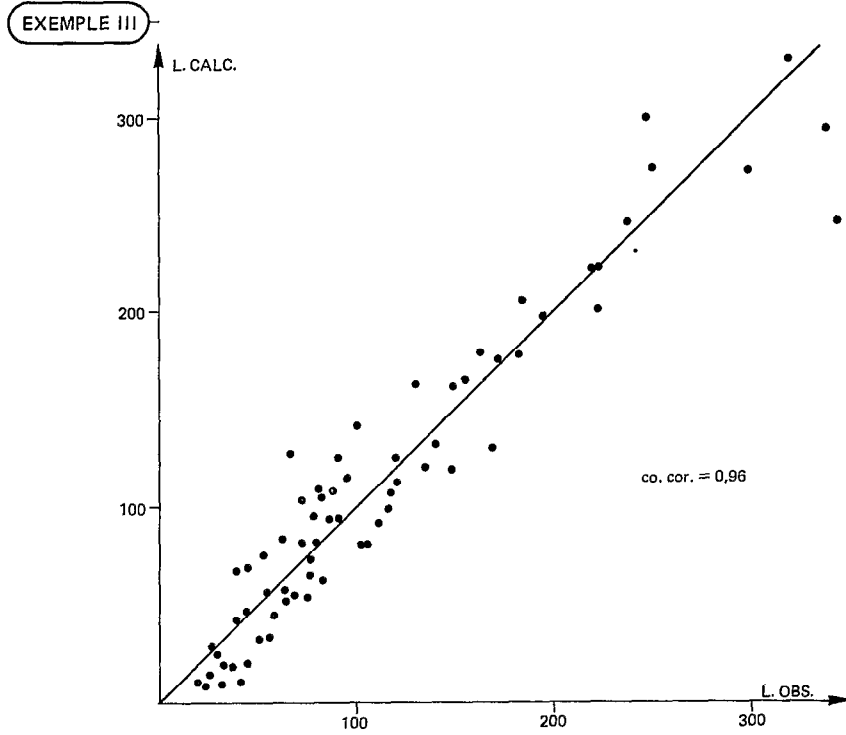
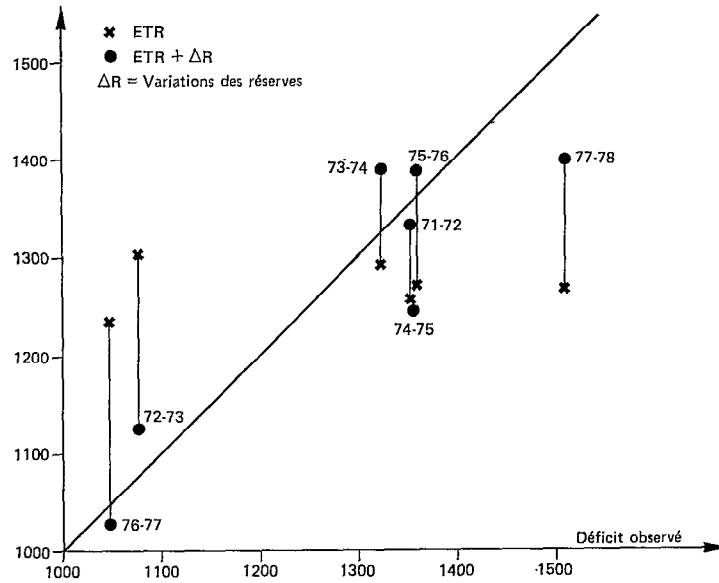


Fig. 13. — Rivière de Petite-Plaine (Guadeloupe)
 Bilan hydrologique (avril 1971-mars 1974)

CALCUL DES LAMES ÉCOULÉES MENSUELLES



a) Corrélation des couples mensuels (L. OBS. - L. CALC.)



b) Corrélation : Déficit observé - Déficit calculé

Fig. 14. — Bassin de Petite-Plaine (Guadeloupe)

CALCUL DES LAMES ÉCOULÉES MENSUELLES

EXEMPLE IV

BASSIN DE SAINTE MARIE (Guadeloupe)

S = 7,6 km²
 Ip = 0,281
 Alt. moyenne : 260 m

SOLS

- Sols à allophanes 20%
- Sols argileux - limoneux 30%
- Oxsols friables 50%

VEGETATION

- Forêt humide et grande bananeraie (irriguée)

PARAMETRES D'ECOULEMENT

Coef. (%)	DEFMAX (mm)	PARTI (%)	PERMAX (mm)	AL 1/jours
1,10	120	0	200	0,010

RESULTATS ANNUELS

Variables (mm)	1975	1976	1977	1978
P	2 415	2 423	2 825	2 573
IE	1 444	1 444	1 444	1 444
ER	1 339	1 386	1 248	1 348
EC.T	962	1 079	1 563	1 340
Ec. obs.	1 044	1 064	1 459	1 341
Def. ecoul.	1 371	1 359	1 366	1 232

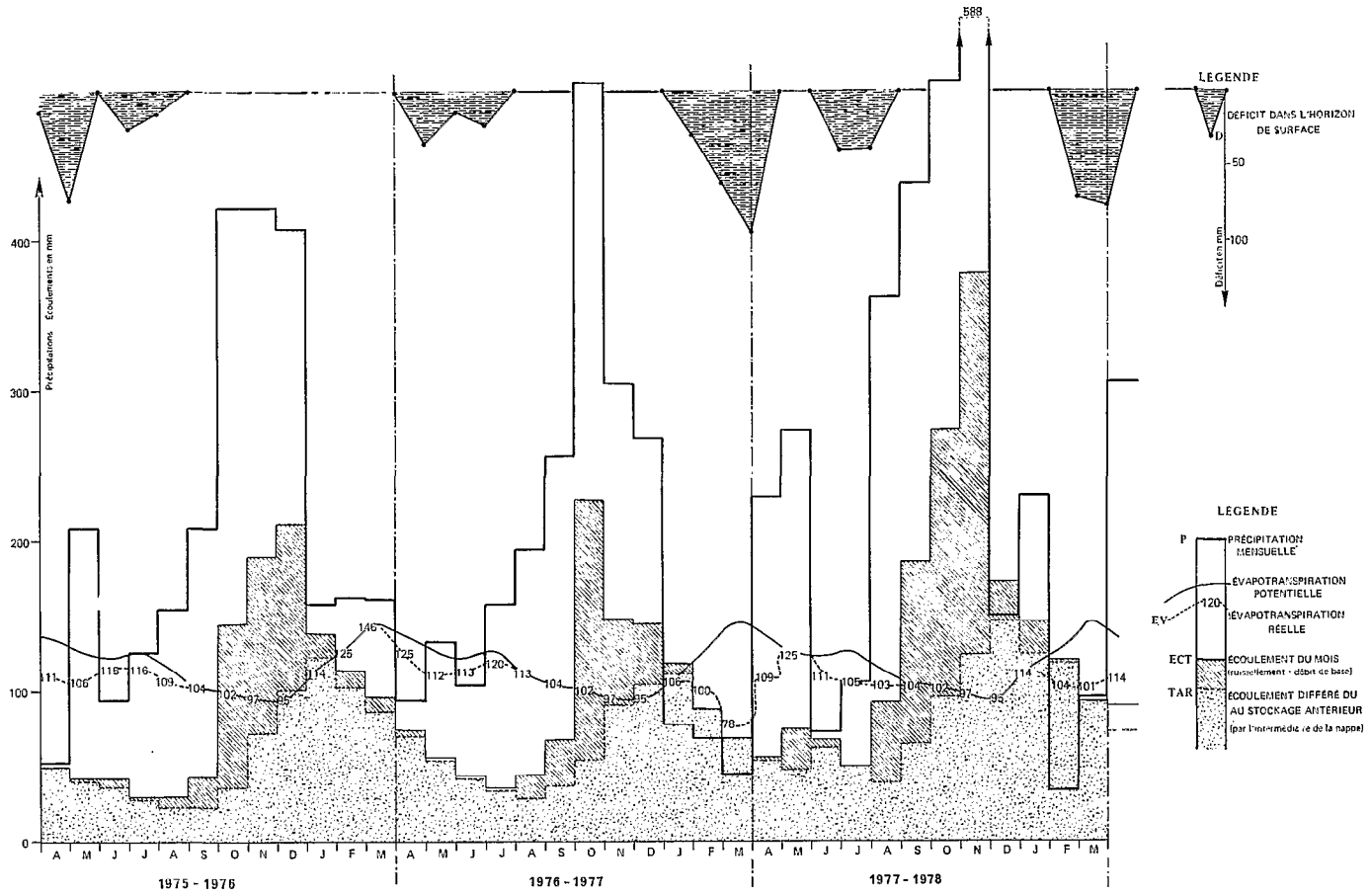
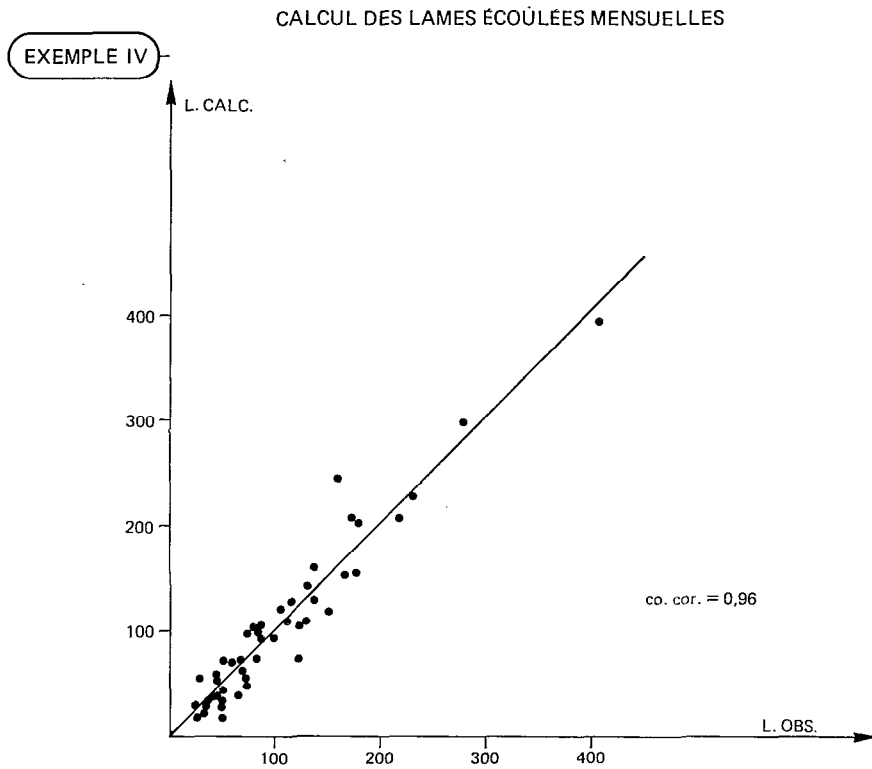
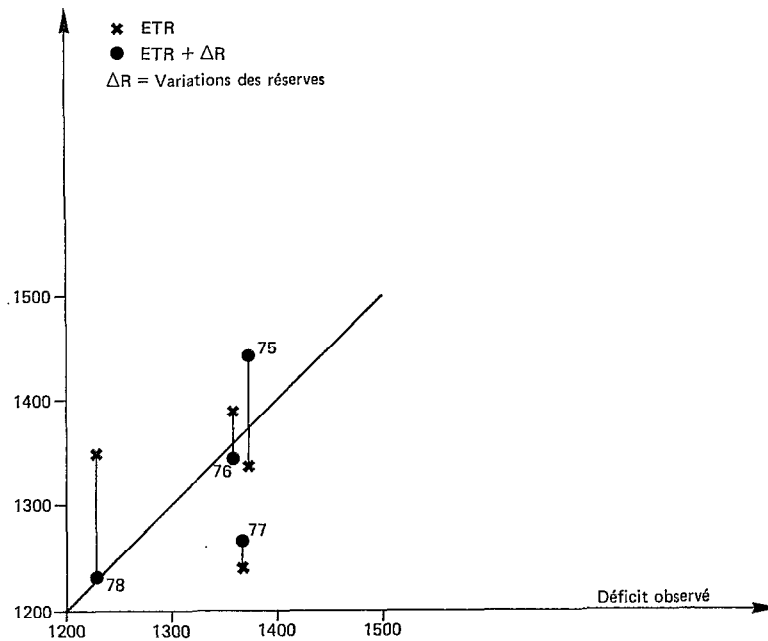


Fig. 15. — Rivière de Sainte-Marie (Guadeloupe).
Bilan hydrologique (avril 1975-mars 1978)



a) Corrélation des couples mensuels (L. OBS. - L. CALC.)



b) Corrélation : Déficit calculé - Déficit observé.

Fig. 16. — Rivière Sainte-Marie (Guadeloupe)

CALCUL DES LAMES ÉCOULÉES MENSUELLES

EXEMPLE V

BASSIN CAROLE (Martinique)

S = 1,46km²
I_p = 0,376
Alt. moyenne : 203 m

SOLS

— Argiles gonflantes avec fentes de retrait

VEGETATION

— Petite forêt sèche, broussailles

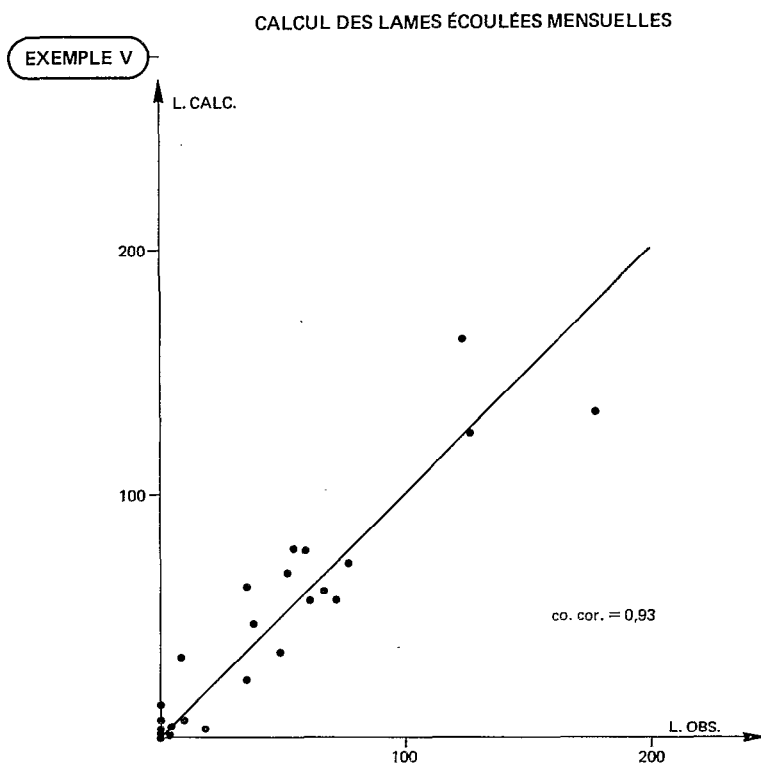
PARAMETRES D'ÉCOULEMENT

Coef. (%)	DEFMAX (mm)	PARTI (%)	PERMAX (mm)	AL 1/jours
1,10 *	120	100	10	

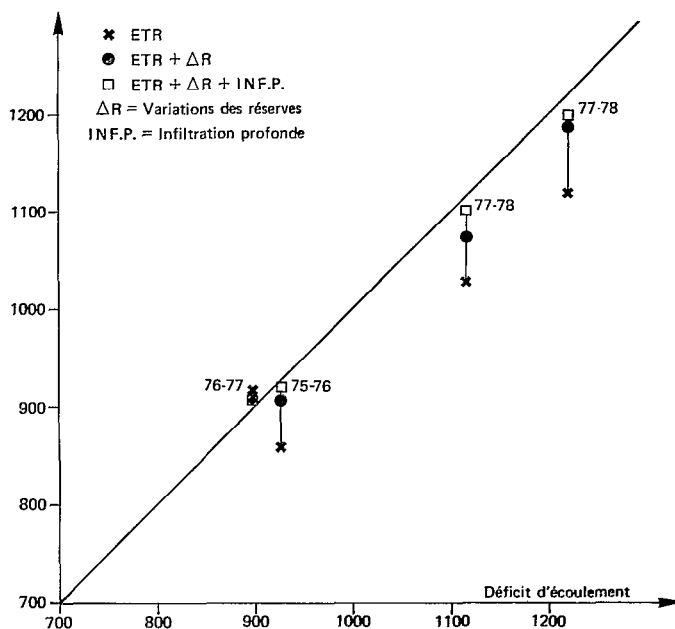
* Par rapport à E.T.P. régionale.

RESULTATS ANNUELS

Variables (mm)	1975-76	1976-77	1977-78	1978-79
P	1 193	1 220	1 408	1 433
E.T.P.	1 615	1 615	1 615	1 615
E.T.R.	860	914	1 033	1 120
Ec. calc.	272	313	308	241
Ec. obs.	267	321	293	214
Fuites	13	0	28	2
Def. ecoul.	926	899	1 115	1 219



a) Corrélation des couples mensuels (L. CALC. - L. OBS.)



b) Corrélation : Déficit calculé - Déficit observé

Fig. 17. — Bassin Carole (Martinique)

CALCUL DES LAMES ÉCOULÉES MENSUELLES

EXEMPLE VI

BASSIN VAL D'OR (Martinique)

S = 1,43 km²
Ip = 0,274
Alt. moyenne : 44 m

SOLS

— Ferrisols - sols ferrallitiques argileux

VEGETATION

— Savane, prairie humide 75%
— Forêt humide 15%
— Canne à sucre 10%

PARAMETRES D'ÉCOULEMENT

Coef. (%)	DEFMAX (mm)	PARTI (%)	PERMAX (mm)	AL 1/jours
1,17 *	120	100	70	(0,018)

Par rapport à E.T.P. régionale.

RESULTATS ANNUELS

Variables (mm)	1975-76	1976-77	1977-78
P	1 723	1 620	1 666
E.T.P.	1 718	1 718	1 718
E.T.R.	1 200	1 102	1 167
Ec. calc.	367	390	320
Ec. obs.	353	393	326
Fuites	149	148	142
Def. ecoul.	1 370	1 227	1 340

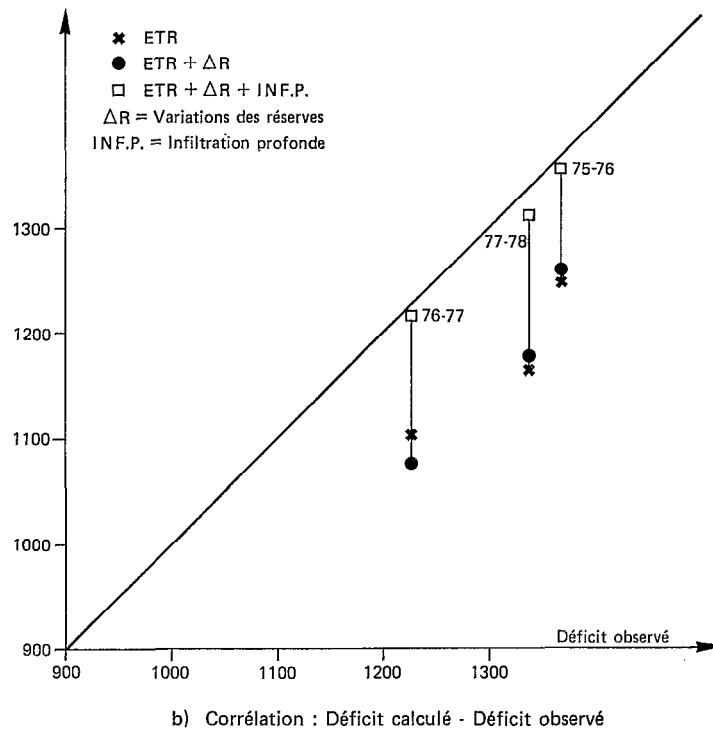
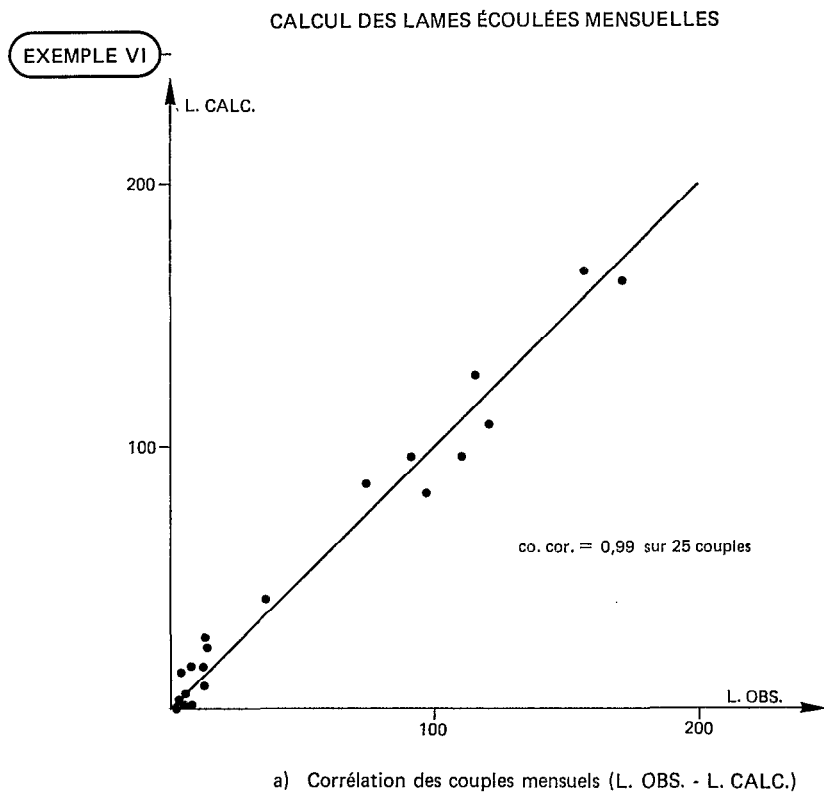


Fig. 18. — Bassin Val d'Or (Martinique)

8. APPLICATIONS

8.1. EVALUATION DE L'ETR

Le programme peut être utilisé à l'évaluation d'une valeur vraisemblable de l'ETR. Ce procédé, qui utilise accessoirement les données fournies par les bassins représentatifs étanches, semble laborieux mais n'est, à notre avis, pas superflu. L'évapotranspiration n'est habituellement connue qu'à travers les appareils qui la mesurent, et il ne semble pas inutile d'appuyer ces mesures par des estimations faites en milieu naturel, à partir des bilans hydrologiques.

L'ETR apparaît, dans cette approche, limitée par l'ETP pendant les mois excédentaires et valant à peu près les précipitations pendant les mois secs. Mais elle augmente également avec la valeur DEFMAX puisque l'eau stockée dans l'horizon végétal représente une disponibilité supplémentaire pour l'évaporation. Cette particularité est montrée sur le graphique 19, en faisant varier DEFMAX sur le BVN AVAL, sans modifier la valeur des autres paramètres.

8.2. EXTENSION DES DONNÉES HYDROMÉTRIQUES SUR UNE LONGUE DURÉE

On a obtenu en Guadeloupe des extensions acceptables des données hydrométriques dans des conditions où l'insuffisance des postes pluviométriques de longue durée ne permettait pas l'utilisation de techniques plus fines. On peut également obtenir de bons résultats sur des bassins de plus grande dimension comme, par exemple, à Madagascar sur le bassin de la Sahabe ($S = 900 \text{ km}^2$) qui fait partie du complexe du lac Alaotra.

8.3. VARIATIONS DES PARAMÈTRES

On a essayé de dégager quelques tendances de l'évolution des paramètres d'après les descriptions du sol ou de la végétation.

8.3.1. Paramètres de volume

a) COEF : calage de l'ETP du bassin

La valeur du COEF vaut 0,95 environ, lorsque les mesures d'ETP proviennent d'un bac enterré situé à l'intérieur du bassin.

C'est le cas des bassins de Tunisie BVN où on avait pu, en outre, éliminer la distorsion due à l'effet d'Oasis sur les mesures des mois secs, grâce à des corrélations entre les valeurs d'évaporation mesurées et les précipitations mensuelles.

Dans le cas le plus général, la valeur de l'ETP provient de sources moins fiables (Piche, bac classe A, etc.) et le coefficient COEF se réduit alors à un coefficient d'ajustement sans signification physique.

Il faut signaler également (Guadeloupe) une variation importante de l'évaporation en raison inverse de l'altitude.

b) DEFMAX

La dimension de l'horizon végétal DEFMAX représente la quantité d'eau disponible dans le sol pour la plante. Lorsque la densité de recouvrement est suffisante, elle traduit plus ou moins l'adaptation de la plante aux conditions climatiques, mais la nature du sol intervient sans doute également.

— La valeur de DEFMAX peut être prise de 100 à 120 mm dans les climats à saison sèche peu accentuée (cas de Petite Plaine, Sainte Marie). Ce paramètre intervient alors peu car la valeur du déficit dans le sol atteint rarement DEFMAX.

— Dans le cas d'une saison sèche fortement accentuée, il faut distinguer les bassins selon leur couverture en plantes annuelles (KORHOGO), ou pérennes (BVN Tunisie, AVAL).

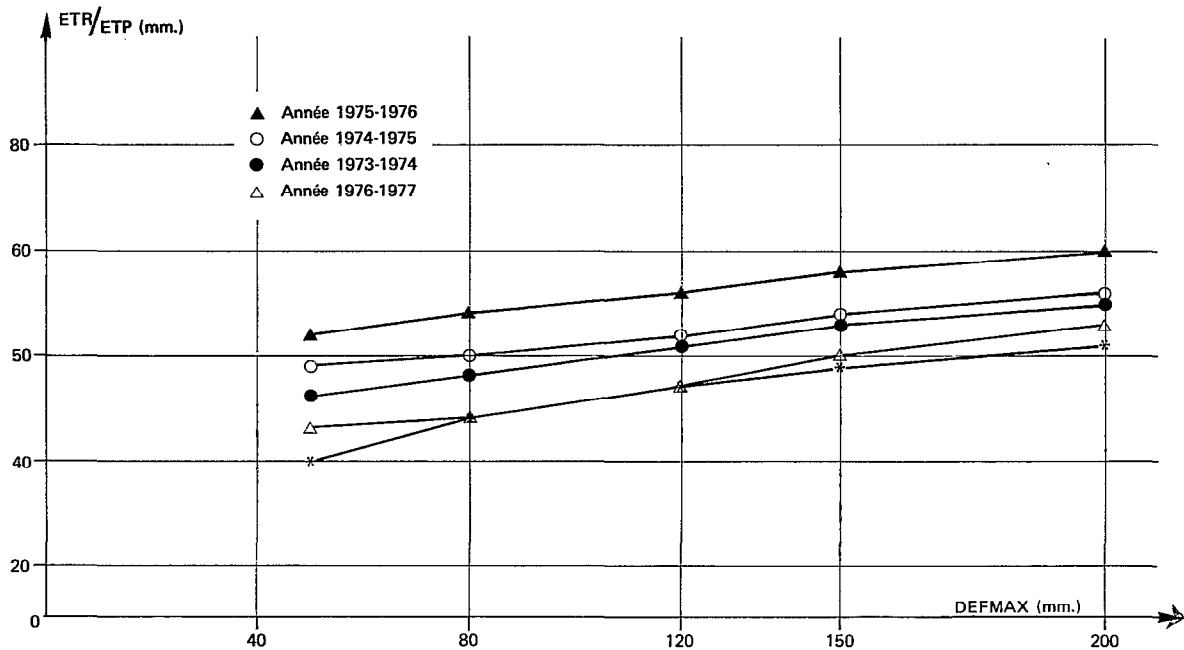


Fig. 19. — Simulation de l'ETR en situation réelle (site B.V.N. Tunisie)
Variations du rapport ETR/ETP en fonction de la capacité de l'horizon végétale DEFMAX.

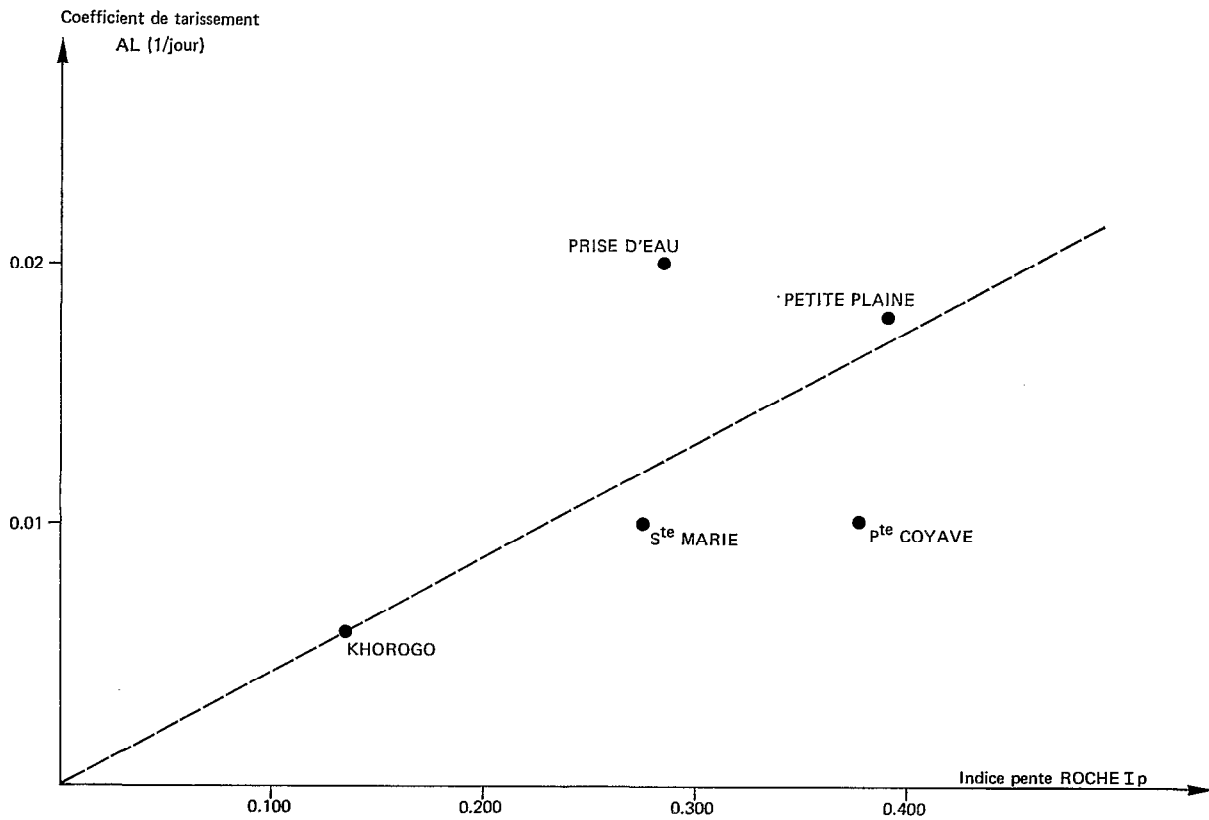


Fig. 20. — Corrélation entre coefficient de tarissement (AL) et indice de pente de Roche

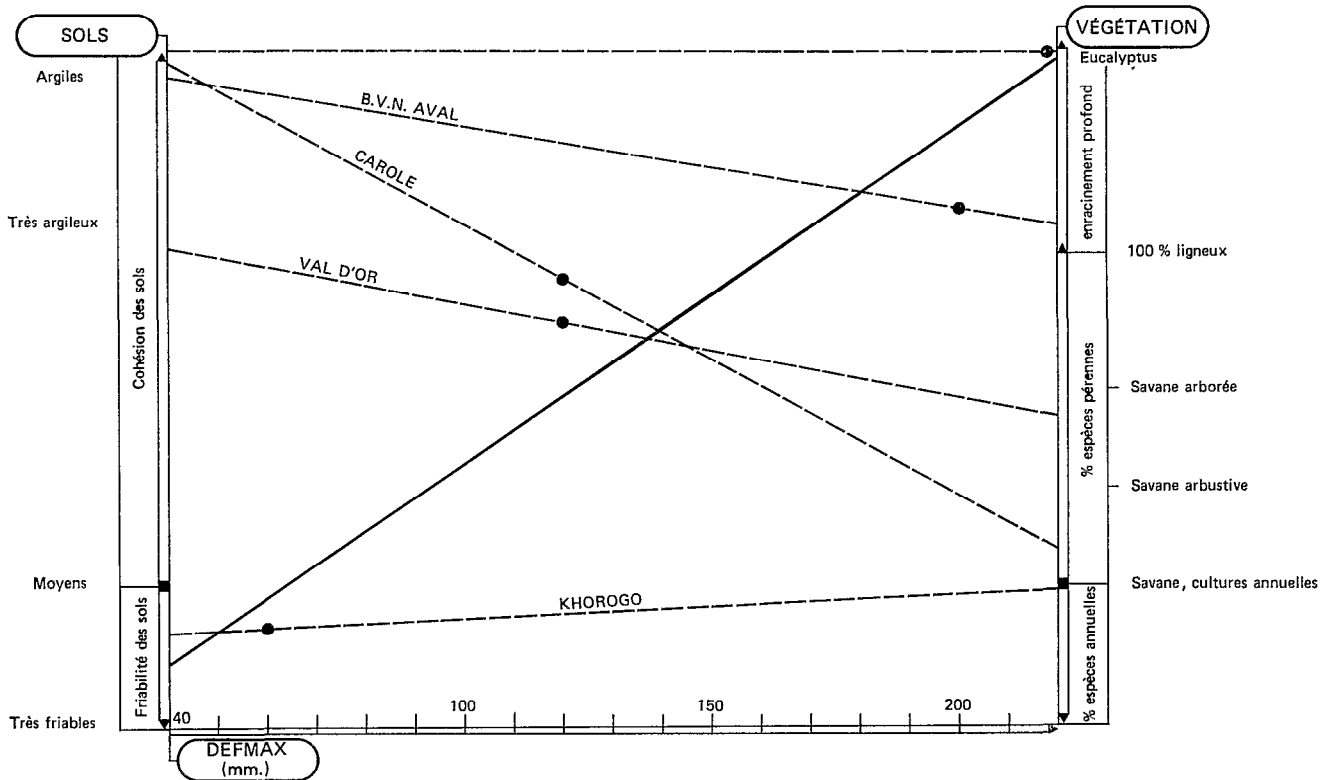


Fig. 21. — Variations de la dimension de l'horizon végétal DEFMAX en régime de saison sèche marquée

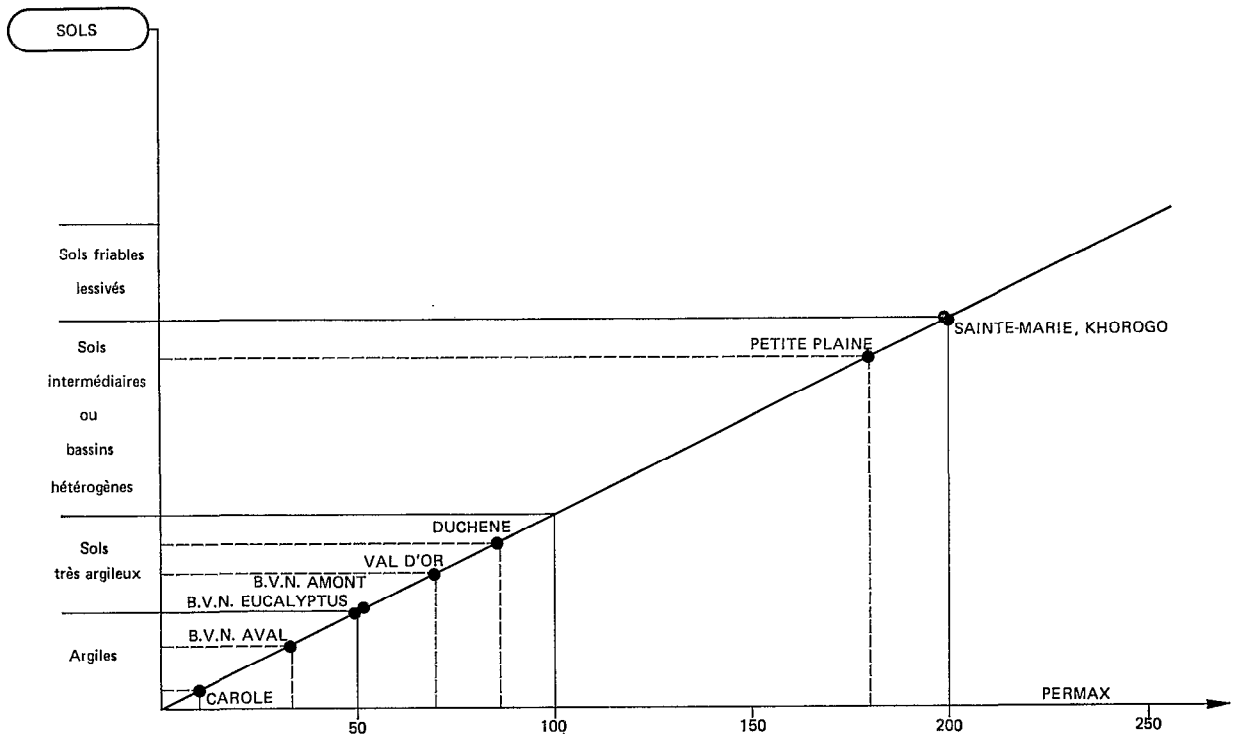


Fig. 22. — Variations du paramètre PERMAX.
(Perméabilité mensuelle maximale)

Ce dernier type de végétation exige, semble-t-il, un réservoir profond et se rencontre plus spécialement sur des terrains plus argileux (BVN AVAL, BVN EUCALYPTUS, Bassin VAL D'OR), peut-être parce que la capacité de rétention est plus élevée sur les argiles.

Sur les argiles gonflantes la végétation est, semble-t-il plus raréfiée (CAROLE, BVN ARGILE CALCAIRE), mais les fentes de retrait constituent un horizon végétal fictif capable d'intercepter l'eau des précipitations et de favoriser l'évaporation.

Les abaques de la figure 21 traduisent grossièrement ces variations.

8.3.2. Paramètre d'étalement

On range dans cette catégorie les paramètres PERMAX et AL parce qu'ils conditionnent la répartition des écoulements dans l'année, mais qu'ils interviennent peu sur la quantité d'écoulement produit.

a) PERMAX

Les valeurs de PERMAX sont liées à la perméabilité des sols en grand :

- Elles sont comprises entre 0 et 50 mm sur les bassins d'argiles pures (CAROLE, BVN Tunisie).
- Elles sont comprises entre 50 et 100 mm dans le cas des bassins qui sont encore très argileux (Val d'Or, Duchene).
- Pour des valeurs de PERMAX supérieures à 200 mm, la description des sols fait état de caractère de friabilité (Korhogo, Petite Plaine). Les sols les plus caractéristiques de ce type sont les sols ferrallitiques appauvris.

Les valeurs intermédiaires correspondent à des sols mixtes (Sainte Marie) ou à des bassins hétérogènes (Gachet). La figure 22 illustre cette tendance.

b) Tarissement de la nappe

On s'intéressera plus particulièrement à l'allure du tarissement sur les bassins qui ont des débits de base importants.

On a reporté les valeurs du paramètre AL en fonction des valeurs correspondantes de l'indice de pente de Roche (fig. 20). On distingue une vague liaison entre ces deux paramètres, mais la configuration naturelle des terrains joue également un certain rôle.

Les points hauts de la corrélation (Prise d'Eau, Petite Plaine) semblent correspondre à des nappes de type « topographiques » ou nappes perchées, alors que les bassins de Sainte Marie renferment des nappes de plaine ou de piémont permettant des tarissements soutenus.

Les informations dont on dispose actuellement ne permettent pas de précision complémentaire.

8.4. EVALUATION DES ÉCOULEMENTS MENSUELS

Les graphiques précédents permettent de donner aux paramètres hydrologiques des valeurs initiales en début de calage, d'après quelques indications cartographiques d'un bassin.

L'estimation des écoulements sur des bassins inconnus, à partir des précipitations, reste cependant une opération hasardeuse qui ne peut être entreprise que lorsque les composantes régionales sont très bien connues.

Les écoulements sont obtenus, en effet, selon un mécanisme plus ou moins complexe, par différence entre les précipitations et l'évaporation, et l'erreur faite sur ces écoulements est égale à la somme des erreurs faites sur les évaluations de ces deux termes.

Un calage sur quelques années d'observations hydrométriques est le plus souvent nécessaire.

L'utilisation du pas de temps mensuel est intéressante dans les problèmes de corrélation (pluie-écoulement) parce qu'elle permet, grâce à son approche globale, de conserver une plus grande souplesse de manipulation. Elle doit pouvoir donner satisfaction dans de nombreuses situations, avec des moyens de calculs réduits du type « informatique de bureau ».

CALCUL DES LAMES ÉCOULÉES MENSUELLES

EXEMPLE I - BASSIN DE KORHOGO (Côte d'Ivoire) - S = 3,63 km²

	Variables (mm)	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Total
62-63	P	121	81	187	76	344	391	149	64	0	8	27	34	1 482
	IE	152	116	111	115	115	74	70	87	96	116	132	155	1 339
	ER	93	82	95	100	100	74	70	78	34	8	27	46	807
	DEFC	60	32	34	0	29	0	0	0	19	53	53	54	
	EC 1	1	0	11	5	70	153	31	7	0	0	0	0	278
	TAR	8	7	6	12	10	31	52	52	44	37	31	26	
	ECT	9	7	17	17	80	184	83	59	44	37	31	26	594
	EC. OBS.	16	8	15	24	83	143	82	39	35	32	23	23	523
63-64	P	67	122	149	219	371	225	178	36	0	0	0	96	1 463
	IE	152	116	111	115	115	74	70	87	96	116	132	155	1 339
	ER	73	77	102	115	115	74	70	72	17	0	0	86	801
	DEFC	60	60	15	0	0	0	0	0	38	55	55	55	
	EC 1	1	1	8	26	98	52	34	5	0	0	0	0	225
	TAR	21	18	15	16	26	46	55	58	49	41	34	29	
	ECT	22	19	23	42	124	98	89	63	49	41	34	29	633
	EC. OBS.	21	22	24	40	117	93	80	51	38	29	22	24	561
64-65	P	93	166	177	271	269	256	110	124	58	49	12	42	1 627
	IE	152	116	111	115	115	74	70	87	96	116	132	155	1 339
	ER	92	92	111	115	115	74	70	87	83	74	12	55	980
	DEFC	46	45	0	0	0	0	0	0	0	29	54	54	
	EC 1	1	2	18	43	44	63	18	14	5	0	0	1	209
	TAR	24	20	21	25	39	50	61	55	50	42	35	29	
	ECT	25	22	39	68	83	113	79	69	55	42	35	30	660
	EC. OBS.	29	37	47	65	103	130	66	54	45	40	29	32	677
65-66	P	55	100	201	152	226	382	83	0	0	0	0	0	1 253
	IE	152	116	111	115	115	74	70	87	96	116	132	155	1 339
	ER	64	71	95	115	115	74	70	49	10	0	0	65	728
	DEFC	60	60	31	0	0	0	0	0	49	59	59	59	
	EC 1	0	0	15	14	28	144	17	0	0	0	0	0	218
	TAR	25	21	17	24	24	33	53	45	37	31	26	22	
	ECT	25	21	32	38	52	177	70	45	37	31	26	22	576
	EC. OBS.	28	27	41	40	68	144	75	46	32	25	19	19	564
66-67	P	107	161	126	68	520	305	220	26	0	0	13	71	1 617
	IE	152	116	111	115	115	74	70	87	96	116	132	155	1 339
	ER	87	96	111	98	98	74	70	69	12	0	13	76	804
	DEFC	60	40	0	0	34	0	0	0	45	57	57	57	
	EC 1	1	2	10	4	198	98	51	4	0	0	0	0	368
	TAR	18	15	17	15	12	39	55	62	52	44	37	31	397
	ECT	19	17	27	19	210	137	106	66	52	44	37	31	765
	EC. OBS.	19	25	23	19	241	128	139	72	50	41	25	24	806

CALCUL DES LAMES ÉCOULÉES MENSUELLES

EXEMPLE II - B.V.N. AVAL (Nord Tunisie) - S = 13,6 km²

	Variables (mm)	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Total
73-74	P	30	159	56	77	43	188	80	92	22	4	1	0	752
	IE	109	91	61	47	52	52	85	99	118	109	151	151	1 125
	ER	21	62	46	40	46	49	82	92	83	52	35	16	624
	DEFEC	180	171	81	73	40	44	0	25	27	88	136	170	
	EC 1	0	6	2	3	1	79	26	3	0	0	0	0	
	TAR	0	0	0	0	0	0	5	2	1	0	0	0	8
	ECT	0	6	2	3	1	79	31	5	1	0	0	0	128
	EC. OBS.	0	21	0	5	2	87	20	13	1	0	0	0	149
74-75	P	27	175	120	70	61	175	97	19	54	1	0	49	848
	IE	109	91	61	47	52	52	85	99	109	118	151	151	1 125
	ER	17	62	54	45	50	50	83	79	75	46	30	40	631
	DEFEC	186	177	72	12	10	16	0	17	77	99	144	174	
	EC 1	0	7	6	22	17	94	34	2	1	0	0	0	
	TAR	0	0	0	0	0	0	5	2	1	0	0	0	8
	ECT	0	7	6	22	17	94	39	4	2	0	0	0	191
	EC. OBS.	0	1	40	14	10	91	29	2	0	0	0	0	187
75-76	P	5	110	311	66	99	95	82	54	60	30	32	20	964
	IE	109	91	61	47	52	52	85	99	109	118	151	151	1 125
	ER	16	48	51	46	50	51	81	88	85	66	60	38	680
	DEFEC	165	177	118	0	12	2	5	22	58	84	120	148	
	EC	0	3	115	37	39	46	20	2	1	0	0	0	263
	TAR	0	0	0	10	4	2	1	0	0	0	0	0	17
	ECT	0	3	115	47	43	48	21	2	1	0	0	0	280
	EC. OBS.	0	1	118	29	40	42	33	3	3	1	0	0	270
76-77	P	32	224	199	92	76	36	24	60	25	17	0	20	805
	IE	109	91	61	47	52	52	85	99	109	118	151	151	1 125
	ER	28	70	59	46	50	49	68	74	59	43	29	24	599
	DEFEC	166	163	21	0	4	10	27	71	86	121	147	176	
	EC	0	11	102	54	33	5	1	1	0	0	0	0	207
	TAR	0	0	0	5	2	1	0	0	0	0	0	0	8
	ECT	0	11	102	59	35	6	1	1	0	0	0	0	215
	EC. OBS.	0	13	103	49	33	4	0	1	0	0	0	0	203
77-78	P	7	16	136	28	133	104	90	110	37	1	0	34	676
	IE	109	91	61	47	52	52	85	99	109	118	151	151	1 125
	ER	11	11	40	28	45	50	82	94	94	58	38	25	576
	DEFEC	180	184	179	91	92	12	1	19	15	72	130	168	
	EC	0	0	6	1	7	41	27	12	1	0	0	0	95
	TAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ECT	0	0	6	1	7	41	27	12	1	0	0	0	95
	EC. OBS.	0	0	1	0	17	46	6	0	0	0	0	0	70

CALCUL DES LAMES ÉCOULÉES MENSUELLES

EXEMPLE III - BASSIN DE PETITE PLAINE (Guadeloupe) - S = 8,8 km²

	Variables (mm)	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Tota annuel
71-72	P	76	255	99	115	307	140	213	94	258	238	268	278	2 341
	IE	128	117	115	119	106	98	96	91	89	107	117	137	1 320
	ER	100	102	111	111	103	98	96	89	87	107	117	137	1 258
	DEFC	50	73	0	19	16	0	0	0	5	0	0	0	
	EC	0	22	10	1	77	21	41	13	64	49	55	50	403
	TAR	75	43	48	28	16	54	41	55	32	59	70	80	601
	ECT	75	65	58	29	93	75	82	68	96	108	125	130	1 004
	EC. OBS.	34	82	68	36	112	56	72	44	77	117	120	169	987
72-73	P													
	IE	128	117	115	119	106	98	96	91	89	107	117	137	1 320
	ER	128	117	115	119	106	98	96	91	89	105	110	128	1 302
	DEFC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	21	
	EC	20	37	24	16	95	129	78	192	48	12	2	1	654
	TAR	85	62	67	56	39	72	94	98	113	95	55	32	868
	ECT	105	99	91	72	134	201	172	290	161	107	57	33	1 522
	EC. OBS.	81	113	96	71	140	223	172	339	149	80	54	55	1 573
73-74	P													
	IE	101	134	120	114	359	330	199	171	201	392	147	199	2 467
	ER	128	117	115	119	106	98	96	91	89	107	117	137	1 320
	DEFC	117	109	112	116	103	98	96	91	89	107	117	137	1 292
	EC	15	31	7	3	11	0	0	0	0	0	0	0	
	TAR	1	1	4	7	116	113	41	29	40	149	22	21	544
	ECT	18	11	6	3	2	52	80	75	65	68	94	61	535
	EC. OBS.	19	12	10	10	118	165	121	104	105	217	116	82	1 079
74-75	P	33	47	31	18	135	156	148	72	83	218	96	106	1 143
	IE	202	126	137	169	413	437	238	183	183	240	120	143	2 591
	ER	128	117	115	119	106	98	96	91	89	107	117	137	1 320
	DEFC	128	116	114	119	106	98	96	91	89	107	115	134	1 313
	EC	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
	TAR	25	13	13	19	165	202	61	34	34	48	13	6	633
	ECT	52	51	29	21	25	70	98	94	79	71	77	45	712
	EC. OBS.	77	64	42	40	190	272	159	128	113	119	90	51	1 345
75-76	P	88	54	45	33	153	266	159	118	86	116	56	59	1 233
	IE	32	184	116	103	267	241	420	273	402	155	225	245	2 665
	ER	128	117	115	119	106	98	96	91	89	107	117	137	1 320
	DEFC	107	102	113	113	102	98	96	91	89	107	117	137	1 272
	EC	2	76	0	7	17	0	0	0	0	0	0	0	
	TAR	0	2	10	1	53	54	184	84	175	28	35	36	662
	ECT	26	15	10	6	3	40	60	91	97	111	77	74	610
	EC. OBS.	26	17	20	7	56	94	244	175	272	139	112	110	1 772
76-77	P	30	46	32	23	69	86	237	171	299	100	121	87	1 301
	IE	116	130	199	203	370	367	433	284	348	59	56	90	2 655
	ER	128	117	115	119	106	98	96	91	89	107	117	137	1 320
	DEFC	124	113	114	119	106	98	96	91	89	99	90	98	1 237
	EC	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	44	78	
	TAR	10	1	27	28	132	141	199	91	132	11	0	1	773
	ECT	74	43	25	38	45	80	99	114	112	117	68	39	854
	EC. OBS.	84	44	52	66	177	221	298	205	244	128	68	40	1 627
77-78	P	81	58	66	77	182	223	246	184	344	68	39	38	1 606
	IE	243	149	77	144	421	387	414	452	187	190	87	203	2 954
	ER	128	117	115	119	106	98	96	91	89	107	117	137	1 320
	DEFC	109	117	108	110	105	98	96	91	89	107	110	129	1 269
	EC	87	0	0	36	3	0	0	0	0	0	0	29	
	TAR	9	15	7	2	170	160	183	221	45	29	9	12	862
	ECT	23	29	23	13	6	60	89	108	120	96	78	46	693
	EC. OBS.	32	44	30	15	178	220	272	329	165	125	87	58	1 555
	51	46	28	26	166	195	251	318	130	92	63	76	1 442	

CALCUL DES LAMES ÉCOULÉES MENSUELLES

EXEMPLE IV - BASSIN DE SAINTE MARIE (Guadeloupe) - S = 7,6 km²

	Variables	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total annuel
75	P	143	110	131	51	202	91	122	150	202	409	409	395	2 415
	IE	117	128	150	140	128	126	130	116	107	105	100	97	1 444
	ER	117	122	136	108	106	117	114	110	107	105	100	97	1 339
	DEFC	0	0	18	23	80	0	31	24	0	0	0	0	
	EC	11	7	1	0	2	6	1	4	24	135	146	138	475
	TAR	80	63	46	34	25	22	16	12	12	27	62	88	487
	ECT	91	70	47	34	27	28	17	16	36	162	208	226	962
	EC. OBS.	88	58	73	33	49	38	25	50	46	138	216	230	1 044
76	P	153	158	157	91	129	100	153	188	249	490	295	260	2 423
	IE	117	128	150	140	128	126	130	116	107	105	100	97	1 444
	ER	117	128	149	126	111	111	120	115	107	105	100	97	1 386
	DEFC	0	0	0	1	39	22	33	1	0	0	0	0	
	EC	20	13	9	4	1	1	1	18	39	203	73	51	433
	TAR	107	85	68	50	37	27	20	15	24	44	78	91	646
	ECT	127	98	77	54	38	28	21	33	63	247	151	142	1 079
	EC. OBS.	115	86	83	72	65	42	31	48	69	158	165	130	1 064
77	P	76	66	43	223	265	70	102	352	424	490	570	144	2 825
	IE	117	128	150	140	128	126	130	116	107	105	100	97	1 444
	ER	107	99	74	111	128	113	103	104	107	105	100	97	1 248
	DEFC	0	35	67	98	0	0	46	47	0	0	0	0	
	EC	7	0	0	2	35	5	1	67	147	208	285	29	786
	TAR	97	72	53	39	32	50	37	27	54	83	107	126	777
	ECT	104	72	53	41	67	55	38	94	201	291	392	155	1 563
	EC. OBS.	78	51	46	50	44	26	25	98	177	278	410	176	1 459
78	P	223	32	93	296	302	274	212	221	220	402	142	156	2 573
	IE	117	128	150	140	128	126	130	116	107	105	100	97	1 444
	ER	117	105	101	116	128	126	130	116	107	105	100	97	1 348
	DEFC	0	0	73	82	0	0	0	0	0	0	0	0	
	EC	27	3	1	19	49	41	22	27	30	130	21	18	388
	TAR	101	95	70	52	59	75	84	78	78	79	100	81	952
	ECT	128	98	71	71	108	116	106	105	108	209	121	99	1 340
	EC. OBS.	137	74	67	120	117	150	123	85	110	171	102	85	1 341

CALCUL DES LAMES ÉCOULÉES MENSUELLES

EXEMPLE V - BASSIN CAROLE (Martinique) - S = 1,46 km²

<i>Variables</i>	<i>Juil.</i>	<i>Août</i>	<i>Sept.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>	<i>Janv.</i>	<i>Fév.</i>	<i>Mars</i>	<i>Avril</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Total annuel</i>	
75-76	P	32	141	81	241	171	245	66	71	45	13	27	60	1 193
	IE	140	134	122	117	114	110	117	137	156	181	144	143	1 615
	ER	2	82	87	99	111	107	104	99	68	26	25	50	860
	DEFC	150	119	63	71	0	11	0	50	78	101	114	111	
	INF. P	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	13
	EC	0	3	1	56	71	126	14	1	0	0	0	0	272
	EC. OBS.	0	0	3	61	78	125	0	0	0	0	0	0	267
76-77	P	48	153	177	186	177	249	43	25	15	88	24	35	1 220
	IE	140	134	122	117	114	110	117	137	156	181	144	143	1 615
	ER	48	92	109	114	109	108	100	58	30	83	29	34	914
	DEFC	110	102	45	1	9	8	1	63	95	110	105	110	
	INF. P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EC	0	4	24	78	67	133	7	0	0	0	0	0	313
	EC. OBS.	0	4	35	54	51	177	0	0	0	0	0	0	321
77-78	P	59	266	148	299	147	64	53	24	76	61	94	117	1 408
	IE	140	134	122	117	114	110	117	137	156	181	144	143	1 615
	ER	50	105	117	112	109	94	82	49	75	68	78	94	1 033
	DEFC	109	100	0	17	0	15	46	75	100	100	107	92	
	INF. P	0	24	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	28
	EC	0	35	49	163	56	2	0	0	0	0	1	2	308
	EC. OBS.	0	62	35	124	71	0	0	0	0	0	0	1	293
78-79	P	159	210	123	173	189	69	18	29	145	39	55	224	1 433
	IE	140	134	122	117	114	110	117	137	156	181	144	143	1 615
	ER	110	125	114	109	110	97	63	44	102	83	51	112	1 120
	DEFC	71	26	1	24	6	6	42	87	101	61	104	101	
	INF. P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
	EC	4	60	33	46	78	9	0	0	2	0	0	9	241
	EC. OBS.	18	65	8	38	59	7	0	0	3	0	0	16	214

CALCUL DES LAMES ÉCOULÉES MENSUELLES

EXEMPLE VI - BASSIN VAL D'OR (Martinique) - S = 1,43 km²

<i>Variables</i>	<i>Avril</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juil.</i>	<i>Août</i>	<i>Sept.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>	<i>Janv.</i>	<i>Fév.</i>	<i>Mars</i>	<i>Total annuel</i>	
	P	43	55	84	52	231	119	286	259	297	125	92	80	1 723
	IE	193	153	152	149	142	129	125	121	117	125	146	166	1 718
	ER	66	47	77	55	111	123	119	121	117	121	125	118	1 200
75-76	DEFC	90	112	104	98	101	0	19	0	0	0	14	48	
	INF. P	0	0	0	0	13	0	46	42	48	0	0	0	149
	EC	0	0	0	0	5	16	96	96	129	24	1	0	367
	EC. OBS.	0	0	0	0	4	7	91	110	116	13	7	5	353
	P	31	44	99	93	179	173	256	276	334	64	39	32	1 620
	IE	193	153	152	149	142	129	125	121	117	125	148	166	1 718
	ER	58	39	85	90	106	122	125	121	117	110	81	48	1 102
76-77	DEFC	86	113	107	94	92	82	0	0	0	0	52	94	
	INF. P	0	0	0	0	0	11	40	45	52	0	0	0	148
	EC	0	0	0	0	3	16	86	109	162	14	0	0	390
	EC. OBS.	2	1	1	1	3	12	74	121	171	4	3	0	393
	P	99	58	60	84	266	188	351	234	71	88	41	126	1 666
	IE	193	153	152	149	142	129	125	121	117	125	148	166	1 718
	ER	98	54	58	77	113	129	125	121	106	98	81	107	1 167
77-78	DEFC	109	109	105	103	96	0	0	0	0	43	54	93	
	INF. P													
	EC	0	0	0	0	17	41	166	82	12	1	0	1	320
	EC. OBS.	1	2	0	0	13	36	157	97	8	3	2	7	326