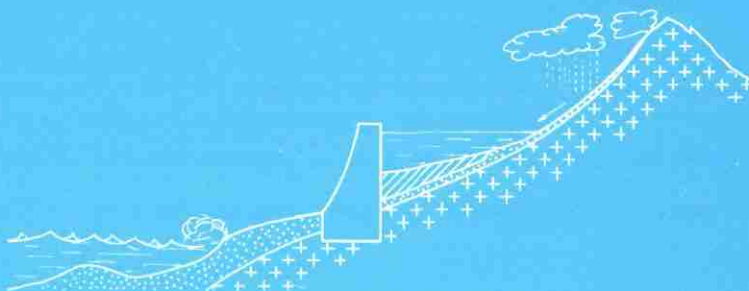


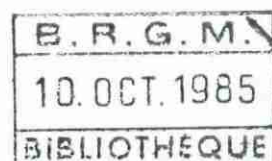


EROSION
TRANSPORTS SOLIDES
SEDIMENTATION



**ETUDE D'UN MODELE PLUIE-DEBIT
TYPE S.C.S. (SOIL CONSERVATION SERVICE)**

APPLICATION AU BASSIN VERSANT DE L'AILLE (VAR)



BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES
Département GEOLOGIE MARINE ET SEDIMENTOLOGIE DYNAMIQUE
ATELIER "SEDIMENTOLOGIE DYNAMIQUE"

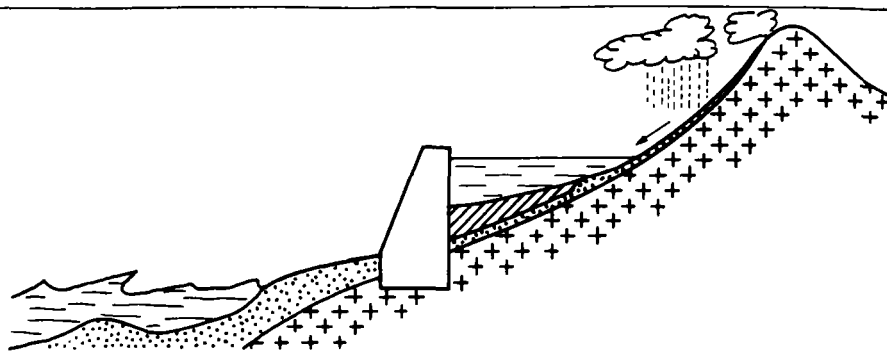
85 SGN 305 MAR



EROSION

TRANSPORTS SOLIDES

SEDIMENTATION



ETUDE D'UN MODELE PLUIE-DEBIT TYPE S.C.S. (SOIL CONSERVATION SERVICE)

APPLICATION AU BASSIN VERSANT DE L'AILLE (VAR)

par

Catherine CANE

**BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES
Département GEOLOGIE MARINE ET SEDIMENTOLOGIE DYNAMIQUE
ATELIER "SEDIMENTOLOGIE DYNAMIQUE"**

**Domaine de Luminy. R^{te} Léon Lachamp 13 009 Marseille
Tél. (91) 41.24.46. - Telex, BRGM 401 585 F**

ETUDE D'UN MODELE PLUIE-DEBIT
TYPE S.C.S. (SOIL CONSERVATION SERVICE)
- APPLICATION AU BASSIN VERSANT DE L'AILLE (Var) -
par Catherine CANE

85 SGN 305 MAR

juin 1985

R E S U M E

Le modèle "pluie-débit" présenté dans ce rapport a pour but de déterminer l'ensemble des écoulements superficiels et souterrains sur un bassin versant de grande taille, en utilisant un **pas de temps journalier**, afin d'obtenir des valeurs de **débits mensuels**.

Ce modèle, tout-à-fait empirique, est en fait une synthèse de trois modèles :

- * un modèle de ruissellement en zone rurale (modèle S.C.S. : Soil Conservation Service) ;
- * un modèle de ruissellement en zone urbaine (modèle STORM) ;
- * un modèle conceptuel de vidange de nappe, basé sur la conservation des volumes d'eau dans les zones saturées et non saturées du sol.

L'originalité de la méthode réside dans le découpage du bassin versant en mailles élémentaires, le calcul des débits étant effectué sur un échantillon de mailles tirées au hasard.

Ce modèle a donc été testé sur un bassin versant rural : le **bassin versant de l'Aille** (Var), d'une superficie de 230 km².

* *
*

A V A N T - P R O P O S

* *
*

Le présent rapport fait suite au stage de fin d'études de 3ème année, pour l'obtention du titre d'ingénieur des Sciences et technologies de l'eau de l'Institut des Sciences et Techniques de l'Ingénieur de Montpellier (I.S.I.M.), Université des Sciences et Techniques du Languedoc (U.S.T.L.).

Cette étude a été réalisée sous la direction de Monsieur R.E. QUÉLENNEC, chef de l'Atelier "Sédimentologie dynamique" du Bureau de recherches géologiques et minières (B.R.G.M.) à Marseille.

* *
*

S O M M A I R E

	<u>Page n°</u>
1. PRESENTATION DU MODELE	1
1.1. DONNEES DE BASE	2
1.1.1. PLUIE ET FONTE DES NEIGES	2
1.1.2. EVAPOTRANSPIRATION	3
1.2. MODELE DE RUISSELLEMENT EN ZONE RURALE	3
1.2.1. DETERMINATION DE LA RELATION PLUIE-DEBIT DE RUISSELLEMENT	3
1.2.2. DETERMINATION DU PARAMETRE DE RETENTION DU SOL W	6
1.2.3. MODELE UTILISE	8
1.2.4. DETERMINATION DE LA VALEUR DU COEFFICIENT CN	9
1.2.4.1. Détermination des groupes de sols	9
1.2.4.2. Caractéristiques de la couverture végétale	10
1.2.4.3. Recherche du coefficient CN	14
1.3. MODELE DE RUISSELLEMENT EN ZONE URBAINE	14
1.4. MODELE DE VIDANGE DE NAPPE	20
1.4.1. BILAN	21
1.4.2. FORMULATION DU MODELE	21
1.4.3. ESTIMATION DES PARAMETRES HYDROLOGIQUES DE L'AQUIFERE	22
2. PRESENTATION DU BASSIN VERSANT ETUDIE	24
2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE	24
2.2. SITUATION GEOLOGIQUE	24
2.2.1. BASSIN PERMIEN	27
2.2.2. SERIE TRIASO-LIASIQUE	27
2.2.3. MASSIF CRISTALLIN DES MAURES	27
2.2.4. TERRAINS ALLUVIAUX	28
2.2.5. REMARQUES TECTONIQUES	28
2.3. SYNTHESE PEDOLOGIQUE	29
2.3.1. GROUPE "D"	29
2.3.2. GROUPE "C"	29
2.3.3. GROUPE "B"	31
2.3.4. GROUPE "A"	31

	<u>Page n°</u>
2.4. CLIMATOLOGIE	31
2.4.1. TEMPERATURES	31
2.4.2. PRECIPITATIONS	32
2.4.3. EAVPOTRANSPIRATION	33
2.4.4. CONCLUSION	36
2.5. VEGETATION	36
2.6. RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET HYDROLOGIE	36
2.6.1. RESEAU HYDROGRAPHIQUE SUPERFICIEL	36
2.6.2. HYDROGEOLOGIE	37
2.6.3. APERCU HYDROLOGIQUE	38
 3. APPLICATION DU MODELE AU BASSIN VERSANT DE L'AILLE - RESULTATS	 40
3.1. DONNEES METEOROLOGIQUES UTILISEES	41
3.2. TECHNIQUE UTILISEE : MAILLAGE DU BASSIN VERSANT	41
3.3. DETERMINATION DES PARAMETRES CARACTERISTIQUES DE CHAQUE MAILLE	44
3.3.1. CAS DES ZONES URBAINES	44
3.3.2. CAS DES ZONES AGRICOLES	44
3.3.3. CAS DES ZONES FORESTIERES	45
3.3.4. DONNEES COMPLEMENTAIRES	45
3.4. PROGRAMME "DEBBY" (PLUIE-DEBIT) - CALCUL DES PRECIPITATIONS - CALCUL DES PARAMETRES DE L'AQUIFERE	46
3.4.1. CALCUL DES PRECIPITATIONS	46
3.4.2. DETERMINATION DES PARAMETRES DE L'AQUIFERE	48
3.5. MODELISATION DE L'ECOULEMENT SUR UN BASSIN VERSANT "TEST" DU REAL-COLLOBRIER	50
3.6. ETUDE DU BILAN ANNUEL	60
4. CONCLUSION	63
LISTE BIBLIOGRAPHIQUE	
LISTE DES FIGURES	

fig. 1 - Pluies-débits cumulés	5
fig. 2 - Courbes représentant la relation n° 11 $F = (P - I_a) - Q$	5
fig. 3 - Estimation de la formule n° 14 $I_a = 0,2 W$	7
fig. 4 - Détermination de CN II en zone forestière	15
fig. 5 - Bilan d'écoulement	20
fig. 6 - Carte de situation du bassin versant (réseaux pluviographique et limnigraphique)	25
fig. 7 - Carte géologique simplifiée	26

fig. 8 - Carte pédologique avec classification selon les groupes de sols	30
fig. 9a - Valeurs normales des hauteurs de précipitations 1/500.000	34
fig. 9b - Valeurs de précipitations mensuelles sur la station du Luc (Var)	35
fig. 10 - Précipitations mensuelles sur la station du Luc (Var) pour les années utilisées pour tester le modèle	42
fig. 11 - Calcul des précipitations en zone de plaine	47
fig. 12 - Comparaison "débits observés (lame d'eau) mensuels/Précipitations mensuelles sur le col des Fourches - Bassin versant de Vaubarnier - année 1975	52
fig. 13 - Valeurs des débits mensuels pour différents types de forêts - bassin versant de Vaubarnier	54
fig. 14 - Valeurs des débits mensuels pour différentes valeurs de CN II sur l'année 1975 - bassin versant de Vaubarnier	57
fig. 15 - Rétention totale = f (précipitations)	61

LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE 1 - Courbes représentant le débit ruisselé en fonction des hauteurs de pluie pour les différentes valeurs des coefficients CN
- ANNEXE 2 - Tableau représentant les coefficients d'écoulement annuels sur le bassin versant expérimental du Réal-Collobrier (Massif des Maures)
- ANNEXE 3 - Organigrammes des programmes MAILLE - AGRIFIC - TOTFIC - SELECT
- ANNEXE 4 - Sigles utilisés dans le programme FICMAL pour représenter les caractéristiques des mailles
- ANNEXE 5 - Organigramme du programme DEBBY
- ANNEXE 6 - Graphiques de la lame d'eau précipitée et écoulée sur le bassin versant de Vaubarnier (Massif des Maures) - pas de temps journalier
- ANNEXE 7 - Tableau des résultats sur le bassin versant de l'Aille.

* *
*



L'AILLE A L'EXUTOIRE "LE BAOU"

1. PRESENTATION DU MODELE

* *
*

Le modèle permettant d'obtenir des valeurs de débit en un point d'un cours d'eau, quatre types d'écoulement doivent être pris en compte :

- * le ruissellement sur surface liquide, qui a lieu lorsque les précipitations tombent sur un cours d'eau ou sur un plan d'eau. Ce ruissellement est le plus souvent négligeable ;

- * le ruissellement de surface, qui apparaît lorsque les précipitations sont supérieures au taux d'infiltration et qui disparaît peu après l'arrêt de l'averse ;

- * le ruissellement de subsurface (ou ruissellement hypodermique), qui a lieu lorsque les eaux d'infiltration rencontrent une surface imperméable et s'écoulent le long de celle-ci, jusqu'à réapparition au niveau d'un cours d'eau ;

- * les écoulements profonds, qui interviennent dans les zones aquifères.

Remarque : il est évident que l'importance relative de ces quatre formes d'écoulement va dépendre du climat.

On traitera séparément :

- * le ruissellement direct, combinaison des trois types de ruissellement nommés ci-dessus, en zone rurale (cf § 1.2.) ;

- * le ruissellement en zone urbaine (cf § 1.3.) ;

- * les écoulements profonds (cf § 1.4.).

1.1. DONNEES DE BASE

Les données météorologiques de base sont :

- * les précipitations journalières : $PR(t)$ en cm ;
- * les températures journalières : $T(t)$ en °C ;
- * l'insolation journalière moyenne : $D(t)$ en heures.

A partir de ces données, on pourra calculer les autres paramètres nécessaires à l'élaboration du modèle :

- * les hauteurs de pluie et de fonte des neiges ;
- * l'évapotranspiration ;
- * les paramètres hydrologiques du système aquifère :
 - la valeur de la constante de décharge de l'aquifère " r " ;
 - le potentiel initial en zone saturée.

Si ces données ne sont pas connues, elles pourront être estimées à partir des valeurs journalières de débit à l'exutoire du bassin versant. Il importe donc de connaître celles-ci durant une période antérieure à la période d'utilisation du modèle.

Le calcul de ces paramètres est précisé au chapitre 1.4.3.

1.1.1. Pluie et fonte des neiges

Le modèle amène à calculer la hauteur des précipitations liquides ; celle-ci sera donc égale aux précipitations lorsque la température est supérieure à zéro, auxquelles on ajoute une hauteur d'eau résultant de la fonte des neige éventuelle, soit :

$$1/ \quad R(t) = PR(t) \text{ pour } T(t) > 0$$

hauteur de pluie en cm

$$2/ \quad SN(t) = PR(t) \text{ pour } T(t) \leq 0$$

hauteur de neige en cm d'eau

Lorsque $T(t+1) \leq 0$, on aura :

$$3/ \quad SN(t+1) = SN(t) + PR(t+1)$$

Lorsque $T(t+1) > 0$, il y aura fonte des neiges et :

$$4/ \quad SN(t+1) = SN(t) - M(t+1)$$

$M(t)$ étant la hauteur d'eau issue de la fonte des neiges, exprimée en cm d'eau.

$M(t)$ est calculée par l'équation du "degree day" de Haith and Tubb (1981).

$$5/ \quad M(t) = \text{Min} \left\{ 0.45.T(t), SN(t) \right\}$$

On considère que pour chaque degré au-dessus de zéro, il fond l'équivalent de 0,45 cm d'eau.

1.1.2. Evapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle journalière est utilisée dans le calcul des débits de ruissellement urbain, ainsi que dans le modèle de décharge de nappe.

L'équation de Hamon (1961) exprime la valeur de l'évapotranspiration potentielle de la manière suivante :

$$6/ \quad E(t) = \frac{10.021 D(t)^2 \cdot es(t)}{T(t) + 22}$$

avec :

$D(t)$: insolation journalière moyenne sur le mois considéré, exprimée en heures d'ensoleillement ;

$es(t)$: valeur journalière de la pression de vapeur saturante (en mb) ;

$T(t)$: température journalière (en °C).

Lorsque $T \leq 0$, on aura $E(t) = 0$

Lorsque $0 < T < 25^\circ\text{C}$, on peut estimer la valeur de $es(t)$ par la formule suivante :

$$7/ \quad es(t) = 2.5 + 0.0392 \left\{ T(t) + 10 \right\}^{1.84}$$

1.2. MODELE DE RUISSELLEMENT EN ZONE RURALE

Ce modèle a été conçu par le Soil Conservation Services, afin d'être adapté à des bassins versants sur lesquels on ne possède que les données météorologiques de base. De même, les paramètres relatifs au bassin versant, nécessaires à l'utilisation du modèle, ne seront pas difficile à obtenir. Dans la relation pluie-débit utilisée, on négligera le temps comme variable explicite. L'intensité de la pluie ne sera donc pas prise en compte. Le temps n'interviendra que dans la notion du **pas de temps** qui est journalier, mais il ne sera pas pris en compte dans le **calcul du débit** sur ce pas de temps.

Le modèle Soil Conservation Services estime la valeur du ruissellement direct mais les proportions de ruissellement de surface et de subsurface ne seront pas précisées et le ruissellement sur les plans d'eau sera le plus souvent négligé.

1.2.1. Détermination de la relation pluie-débit de ruissellement

Lors d'un événement pluvieux, le ruissellement commence après l'accumulation d'une certaine quantité de pluie : ce sont les "pertes initiales au ruissellement". La courbe de double eumul devenant asymptotique à une droite sur papier arithmétique, on suppose une **relation linéaire** entre la pluie et le ruissellement (cf fig. 1).

$$P = k Q + \text{pertes initiales } (I_a)$$

On peut cependant mieux cerner cette relation en supposant, en premier abord, que la pluie et le ruissellement sont simultanés (on néglige donc les pertes initiales).

La relation entre la pluie, le ruissellement et la rétention pourra être exprimée de la façon suivante :

$$8/ \quad \frac{F}{S'} = \frac{Q}{P}$$

avec :

F : rétention réelle ;
 S' : rétention maximum potentielle ;
 Q : ruissellement réel ;
 P : ruissellement maximum potentiel.

Remarque : cette équation s'applique bien aux petits bassins versants où le "lag" est très court. Pour les grands bassins versants, il y a un temps de réponse non négligeable à l'apparition du ruissellement à l'exutoire.

Le paramètre S' ne tient pas compte des pertes au ruissellement et est constant pour une averse donnée sous les conditions existantes, si l'averse est considérée comme infinie.

La rétention F est définie comme étant la différence entre P et Q en chaque point de la ligne de cumul, soit :

$$9/ \quad F = P - Q$$

Des équations 8/ et 9/ on tire une équation pluie-ruissellement dans laquelle les pertes initiales Ia sont négligées :

$$10/ \quad Q = \frac{P^2}{P + S'}$$

Or, celles-ci correspondent à une fraction des précipitations qui n'interviendra pas par la suite dans le ruissellement. On peut donc les soustraire aux précipitations et l'équation 9/ devient :

$$11/ \quad F = (P - Ia) - Q \quad (\text{cf fig. 2})$$

et

$$12/ \quad W = S' + Ia$$

On aura donc :

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + (S' + Ia)}$$

soit :

$$13/ \quad Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P + W - Ia)}$$

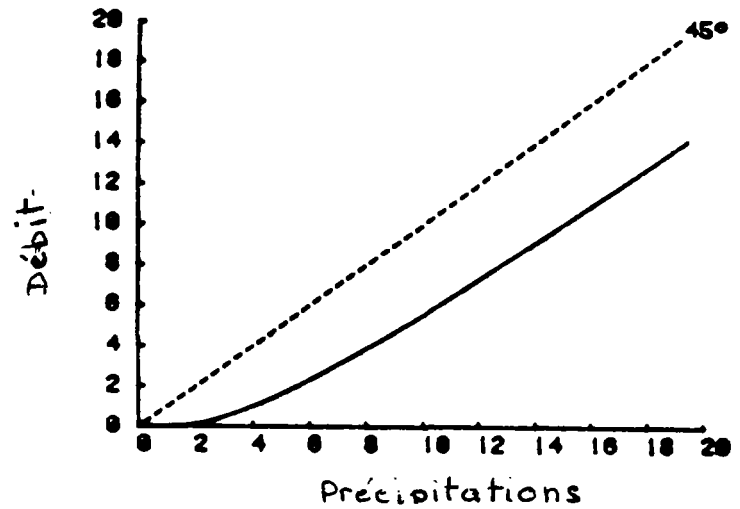


Figure 1 - Pluies-débits cumulés.

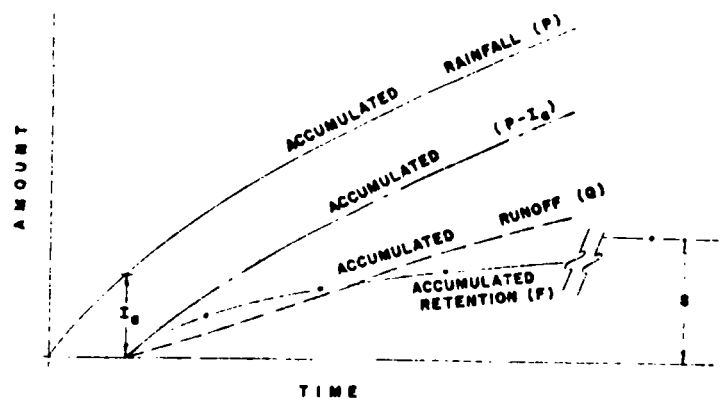


Figure 2 - Courbes représentant la relation n° 11

$$F = (P - I_a) - Q$$

W correspond donc à la rétention réelle qui comprend :

- * les pertes initiales I_a ;
- * la rétention maximale potentielle du sol (S) à partir du moment où il y a ruissellement.

Il reste maintenant à évaluer ces pertes initiales. Elles consistent principalement en :

- * interception,
- * infiltration,
- * stockage de surface,

qui interviennent avant le début du ruissellement. Des simulations sur petits bassins expérimentaux ont conduit à une relation empirique entre I_a et W (cf fig. 3) :

$$14/ \quad I_a = 0,2 W$$

On utilisera donc l'équation Soil Conservation Services :

$$15/ \quad Q = \frac{(P - 0,2 W)^2}{(P + 0,8 W)}$$

Remarque : il n'y aura écoulement que si les précipitations sont supérieures aux pertes initiales.

1.2.2. Détermination du paramètre de rétention du sol W

La formule 15/ montre qu'en moyenne, 20 % de la rétention maximale potentielle est constituée en pertes initiales. Les 80 % restants sont constitués principalement par l'infiltration lors du ruissellement ; celle-ci est contrôlée par la **vitesse d'infiltration** du sol, sa **transmissivité** et par sa **capacité au champ**, qui sont des facteurs limitants.

Lors d'une période pluvieuse assez longue, la valeur du paramètre de rétention va décroître progressivement. Effectivement, il va y avoir saturation du sol qui ne sera pas entièrement compensée par l'effet du vent, de l'évapotranspiration et du drainage, du fait des facteurs limitants. L'évolution de l'aptitude du sol à retenir l'eau dépend de la nature du complexe sol-couverture et de ses propriétés physiques.

Il existe des limites inférieure et supérieure au pouvoir de rétention du sol, pour un complexe sol-couverture donné.

Dans la méthode Soil Conservation Services, on utilisera de préférence un paramètre CN (curve number), correspondant à un coefficient de ruissellement, plutôt que W , difficile à déterminer. La transformation de W en CN s'effectue de la façon suivante :

$$16/ \quad W = \frac{1000}{CN} - 10$$

On utilisera CN lors d'études sur des opérations plus ou moins linéaires (telles un modèle simple pluie-débit), mais si l'on veut affiner l'analyse des débits, il conviendra de déterminer W de manière plus précise.

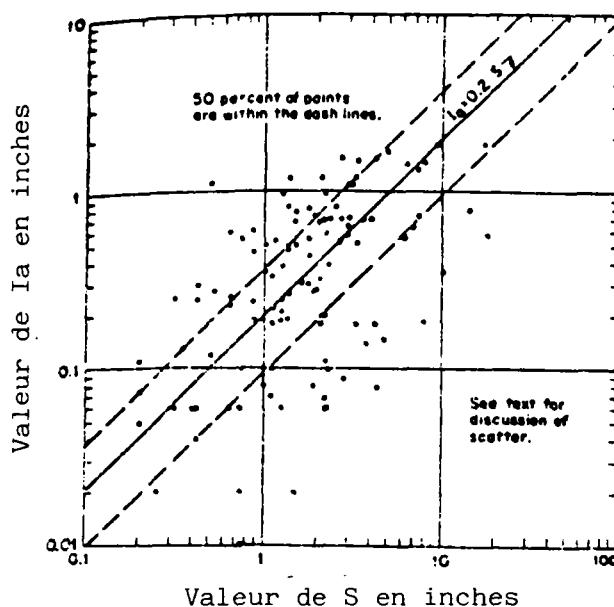


Figure 3 - Estimation de la formule n° 14 - $I_a = 0,2 W$

Remarque : I_a étant déterminé expérimentalement, d'après l'étude de différents épisodes pluvieux, les erreurs d'estimation de I_a se répercutent sur la valeur de W , donc sur la valeur de CN .

I_a a été défini comme étant la hauteur d'eau tombée avant le début du ruissellement.

Les erreurs d'estimation sont dues :

- * à la difficulté d'estimer les moments où il commence à pleuvoir ;
- * au "lag" du bassin versant ;
- * au fait qu'une partie de ces pertes initiales peuvent quand même participer au ruissellement avec retard.

L'évolution de la rétention est basée sur l'état hydrique du sol (AMC = antecédant moisture condition), mesurée par l'antécédent pluviométrique sur 5 jours.

Trois "niveaux de AMC" sont utilisés :

- * AMC I, correspondant à la limite supérieure de rétention, soit un **sol sec** ;
- * AMC II, représentant un état intermédiaire sol humide/sol non saturé ;
- * AMC III, correspondant à la saturation en eau du sol, donc à la limite inférieure de la capacité de rétention.

On utilisera AMC III après une longue période pluvieuse.

Les trois fonctions CNE (curve number equation) ont été tabulées par le Soil Conservation Services. (Cf annexe 1)

1.2.3. Modèle utilisé

Le calcul des débits se fait en appliquant la formule 15/, à un pas de temps journalier et pour une parcelle du bassin versant.

$$Q_k(t) = \frac{\{P_k(t) - 0,2 W_k(t)\}^2}{\{P_k(t) + 0,8 W_k(t)\}}$$

$P_k(t)$ sont les apports d'eau journaliers de la parcelle k, définis par $R_k(t) + M_t(t)$, (formules 1/ et 2/). On utilisera donc l'équation 15/ sous la forme :

$$17/ \quad Q_k(t) = \frac{\{R_k(t) + M_k(t) - 0,2 W_k(t)\}^2}{\{R_k(t) + M_k(t) + 0,8 W_k(t)\}}$$

$Q_k(t)$ et $W_k(t)$ sont exprimés en cm d'eau.

On a vu que :

$$W_k(t) = \frac{1000}{CN} - 10$$

En tenant compte des changements d'unité (inch en cm) :

$$W_k(t) = \frac{2500}{CN} - 25,4$$

On détermine l'état hydrique du sol par la relation :

$$18/ \quad A_k(t) = \sum_{t-6}^{t-1} R_k(j) + M_k(j) \quad \text{en cm d'eau}$$

Suivant les différentes valeurs de $A_k(t)$, les coefficients CN seront représentés par des fonctions différentes :

* pour la saison en sève, on prendra :

$CN_k(t) = CN\ I\ k$ pour $A_k(t) \leq 3,56\text{ cm}$, $AMCE = AMCI$

$CN_k(t) = CN\ II\ k$ pour $3,56\text{ cm} \leq A_k(t) \leq 5,33\text{ cm}$, $AMCE = AMCII$

$CN_k(t) = CN\ III\ k$ pour $A_k(t) > 5,33\text{ cm}$, $AMCE = AMCIII$

* pour la saison de latence :

$CN_k(t) = CN\ I\ k$ pour $A_k(t) \leq 1,27\text{ cm}$

$CN_k(t) = CN\ II\ k$ pour $1,27\text{ cm} < A_k(t) < 2,79\text{ cm}$

$CN_k(t) = CN\ III\ k$ pour $A_k(t) \geq 2,79\text{ cm}$.

Lors de la saison en sève, le ruissellement est limité par l'évapotranspiration.

La détermination du coefficient CN est décrite au chapitre 1.2.4

1.2.4. Détermination de la valeur du coefficient CN

Comme nous l'avons vu précédemment, le coefficient CN est fonction du complexe sol-couverture et a fait l'objet d'une tabulation par le Soil Conservation Services.

L'utilisation de ces tables nous amène à déterminer les caractéristiques du complexe sol-couverture pour chaque zone considérée.

Le Soil Conservation Services a divisé les régions rurales en deux parties présentant des réactions très différentes quant au phénomène de ruissellement :

* les zones agricoles, y compris les terrains en friche et les pâturages ;

* les zones de forêts et de maquis.

Dans les deux cas, il importe de connaître le comportement des sols vis-à-vis de l'eau. Le Soil conservation services a donc classé les sols en quatre groupes de sols (hydrologic soil groups).

1.2.4.1. Détermination des groupes de sols

Les propriétés intrinsèques du sol influencent le processus de ruissellement. Le paramètre physique pris en compte est "la vitesse minimum d'infiltration" obtenue pour **un sol nu** après une humidification prolongée. L'influence de la couverture végétale est traitée séparément (cf § 1.2.4.2.).

Deux phénomènes interviennent donc dans la classification :

* la vitesse d'infiltration, contrôlée par les conditions de surface ;

- * la transmissivité, qui régit les mouvements de l'eau dans le sol et est contrôlée par les horizons.

Les différents groupes de sols sont :

* *groupe "A"* : sols à faible potentiel de ruissellement. Les sols appartenant à ce groupe sont des sols de grande perméabilité, à vitesse d'infiltration rapide, même lorsqu'ils sont saturés. Relativement épais, ils sont généralement sableux ou graveleux. Ces sols possèdent le plus souvent une grande transmissivité ;

* *groupe "B"* : sols présentant une vitesse d'infiltration modérée et une transmissivité moyenne. D'épaisseur moyenne, ils ont, en général, une texture moyennement fine à grossière ;

* *groupe "C"* : sols à vitesse d'infiltration lente et de transmissivité faible. Ils sont souvent de faible épaisseur, limitant les mouvements d'eau et à texture assez fine à fine ;

* *groupe "D"* : sols à fort potentiel de ruissellement. Ce sont des sols à vitesse d'infiltration très lente et de transmissivité excessivement faible. Ils sont en général argileux, peu épais, reposant sur une couche imperméable et possèdent une nappe phréatique proche de la surface.

Remarque : cette classification semble très empirique et la détermination du groupe de sols nécessitera une connaissance de la pédologie de la région. En Amérique, plus de 4.000 sols ont été répertoriés selon cette classification et donc en fonction des mêmes critères. L'utilisation de cette classification dans une zone non répertoriée introduira sans doute une imprécision supplémentaire.

1.2.4.2. Caractéristiques de la couverture végétale

Trois paramètres ont été retenus afin de caractériser la couverture végétale :

- * le type de plantations ;
- * la pratique agricole ;
- * les conditions hydrologiques.

Toutes les formes de végétation sont prises en compte, y compris les résidus de récolte et les terrains en friche. Les surfaces imperméabilisées seront également considérées (toits et routes).

On distingue trois types de couverture végétale :

a) *les terres cultivées* : les différentes cultures ont été réparties en quatre classes :

- * les jachères : ce sont des terrains qui présentent le ruissellement potentiel le plus élevé car ils présentent une faible couverture végétale ;

* les cultures en rangées (maïs, tomates, vignes...) : cette classe comprend toutes les cultures plantées de façon espacée. Le sol présente donc une grande exposition à la pluie, encore accentuée en période de latence ;

* les céréales : cette classe comprend les cultures plantées en sillons serrés, de sorte que la surface du sol ne subit l'impact direct de la pluie que lors des semailles et peu après ;

* les légumes semés à la volée ou les cultures de rotation (luzerne, trèfle...). Le sol est donc bien protégé des effets de la pluie.

L'assolement présente l'intérêt de maintenir la fertilité du sol et de réduire l'érosion.

Les **conditions hydrologiques** vont être définies par la densité de la couverture végétale pour une rotation des sols donnée.

<u>Type de culture et assolement</u>	<u>Conditions hydrologiques</u>
Monoculture (maïs, céréales). Combinaison de culture en rangées de céréales et jachères	Faibles
Rotation comprenant des plantations de luzerne, trèfle.	
	Bonnes

On distinguera **trois pratiques agricoles** :

- les champs labourés en sillons rectilignes (straight row), sans qu'il soit tenu compte du relief et de la pente ;

- les champs labourés et cultivés **en suivant au maximum les courbes de niveau** (contouring) : les sillons sont alors perpendiculaires à la pente. Le stockage de l'eau dans les sillons favorise l'infiltration et prolonge ce phénomène. Cette pratique agricole freine également l'érosion des sols ;

Remarque : ces phénomènes seront fonction de la taille des sillons, mais aussi de la pente du terrain et de la nature des cultures.

- les cultures en terrasses : cette pratique agricole diminue la pente du terrain et favorise l'infiltration de l'eau dans les sillons et sur les terrasses. Elle diminue considérablement l'érosion des sols. Entre les terrasses, les sillons sont tracés perpendiculairement à la pente (comme défini au § précédent). Le ruissellement sera donc très réduit ;

Remarque : lorsque la pente est inférieure à 2 %, les pratiques de "contouring" et en "straight row" sont équivalentes.

b) *les prairies et prés* : on distingue deux classes :

* les pâturages naturels ou prairies : ils sont caractérisés par la densité de couverture et par l'intensité des pâtures. Celles-ci seront estimées visuellement et les conditions hydrologiques seront déduites du tableau n° 1.

Le tableau n° 2 offre une autre méthode d'évaluation des conditions hydrologiques. Les paramètres utilisés seront alors la densité de végétation et le **poids sec** de l'herbe et de la litière. Ce poids sec est déterminé par échantillonnage. La pratique de "contouring" est aussi utilisée lorsque la pente du terrain est importante.

<u>Conditions de végétation</u>	<u>Conditions hydrologiques</u>
Pâture importante : la couverture végétale recouvre moins de la moitié de la surface du sol.	Faibles
Pâture moyenne : la couverture végétale occupe de 1/2 à 1/3 de la surface du sol.	
Peu de pâture : le sol est couvert de végétation sur plus de 3/4 de sa surface	Moyennes

Tableau n° 1 - Classification des pâturages et prairies.

Densité de couverture (%)	Poids sec des plantes (t/ha)		
	moins de 1,25	de 1,25 à 3,75	plus de 3,75
Moins de 50	Faible	Faible	Moyenne
de 50 à 75	Faible	Moyenne	Moyenne
plus de 75	Moyenne	Moyenne	Bonne

Tableau n° 2 - Classification des pâturages et prairies par le poids sec.

* les prés : ce sont les champs sur lesquels l'herbe pousse continuellement et ne faisant pas office de pâturages. Ces champs sont généralement moissonnés ;

c) les bois et forêts

* les bois : sont considérés comme bois les petits bosquets d'arbres isolés dans les zones agricoles. Les conditions hydrologiques sont estimées visuellement et à l'aide du tableau n° 3 :

<u>Conditions de végétation</u>	<u>Conditions hydrologiques</u>
Régulièrement coupés ou brûlés, la litière , les petits arbres et buissons sont détruits. }	Faibles
Régulièrement coupés, mais pas brûlés, il peut y avoir une litière mais ces bois ne sont pas protégés. }	Moyennes
Bois protégés, pas de déboisement. Présence de litière et d'arbustes. }	Bonnes

Tableau n° 3 - Classification des bois.

* les forêts : dans les zones recouvertes de forêts domaniales ou commerciales, les conditions hydrologiques sont déterminées sur la base du "Forest and range hydrology Handbook" émis par le Forest service (US) en 1959. Les résultats du Forest service ont été adaptés à la méthode Soil conservation services.

On distinguera deux types de forêts :

- les forêts des **régions humides**, caractérisées par :

- . un groupe de sols,
- . l'humus (profondeur et nature).

Cette catégorie de forêts n'a pas été prise en compte dans ce modèle (réf. 8, chapitre 9) ;

- les forêts de **régions relativement sèches** (la région de référence est l'Ouest des Etats-Unis). Ces forêts sont divisées en quatre classes :

- . "herbacées" : végétation essentiellement herbacée ;
- . "chênes-Aspen" : cette classe est caractéristique des forêts de montagne et comprend des buissons et arbustes. Les maquis entrent dans cette catégorie ;
- . "genévriers-herbe" : forêts essentiellement composées de pins et genévriers, avec un sol herbeux ;
- . "sauge-herbe" : le type de végétation caractéristique est la sauge, avec un sol herbeux.

Le paramètre utilisé dans le modèle est la densité de recouvrement, exprimée en pourcentage. La litière est prise en compte dans l'estimation de ce paramètre.

1.2.4.3. Recherche du coefficient CN

Deux cas se présentent :

- * le cas des terrains agricoles ;
- * le cas des zones forestées.

Les terrains agricoles : les valeurs du coefficient CN sont tabulées pour des conditions d'humidité du sol de niveau II (AMC II). On lira donc dans ce tableau les valeurs de CN II (cf tableau n° 4).

Le tableau n° 5 permet de déterminer les valeurs de CN I et de CN III, connaissant CN II. Ce tableau a été établi d'après des résultats de simulations effectuées par le Soil conservation Services.

Les zones forestées : dans ce cas, la relation entre la valeur de CN II et les paramètres sol et végétation est donnée par des équations de droites de la forme :

$$CN II = a.D + b$$

D étant le pourcentage de recouvrement.

On aura une équation par couple "classe de forêt-groupe de sol" (cf fig. 4). De même que pour les terrains agricoles, les valeurs de CN I et de CN II sont données par le tableau n° 5.

1.3. MODELE DE RUISSELLEMENT EN ZONE URBAINE

Le modèle STORM conçu en 1977 par l'Hydrologic Engineering Center pour l'étude d'averses à un pas de temps, a été adapté ici au pas de temps journalier.

Les données nécessaires à l'utilisation de ce modèle sont relatives à la densité d'urbanisation.

On distinguera :

- * les zones résidentielles :
 - à faible densité,
 - moyennement denses,
 - très denses (habitats collectifs, centre de villes) ;
- * les zones industrielles ;
- * les zones commerciales.

Chacune de ces classes d'urbanisation sera caractérisée par un pourcentage d'imperméabilisation :

$$I_k = \frac{\text{surface imperméable}}{\text{surface totale}}$$

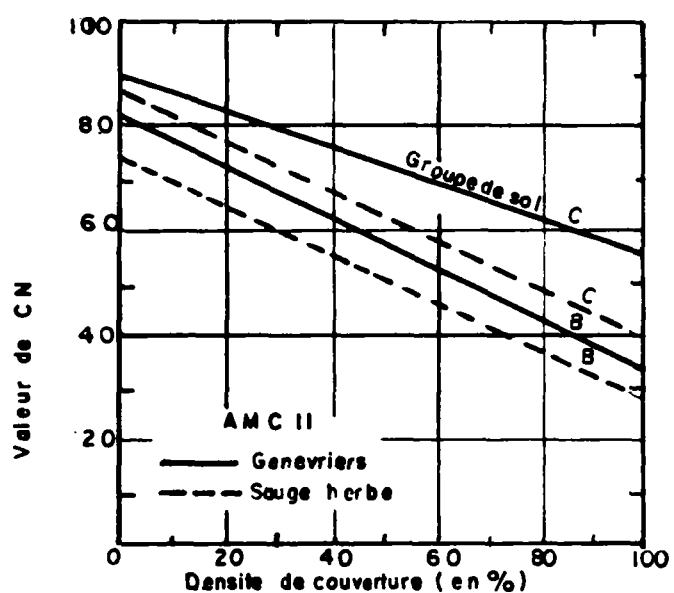
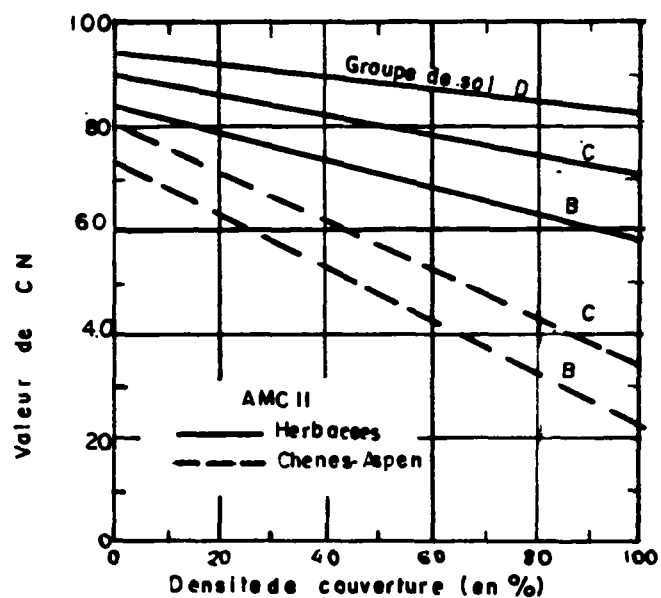


Figure 4 - Détermination de CN II en zone forestière.

Couverture végétale			Groupes de sols			
Végétation	Pratique agricole	Conditions hydrologiques	A	B	C	D
Jachère	"straight row"	-	77	86	91	94
Cultures en rangées	"straight row"	Faibles	72	81	88	91
	" "	Bonnes	67	78	85	89
	"contouring"	Faibles	70	79	84	88
	" "	Bonnes	65	75	82	86
	Terrasses	Faibles	66	74	80	82
	" "	Bonnes	62	71	78	81
Céréales	"straight row"	Faibles	65	76	84	88
	" "	Bonnes	63	75	83	87
	"contouring"	Faibles	63	74	82	85
	" "	Bonnes	61	73	81	84
	Terrasses	Faibles	61	72	79	82
	" "	Bonnes	59	70	78	81
Légumes semés "à la volée" et cultures de rotation	"straight row"	Faibles	66	77	85	89
	" "	Bonnes	58	72	81	85
	"contouring"	Faibles	64	75	83	85
	" "	Bonnes	55	69	78	83
	Terrasses	Faibles	63	73	80	83
	" "	Bonnes	51	67	76	80
Pâturages et prairies		Faibles	68	79	86	89
		Moyennes	49	69	79	84
		Bonnes	39	61	74	80
	"contouring"	Faibles	47	67	81	88
	" "	Moyennes	25	59	75	83
	" "	Bonnes	6	35	70	79
Prés		Bonnes	30	58	71	78
Bois		Faibles	45	66	77	83
		Moyennes	36	60	73	79
		Bonnes	25	55	70	77
Fermes			59	74	82	86
	Chemins de terre		72	82	87	89
	Routes goudronnées		74	84	90	92

Tableau n° 4 - Coefficients CN en fonction du complexe sol-couverture (conditions AMC II et $I_a = 0,2 W$).

CN II (AMC II)	CN I (AMC I)	CN III (AMC III)	CN I (AMC I)	CN II (AMC II)	CN III (AMC III)
100	100	100	60	40	78
99	97	100	59	39	77
98	94	99	58	38	76
97	91	99	57	37	75
96	89	99	56	36	75
95	87	98	55	35	74
94	85	98	54	34	73
93	83	98	53	33	72
92	81	97	52	32	71
91	80	97	51	31	70
90	78	96	50	31	70
89	76	96	49	30	69
88	75	95	48	29	68
87	73	95	47	28	67
86	72	94	46	27	66
85	70	94	45	26	65
84	68	93	44	25	64
83	67	93	43	25	63
82	66	92	42	24	62
81	64	92	41	23	61
80	63	91	40	22	60
79	62	91	39	21	59
78	60	90	38	21	58
77	59	89	37	20	57
76	58	89	36	19	56
75	57	88	35	18	55
74	55	88	34	18	54
73	54	87	33	17	53
72	53	86	32	16	52
71	52	86	31	16	51
70	51	85	30	15	50
69	50	84			
68	48	84	25	12	43
67	47	83	20	9	37
66	46	82	15	6	30
65	45	82	10	4	22
64	44	81	5	2	13
63	43	80	0	0	0
62	42	79			
61	41	78			

Tableau n° 5 - Coefficient CN pour les 3 niveaux de conditions d'humidité.
(Ia = 0,2 W)

La formule donnant le ruissellement pour une parcelle k à un jour t est la suivante :

$$19/ \quad Q_k(t) = C_k \left\{ R(t) + M(t) - D_{Sk}(t) \right\}$$

R(t) et M(t) sont les paramètres pluies et fonte de neige (donnés en cm), définis au chapitre 1.1.1.

Le coefficient de ruissellement Ck est une combinaison de deux coefficients Ci et Cp, caractéristiques respectivement des zones imperméables et perméables.

$$20/ \quad C_k = C_i I_k + C_p (1 - I_k)$$

DSk(t) représente le stockage dépressionnaire exprimé en cm au début du jour t. La capacité de rétention du sol évoluant durant une période pluvieuse, il en sera de même pour DSk(t), qui sera limité par une valeur maximale DSk*.

De même que Ck, DSk* est une combinaison de deux coefficients de stockage maximum relatifs aux zones perméables et imperméables : Cp et Ci.

$$21/ \quad D_{Sk}^* = d_i I_k + d_p (1 - I_k)$$

Remarque : la valeur de DSk(t) augmente avec l'évapotranspiration et diminue lors de précipitations ou de fonte des neiges.

Cette variable sera donc définie par récurrence :

$$22/ \quad D_{Sk}(t+1) = D_{Sk}(t) + E(t) - \left\{ R(t) + M(t) \right\}$$

E étant l'évapotranspiration au jour t (cf chapitre 1.1.2.).

Cette équation traduit le bilan hydrologique en zone urbaine, or :

$$23/ \quad 0 \leq D_{Sk}(t+1) \leq D_{Sk}^*$$

Il faudra donc réajuster DSk(t+1) lorsque sa valeur dépasse les limites données dans la formule 23/.

Les coefficients de ruissellement et de stockage dépressionnaire peuvent être calculés par calage du modèle.

On peut également utiliser les valeurs suivantes, données par l'U.S. Environmental Protection Agency's Stormwater Management Model (SWMM), en 1976 :

$$\left. \begin{array}{l} C_p = 0,15 \\ C_i = 0,90 \end{array} \right\} \quad \text{et} \quad \left. \begin{array}{l} d_p = 0,60 \\ d_i = 0,15 \end{array} \right\}$$

Remarque : lors de cette étude, nous avons pris comme valeurs de Ik, les valeurs données pour la formule de "Caquot" dans la circulaire générale parue en 1977 sur "l'assainissement en zone urbaine". Ces valeurs sont données par le tableau n° 6.

* Habitations très denses	0,9
* Habitations denses	0,6 - 0,7
* Habitations moins denses	0,4 - 0,5
* Quartiers résidentiels	0,2 - 0,3

* Surfaces totalement imperméabilisées	0,9
* Pavage à larges joints	0,6
* Voies en macadam non goudronnées	0,35
* Allées de graviers	0,2
* Surfaces boisées	0,05

Tableau n° 6 - Tableau des valeurs du coefficient de ruissellement "C", issues du modèle de Caquot, "C" correspondant au rapport de la surface imperméabilisée sur la surface totale.

1.4. MODELE DE VIDANGE DE NAPPE

Le débit des écoulements souterrains est défini comme étant le débit du cours d'eau auquel on soustrait le ruissellement de surface.

Ces écoulements souterrains sont constitués par l'eau provenant de la vidange des nappes et par les sources ponctuelles. Cette vidange de l'aquifère est fonction de la saturation des sols et, par conséquent, elle varie énormément avec les conditions hydrologiques.

Les sols du bassin versant sont divisés en zones saturée et insaturée, les écoulements se faisant de la zone saturée vers le cours d'eau.

Si les sources ponctuelles sont petites devant le débit d'écoulement des nappes, le débit total du cours d'eau s'écrira :

$$24/ \quad F(t) = Q(t) + G(t)$$

avec :

$Q(t)$ = ruissellement,

$G(t)$ = écoulements de vidange de nappe.

Le modèle est schématisé par la fig. n° 5.

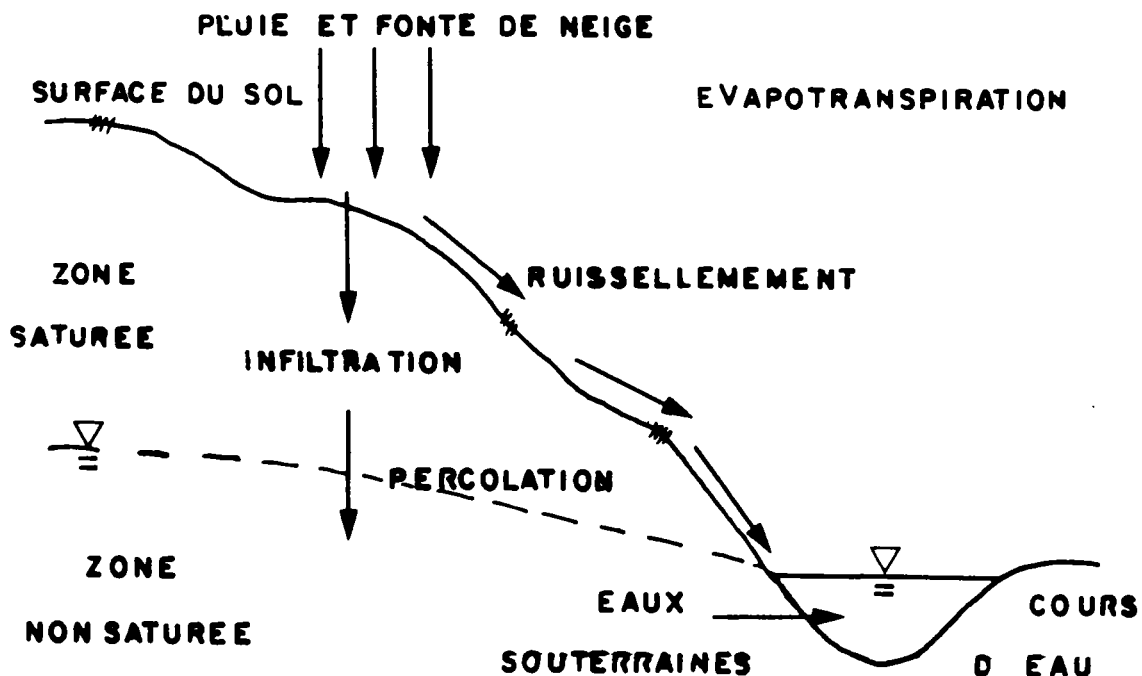


Fig. 5 - Bilan d'écoulement

1.4.1. Bilan

Dans la **zone non saturée**, l'infiltration est donnée par la formule :

$$25/ \quad I(t) = R(t) + M(t) - Q(t)$$

Le bilan sera donc le suivant :

$$26/ \quad U(t+1) = U(t) + I(t) - E(t) - P(t)$$

$U(t)$ est défini comme la quantité d'eau (en cm) contenue dans la zone non saturée au début du jour t . Ce paramètre est donc défini de manière récurrente.

$P(t)$ représente la percolation evrs la zone saturée au jour t (en cm).

Il y aura percolation lorsque la teneur en eau du sol excèdera la capacité au champ.

Afin d'éviter la détermination d'une capacité au champ "équivalente" pour l'ensemble des sols du bassin versant, $U(t)$ est initialisé à zéro pour la valeur de la capacité au champ.

La percolation sera prise en compte lorsque la valeur de $U(t)$ sera supérieure à zéro. On peut exprimer ceci de la façon suivante :

$$27/ \quad P(t) = \text{Max} \left\{ 0, U(t) + I(t) - E(t) \right\}$$

Dans la zone **non saturée** le bilan s'écrit :

$$28/ \quad S(t+1) = S(t) + P(t) - G(t)$$

$S(t)$ est la teneur en eau du sol non saturé au début du jour t .

1.4.2. Formulation du modèle

Ce modèle de vidange de nappe est équivalent à la vidange d'un simple réservoir linéaire. C'est donc un modèle conceptuel, basé sur les paramètres présentés sur le fig. n° 5.

L'équation de base est :

$$29/ \quad G(t) = r.S(t)$$

Cette relation est basée sur le coefficient " r " défini comme étant la constante de vidange de la nappe.

Remarque : on ne prendra pas en compte les échanges éventuels pouvant se produire du cours d'eau vers la nappe.

1.4.3. Estimation des paramètres hydrologiques de l'aquifère

L'utilisation de ce modèle nécessite la connaissance de la constante "r", ainsi que des conditions initiales de la teneur en eau du sol pour les zones saturées et non saturées : $S_{(1)}$ et $U_{(1)}$

Pour cela, on fera débiter l'année de simulation au début du printemps, période à laquelle la teneur en eau des sols avoisine la capacité au champ. Il semble donc raisonnable de prendre $U_{(1)} = 0$ au 1er avril.

L'estimation de $S_{(1)}$ et de "r" nécessite la connaissance de données de début durant une période précédant la période de simulation.

Lorsque la percolation ne s'effectue pas vers la zone saturée, l'évolution de la teneur en eau dans la zone saturée est régie par :

$$\frac{dS}{dt} = -rS$$

soit $S(t) = S(0) \cdot e^{-r \cdot t}$ 30/

$S(0)$ étant le stock d'eau initial dans la zone saturée.

Au jour t on aura donc :

31/ $G(t) = rS(t) = r \cdot S(0) e^{-r \cdot t}$

Remarque : cette formule n'est valable que s'il n'y a aucun apport extérieur vers la nappe.

Durant les périodes sèches où ont lieu les phénomènes de vidange de nappe, le ruissellement superficiel et la percolation sont nuls. Le cours d'eau sera donc essentiellement alimenté par l'aquifère :

$$F(t) = G(t)$$

La constante "r" sera estimée d'après deux valeurs $F(t_1)$ et $F(t_2)$, ($t_2 > t_1$), appartenant au même hydrogramme de vidange de la nappe.

D'après l'équation

$$F(t_1) = rS(0) \cdot e^{-rt_1}$$

et

$$F(t_2) = rS(0) \cdot e^{-rt_2}$$

On divise $F(t_1)$ par $F(t_2)$ et on obtient :

32/
$$r = \frac{\ln \left\{ \frac{F(t_1)}{F(t_2)} \right\}}{t_2 - t_1}$$

On peut évaluer "r" pour plusieurs hydrogrammes et prendre la valeur moyenne.

On détermine la valeur de $S(0)$ en appliquant la formule
numéro 30 à l'hydrogramme de vidange de nappe le plus proche du
1er avril de l'année de simulation.

L'instant initial correspondra donc au pic de l'hydrogramme
qui aura lieu T jours avant le 1er avril. Il faudra donc faire tourner
le modèle sur ces T jours afin de déterminer $S(1)$.

* * *

2. PRESENTATION DU BASSIN VERSANT ETUDIE

* *
*

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE (cf fig.6)

Le bassin versant de l'Aille, affluent de l'Argens, est situé dans le département du Var. Il est limité à l'Est par la commune de Vidauban et à l'Ouest par la commune de Gonfaron. Il englobe également les communes du Canet-des-Maures, des Mayons et de Lagarde-Freynet.

Le bassin est bordé au Sud par les crêtes de la chaîne des Maures, culminant à 800 m, et au Nord par les premiers reliefs de la Provence calcaire, d'altitude moyenne 200 m.

La région centrale est relativement peu accidentée, notamment en rive gauche de l'Aille, qui est constituée essentiellement de plaines et de maquis.

L'Aille s'écoule de l'Ouest vers l'Est du bassin dont la superficie totale est de l'ordre de 230 km².

2.2. SITUATION GEOLOGIQUE (cf fig.7)

On peut distinguer quatre types de terrain :

- * le bassin permien, partiellement recouvert d'alluvions ;
- * le massif cristallophyllien des Maures ;
- * les reliefs calcaro-dolomitiques du Jurassique inférieur, au Nord du Luc et à l'Ouest de Gonfaron ;
- * les terrains alluviaux.

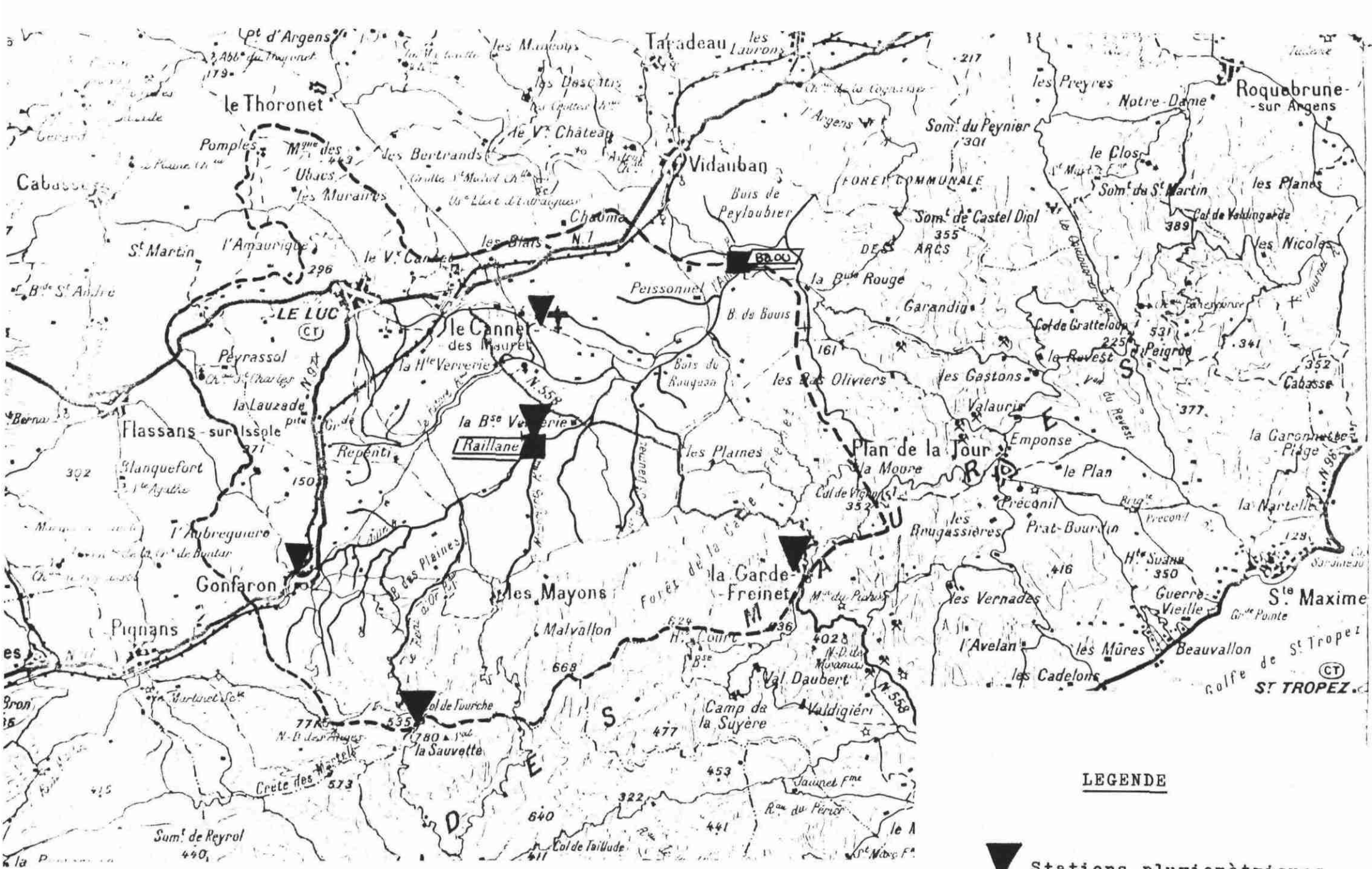
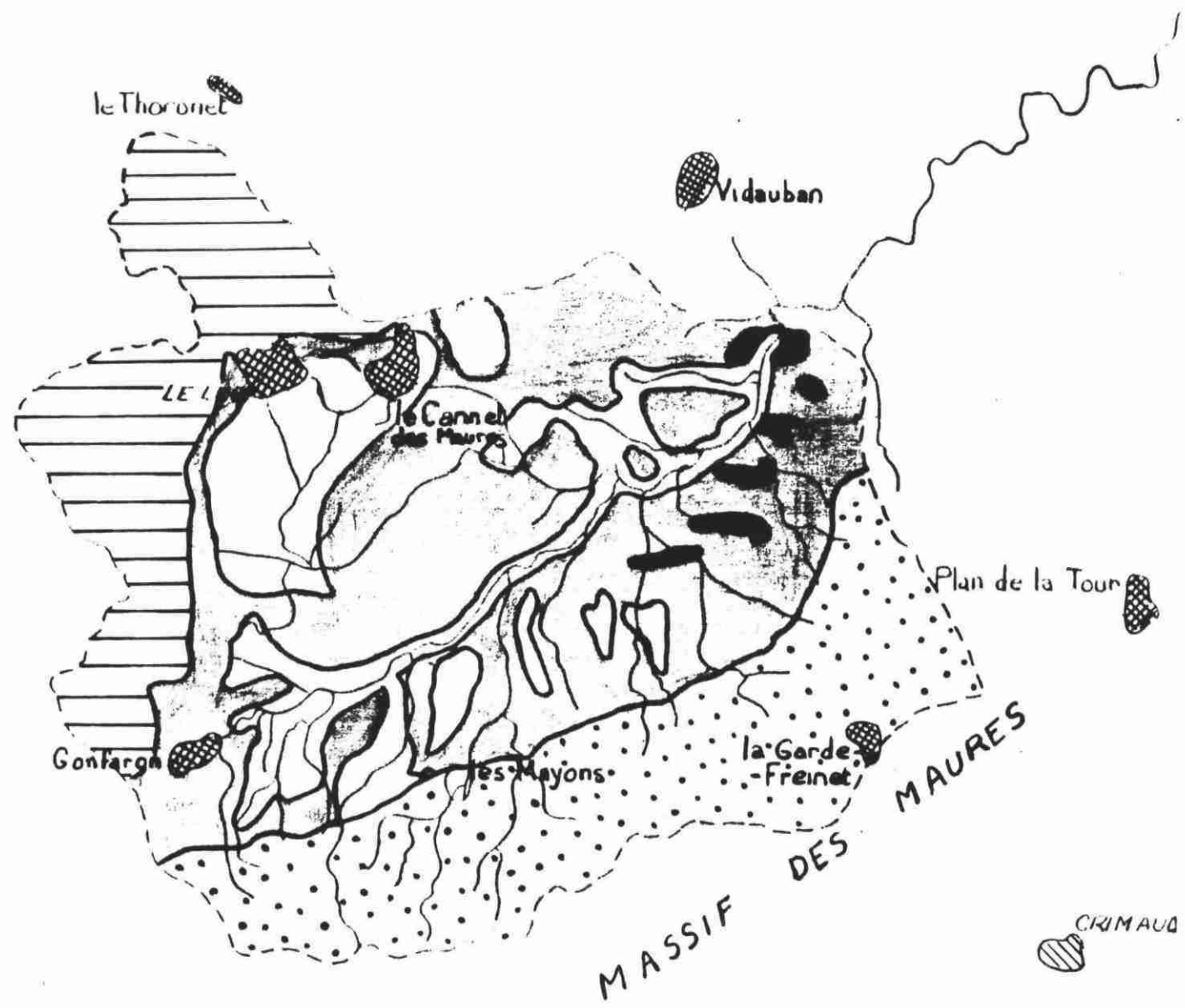


Figure N° 6 : Carte de situation du bassin versant
Réseau pluviographique
limnigraphique

LEGENDE

- ▼ Stations pluviométriques
- Stations limnigraphiques



LEGENDE

- Alluvions quaternaires
- Trias Jurassique
- Permien
- Primaire cristallophyllien
- Agglomérations

Figure N° 7: Carte géologique simplifiée

2.2.1. Bassin permien

Ce bassin est formé des "sédiments rouges" caractéristiques du Permien. Ceux-ci sont constitués de pélites imperméables où s'intercalent des niveaux arkosiques. Le faciès de base est caractérisé par quelques niveaux de conglomérats.

L'épaisseur de cette série est considérable et atteint presque 1.000 m au niveau du Luc.

Remarque : ces terrains possèdent une minéralisation diffuse en uranium.

2.2.2. Série triaso-liasique

Cette série comprend :

- * les grés bigarrés du Trias inférieur, constitués d'arkoses et de pélites "lie de vin" ;

- * le Muschelkalk calcaro-dolomitique constitué d'une alternance de dolomies et de calcaires avec parfois des intercalations de marnes. Les dolomies sont très mal stratifiées, concassées et soumises à une dissolution intense. Ce terrain est relativement épais dans la région ;

Remarque : la présence de sel gemme entraîne une salinité importante dans les eaux des sources issues de cet étage.

- * le Keuper, très marneux (marnes irisées), comportant des bancs de dolomies. Le Keuper a un développement considérable dans la région étudiée ;

- * le Lias, constitué des deux étages suivants :

- le Rhétien, composé de calcaires gris et de marno-calcaires en plaquettes, ainsi que de marnes. Le Rhétien est peu épais ;

- les dolomies hettangiennes.

Remarque : le Muschelkalk calcaire est très karstifié par suite de l'orogénèse et l'on observe une structure faillée au Nord du Luc.

2.2.3. Massif cristallin des Maures

Ce massif est constitué essentiellement par les gneiss de Borme, formant une bande de 3 km de large et d'orientation N-N.E. - S-S.O., entre les Mayons et La Garde Freynet.

Ces gneiss sont régulièrement lités et contiennent des passées apliques.

A l'Est de La Garde Freynet et dans l'anticlinal d'axe N-S des Mayons, affleurent des micaschistes à grenats et amphibolites. Ceux-ci sont peu résistants et plus altérés.

A l'Ouest des Mayons on trouve des phyllades détritiques formées de bancs gréso-schisteux et présentant les caractéristiques d'un flysch non calcaire.

Ce massif cristallin a été formé lors de l'orogénèse hercynienne. On remarque bien la croissance du métamorphisme d'Ouest en Est : il y a passage des micaschistes aux gneiss migmatitiques. Un épisode éruptif a donné naissance aux amphibolites.

2.2.4. Terrains alluviaux

Le bassin permien est partiellement recouvert de formations alluviales et colluviales quaternaires :

- * le Würm, alluvions anciennes, dominant dans la haute vallée de l'Aille, en bordure du massif des Maures. Ces alluvions sont constituées d'un mélange de débris quartzeux provenant des phyllades, ainsi que de sables et débris gréseux du Permien ;

- * l'Holocène, formé d'alluvions plus ou moins calcaires et argileuses car elles proviennent de l'érosion des matériaux permien et triasiques. Elles ont une extension importante au Sud du Luc et du Cannet-des Maures, régions mal drainées (le réseau hydrologique n'est pas encaissé).

L'Aille coule essentiellement sur ces alluvions récentes, généralement formées de sables plus ou moins argileux avec des galets.

2.2.5. Remarques tectoniques

La première phase marquante dans l'histoire de la tectonique de la région est l'orogénèse hercynienne, accompagnée de phases de métamorphisme et de volcanisme.

Au ~~Stéphanien~~ ^{Stéphanien}, une tectonique d'effondrement provoque la création de plis isoclinaux de direction N-N.E. - S-S.E. bien visibles dans le massif des Maures, des grabens E-O, ainsi qu'une fracturation assez importante. Il y a comblement de certains de ces bassins au Permien. Le bassin du Luc-Vidauban est donc en contact anormal avec le cristallin.

Au Tertiaire, la mise en place de la Chaîne provençale amène tout un réseau de failles d'orientation E-O. Il y a décollement de la couverture au niveau du Keuper, ce qui entraîne une disharmonie de plissement.

Le Muschelkalk réagit à la contrainte en formant des plis serrés et en subissant une fracturation intense qui conduit à une karstification importante.

Le Jurassique supérieur lui, forme des chevauchements de plus ou moins grande amplitude.

On note un réseau de failles N.O. - S.E. au contact Keuper-Jurassique supérieur, dans la région nord du Luc.

Remarque : la karstification importante qui s'étend sur le Trias et le Jurassique et due à l'action combinée de l'orogénèse et de l'usure physique et chimique amenée par la circulation d'eau et de CO₂, a rendu ces calcaires tellement perméables qu'il n'y a plus de circulation superficielle.

2.3. SYNTHESE PEDOLOGIQUE (cf fig. n°8)

Les différents sols ont été répartis dans les quatre groupes de sols définis dans le modèle précédent (cf § 1.4.1.), en fonction de leurs caractéristiques physiques, notamment de leur perméabilité.

2.3.1. Groupe "D"

Ce groupe correspond aux sols quasi-imperméables. On y trouve :

- * toutes les zones **d'affleurement du Permien**, recouvertes d'un lithosol très peu épais, à texture très fine mais présentant une pierrosité importante. Ces sols sont du type "sols minéraux bruts". Leur extension est maximale au Sud du Cannet-des-Maures, mais on trouve de petits affleurements disséminés dans la basse vallée de l'Aille, à l'Ouest et au Sud de Vidauban ;

- * les sols **très hydromorphes** situés à l'Ouest de Vidauban. Ces sols sont très peu représentés dans la zone étudiée.

2.3.2. Groupe "C" (sols à faible vitesse d'infiltration)

Les sols appartenant à ce groupe sont :

- * les "sols peu évolués" d'apport colluvial issu du Permien et situés en bordure de celui-ci. ces sols sont non calcaires, à texture fine et donc peu perméables ;

- * les "sols peu évolués" présentant une texture assez grossière, situés sur de fortes pentes, en bordure des reliefs calcaires ;

- * les sols présentant une **hydromorphie plus ou moins marquée** :

- au Sud du Luc (sols calcaires à texture fine et peu humifère ;

- en bordure du massif des Maures, dans la zone est du bassin (sols issus de l'érosion des roches cristallophylliennes et donc de texture assez grossière) ;

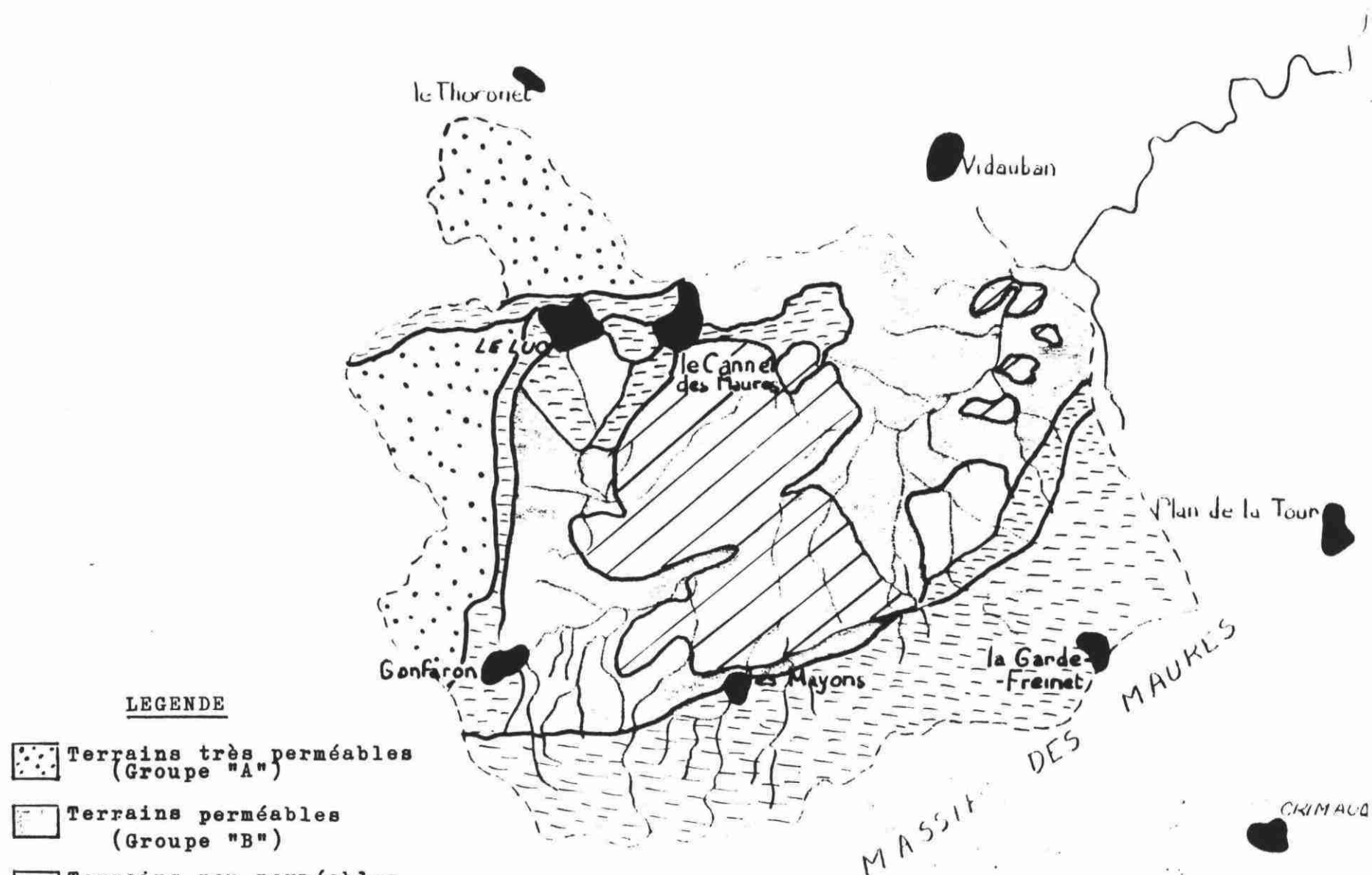


Figure N° 8: Carte pédologique avec classification selon les groupes de sols

- * un sol d'érosion carbonaté, très peu épais, situé sur une zone d'affleurement du Trias calcaromarneux, au Nord de Gonfaron (très forte pente). C'est également un "sol minéral brut" ;

- * les "sols peu évolués" sur les roches cristallophylliennes du massif des Maures et d'épaisseur **très variable** selon la végétation.

2.3.3. Groupe "B" (sols à vitesse d'infiltration moyenne)

Appartiennent à ce groupe :

- * les sols alluviaux présentant une texture grossière, situés dans la zone est du bassin ;

- * les alluvions relativement fines et non hydromorphes qui constituent les plaines de Gonfaron et de Vidauban ;

- * les sols non hydromorphes situés en bordure des Maures.

Ces sols, de texture fine et calcaire dans les régions ouest et nord du bassin, s'enrichissent en grains de quartz et de mica vers le Sud. La texture devient également plus grossière.

2.3.4. Groupe "A" (sols à infiltration quasi-totale)

Les sols appartenant au groupe "A" sont les sols calcimagnésiens et carbonatés recouvrant toute la zone calcaro-dolomitique du Trias et du Jurassique, **très karstifiée**. De ce fait, le ruissellement superficiel est quasi inexistant.

2.4. CLIMATOLOGIE

2.4.1. Températures

Seule la station météorologique du Luc est dotée d'un thermomètre. On peut constater (cf tableau n° 7) :

- * des températures moyennes annuelles élevées ($> 12^{\circ}\text{C}$) ;
- * des moyennes mensuelles supérieures à 20°C durant 3 mois, et inférieures à 10°C pendant également 3 mois ;
- * de fortes différences entre les températures hivernales et estivales, dues à la présence du massif des Maures qui entraîne une atténuation de l'influence maritime. Effectivement, si les moyennes des minimas hivernaux sont toujours supérieures à zéro, les moyennes des maximas estivaux sont supérieures à 30°C .

	<u>Minima</u>	<u>Maxima</u>	<u>Moyenne</u>
Janvier	1,7	11,8	6,8
Février	2,7	12,9	7,3
Mars	3,7	15,5	9,6
Avril	7,0	19,2	13,1
Mai	10,2	23,2	16,7
Juin	13,7	29,0	21,4
Juillet	15,9	31,0	23,5
Août	15,8	30,6	23,2
Septembre	12,9	26,2	19,6
Octobre	9,1	21,4	15,3
Novembre	5,7	15,6	10,7
Décembre	1,8	12,4	7,1
Année			14,6

Tableau n° 7 : températures moyennes sur la station
du Luc (Var) - période 1961-1974.

On observe également un nombre de jours de gelées assez élevé (46 jours par an en moyenne au Luc). Ceci est dû à la proximité de reliefs relativement élevés.

Remarque : le versant nord du massif des Maures est plus exposé aux gelées printanières que les flancs sud et est des reliefs calcaires.

2.4.2. Précipitations

Le réseau pluviographique est constitué de cinq stations relativement bien réparties dans le bassin versant :

* les stations du Luc, de Reillanne et de Gonfaron, situées dans la plaine du bassin permien, et les stations de La Garde-Freinet ainsi que du col de la Fourche, situées dans le massif des Maures.

L'observation des précipitations moyennes (cf tableau n° 8 et fig. n° 9) permet de constater une répartition saisonnière marquée : 70 % des précipitations ont lieu d'octobre à mars et s'accompagnent d'une tendance à la sécheresse estivale.

L'influence des crêtes entraîne l'existence de deux groupes de pluviométrie :

* une pluviométrie de crête, dans le massif des Maures, avec une moyenne de 2.000 mm/an ;

* une pluviométrie de plaine, avec une moyenne de 900 mm/an.

Remarque : les reliefs calcaires situés à l'Est et au Nord du Luc présentent une pluviométrie de plaine.

STATION (altitude)	PERIODE	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
GONFARON (185 m)	1951/77	87	119	81	75	56	29	17	40	87	121	124	118	954
LE LUC (95)	1958/77	76	94	80	73	56	41	27	44	98	113	126	117	945
REILLANNE (	1968/78	102	114	90	78	66	33	27	45	69	81	108	110	923
LA GARDE FREINET (	1968/83	128	122	92	64	69	28	22	62	60	111	105	132	995
COL DE LA FOURCHE (	1966/81	145	172	114	90	83	32	13	36	85	146	140	143	1199

Tableau n° 8 : pluviométries moyennes.

On observe un gradient altimétrique des précipitations au niveau du massif des Maures, mais le CEMAGREF a mis en évidence la présence d'un **gradient est-ouest marqué** dans cette même région lors d'études sur le bassin versant du Réal-Collobrier (cf fig. 9a).

Cependant, l'étude des précipitations journalières permet de constater la non représentativité des moyennes mensuelles pour la répartition des pluies. Effectivement, on observe une grande irrégularité des pluies :

* au niveau annuel : on constate des années sèches et des années humides (en 1967, 406 mm et en 1976, 1400 mm). Les années de pluviométrie moyenne sont rares ;

* au niveau mensuel : les écarts mensuels sont très importants ;

* au niveau journalier : les régions méditerranéennes favorisent les précipitations à caractère orageux et de forte intensité qui ruissellent rapidement, amenant des risques de crues et provoquant une érosion considérable des sols. Celles-ci se produisent même en été, comme on peut le remarquer sur le graphique de la fig. n°9b.

2.4.3. Evapotranspiration

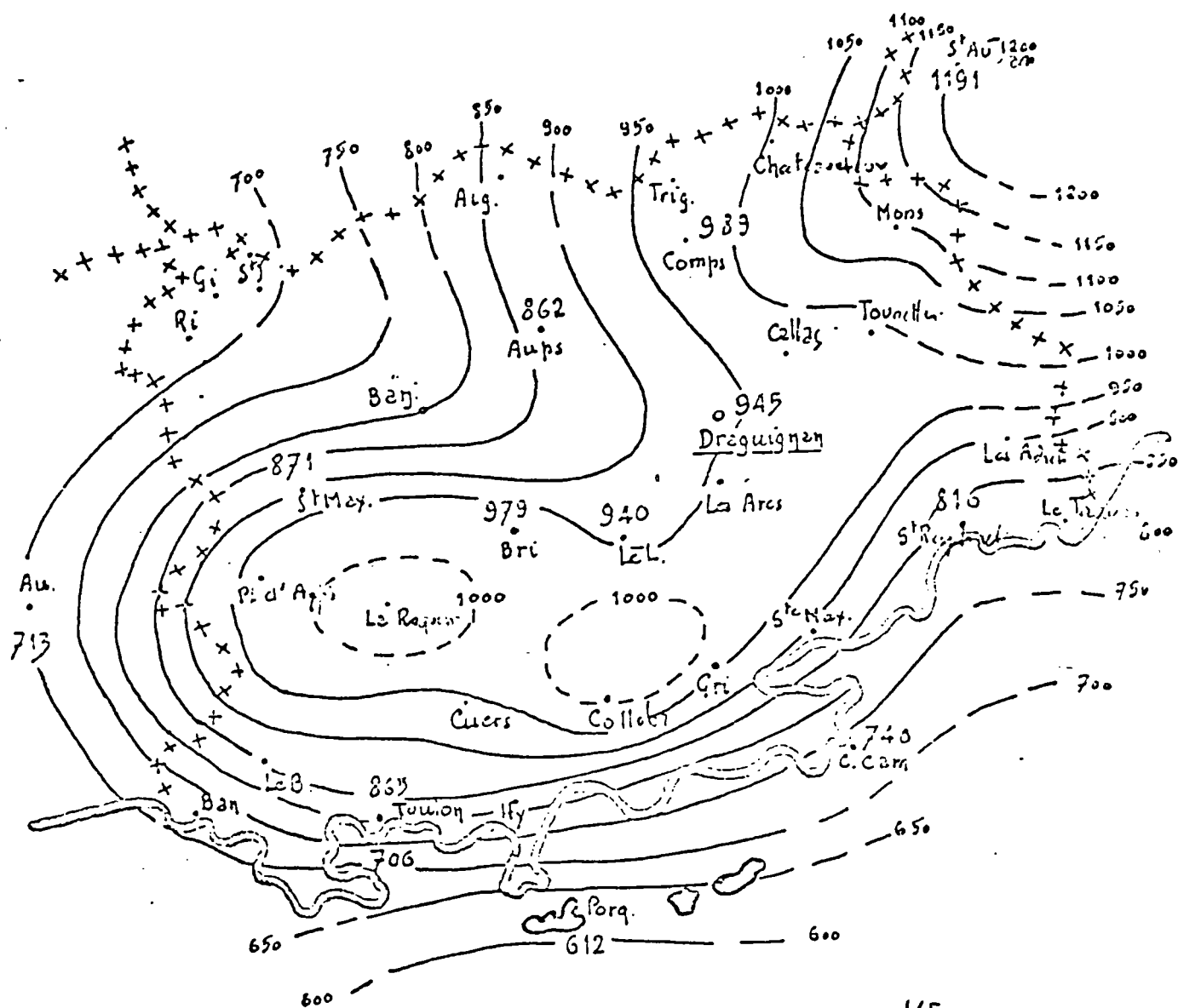
Il n'existe pas de données d'évapotranspiration sur le bassin versant, mais on peut observer que, durant la période de pleine végétation (avril à septembre), la pluviométrie est toujours supérieure à l'évapotranspiration potentielle et chaque mois de cette période présente un déficit en eau considérable. Le déficit annuel est variable selon les années.

Fig. 9a

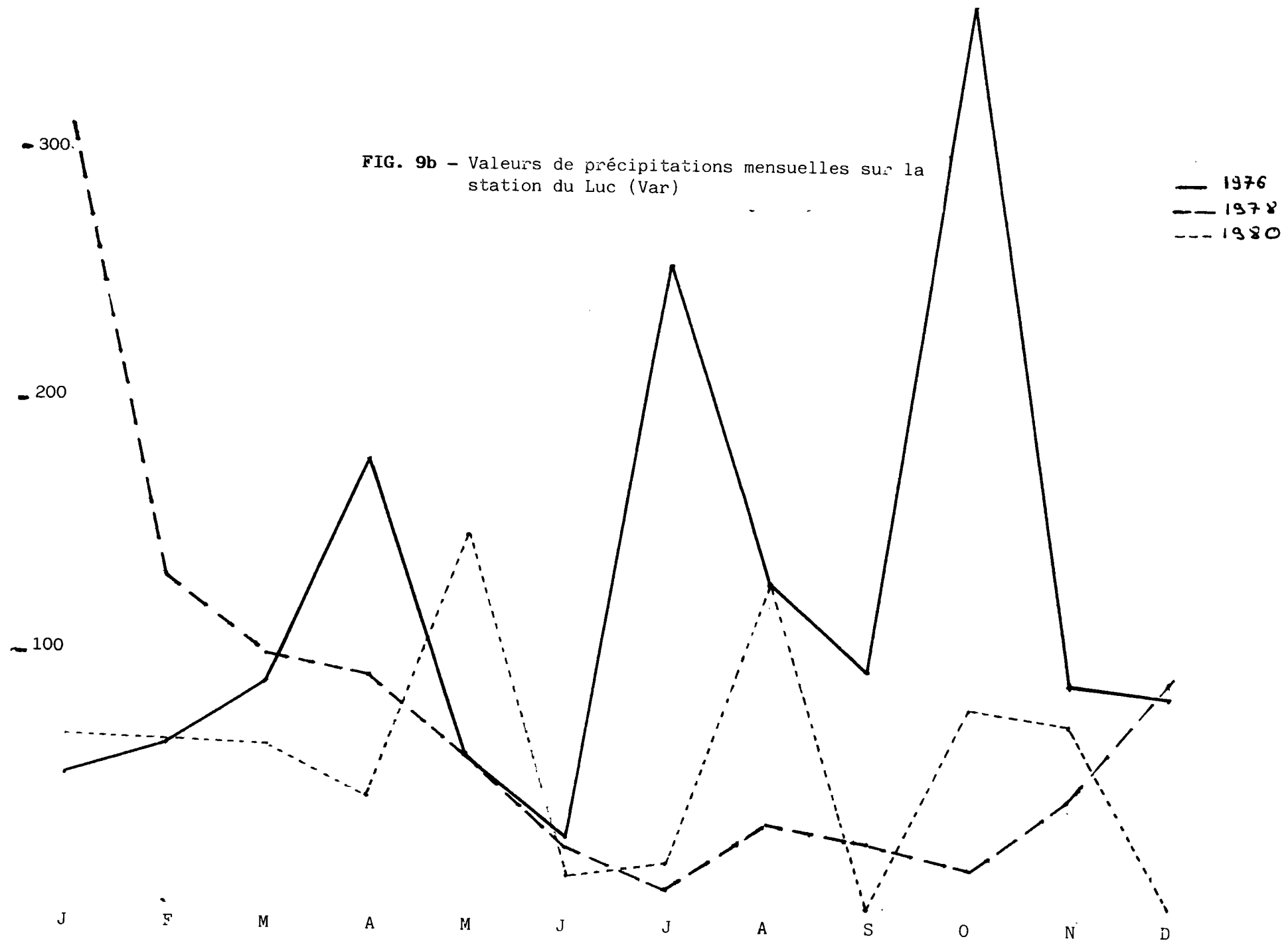
Valeurs Normales des Hauteurs de Précipitations

- en m/m -

Période 1931-1960



1/500.000



2.4.4. Conclusion

Les caractéristiques principales sont celles d'un climat méditerranéen présentant des précipitations irrégulières à caractère orageux, ainsi qu'une période estivale déficitaire en eau.

2.5. VEGETATION

On peut distinguer deux types de végétation, correspondant à deux zones bien déterminées :

* les régions nord et centrale, possédant une végétation de plaines et de reliefs peu accentués :

- les plaines alluviales du Luc et de Gonfaron sont essentiellement plantées de vignes et de vergers ;
- la région de Vidauban est couverte en grande partie de vignes ;
- les zones non cultivées sont occupées par des prés en friches, des pinèdes ou du maquis ;

* les flancs nord de la chaîne des Maures dont la couverture végétale est plus typique des régions de montagne méridionales :

- maquis ;
- forêts clairsemées formées de pinèdes ;
- forêts denses constituées essentiellement de chênes et de châtaigniers.

2.6. RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET HYDROLOGIE

2.6.1. Réseau hydrographique superficiel

L'Aille prend sa source dans des quartzites, au lieu-dit "le Font-de-l'Aille" (190 m cote NGF) et s'écoule sur 29 km jusqu'à son confluent avec l'Argens, à l'altitude de 21 m. La pente moyenne est de 8 mm/km.

L'Aille draine toutes les eaux de la dépression permienne ainsi que celles provenant des flancs nord de la chaîne des Maures. La majeure partie de ses affluents est située en rive droite. D'amont en aval, on trouve :

- * le Réal d'or ;
- * le Maurefrey ;
- * le ruisseau du vallon de Gaudelière ;
- * le St Daumas, qui fusionne avec le Neuf-Rioux ;
- * le Rauguan ;
- * la Nible ;
- * le Vallat-de-Grimaud.

Les deux derniers ne font pas partie du bassin versant étudié, l'exutoire de celui-ci étant situé à l'amont du confluent, au lieu-dit "de l'ancienne scierie", au niveau de Carette.

Ces ruisseaux dévalent de la crête des Maures, lorsque les pluies sont suffisamment intenses et ont un caractère de petits torrents soumis à des crues soudaines et violentes. La configuration de leur lit (succession de chutes rapides) accentue encore le caractère torrentiel du régime hydraulique.

La rive gauche présente moins d'affluents. D'amont en aval, on trouve :

- * l'Estagnol ;
- * le Rieutord, qui draine les eaux du Luc et les thalwegs de la dépression permienne. Il est rarement à sec ;
- * le ruisseau d'Aiguan.

On peut remarquer la présence de **plusieurs points d'eau** dans les terrains très hydromorphes situés au Sud-Est du Cannet-les Maures. La construction de deux barrages sur le ruisseau de Neuf-Rieux a permis la formation de deux retenues d'eau au niveau de La Garde-Freinet.

De même, le lac des Escarets a été créé par un barrage sur les ruisseaux de St Daumas et des Mines.

2.6.2. Hydrogéologie

On distinguera trois ensembles présentant des caractéristiques hydrogéologiques très différentes. Deux d'entre eux forment des systèmes aquifères non négligeables.

Les calcaires et dolomies du Muschelkalk

L'intensité de la karstification et du diaclasage provoque des circulations d'eau importantes au sein de ces terrains et on peut mettre en évidence la présence d'un **magasin aquifère profond**.

Ces terrains présentant une grande perméabilité au grand, butent contre les affleurements très peu perméables du Permien par un contact de faille : c'est à ce contact que l'on trouve des sources de débordement.

La source de l'Aille est le principal exutoire de cet aquifère. Les sources d'origine karstique du Luc présentent également un débit considérable (la source de Gamaton possède un débit de 190 m³/h).

Les terrains alluviaux de la vallée de l'Aille

La lithologie du substratum géologique conditionnant le comportement hydrologique des alluvions quaternaires de l'Aille, celles-ci contiennent une nappe phréatique discontinue.

Effectivement, les alluvions quaternaires, tantôt marneuses et marno-graveleuses, tantôt sableuses de texture grossière, butent contre les affleurements imperméables (ou du moins très peu perméables) du Permien.

Les alentours de l'Aille sont également couverts de **limons argileux** de débordement. Les terrains sont donc dans l'ensemble peu perméables, mais ceux-ci étant relativement plats dans les plaines alluviales, une infiltration lente peut s'effectuer et l'on trouve dans les alluvions grossières et sableuses, une nappe phréatique en équilibre avec l'Aille.

Quelques nappes d'éboulis ont également été mises en évidence en bordure des reliefs.

Terrains cristallins du massif des Maures

Étant donné la très faible perméabilité des couches cristallophylliennes, la plus grande partie des eaux météoriques s'évacue par ruissellement de surface ou de sub-surface sur les versants nord des Maures

Cependant, les micaschistes et gneiss ayant été très tectonisés puis soumis à une altération superficielle généralisée, on observe localement des formations colluviales sableuses ou sablo-graveleuses, parfois épaisses, dans lesquelles il peut y avoir de petites nappes phréatiques présentant de faibles débits.

Ces petites nappes d'arènes et de fissures sont donc alimentées par les eaux météoriques qui s'infiltrant dans la zone altérée et s'écoulent par ruissellement hypodermique.

La commune de La Garde-Freinet, notamment, est alimentée par des sources émergeant de ces nappes.

Le réseau hydrographique souterrain est donc beaucoup moins développé que le réseau superficiel. Les **écoulements par ruissellement seront donc dominants** (amexe 2).

2.6.3. Aperçu hydrologique (réf. 10)

Le réseau limnigraphique de l'Aille se compose de deux stations :

- * la station du Baou, située à l'exutoire du bassin versant et la station de Reillanne, située au centre du bassin ; la superficie du bassin versant à cette station étant de 80 km².

L'analyse des débits moyens journaliers a permis de déterminer l'apport d'eau annuel sur le bassin versant, qui est d'environ 165 millions de m³ pour une superficie de 230 km².

L'Aille présente des crues soudaines et violentes, ainsi que des étiages assez accusés.

Le débit de crue décennale est de 320 m³/s, alors que le débit de crue annuelle est de 150 m³/s.

Le temps de concentration du bassin versant de l'Aille est de 5 à 6 h, mais on observe un contraste important entre les comportements hydrologiques des affluents situés en rive droite et en rive gauche de

l'Aille : les bassins versants des affluents de la rive droite présentent des temps de concentration "tc" de l'ordre de l'heure, alors que pour les affluents de la rive gauche, tc est d'environ 4 heures. Cette différence est due au fait que les bassins versants des affluents de la rive gauche sont plus étendus, mais aussi au régime relativement calme de ces derniers.

En dehors des périodes pluvieuses (soit environ 6 mois par an), les débits sont quasiment nuls. Les débits d'étiage sont alors fournis par le drainage de la nappe alluviale et par le Rieutord, en rive gauche.

Remarque : le lit mineur de l'Aille est encombré d'une végétation luxuriante et les eaux d'étiage s'écoulent difficilement. Le lit majeur, par contre, est large et sert de plaine d'inondation.

* *
*

3. APPLICATION DU MODELE AU BASSIN VERSANT DE L'AILLE

- RESULTATS -

* * *

Les raisons du choix du bassin versant de l'Aille pour tester ce modèle sont les suivants :

- * il est géographiquement bien délimité ;
- * les agglomérations sont très peu développées, la population étant surtout répartie dans des hameaux et des fermes éparses dans tout le bassin versant ;
- * on distingue deux zones bien distinctes : une région montagneuse très boisée et une région de plaine essentiellement agricole (cf tableau n° 9) ;
- * l'absence de système aquifère de grande extension, notamment des surfaces peu perméables favorisent le **ruissellement de surface** qui constitue la plus grande partie des débits à l'exutoire.

	S U P E R F I C I E	
	en km ²	en %
* Zones agricoles	68,8	30 %
* Zones forestées	155	68 %
* Zones urbaines	3,2	2 %
* Total bassin versant	227	100 %

Tableau n° 9 : Répartition des sols dans le bassin versant.

3.1. DONNEES METEOROLOGIQUES UTILISEES

On a vu que l'année de simulation débutait le 1er avril, date à laquelle la teneur en eau du sol est importante.

Le modèle a été testé du 1er avril 1982 au 31 mars 1984. Il s'agit là d'années "moyennes" ne présentant pas (ou peu) de crues exceptionnelles (cf fig. n° 10).

Les données météorologiques journalières suivantes sont introduites dans un fichier "CLIMATO" :

- * températures sur la station du Luc ;
- * précipitations en mm sur les 5 stations pluviométriques.

Un autre fichier "INSOL" donne les valeurs moyennes journalières de l'insolation pour chaque mois.

Ces fichiers ont été créés au moyen d'un logiciel EDATEUR, conçu pour le système PROLOGUE, qui permet la création et le traitement de **fichiers séquentiels**.

3.2. TECHNIQUE UTILISEE : MAILLAGE DU BASSIN VERSANT

Le bassin versant a été divisé en mailles de superficie 1 ha. On a donc superposé à la carte topographique I.G.N. à 1/25.000, une grille de mailles de 4 mm de côté. La surface du bassin versant étant de 227 km², on obtiendra donc environ 22.700 mailles.

Le modèle sera appliqué à un échantillon de 305 mailles tirées au hasard parmi les 22.700 existantes. Cet échantillon devant être représentatif du bassin versant, on a décidé de sélectionner 100 mailles en milieu agricole, 200 mailles en zone de forêts et 5 mailles en milieu urbain.

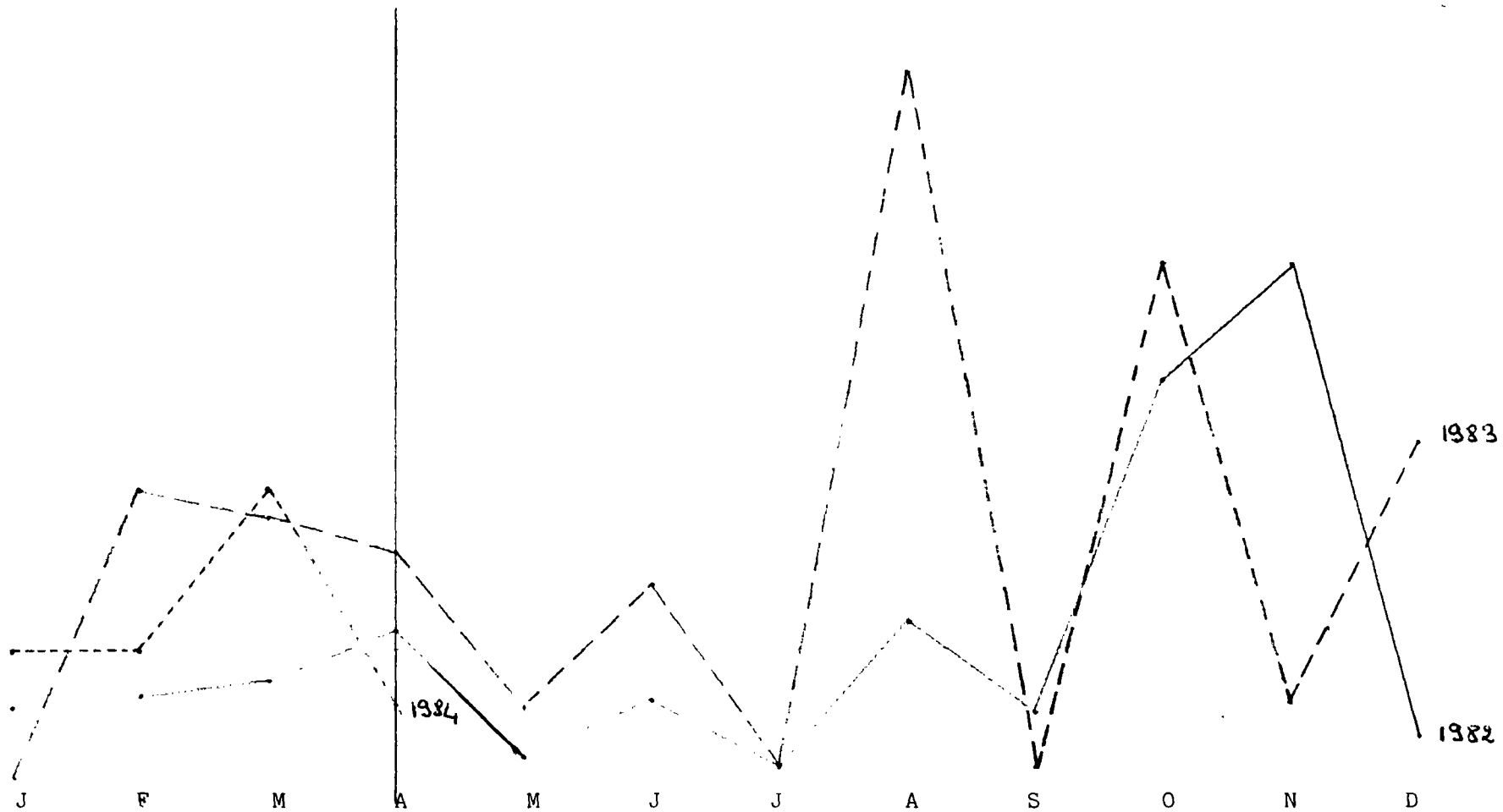
Cette étape est donc divisée en deux parties :

- * la constitution de fichiers représentant les limites de ces différentes zones ;
- * le tirage au hasard des 305 mailles dans les fichiers précédents.

Ceci a été réalisé de deux manières différentes :

* **la première méthode** ne comporte qu'un programme : MAILLE, dont l'organigramme est donné en annexe n° 3. Trois fichiers ont été créés à l'aide de ce programme : LIMBV, LIMFOR et LIMURB, qui correspondent respectivement aux limites du bassin versant, des forêts et des zones urbaines.

FIG. 10 - Précipitations mensuelles sur la station du
Luc (Var), pour les années utilisées pour
tester le modèle



Le tirage au hasard a été effectué en sélectionnant des **couples de coordonnées** définissant une maille et en recherchant l'appartenance de celle-ci à l'un ou l'autre des fichiers "Limites".

Les mailles sélectionnées sont introduites dans un autre fichier SELFICH, en accès direct, dans lequel une place considérable a été réservée pour l'ajout des caractéristiques de chaque maille ;

* **la deuxième méthode** est plus adaptée lorsque l'on a affaire à des fichiers de grande taille, ce qui est le cas du bassin versant de l'Aille. Elle nécessite l'utilisation de plusieurs programmes dont les organigrammes sont donnés en annexe n° 3.

Le premier travail consiste à rentrer les données des fichiers "limites" sous forme séquentielle, en utilisant le mode EDITEUR. Les fichiers ont la même configuration que les fichiers de la méthode précédente. On a donc utilisé ces derniers.

Le programme AGRIFIC permet la constitution du fichier des limites agricoles (LIMAGR) d'après les fichiers LIMBV, LIMFOR et LIMURB.

Remarque : on a créé le fichier des limites du bassin versant plutôt que celui des limites des zones agricoles du fait de sa simplicité.

Le programme TOTFIC transforme les fichiers précédents en y intégrant pour chaque colonne, le nombre de mailles appartenant à la zone considérée, ainsi que le nombre de mailles cumulé. Les nouveaux fichiers sont LIMFOR A, LIMAGR 2 et LIMURB 2.

En fin de chaque fichier on obtiendra donc le nombre de mailles, ce qui permet le calcul exact des surfaces de chaque zone.

On trouve les valeurs suivantes :

	<u>Zones agricoles</u>	<u>Zones forestières</u>	<u>Zones urbaines</u>
Nombre de mailles	15.512	6.875	322
Surface	155 km ²	69 km ²	3,2 km ²

Le programme SELECT permet de sélectionner un nombre de mailles donné dans chacun des trois fichiers LIMFOR 2, LIMAGR 2 et LIMURB 2.

Pour un fichier donné, le nombre total de mailles étant connu, il suffit de tirer au hasard **un numéro de maille** et de rechercher les coordonnées de celle-ci dans le fichier. Cette procédure permet d'éviter les tirages "nuls", mais aussi les nombreux tests d'appartenance à l'un ou l'autre des fichiers, longs à effectuer.

Le principal avantage de cette méthode est donc un **gain de temps considérable**, notamment en zone urbaine dont la surface est très réduite et pour laquelle la sélection de quelques mailles est parfois longue.

Cependant, dans le cas de petits fichiers, l'utilisation des 3 programmes de la 2ème méthode est aussi longue d'exécution que l'emploi du programme MAILLE.

Les 305 mailles constituant l'échantillon utilisé dans cette étude ont été sélectionnées par la première méthode, la seconde ayant été mise au point ultérieurement.

3.3. DETERMINATION DES PARAMETRES CARACTERISTIQUES DE CHAQUE MAILLE

Le fichier SELFICH comprend déjà le type de région auquel appartient chaque maille : agricole, forestière ou urbaine. Il est complété avec les paramètres nécessaires à l'élaboration du modèle (cf annexe n° 4).

3.3.1. Cas des zones urbaines

Les mailles sélectionnées dans les agglomérations se situent soit dans le centre d'un bourg, et sont donc caractéristiques d'un habitat dense, soit dans les quartiers résidentiels en périphérie des villes, l'habitat étant alors clairsemé.

Dans le premier cas, Caquot donne une valeur de coefficient d'imperméabilisation de :

$$I = 0,80$$

alors que dans le second cas :

$$I \text{ sera pris égal à } 0,60.$$

Remarque : les valeurs américaines sont beaucoup plus faibles, du fait d'un **urbanisme très différent**. Les zones résidentielles à habitat très clairsemé étant dominantes, notamment dans les régions agricoles.

3.3.2. Cas des zones agricoles

Les terres cultivées sont essentiellement plantées **de vignes**, ainsi que de **quelques vergers**, appartenant à la catégorie des "cultures en rangées".

La pratique agricole est en **straight row** : les sillons sont creusés indépendamment des reliefs. Ces cultures formant une couverture végétale très peu dense, les conditions hydrologiques seront **faibles**.

Une surface considérable est également constituée de **pâturages naturels** très peu entretenus et donc présentant un couvert végétal dense. Les conditions hydrologiques sont donc de "moyennes" à, le plus souvent, "bonnes". La pratique agricole est la même que pour les vignes (elle est en fait inexistante).

La région de Vidauban est partiellement couverte de petits bois de pins **très denses** car le sol est très "broussailleux". Les conditions hydrologiques sont donc **bonnes**.

La détermination de ces paramètres a été effectuée par l'étude des photographies aériennes, qui a permis de distinguer les parcelles constituées de prairies, de vignes et de bois.

Il a, cependant, été nécessaire de compléter cette étude par l'observation de chaque parcelle sur le terrain, les rangées de vignes n'étant pas toujours décelables sur les photographies aériennes.

Le groupe de sol a été déterminé à l'aide de la fig. n° 8.

3.3.3. Cas des zones forestières

On a vu que les zones de forêts sont caractérisées par trois paramètres :

- * **le groupe de sol** qui a été déterminé comme pour les zones agricoles, à l'aide de la fig. n° 8.

- * **le type de forêt**, fixé au départ à la forêt caractéristique des zones montagneuses et constituée essentiellement de chênes et aspes ;

- * **le pourcentage de recouvrement** : ce paramètre est délicat à évaluer car sa détermination est purement empirique.

L'analyse des photographies aériennes a permis une subdivision des zones forestières en trois catégories de forêts présentant des densités de recouvrement très différents :

- les zones de maquis,
- les forêts clairsemées,
- les forêts denses.

Afin d'évaluer les valeurs de densité de recouvrement, il a été décidé d'effectuer une simulation sur un petit bassin versant entièrement couvert de forêts. Cette étude est abordée au chapitre 3.5.

3.3.4. Données complémentaires

En plus des données spécifiques aux diverses zones, il est nécessaire de déterminer l'appartenance de chaque maille à une zone de **plaine** ou à une zone de **relief** correspondant au massif des Maures. Il faut alors préciser l'**altitude moyenne** des parcelles de montagne, celle-ci étant utilisée dans le calcul des précipitations.

La limite entre la zone de plaine et la zone de montagne a été tracée en suivant les courbes de niveau 250 à l'Ouest et 150 à l'Est, qui correspondent approximativement aux ruptures de pente entre les reliefs accentués et une zone de collines.

L'altitude moyenne a été déterminée à partir des courbes de niveau de la carte à 1/25.000. La précision sera donc d'environ 10 m.

3.4. PROGRAMME "DEBBY" (PLUIE/DEBIT) - CALCUL DES PRECIPITATIONS - CALCUL DES PARAMETRES DE L'AQUIFERE (cf annexe n° 5)

Ce programme permet l'estimation (à l'aide des fichiers définis précédemment), des débits mensuels à l'exutoire du bassin versant, à partir des données de pluie journalières. Celles-ci sont connues pour les cinq stations pluviométriques du bassin versant. Il a donc été nécessaire de déterminer une valeur de précipitations journalière pour chaque maille.

3.4.1. Calcul des précipitations

Afin de tenir compte de l'influence du relief sur les précipitations, le calcul de celles-ci sera effectué de manière différente pour les mailles appartenant à la région de plaine et à la zone de montagne.

Un gradient altimétrique n'a été pris en compte que dans les reliefs accentués du massif des Maures.

*** Cas du massif des Maures.**

Pour chacune des mailles appartenant à cette région, le programme DEBBY sélectionne les stations pluviométriques de plaine et de montagne les plus proches : P1 et M1, auxquelles sont associées les altitudes Alt (P1) et Alt (M1).

La valeur des précipitations journalières est considérée comme seule fonction de l'altitude moyenne sur la maille étudiée : Alt. On aura donc :

$$33/ \quad P = P(P1) + P(M1) - P(P1) \frac{\text{Alt}}{\text{Alt}(M1) - \text{Alt}(P1)}$$

*** Cas de la zone de plaine.**

Les deux stations pluviométriques de plaine les plus proches de la maille sont sélectionnées pour le calcul des précipitations (S1 et S2) et il leur est affecté un "poids", fonction des distances relatives entre la maille et les deux stations.

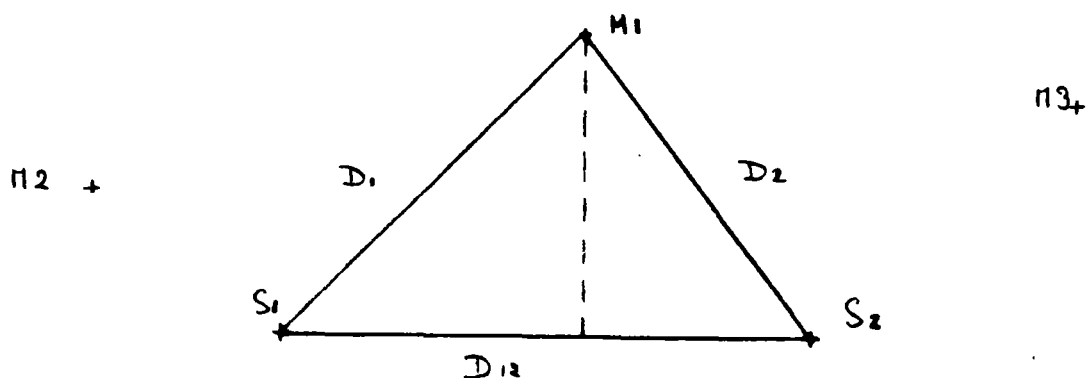


Fig. 11 - Calcul des précipitations en zone de plaine.

Si l'on considère la fig. n°11, la valeur de P en M1 s'écrira :

$$34/ \quad P = P(S1) + \frac{P(S2) - P(S1)}{C}$$

avec

$$35/ \quad C = \frac{D1^2 - D2^2 + D12^2}{2 D12}$$

$D1$ étant la distance (maille - $S1$)

$D12$ étant la distance interstation.

Lorsque $C < 0$, la station est en M (2). On prendra donc $P = P(S1)$, le poids de la station $S2$ étant nul.

Lorsque $C \gg D12$, la maille se situe en M (3). On prendra donc $P = P(S2)$: la station $S1$ n'a pas d'influence sur les précipitations en M.

Remarque : cette méthode consiste en fait à effectuer une interpolation linéaire simple entre les valeurs de précipitations des deux stations de référence.

* Critique de ces calculs.

La variabilité de la pluviométrie avec l'altitude est réelle, mais la présence d'un véritable gradient altimétrique tel qu'il est défini dans cette étude, n'a pas été mise en évidence. Seule l'existence d'un gradient E-O décroissant ayant été prouvée par le CEMAGREF (réf. 6), la formule n°33 a donc été utilisée par faute de relation mieux adaptée.

Dans le cas des mailles situées dans la zone de plaine, la méthode utilisée est équivalente à une interpolation linéaire simple. Les résultats ne sont guère plus affinés que par la méthode de THIESSEN.

Une bonne estimation de la lame d'eau précipitée aurait été obtenue avec des méthodes telles que le krigeage ou l'utilisation de la fonction Spline. Cependant, de telles méthodes sont très complexes, comparées au modèle utilisé, très empirique et d'utilisation relativement simple.

Remarque : l'utilisation d'une méthode intermédiaire, la méthode "MTH" élaborée par MM. MASSONS, BOCQUELLES et ONSOY (réf. 7) pourrait être intéressante à intégrer au modèle.

Effectivement, les précipitations sont estimées en chaque point du domaine, à l'aide d'une régression pouvant être établie à partir de trois points voisins. ces valeurs sont ensuite intégrées sur le bassin.

Dans notre cas, cette méthode aurait permis la prise en compte des **trois** stations voisines.

3.4.2. Détermination des paramètres de l'aquifère

- Détermination de la constante de vidange "r"

L'estimation de ce paramètre s'effectue comme indiqué au chapitre 1.4.2. On a cherché à estimer "r" sur diverses années précédant l'année de simulation. La période de vidange de nappe se situe généralement en juillet-août, les précipitations étant nulles ou presque.

La formule suivante a été appliquée :

$$r = \frac{\ln [F(t_1) - F(t_2)]}{t_2 - t_1}$$

Pour chaque vidange de nappe, on a pris plusieurs pas de temps ($t_2 - t_1$). Les valeurs de "r" sont comprises entre 0,03 et 0,2 (cf tableau N° 10), ce qui ne permet pas de déterminer une valeur significative de la constante.

On peut remarquer une diminution notable de "r" dans le temps ;

- * pour 1975, entre le 1er et le 2 juillet, $r = 0,083$;
- * entre le 1er et le 15 juillet, $r = 0,045$, soit près de la moitié ;
- * entre le 5 et le 15 juillet, $r = 0,33$.

On peut donc remarquer une décroissance de "r" rapide, en début de vidange, puis plus lente.

<u>Période</u>	<u>Jours</u>		<u>Valeurs de débit</u>		<u>Valeur de "r"</u>
	<u>t1</u>	<u>t2</u>	<u>F(t1)</u>	<u>(F(t2))</u>	
1974	1/8	16/8	0,333	0,184	0,039
	3/8	11/8	0,320	0,238	0,037
	6/8	9/8	0,301	0,272	0,034
1975	26/6	16/7	0,253	0,098	0,047
	1/7	2/7	0,288	0,265	0,083
	1/7	3/7	0,288	0,245	0,0805
	1/7	4/7	0,288	0,228	0,078
	1/7	10/7	0,288	0,160	0,065
	1/7	15/7	0,288	0,154	0,045
	5/7	15/7	0,214	0,154	0,0329
1978	8/8	14/8	0,229	0,112	0,119
	9/8	14/8	0,220	0,112	0,109
1981	3/8	11/8	0,236	0,130	0,074
	1/8	13/8	0,255	0,114	0,067

Tableau n° 10 - Détermination de la constante "r"

Ceci met en évidence une hétérogénéité de comportement au niveau du bassin versant. Celle-ci peut être expliquée par la présence de deux aquifères de comportement tout-à-fait différent :

* un **aquifère karstique** qui présente un temps de réponse rapide et pour lequel le phénomène de vidange s'effectue assez rapidement ; ceci est dû à la grande perméabilité de fissures qui assure une circulation rapide de l'eau dans le karst ;

* un **aquifère poreux**, constitué par la nappe alluviale de l'Aille, qui présente une perméabilité plus faible. Les échanges entre la nappe et le cours d'eau seront donc beaucoup plus lents.

Il faudrait, en fait, considérer deux aquifères distincts, déterminer la valeur de leur constante respective "r" et superposer les deux modèles de vidange de nappe.

L'absence de données de débit journalier à l'exutoire de ces deux aquifères ne permet pas une telle étude : le débit n'est connu qu'à l'exutoire (station du Baou) et au centre du bassin versant (station de la Reillanne).

Remarque : il est tout de même possible de faire tourner le modèle de vidange de l'aquifère, car celui-ci ne donne qu'un résultat partiel, qui sera ajouté ultérieurement au débit de ruissellement. Ceci permet d'obtenir un ordre de grandeur des débits de base.

- Calcul du stock initial $S(0)$ dans la zone saturée

La valeur moyenne de " r " étant d'environ 0,05, on calcule $S(0)$ pour la période de vidange de nappe la plus proche du 1er avril 1982, c'est-à-dire en juillet 1981.

$$\text{La formule } S(t) = S_0 e^{-rt}$$

donne pour $r = 0,05$ et pour $t = 0$, fixé au 25.7.1981, date à laquelle les précipitations deviennent nulles =

$$S_0 = 0,54 \text{ cm}$$

3.5. MODELISATION DE L'ECOULEMENT SUR UN BASSIN VERSANT "TEST" DU REAL-COLLOBRIER

Cette modélisation a été effectuée dans le but de vérifier la validité du modèle de ruissellement, dans la région du massif des Maures et, dans le cas positif, de déterminer les valeurs de densité de recouvrement des zones forestières. Celles-ci ont été déterminées en un premier temps sur les photographies aériennes : des valeurs respectives de 20 %, 50 % et 70 % semblent plausibles pour les zones de maquis, forêts clairsemées et forêts denses.

Le bassin versant "test" choisi est un sous-bassin du bassin expérimental du Réal-Collobrier, étudié par le CEMAGREF ; celui-ci a eu l'amabilité de nous communiquer les valeurs des précipitations journalières sur la station du "col des Fourches", station pluviométrique mitoyenne des bassins versants de l'Aille et du Réal-Collobrier.

Le bassin de Vaubarnier a été choisi car, de faible étendue (1,54 km²), il est couvert d'une végétation forestière dense et relativement homogène. Ce bassin appartenant au massif cristallin des Maures, le substratum est peu perméable et la majorité de l'eau ruisselle sur les versants pentus : l'indice de pente global est de 0,18 ; les altitudes minimale et maximale étant de 219 m et 388 m. Le débit de base est négligeable par rapport au débit du ruissellement, sauf dans la saison sèche où les précipitations sont quasi-nulles. Ce débit de base est de l'ordre de 1 à 2 l/s.

Essai n°1 - Utilisation de paramètres déterminés selon les critères établis précédemment

Pour les sols du massif des Maures, très peu perméables, le groupe de sol est "C".

La forêt est constituée essentiellement de chênes et châtaigniers ; on lui affecte donc le type de sol "M" correspondant à une végétation de chênes-aspens et caractéristique des zones de montagne.

Les valeurs de précipitations utilisées sont celles de la station du col des Fourches sur l'année 1975 (cf fig. 12).

Les valeurs des débits obtenues par ce modèle sont aberrantes, les débits étant non nuls que sur les mois de février, mars et avril.

On a donc essayé de faire varier les valeurs de **densité du couvert végétal** jusqu'à obtenir des débits "plausibles", mais les valeurs obtenues sont restées inférieures aux débits réels (cf tableau n° 11), même avec un pourcentage de recouvrement de 20 %, qui ne correspondait plus à une couverture de forêt dense.

Remarque : les débits nuls sont expliqués par le fait que le modèle ne calcule que les débits ruisselés. Pour des valeurs de précipitations trop faibles, il n'y aura aucun débit (cf § 1.2.1., formule n° 14).

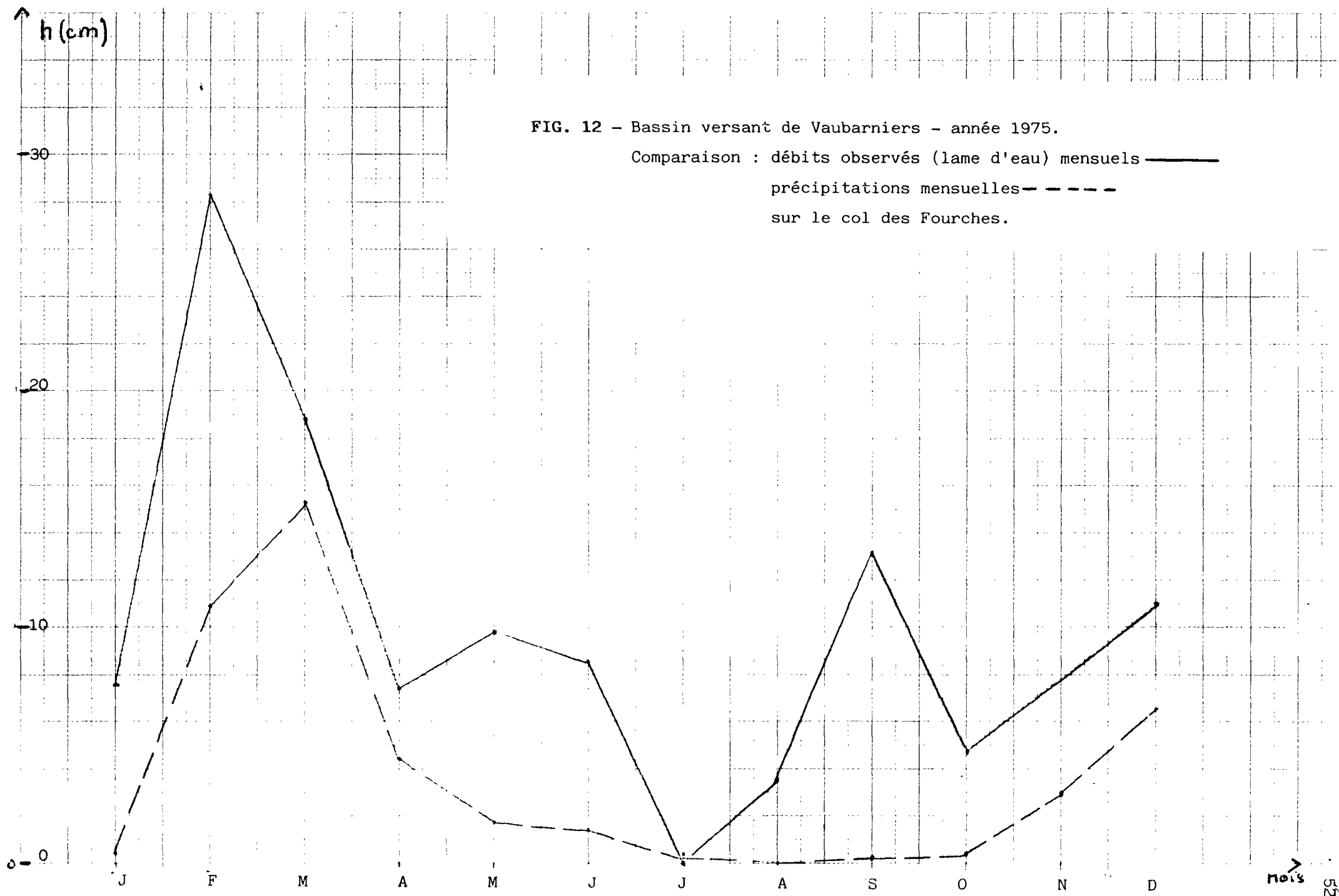
Essai n° 2 - Détermination des coefficients CN II optimaux

Le paramètre "type de sol" ne pouvant être modifié (la catégorie "D" correspondant à des sols imperméables et souvent argileux, n'est pas prise en compte pour le calcul des coefficients CN), c'est le paramètre "**type de forêt**" qui a été étudié.

Effectivement, il apparaît sur le graphique de la fig. 4, que les courbes correspondant au type "chênes-aspens" donnent un coefficient CN II faible par rapport aux autres courbes. On a donc calculé les débits mensuels pour des forêts de type "pins-genévriers", ainsi que pour une végétation de type herbacé.

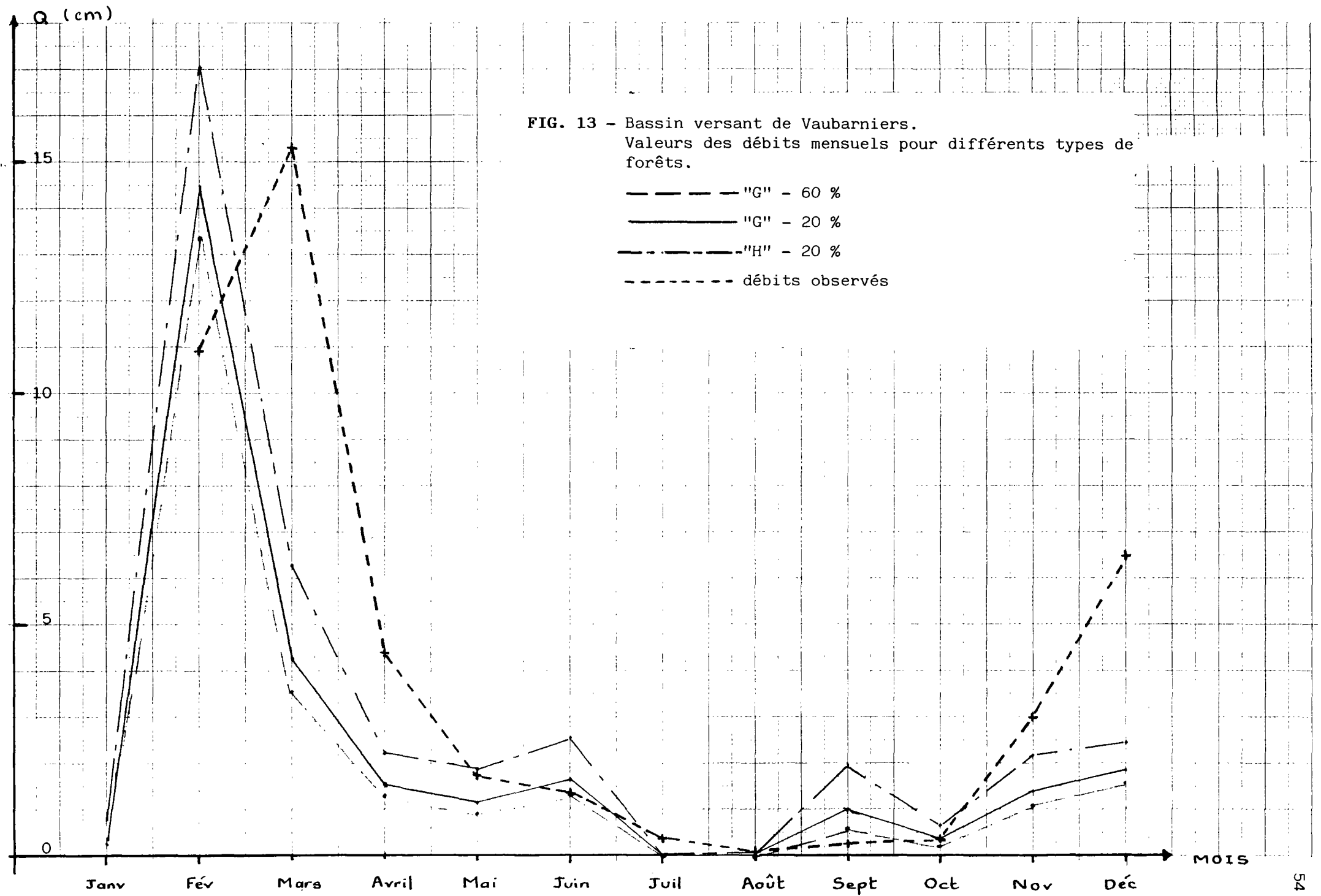
Comme le montre le graphique de la fig. 13, les valeurs obtenues ne sont pas satisfaisantes. Les paramètres "**type de forêt**" et "**densité de recouvrement**" étant les deux seuls paramètres susceptibles de varier, deux hypothèses se présentent :

- * soit il existe un débit de base non négligeable ;
- * soit les courbes représentées sur la fig. 4 et donnant les valeurs de CN II en fonction de la densité de couverture ne sont pas adaptées à ce type de bassin.



R (%)	CN I	CN II	CN III	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
80	25	44	64	0	3,47	0,02	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
60	33	53	72	0	5,23	0,27	0,11	0,02	0	0	0	0	0	0,05	0,33
40	42	62	79	0	8,19	1,02	0,40	0,19	0,2	0	0	0	0	0,32	0,77
20	53	72	86	0,15	12,31	2,91	1,11	0,72	1,03	0	0	0,38	0,13	0,92	1,42
Débits observés (cm)				-	10,4	15,3	4,4	1,72	1,36	0,27	0,07	0,23	0,33	2,99	6,47

Tableau n° 11 - Valeur des débits calculés pour différents pourcentages
de recouvrement du sol, pour une forêt de type "chêne-aspen"



Aucun **aquifère** susceptible de donner de tels débits n'a été mis en évidence au niveau de ce bassin, cependant, les arènes provenant de l'altération de la roche mère et parfois d'une épaisseur non négligeable, peuvent permettre une infiltration notable et entraîner un ruissellement hypodermique au contact de la roche dure.

Un modèle de nappe ne peut donc pas être calé, mais l'influence de ce ruissellement hypodermique peut être considérable.

Par ailleurs, le seul paramètre influençant le débit, hormis les précipitations, est le coefficient CN.

Le tableau n° 11 montre que, pour des valeurs de CN II inférieures à 70, aucun calage, même médiocre, n'est possible.

On a donc été amené à vérifier l'existence d'une gamme de valeurs de CN pour laquelle le modèle puisse être calé. Ce test a donc été fait pour des valeurs de CN II allant de **75 à 90**, sans qu'il soit tenu compte des paramètres "**forêt**" et "**densité de végétation**" correspondants.

Le tableau de résultats n° 12, ainsi que le graphique (fig.14) montrent un très mauvais calage des débits mensuels.

Effectivement, le pic de février est très marqué, mais celui de mars n'est pas représenté par le modèle.

Si l'on observe les précipitations sur ces deux mois, on s'aperçoit que le mois de mars a été moins pluvieux que février (188 mm et 284 mm), bien que les débits soient supérieurs (cf fig. 12). On peut donc mettre en évidence un net décalage dans le temps. Ce décalage apparent est de l'ordre du mois et n'est pas reflété par le modèle : l'antécédent hydrique ne dépendant que des 5 jours précédant chaque jour considéré, il ne pourra y avoir au niveau du modèle, qu'un décalage de 5 jours, non décelable sur les graphiques de calculs.

Ceci est visible en février-mars : la fin du mois étant très sèche, l'influence des précipitations de février se limite à la mi-février.

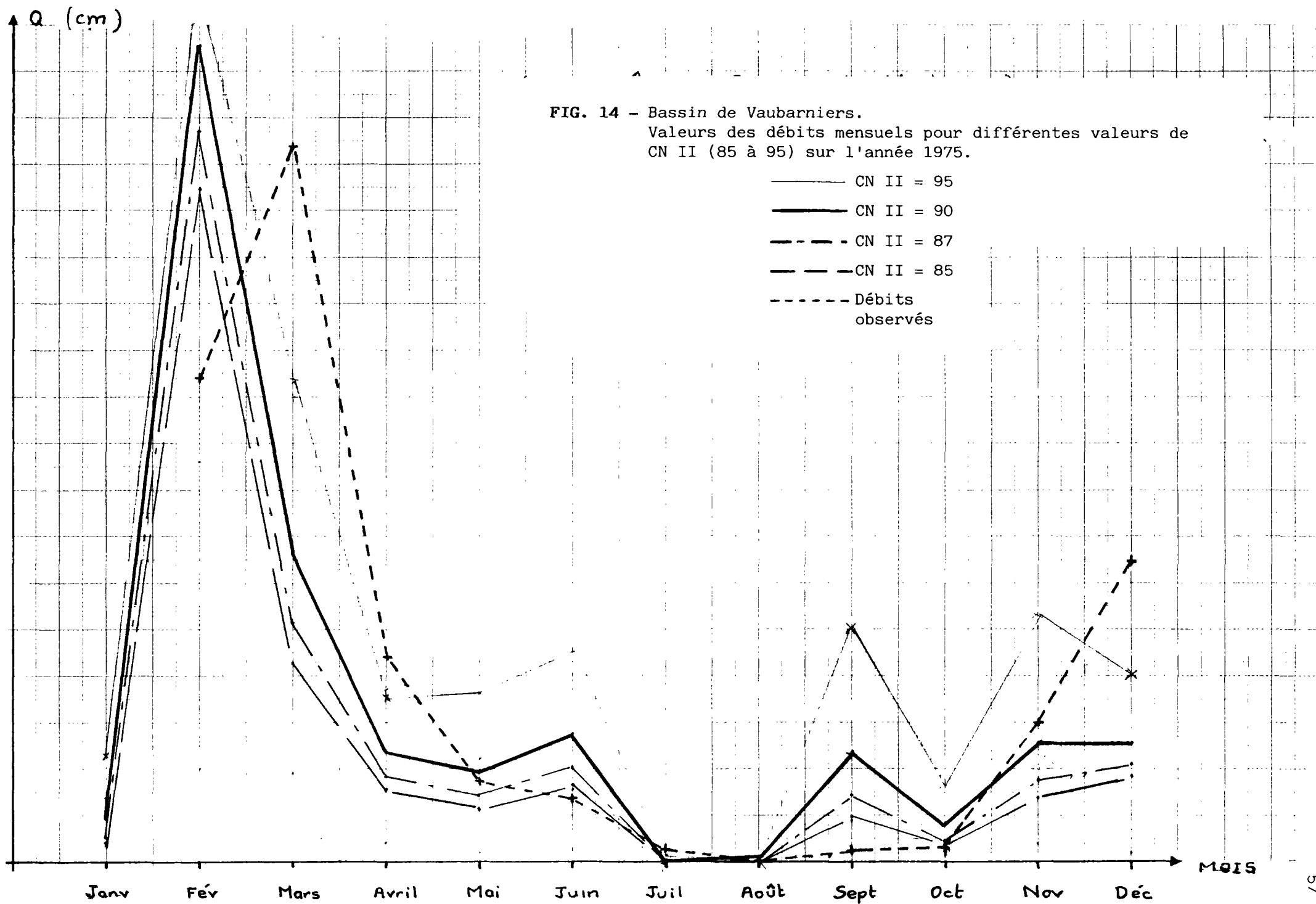
De même, les fortes précipitations de septembre ayant lieu après une longue période sèche, sont bien représentées par le modèle, alors qu'en réalité le ruissellement est infime en septembre et semble reporté sur novembre et décembre.

La seule période où le modèle reflète assez bien la réalité est la saison sèche (mai à septembre) pour des valeurs de CN de l'ordre de 80 - 85. En contrepartie, les écarts entre les débits calculés et observés sont énormes pour les autres mois.

Il apparaît donc nettement que les graphiques représentant les débits calculés sont fidèles à l'allure générale des précipitations, alors que l'écoulement réel est plus étalé.

CN II	CN I	CN III	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
95	87	98	2,27	21,64	10,35	3,54	3,63	4,56	0	0,45	5,01	1,68	5,32	4,00	62,45
90	78	96	0,97	17,57	6,63	2,32	1,96	2,79	0	0,096	2,38	0,80	2,54	2,55	40,606
89	76	96	0,79	17,04	6,26	2,22	1,88	2,55	0	0,57	1,97	0,66	2,19	2,43	38,57
88	75	95	0,71	16,19	5,50	1,95	1,51	2,30	0	0,042	1,78	0,60	1,98	2,19	34,75
87	73	95	0,56	15,71	5,19	1,87	1,46	2,08	0	0,19	1,43	0,48	1,73	2,10	32,8
86	72	94	0,49	14,93	4,56	1,64	1,17	1,87	0	0,01	1,18	0,43	1,57	1,89	29,74
85	70	94	0,38	14,49	4,30	1,58	1,14	1,88	0	0,0016	0,99	0,34	1,39	1,83	28,12
80	63	91	0,12	11,70	2,56	0,98	0,57	0,91	0	0	0,30	0,102	0,85	1,28	19,372
75	57	88	0,02	9,55	1,51	0,59	0,29	0,45	0	0	0,03	0,0097	0,51	0,94	13,90
Débits observés (cm)				10,4	15,3	4,4	1,72	1,36	0,27	0,07	0,23	0,33	2,99	0,4	43,54

Tableau n° 12 - Débits calculés pour diverses valeurs de CN III



Cette tendance est visible dès l'obtention de débits calculés non négligeables, soit pour une valeur de CN II de l'ordre de 70 (cf tableau n° 13), pour laquelle on obtient une lame d'eau de 0,38 cm au lieu de 0,23 cm observé au mois de septembre.

Cette tendance s'accroît lorsqu'on augmente la valeur de CN II et l'on obtient même pour CN II = 95, des débits ruisselés supérieurs aux précipitations, notamment en **mai**.

Ce modèle ne tient donc pas compte du **temps de retard**.

De plus, le bilan hydrologique n'est pas très bien défini, **le seul paramètre CN** prenant en compte tous les phénomènes autres que le ruissellement : infiltration et évaporation, interception par les plantes,...

Ce paramètre est donc très complexe et son utilisation "brute" ne permet pas de bien cerner les différentes parts de chaque phénomène et leur influence sur le ruissellement.

Remarque : le calage étant, à première vue, très critiquable, il n'a pas été effectué d'étude de fonction critère afin de déterminer les valeurs des paramètres optimaux.

Etude au niveau journalier

Les résultats précédents nous amènent à considérer les valeurs de débits de ruissellement au **niveau journalier**, afin de vérifier leur cohérence.

les valeurs des débits ruisselés journaliers ont donc été tracées sur le même graphique que les précipitations journalières, pour des végétations correspondant à une forêt de pins de densité moyenne (50 %) et pour une végétation de maquis. Les débits sont tracés sous forme de lame d'eau, en centimètres (cf annexe 6).

L'allure des courbes obtenues confirme bien les résultats obtenus sur les valeurs mensuelles. Il y a une réaction immédiate du ruissellement, bien qu'infime.

Les débits observés en janvier et les 4-5 février sont cohérents car le pic de débit se trouve légèrement décalé par rapport au pic de précipitations. Par contre, les pluies des 11 et 12 février présentent un pic de débit avant le pic de précipitations. Ceci est dû à l'importance de l'antécédent pluviométrique sur la pluie des 11 et 12 février. L'état hydrique du sol étant représenté par AMC, qui prend en compte les 5 jours précédant l'averse considérée, la pluie du 6 février place AMC dans la catégorie AMC III.

Si l'on compare avec la pluie du 3 mars, du même ordre que celle du 11 février, la pluie du 3 mars intervenant après une période sèche n'occasionnera qu'un très faible ruissellement (de l'ordre de 60 % inférieur), ceci est dû au fait que l'état hydrique sera toujours dans la catégorie AMC I : la fig. 15 montre bien l'influence qu'à l'antécédent pluviométrique sur la **rétenion** et donc sur le débit de ruissellement.

Etant donné qu'à un coefficient de CN II de 80 correspond un CN I de 63 et un CN III de 91 (cf tableau n° 5), on peut déduire du tableau n° 13 une variation de W de 15 cm à 2 cm.

CN	W (rétention en cm)	P minimale (cm)
95	1,336	0,27
90	2,82	0,56
85	4,48	0,89
80	6,35	1,27
75	8,46	1,69
70	10,88	2,17
65	13,67	2,73
60	16,93	3,39
55	20,78	4,16
50	25,40	5,08
40	38,1	7,62
30	59,3	11,85
20	101,6	20,32

Tableau n° 13 - Précipitations minimales occasionnant un ruissellement pour diverses valeurs de CN.

La pluie minimale occasionnant un ruissellement sera donc de 0,56 cm pour AMC I et de 3 cm pour AMC II.

Remarque : la courbe d'infiltration en fonction du temps est aussi fonction de l'intensité de la pluie.

Ce phénomène n'est pas du tout pris en compte dans le modèle, ce qui a peut-être des conséquences dans une région méditerranéenne présentant une pluviométrie de type orageux avec des averses courtes de forte intensité.

3.6. ETUDE DU BILAN ANNUEL

Le calcul des valeurs annuelles sur le tableau n° 12 permet de constater que le bilan annuel est correct pour la valeur de CNII = 90 environ, la lame d'eau ruisselée étant de 40,61 cm, alors que le débit observé est de 43,54 cm.

Si l'on calcule les lames d'eau précipitées durant la saison "en sève" et la saison "de latence", on obtient les résultats suivants :

	<u>Q calculé</u> (cm)	<u>Q observé</u> (cm d'eau)
Saison humide (de latence)	31,06	35,49
Saison chaude (en sève)	9,55	8,05

Le bilan est également correct.

Si l'on découpe encore ces saisons en trimestres, on obtient :

	<u>Débits calculés</u>	<u>Débits observés</u>
Janv./fév./mars	25,17	25,7
Avril/mai/juin	7,07	7,48
Juil./août/sept.	2,47	0,57
Oct./nov./déc.	5,89	9,79

Sur le découpage en séries de 3 mois apparaît le décalage déjà mis en évidence au niveau du mois. Le pic du mois de septembre est compté sur le 3ème trimestre, alors qu'en réalité il s'étale en octobre-novembre, donc sur le 4ème trimestre.

Le décalage du pic de février, par contre, n'apparaît pas au niveau trimestriel.

Le bilan annuel est donc correct, ainsi que le bilan saisonnier, pour CN II = 90, mais il faut remarquer que la valeur de CN ne correspond pas, et de loin, à la valeur de CN II déterminée en fonction des paramètres du complexe sol-couverture sur le bassin de Vaubarnier.

Les bilans annuels et saisonniers sont retrouvés pour une valeur du coefficient CN II très supérieure à celle déterminée d'après le modèle de ruissellement, pour les caractéristiques physiques du sol et de la végétation du bassin versant.

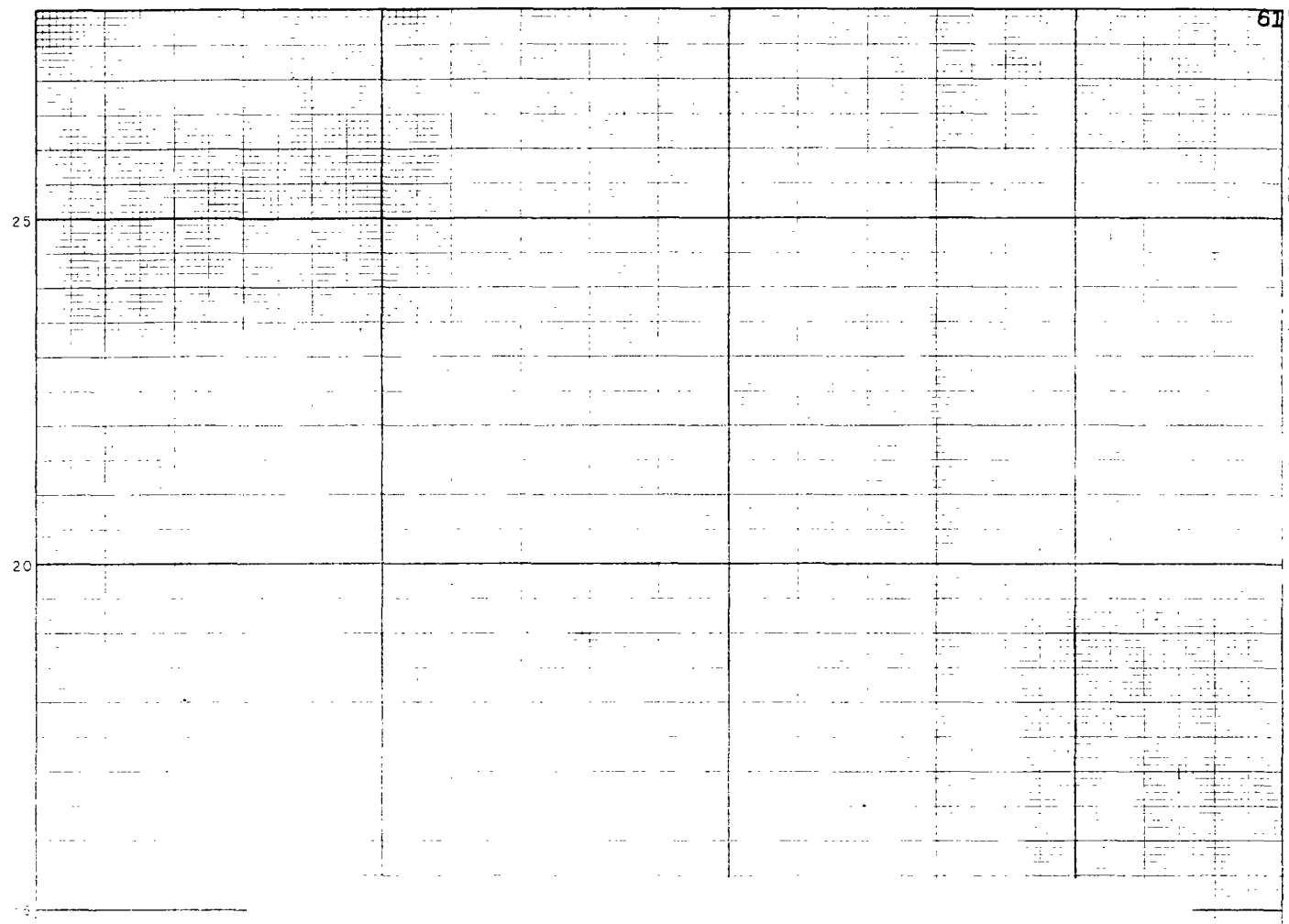
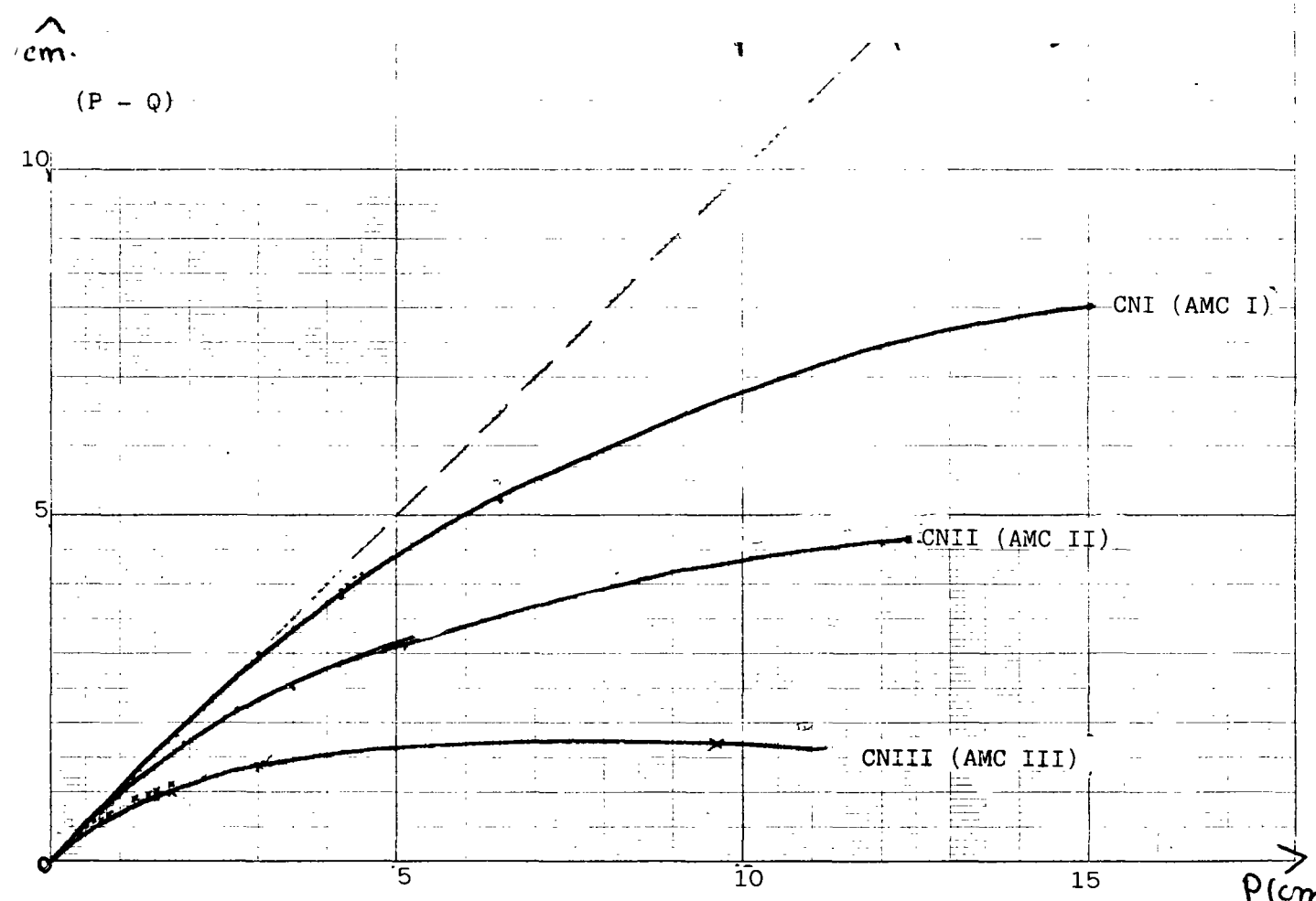


FIG. 15.

Rétention totale = f (précipitations)



Etude de la notion d'antécédent pluviométrique

Dans les sols aréniques du massif des Maures présentant de grandes perméabilité et porosité, la prise en compte d'un antécédent pluviométrique de cinq jours a-t-elle vraiment une signification ?

Effectivement, il semble qu'un tel sol permette un drainage rapide de l'eau de pluie, du moins en surface. Il semble donc susceptible de retrouver relativement vite son état initial. On a donc essayé de modifier le calcul de cet antécédent A en affectant aux cinq jours pris en compte, un coefficient regressif dans le temps.

Les valeurs de débits obtenus se sont avérées inférieures aux valeurs obtenues avec la valeur initiale de l'antécédent, mais les pics de septembre et mai n'ont pas été écrasés. Il semble donc que le problème pas de là, mais du fait que le temps de concentration ne soit pas mentionné.

Bilan récapitulatif

Ce modèle présente diverses particularités qui peuvent participer à sa non adéquation au bassin versant de Vaubarnier et donc, par conséquent, à celui de l'Aille :

- * le fait que le temps de concentration ne soit pas pris en compte (on ne tient pas compte du ruissellement de subsurface) ;

- * l'intensité de la pluie n'intervient pas dans le modèle ;

- * un autre paramètre qui n'intervient pas dans ce modèle est la **pente**. Celle-ci est parfois importante dans le massif des Maures et peut influencer le ruissellement ;

- * la détermination du paramètre CN II n'est pas très précise dans le cas des zones forestées considérées (assimilées aux forêts de l'Ouest des Etats-Unis) et n'a pas été testée efficacement précédemment (Réf. 11).

* *
*

4. C O N C L U S I O N

* *
*

Il ressort de cette étude une restriction dans l'utilisation du modèle S.C.S. : le test sur le bassin versant de Vaubarnier, dans le massif des Maures, a montré que le modèle ne semble pas adapté à des bassins versants présentant un **ruissellement hypodermique dominant**, le retard introduit par celui-ci n'étant pas pris en compte.

Il semble, également, que "ce modèle ne soit pas adapté à une zone karstique" (Réf. 11).

De plus, le modèle de vidange de nappe n'est pas adapté à un bassin versant présentant des aquifères de nature différente (karstique et poreux), car le calcul de paramètres moyens n'a plus de signification physique au niveau du bassin versant. Il faudrait superposer deux modèles de vidange de nappe ; ceci nécessiterait donc des données de débits journaliers aux exutoires principaux de ces aquifères, ce qui n'est pas le cas du bassin versant de l'Aille.

Il apparaît donc que le bassin de l'Aille n'est pas du tout adapté au modèle S.C.S., ce qui a été confirmé par les résultats obtenus sur l'année 1984 : les débits calculés sont très inférieure aux débits observés, voire même nul (cf annexe n° 6).

Il aurait été intéressant d'étudier, de la même manière que pour le bassin de Vaubarnier, la validité du modèle de ruissellement sur le bassin versant d'un ruisseau se situant entièrement en zone agricole (le Peyssonel). Il aurait fallu, pour cela, posséder les valeurs de débits journaliers à son exutoire.

* *
*

B I B L I O G R A P H I E

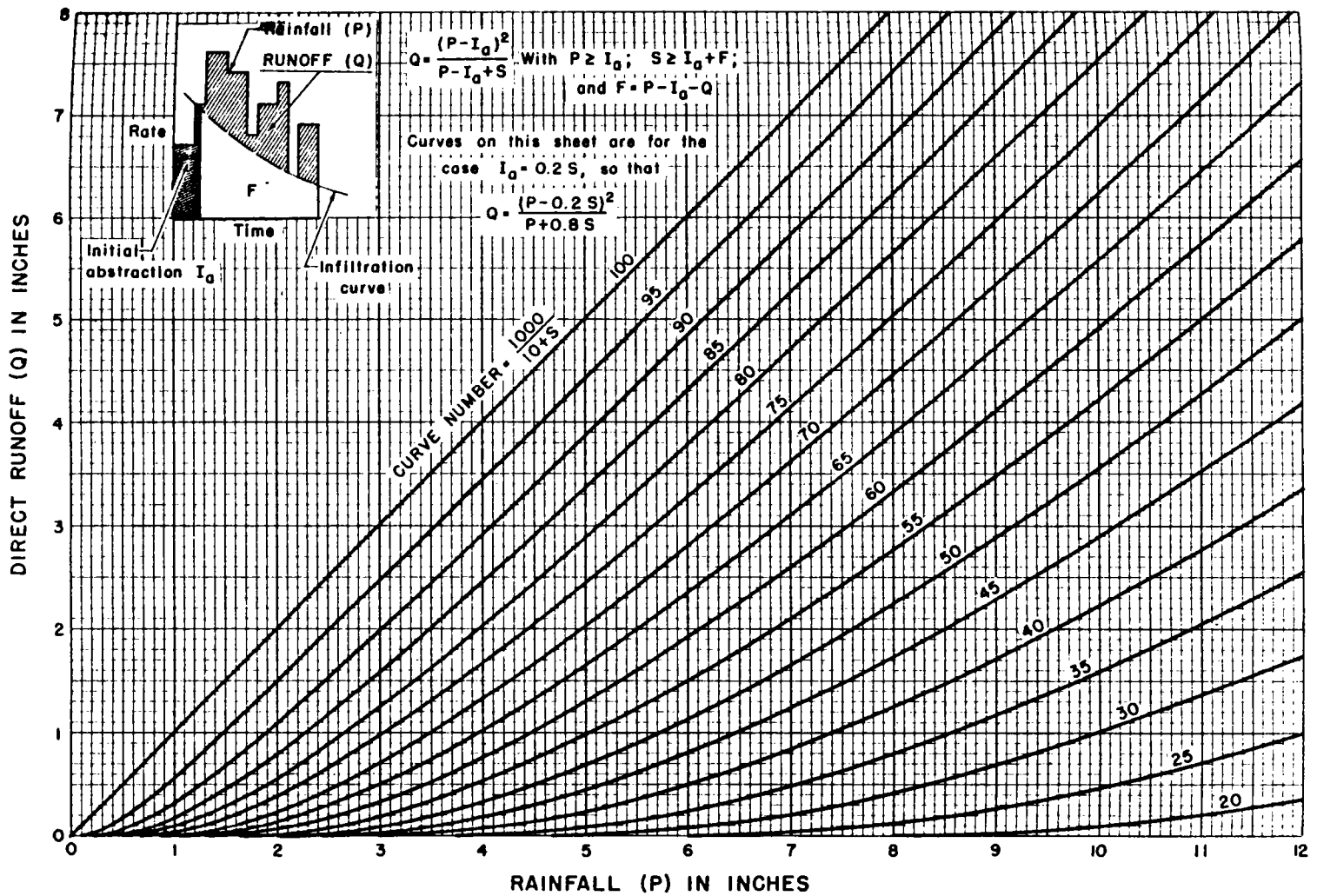
- Réf. 1 - Cartes géologiques à 1/50.000 de Collobrières (B.R.G.M.) et Draguignan (B.R.G.M.).
- Réf. 2 - Photographies aériennes de Collobrières et Draguignan.
- Réf. 3 - Rapports géologues experts sur le Var.
- Réf. 4 - J.P. CAMBON (CEMAGREF) - Etude du coefficient d'écoulement moyen sur le système de bassins versants emboîtés du Réal Collobrier.
- Réf. 5 - C.T. GREF - Bassin versant du Réal Collobrier. Récapitulatif des observations 1966-1975, 1979.
- Réf. 6 - C.T. GREF - La pluviométrie et sa répartition spaciale sur le Réal Collobrier, oct. 1978.
- Réf. 7 - J.M. MASSON - BOCQUILLON (U.S.T.L.) - Calcul des lames d'eau à partir des relevés pluviométriques ponctuels. Méthode MTH, juin 1980.
- Réf. 8 - SOIL CONSERVATION SERVICE - "SCS national engineering handbook, section IV", août 1972.
- Réf. 9 - STE DU CANAL DE PROVENCE (S.C.P.) - (Var) - Etude pédologique et d'aptitude des sols à la mise en valeur et à l'irrigation sur la dépression permienne de Cuers au Muy (branche du Var IV), 1979.
- Réf. 10 - STE DU CANAL DE PROVENCE - Etude CERN, 1977, sur la création de barrages sur l'Aille (Var).
- Réf. 11 - Water resources publications. Rainfall - Runoff relation ship.

* *
*

- A N N E X E N° 1 -

**COURBES REPRESENTANT LE DEBIT RUISSELE
EN FONCTION DES HAUTEURS DE PLUIE
POUR LES DIFFERENTES VALEURS DES COEFFICIENTS "CN"**

* * *

HYDROLOGY: SOLUTION OF RUNOFF EQUATION $Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$ P = 0 to 12 inches
Q = 0 to 8 inches

REFERENCE

Mockus, Victor; Estimating direct runoff amounts from storm rainfall:
 Central Technical Unit, October 1955

U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
 SOIL CONSERVATION SERVICE

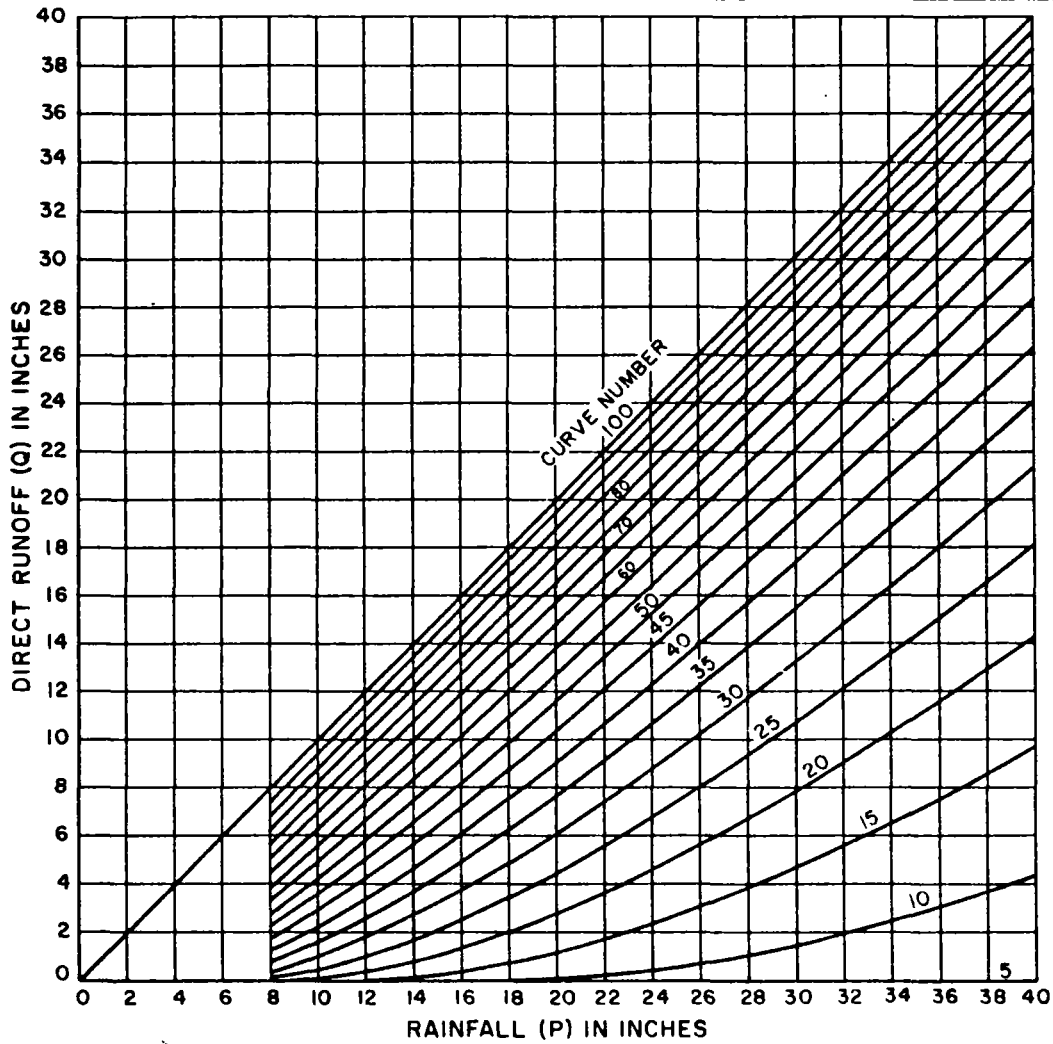
DESIGNATING SYMBOLS DESIGNATION

STANDARD DWG. NO.
 ES-1001

SHEET 1 OF 2

ROLOGY: SOLUTION OF RUNOFF EQUATION $Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$

P=8 to 40 inches
Q=0. to 40 inches



Mockus, Victor; Estimating direct runoff amounts from storm rainfall:
Central Technical Unit, October 1955.

U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE
SOIL CONSERVATION SERVICE
ENGINEERING DIVISION - HYDROLOGY BRANCH

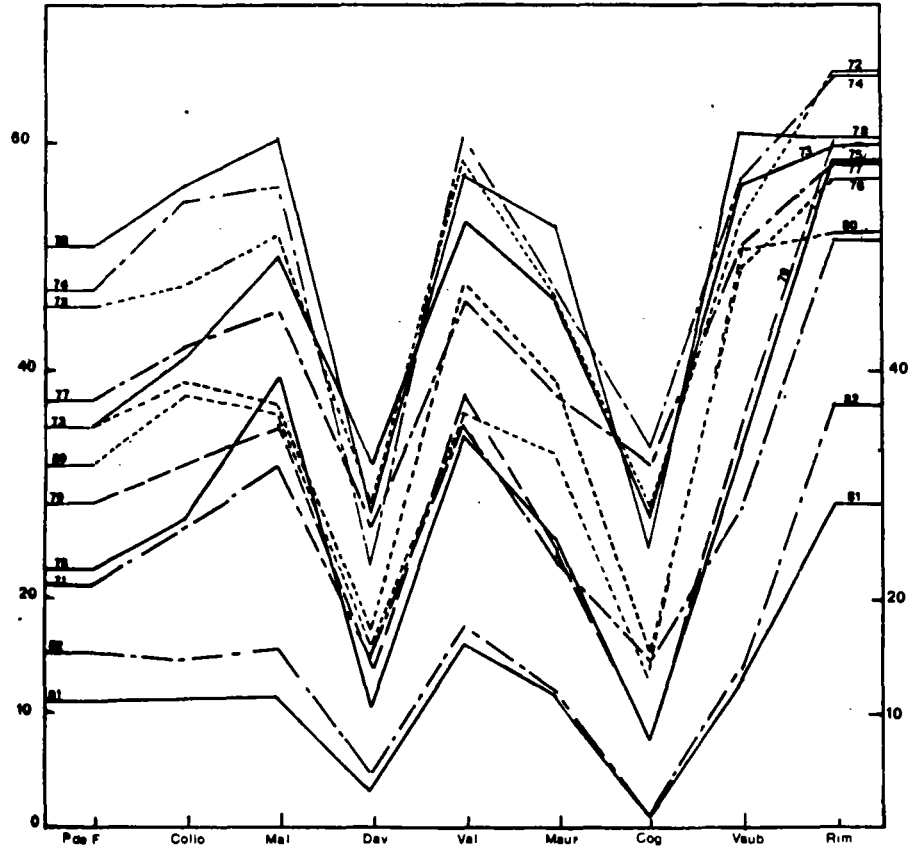
STANDARD DWG. NO.
ES- 1001
SHEET 2 of 2
DATE 8 27 56

- A N N E X E N° 2 -

**TABLEAU REPRESENTANT LES COEFFICIENTS D'ECOULEMENT ANNUELS
SUR LE BASSIN VERSANT EXPERIMENTAL
DU REAL-COLLOBRIER (MASSIF DES MAURES)**

*** *

GRAPHIQUE DES COEFFICIENTS D'ÉCOULEMENT PAR ANNÉE



Pour une moyenne de 12 années, les coefficients des différents sous-bassins varient de 18 à 57 %

On remarque:

- Une grande disparité des coefficients d'écoulement sur l'ensemble du bassin versant, due aux paramètres physiques de ces bassins ainsi qu'à la géologie et au couvert végétal.
- Les courbes restent parallèles les unes aux autres pour les différentes années. Les bassins versants présentent donc des comportements semblables au cours du temps.

1. ORGANIGRAMMES DU PROGRAMME "MAILLE"

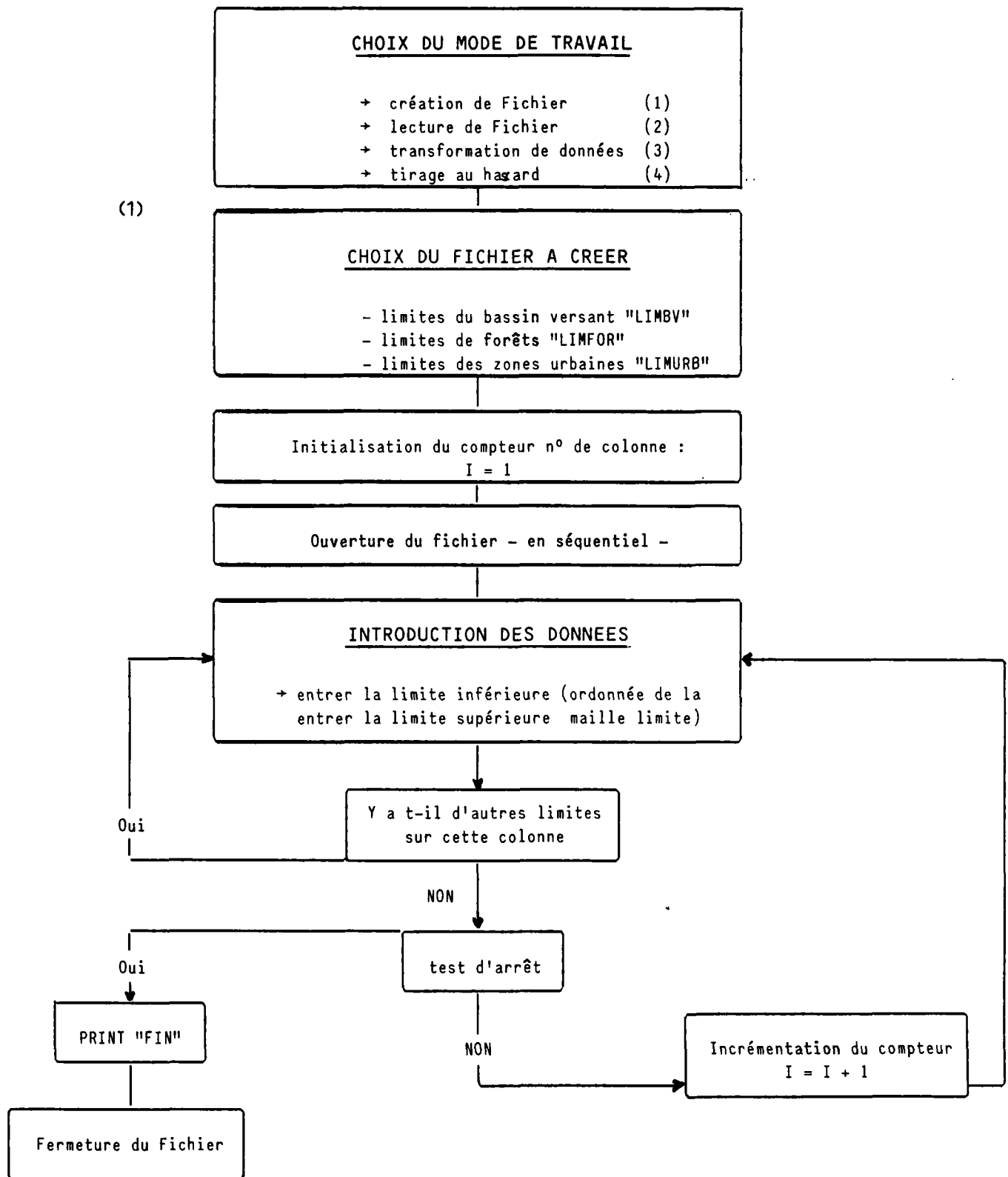
2. ORGANIGRAMMES DES PROGRAMMES :

AGRIFIC

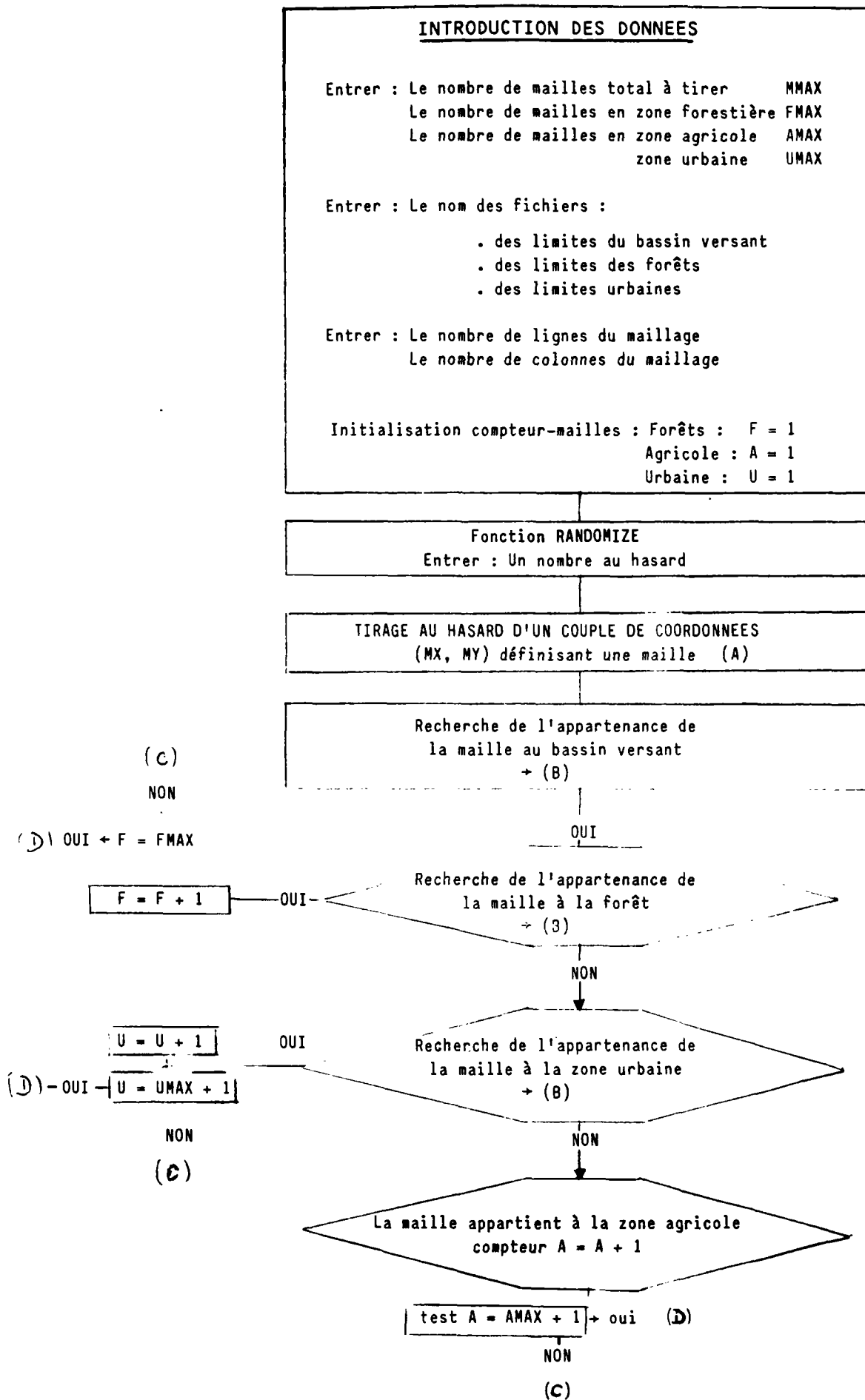
TOTFIC

SELECT

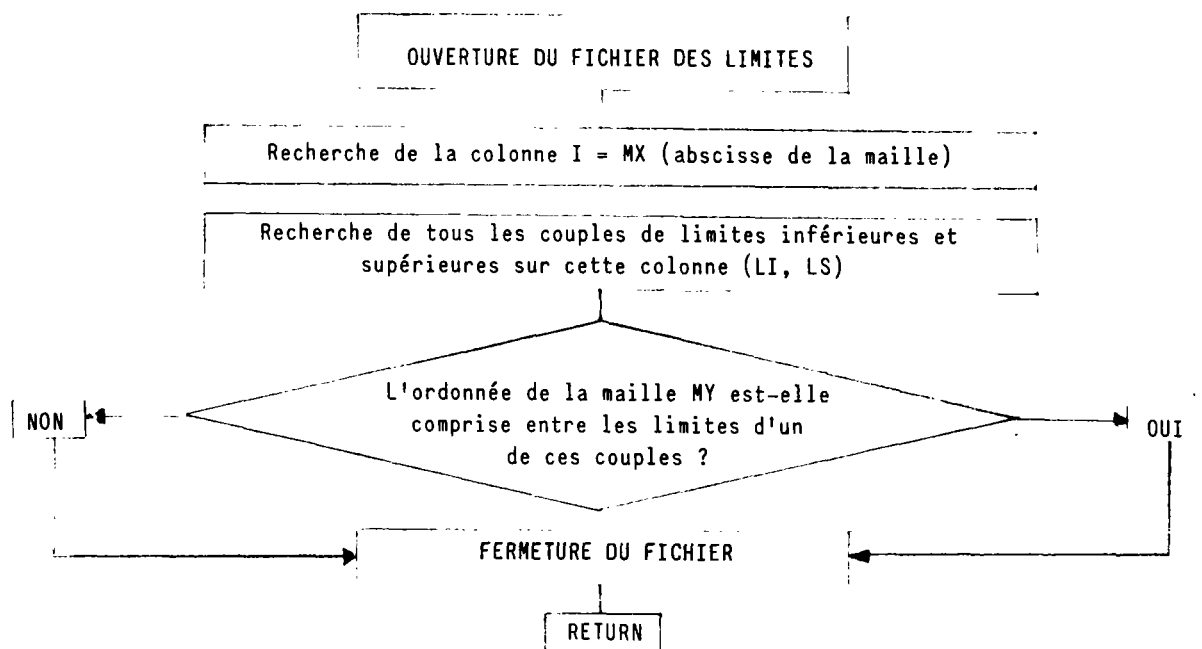
PROGRAMME "MAILLE"



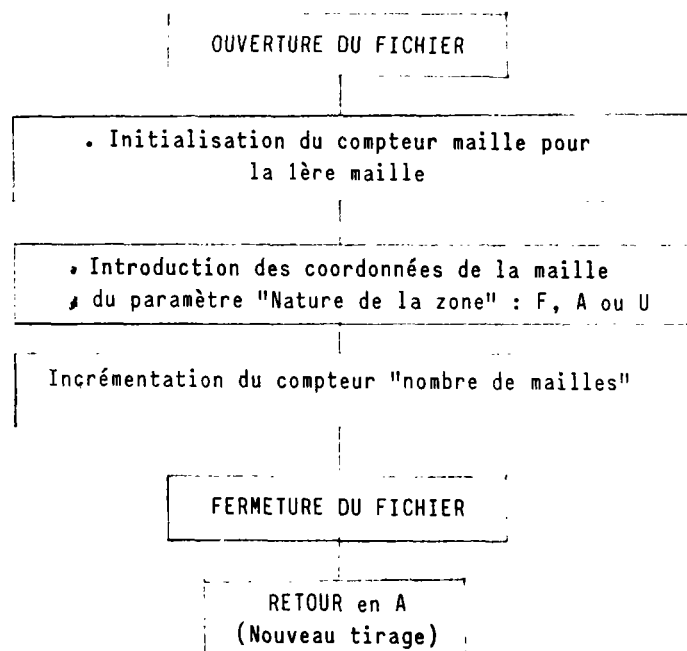
(4) TIRAGE AU HASARD



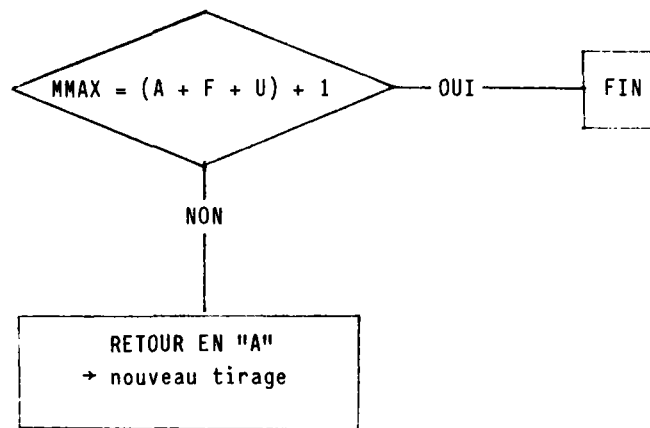
(B) Sous programme permettant de tester l'appartenance de la maille à une zone définie



(C) Introduction des mailles sélectionnées dans un nouveau fichier en accès direct



(D) Test d'arrêt du tirage au hasard



(3) Lecture du fichier

Un programme de lecture simple permet de lire et d'imprimer les fichiers mais il est également possible d'effectuer cette lecture sous le mode "EDITEUR" (cf. annexe n°

(4) Modifications

Les modifications ou ajouts de données dans les fichiers "Limites" se font à l'aide du mode EDITEUR qui permet un grand nombre de manipulations rapides.

SELECTION DES MAILLES (2ème METHODE)

Création des Fichiers LIMBV
 LIMFOR
 LIMAGR

Utilisation du mode EDITEUR

Programme "AGRIFIC"
(1)
Constitution du fichier LIMAGR

Programme "TOTFIC"

+ LIMAGR 2
 LIMFOR 2 (2)
 LIMURB 2

Programme "SELECT"

Sélectionne A mailles dans LIMAGR 2
 F mailles dans LIMFOR 2
 U mailles dans LIMURB 2

SIGLES UTILISES DANS LE PROGRAMME "FICMAL"
POUR REPRESENTER LES CARACTERISTIQUES DES MAILLES

* *
*

1. ZONES AGRICOLES

Utilisation du sol

Jachère	JAC
Cultures en rangées (vignes, vergers,...)	RAN
Céréales	CER
Pâturages et prairies	PAT
Prés	PRE
Bois	BOI
Fermes et habitations	FER
Chemins de terre	RT1
Routes bitumées	RT2

Pratique agricole

Champs plantés sans qu'il soit tenu compte du relief (Straight row)	"R"
Sillons creusés en suivant les courbes de niveau (contouring)	"C"
Cultures en terrasses	"T"

Conditions hydrologiques

Bonnes	"B"
Moyennes	"M"
Faibles	"F"

2. ZONES FORESTIERES

Forêts de chênes-aspens (caractéristiques des montagnes)	"M"
Genévriers et herbe	"G"
Sauge et herbe	"S"
Pins et herbe	"J"

- A N N E X E N° 5 -

ORGANIGRAMME DU PROGRAMME

"DEBBY"

* * *

PROGRAMME DEBBY

DIMENSIONNEMENT

Introduction des données.

Nom du fichier de mailles
année de départ
Nombre d'années de travail
Surfaces en ha des zones - agricoles
 - forestieres
 - urbaines

Nombre de mailles sélectionnées
Nom du bassin versant

Prise en compte du
modèle de nappe

NON → Mise en
mémoire

OUI

Introduction des données:

N° de la station pluviométrique de référence
Valeur de la constante de vidange "r"
Valeur du potentiel de la nappe au 1er avril
de l'année de départ "SI"

Sous-programme

Introduction des données de stations

-Pour chaque station:

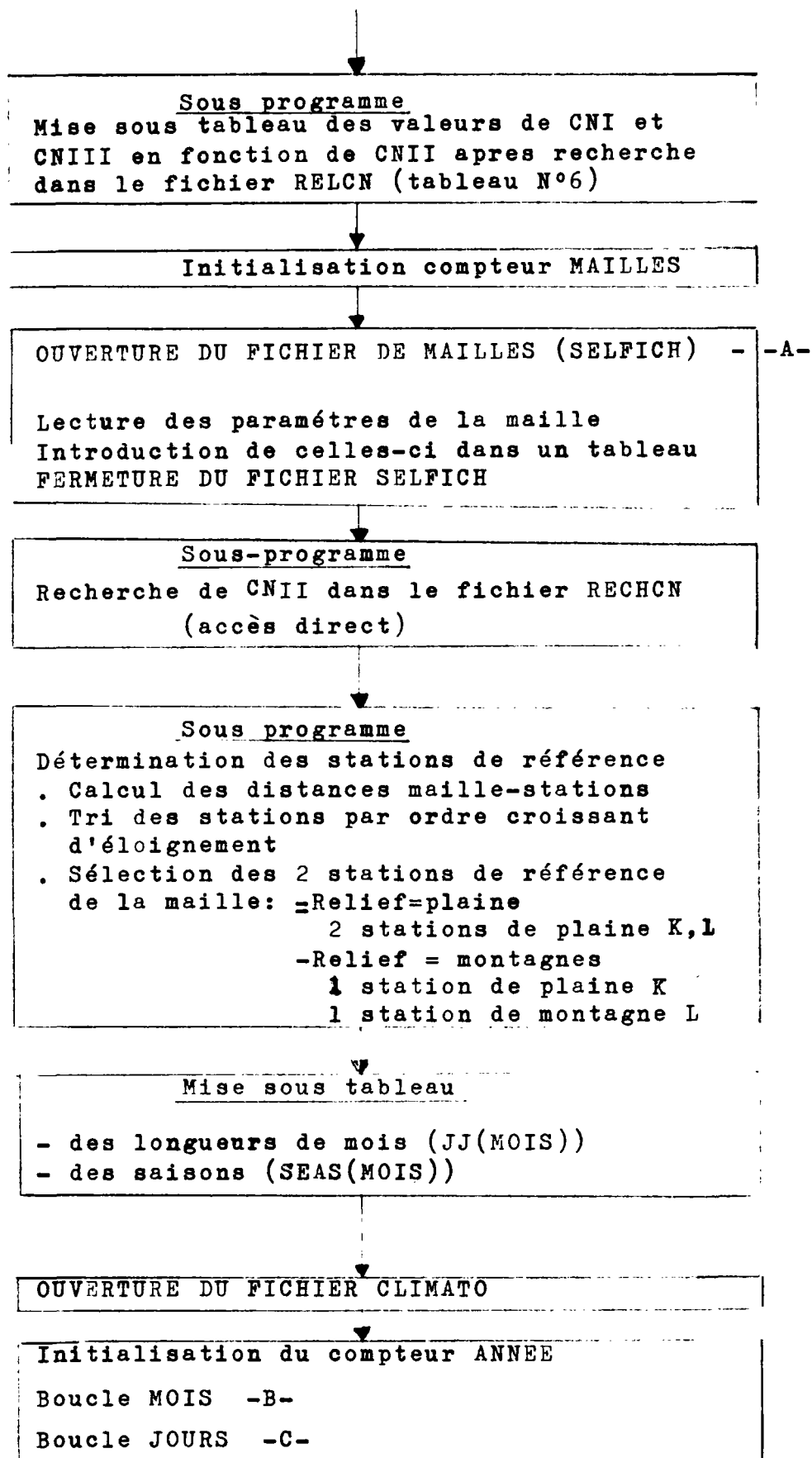
Nom
Numéro d'affectation
Coordonnées (Xst et Yst)
Relief (plaine ou montagnes)
Altitude (alt(S))

Calcul des distances inter-stations

DIST (K,L)

Sous programme

Recherche de l'insolation dans le fichier
INSOL-S (sequenciel)



-D-

Lecture des données et mise en mémoire:

- Températures TMIN et TMAX
- Précipitations sur les 2 stations de référence P(K) et P(L)

CALCUL DES PRECIPITATIONS

plaine P

Test relief

Montagnes M

$$c = \frac{DIST(K)^2 + DIST(L)^2 + DIST(K,L)^2}{2 \times DIST(K,L)}$$

$$P = P(K) + \frac{P(L) - P(K)}{c}$$

$$P = P(K) + \frac{P(L) - P(K)}{alt(L) - alt(K)} \times alt$$

MAILLE=1

Oui

Calcul de l'ETP
E(AN, MOIS, JOUR)

non

CALCUL DES PRECIPITATIONS LIQUIDES "R"

TMOY 0

Non

Neige SN=SN+P
R=0

Oui

SN=0

Non

Fonte de neige
M=Min 0,45.TMOY,SN
SN=SN-M
R=P+SN

Oui

R=P

Type de zone

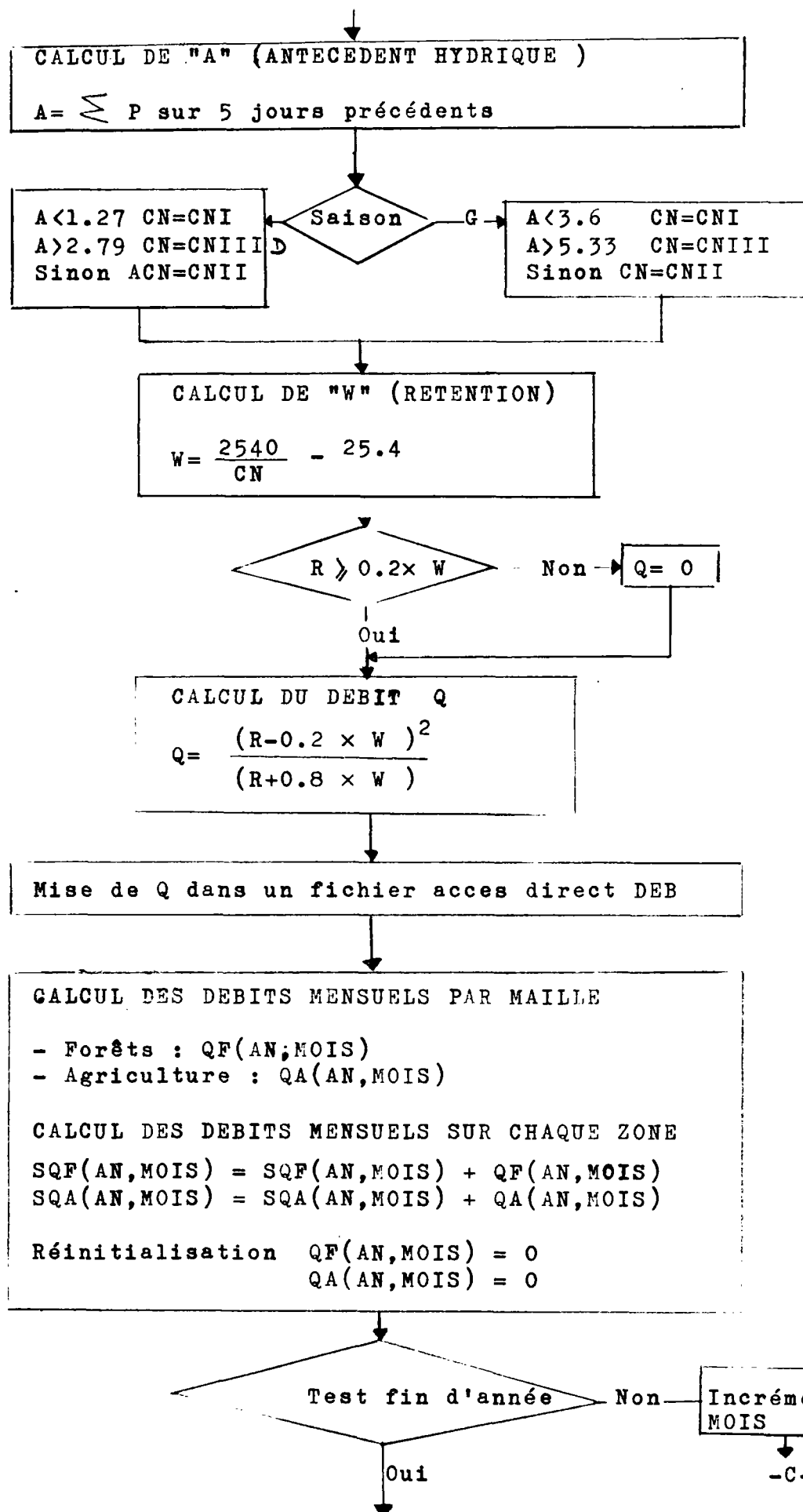
Urbaine

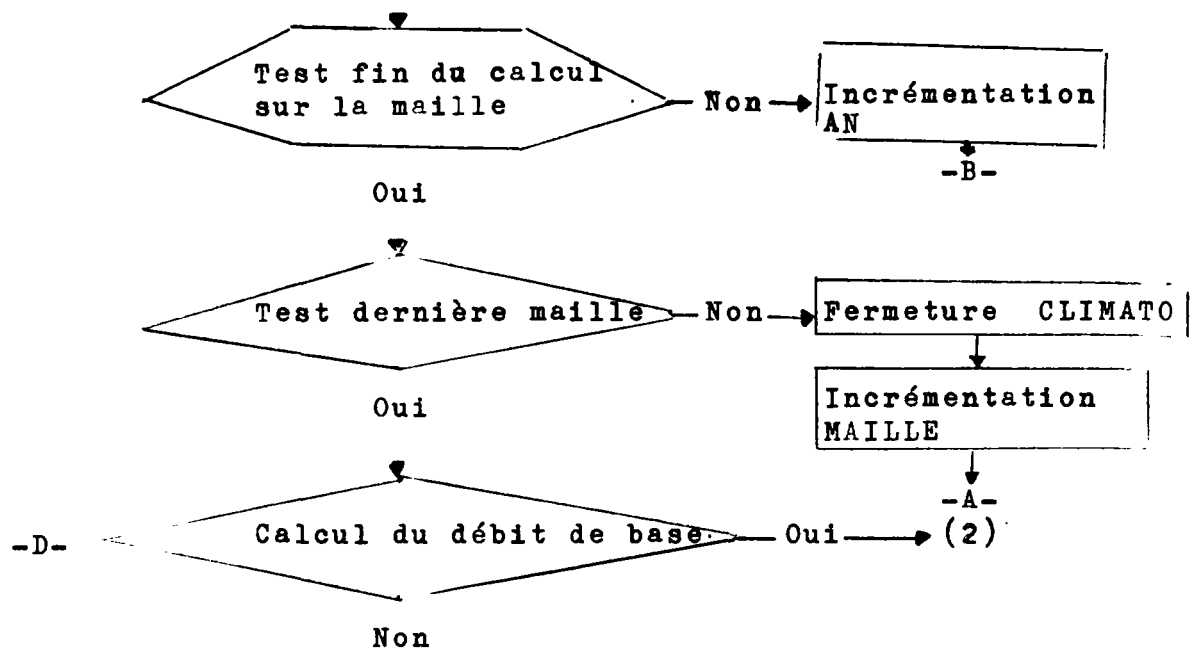
U

(1)

Forestiere
F

Agricole
A





CALCUL DES DEBITS SUR LE BASSIN VERSANT
IMPRESSION DU TABLEAU DE RESULTATS

. Pour chaque mois et chaque année:

$$QF = SQF \times \frac{SFT}{SF} \times \frac{1000}{3600 \times 24 \times JJ(MOIS)}$$

$$QA = SQA \times \frac{SAT}{SA} \times \frac{1000}{3600 \times 24 \times JJ(MOIS)}$$

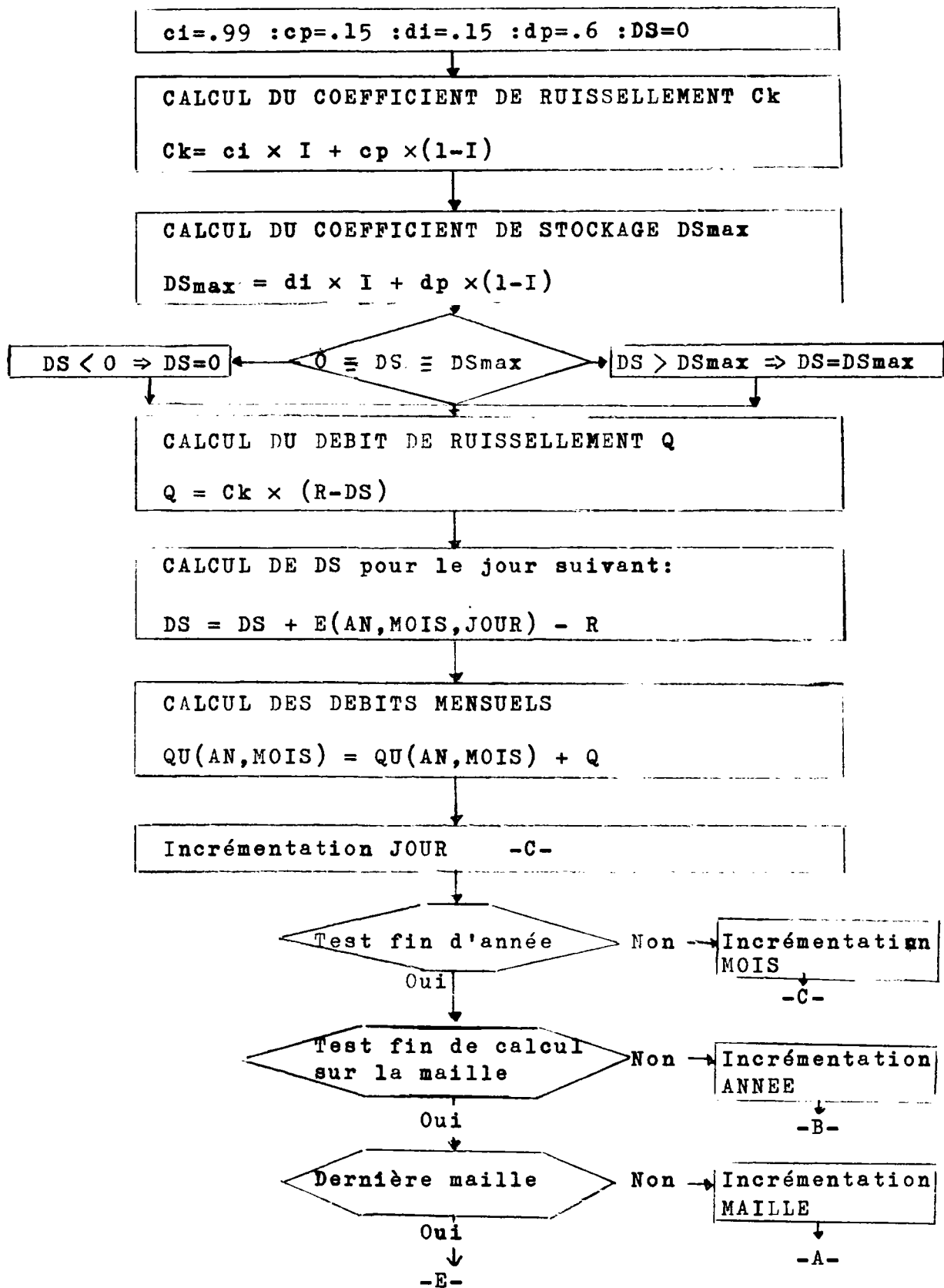
$$QU = SQU \times \frac{SUT}{SU} \times \frac{1000}{3600 \times 24 \times JJ(MOIS)}$$

$$Qt = QF + QA + QU$$

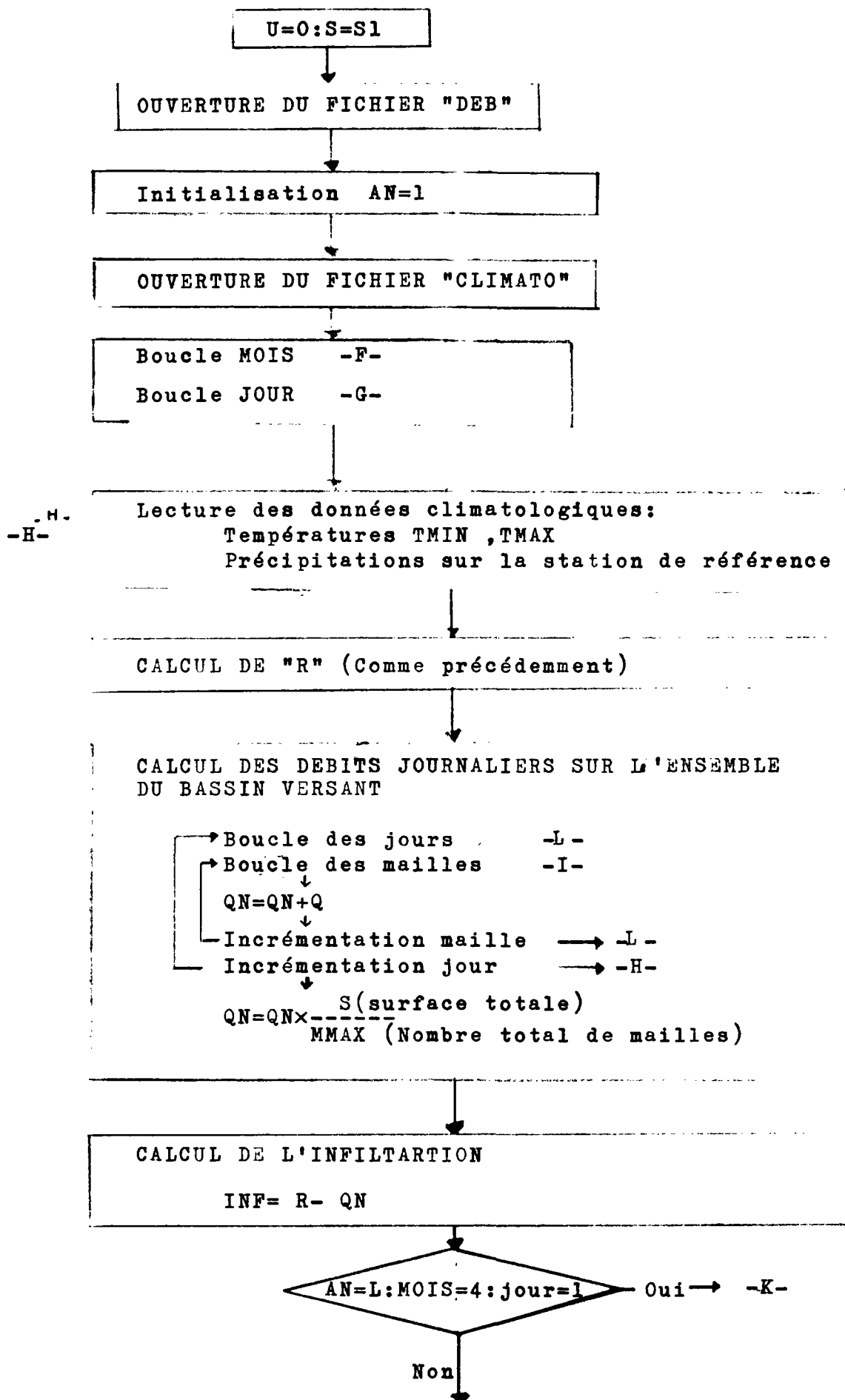
. Impression du tableau

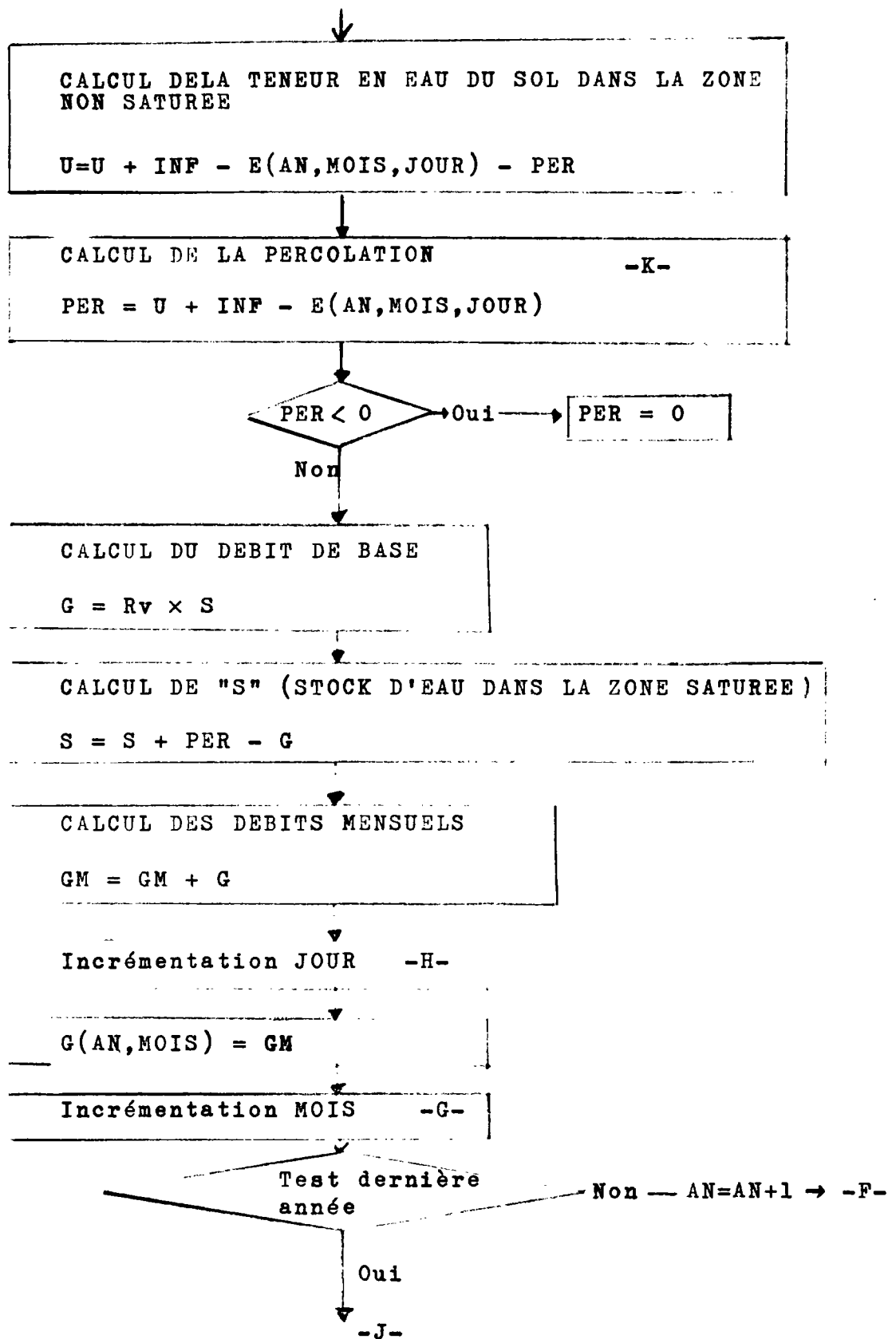
END

(1) -CALCUL DES DEBITS DE RUISSELLEMENT URBAINS



(2) MODELE DE VIDANGE DE NAPPE
(Sous-programme)





Graphiques représentant:

- Les valeurs des débits journaliers calculés rapportés à la surface du bassin versant et exprimés en cm d'eau
 - Pour CNII=85 (maquis)
 - Pour CNII=75 (forêt de type "Genevriers -pins " avec un couvert végétal de 50%)

- Les valeurs de la lame d'eau journalière précipitée exprimée en cm

Ces courbes sont calculées sur le bassin versant de
VAUBARNIER (Massif des Maures) pour l'année 1975

ANNUAIRE DES PLUIES JOURNALIERES

STATION , COL DES FOURCHES
ANNEE 1975
PLUIES EN MM DE 0 A 24H TL

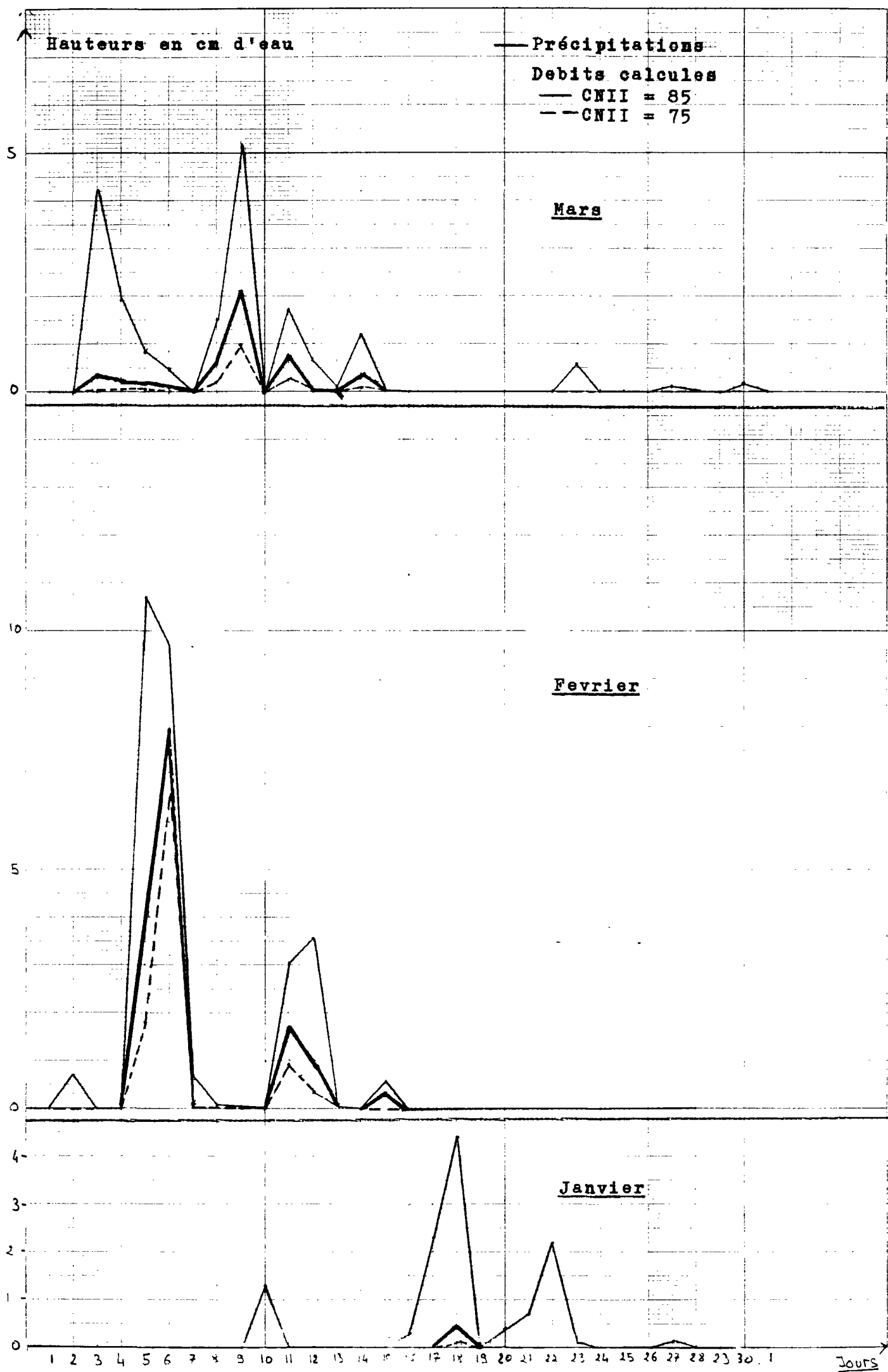
C.T.G.R.E.F.
SECTION GENIE RURAL
BASSIN DU REAL COLLOBRIER

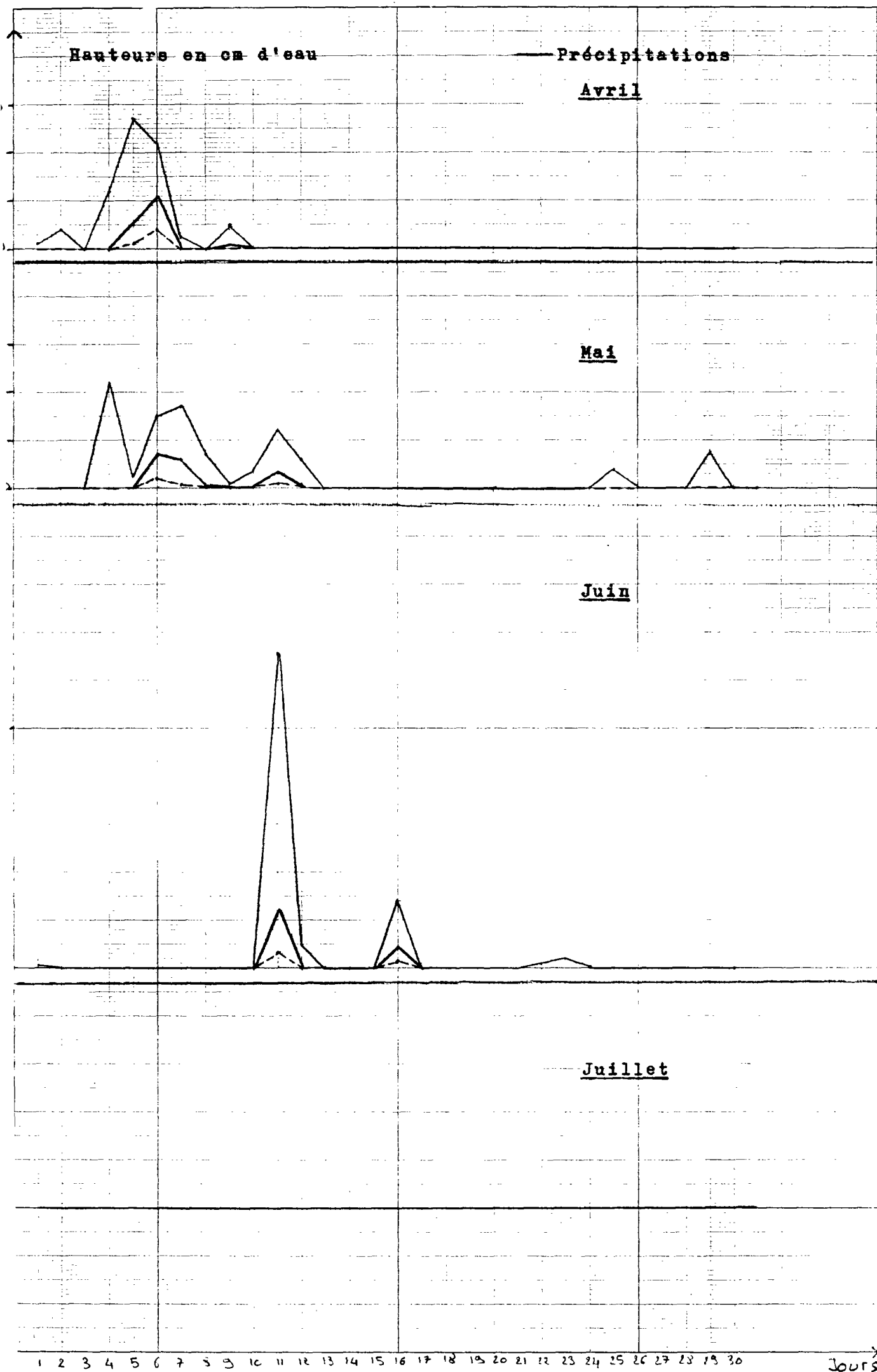
I	I	JANV I	FEVR I	MARS I	AVR. I	MAI I	JUIN I	JUIL I	AOUT I	SEPT I	OCTO I	NOV. I	DEC. I
I	1 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	1.3 I	0.0 I	0.2 I	0.0 I	0.0 I	1.0 I	0.0 I	4.8 I	0.0 I
I	2 I	0.0 I	0.7 I	0.0 I	3.9 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	39.9 I	0.0 I	22.1 I	0.0 I
I	3 I	0.0 I	0.0 I	42.1 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	12.3 I	7.1 I
I	4 I	0.0 I	0.0 I	19.0 I	12.0 I	22.1 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	2.6 I
I	5 I	0.0 I	107.0 I	8.5 I	27.0 I	2.3 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.3 I
I	6 I	0.0 I	96.6 I	4.9 I	22.5 I	15.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.2 I	0.2 I
I	7 I	0.0 I	7.5 I	0.0 I	2.4 I	17.1 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	1.4 I	0.0 I	2.3 I	0.0 I
I	8 I	0.0 I	0.2 I	15.5 I	0.0 I	7.2 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	4.1 I	0.0 I
I	9 I	0.0 I	0.1 I	51.6 I	4.9 I	0.2 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	-9.9 I	0.0 I
I	10 I	1.3 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	3.7 I	0.0 I	0.0 I	0.5 I	1.5 I	0.0 I	-9.9 I	0.0 I
I	11 I	0.0 I	30.2 I	17.6 I	0.0 I	12.0 I	65.2 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	2.0 I	-9.9 I	0.0 I
I	12 I	0.0 I	35.6 I	6.5 I	0.0 I	6.2 I	5.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	2.0 I	-9.9 I	0.0 I
I	13 I	0.0 I	0.3 I	1.5 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	-9.9 I	20.4 I
I	14 I	0.0 I	0.0 I	12.1 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	1.2 I	0.0 I	-9.9 I	10.2 I
I	15 I	0.0 I	5.5 I	0.5 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.1 I	41.8 I	0.2 I	-9.9 I	35.0 I
I	16 I	3.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	13.9 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	42.7 I	-9.9 I	30.3 I
I	17 I	23.1 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	-9.9 I	0.6 I
I	18 I	44.2 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	-9.9 I	2.3 I
I	19 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	-9.9 I	0.0 I
I	20 I	0.4 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	-9.9 I	0.0 I
I	21 I	0.7 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I
I	22 I	2.2 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.6 I	0.0 I	23.1 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I
I	23 I	0.1 I	0.0 I	5.9 I	0.0 I	0.0 I	1.9 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I
I	24 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I
I	25 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	4.0 I	0.0 I	0.0 I	2.2 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I
I	26 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.2 I	0.2 I	0.0 I	30.8 I	0.0 I
I	27 I	1.4 I	0.0 I	1.1 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	18.6 I	0.0 I
I	28 I	0.0 I	0.0 I	0.1 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	2.1 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I
I	29 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	7.6 I	0.0 I	0.0 I	0.4 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I
I	30 I	0.0 I	0.0 I	1.7 I	0.0 I	0.1 I	0.0 I	0.0 I	0.1 I	45.6 I	0.0 I	5.6 I	0.2 I
I	31 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	7.5 I	0.0 I	0.0 I	0.0 I	1.5 I

VALEURS MENSUELLES

TOTAL ANNUEL

I *** I	76.4 I	283.7 I	188.6 I	74.0 I	97.5 I	86.8 I	0.0 I	36.2 I	132.6 I	46.9 I	-99.0 I	110.7 I	-99.00
---------	--------	---------	---------	--------	--------	--------	-------	--------	---------	--------	---------	---------	--------





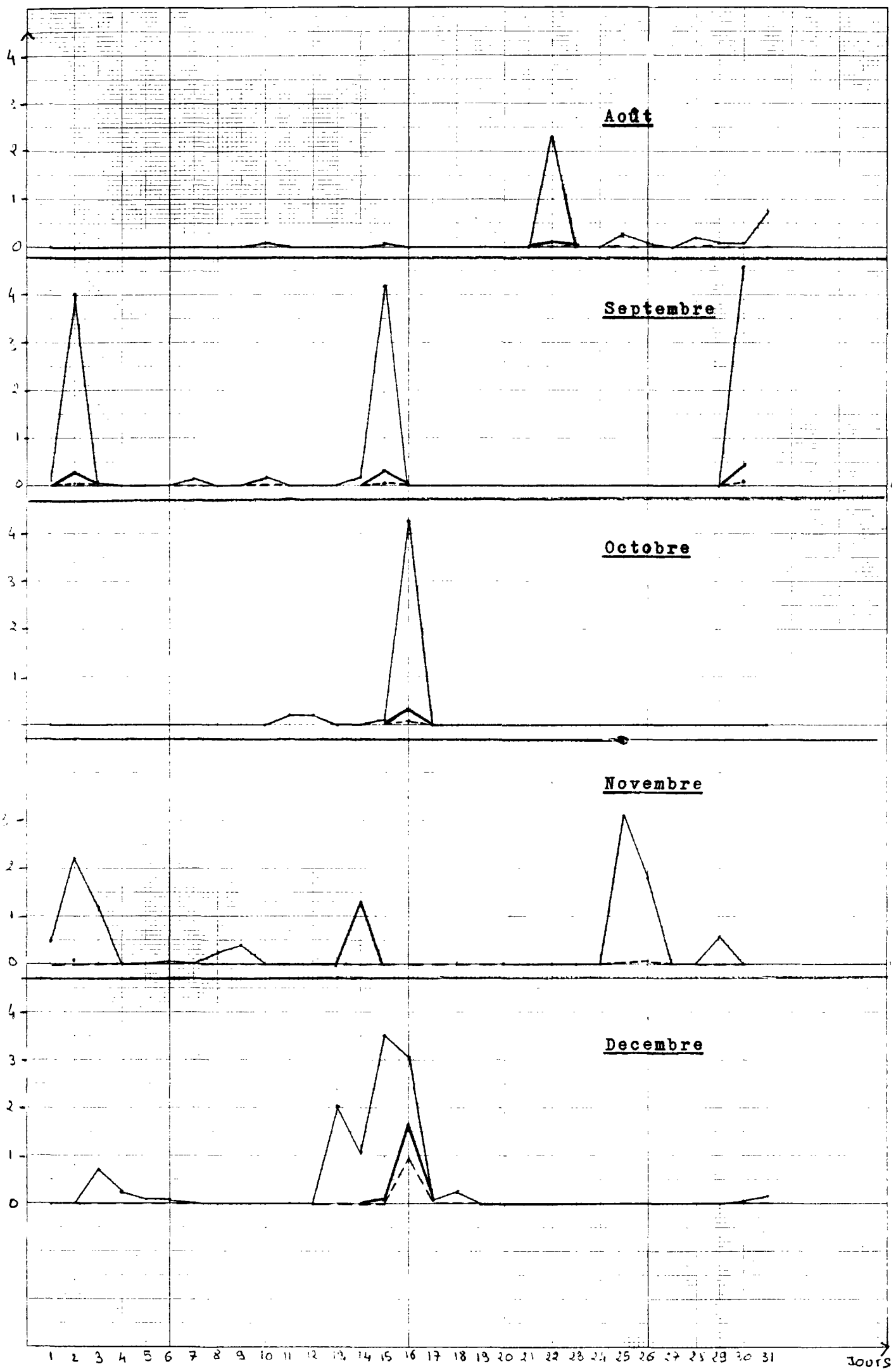


TABLEAU DES RESULTATS SUR LE BASSIN VERSANT DE L'AILLE

Calcul effectué sur une dizaine de mailles représentatives du bassin versant , le manque de temps n'ayant pas permis de faire tourner le programme sur toutes les mailles sélectionnées.

Origine des débits	An	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Zone Agricole	82	-	-	-	.07	0	0	0	1.64	.33	4.85	3.13	0
	83	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zone forêts	82	-	-	-	1.38	0	.01	0	1.66	1.27	11.7	9.85	.02
	83	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Débit total	82	-	-	-	1.45	0	.01	0	3.3	1.6	16.55	12.98	.02
	83	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Débits observés	82	-	-	-	6.8	3.75	1.25	0	00	0	9.6	54.65	17.0
	83	.8	3	3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau des résultats de la modélisation sur le
bassin versant de l'AILLE