



HAL
open science

Contribution à l'étude des paramètres hydrologiques de la région lémanique

Jean Jacques Jeremie

► **To cite this version:**

Jean Jacques Jeremie. Contribution à l'étude des paramètres hydrologiques de la région lémanique. Géologie appliquée. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 1976. Français. NNT: . tel-00848035

HAL Id: tel-00848035

<https://theses.hal.science/tel-00848035>

Submitted on 25 Jul 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Jer ex

UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

PARIS VI

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE
et MEDICALE de GRENOBLE
INSTITUT DOLOMIEU
Rue Maurice-Oignoux
38 - GRENOBLE

15 DEC. 1977

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES PARAMETRES HYDROLOGIQUES DE LA REGION LEMANIQUE

Jean Jacques JEREMIE

CENTRE DE RECHERCHES
GEODYNAMIQUES

1976

74 203 THONON LES BAINS FRANCE

THESE

Présentée à
L'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE
(PARIS VI)

pour l'obtention du
DOCTORAT DE 3ème CYCLE

SPECIALITE : GEODYNAMIQUE EXTERNE

MENTION : SCIENCES DE L'EAU

par

Jean-Jacques JEREMIE

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES PARAMETRES HYDROLOGIQUES DE LA REGION LEMANIQUE

Soutenu le : 8 Juin 1976

Devant la Commission composée de :

<i>Président</i>	A. JAUZEIN
<i>Examineur</i>	R. LETOLLE
"	B. BLAVOUX
"	Ph. OLIVE
"	G. CASTANY
"	P. DUBREUIL

CENTRE DE RECHERCHES GEODYNAMIQUES

74203 THONON (FRANCE)

10468717

S O M M A I R E

	Pages
INTRODUCTION.....	1
<u>CHAPITRE I</u> - Présentation sommaire des milieux étudiés.....	3
I.1. - Données générales.....	3
I.2. - Le bassin versant représentatif du Maravant..	7
I.2.1. - Caractères physiques et morpho- logiques.....	8
I.2.2. - Caractéristiques géologiques et pé- dologiques du bassin du Maravant....	13
I.2.3. - Etude phytosociologique du bassin du Maravant.....	18
<u>CHAPITRE II</u> - Etude des précipitations.....	21
II.1. - Etude à l'échelle régionale.....	21
II.1.1. - La banque des données.....	21
II.1.2. - Analyse statistique des séries de données.....	24
II.1.3. - Formation des pluies sur le Léman..	26
II.1.4. - Variations des précipitations an- nuelles.....	31
II.1.5. - Causes des variations climatiques..	38
II.1.6. - Variations du module pluviométri- que annuel avec la durée de la pé- riode d'observation.....	39
II.2. - Les précipitations sur le versant d'Evian... 41	41
II.2.1. - Le réseau d'observation.....	41
II.2.2. - Hauteurs des précipitations an- nuelles et module pluviométrique annuel pour chaque station.....	41
II.2.3. - Les cartes pluviométriques du ver- sant d'Evian.....	44
II.2.4. - Lamme d'eau moyenne tombée sur le versant d'Evian.....	45
II.3. - Les précipitations sur le bassin versant du Maravant.....	53
II.3.1. - Précision et méthode d'évaluation des lames d'eau précipitées sur le bassin versant du Maravant.....	53

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
F. 38041 B.P. 53
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail: prialour@ujf-grenoble.fr

18 AOÛT 2003

	Pages
II.3.2. - Etude des précipitations annuelles.....	54
II.3.3. - Les précipitations mensuelles à la station du Maravant.....	61
II.3.4. - Etude des précipitations journalières.....	66
II.3.5. - Les précipitations neigeuses...	69
Conclusion à l'étude des précipitations.....	72
<u>CHAPITRE III</u> - Etude de l'évapotranspiration.....	74
III.1. - Les mécanismes de l'évapotranspiration...	75
III.1.1. - Evaporation à la surface d'une masse d'eau libre.....	75
III.1.2. - Evaporation à la surface des sols.....	77
III.1.3. - La transpiration.....	78
III.2. - L'évapotranspiration potentielle (ETP) sur le pourtour du Léman : cas des versants de Thonon et d'Evian.....	79
III.2.1. - L'évaporation potentielle.....	80
III.2.2. - Etude critique des formules donnant l'évapotranspiration et employées dans la région...	86
III.3. - L'évapotranspiration sur le bassin du Maravant.....	91
III.3.1. - L'évaporation potentielle.....	92
III.3.2. - L'évapotranspiration potentielle.....	94
III.4. - Estimation de l'évaporation due à l'interception des précipitations par la végétation.....	111
III.4.1. - Mécanisme de l'interception des précipitations.....	111
III.4.2. - Facteurs influençant l'interception.....	112
III.4.3. - Mesure et estimation de l'interception.....	113
Conclusion à l'étude de l'évapotranspiration.....	118

	Pages
<u>CHAPITRE IV</u> - Etude de l'écoulement sur le bassin du Maravant....	120
IV.1. - Mesure des hauteurs d'eau et calculs des débits.....	120
IV.2. - Etude des débits ; régime du ruisseau du Maravant.....	122
IV.2.1. - Débits d'écoulement annuels.....	122
IV.2.2. - Débits moyens mensuels.....	127
IV.2.3. - Ecoulements journaliers.....	135
IV.2.4. - Le tarissement du ruisseau du Maravant.....	143
IV.2.5. - L'évapotranspiration et le tarissement.....	152
IV.3. - Considérations générales sur l'écoulement global.....	162
IV.4. - Les couples Averses-Crues du Maravant.....	168
IV.4.1. - Considérations d'apparition des crues.....	168
IV.4.2. - L'hydrogramme caractéristique du Maravant.....	170
Conclusion à l'étude de l'écoulement sur le bassin du Maravant.....	194
CONCLUSIONS GENERALES.....	195
BIBLIOGRAPHIE.....	200
LISTE DES FIGURES.....	209
LISTE DES TABLEAUX.....	214
ANNEXE.....	217
LISTE DES TABLEAUX HORS-TEXTE.....	223

AVANT - P R O P O S

A l'impression définitive de ce mémoire, j'exprime ma profonde reconnaissance à ceux qui m'ont fait l'honneur d'accepter de faire partie du Jury et de me soumettre leurs critiques et suggestions :

- Monsieur le Professeur A. JAUZEIN pour l'honneur qu'il m'a fait de présider le Jury.

- Monsieur le Professeur R. LETOLLE qui a bien voulu m'accepter dans son laboratoire et qui n'a cessé de m'encourager.

- Monsieur B. BLAVOUX, Maître-Assistant, pour la confiance qu'il a manifesté à mon égard en me confiant cette étude qu'il a bien voulu rapporter, ainsi que pour les suggestions faites à propos de ce travail et qui m'ont aidé et guidé.

- Monsieur Ph. OLIVE, Sous-Directeur du Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon-les-Bains, qui a tout mis en oeuvre dès mon arrivée au Centre, pour que ce travail se réalise dans les meilleures conditions possibles et particulièrement pour les nombreuses discussions et critiques dont j'ai tiré grand profit.

- Monsieur G. CASTANY, Conseiller Scientifique Permanent au Service Géologique National, pour le jugement qu'il a accepté d'apporter plus spécialement sur les divers aspects liés aux eaux souterraines.

- Monsieur P. DUBREUIL, Secrétaire Scientifique du Comité Technique d'Hydrologie, pour les conseils qu'il a eu la bienveillance de me donner avant de commencer cette étude et pour l'examen critique qu'il en a fait avant de le juger.

J'adresse aussi mes vifs remerciements à toute l'équipe du Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon-les-Bains et particulièrement à celles qui ont apporté leur soin à la réalisation matérielle de ce mémoire, Madame M. BOUVET, Mademoiselle A.M. CHIARA,

Mesdames C. DUCHAMP et J. TESSIER, ainsi qu'à mes camarades de travail,
B. CHASSAING et G. SERRA pour leur aimable collaboration.

Enfin, je ne saurais oublier mes proches qui m'ont tant encouragé et pour le soutien permanent qu'ils n'ont cessé de m'apporter.

INTRODUCTION

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

Les travaux effectués depuis 1958 par le Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon-Les-Bains concernent divers domaines des "Sciences de l'eau" et ont été principalement axés sur les problèmes régionaux liés à la climatologie, l'hydrologie, la géochimie, l'hydrogéologie et la limnologie.

Un certain nombre d'hypothèses et d'incertitudes touchant les paramètres hydrologiques régionaux rendait nécessaire une connaissance plus précise de ces derniers en vue de solutionner certains problèmes faisant appel à ces paramètres.

Dans l'étude qui suit, nous nous sommes attachés, tant du point de vue qualitatif que quantitatif, à définir les différents termes du bilan hydrologique classique (schématisé par la figure 1) pour le pourtour lémanique. Les données à disposition ont cependant limité ce travail aux seuls phénomènes de surface, de subsurface et atmosphériques.

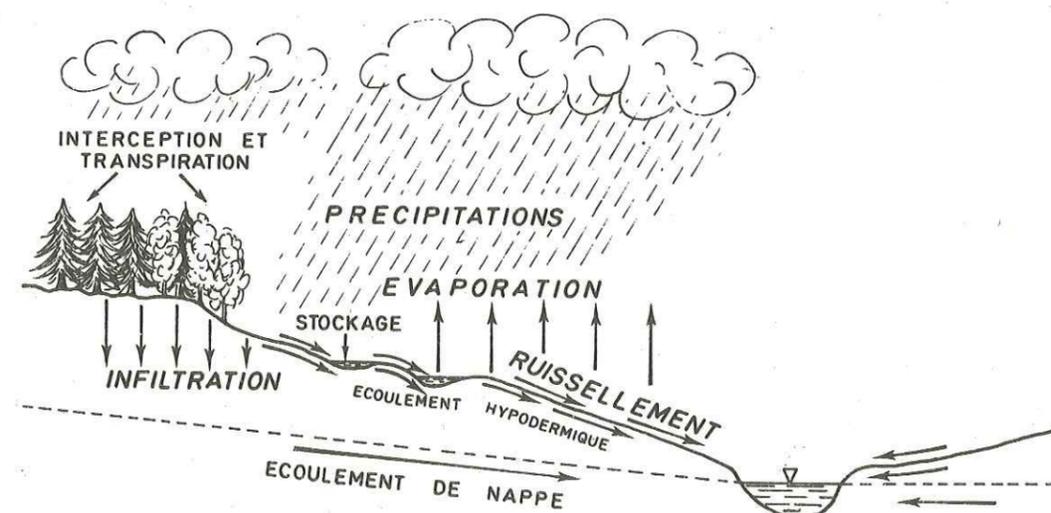


Fig. 1 - : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU CYCLE DE L'EAU

En premier lieu, l'étude des précipitations a été entreprise à diverses échelles de temps et d'espace.

Nous avons essayé ensuite de cerner les mécanismes de l'évapotranspiration dans la région.

Enfin, l'étude de l'écoulement sur le bassin représentatif du Maravant, collecteur d'une partie des eaux issues des précipitations sur le plateau de Vinzier, a été menée ; ce bassin est représentatif de la zone d'alimentation des nappes d'Evian.

PREMIER CHAPITRE

P R E M I E R C H A P I T R E

PRESENTATION SOMMAIRE DES MILIEUX ETUDIES

I.1. - D O N N E E S G E N E R A L E S .

La carte présentée par la figure 2 indique la position géographique de la région étudiée et précise également les situations des versants de Thonon, d'Evian et du bassin versant représentatif du Maravant.

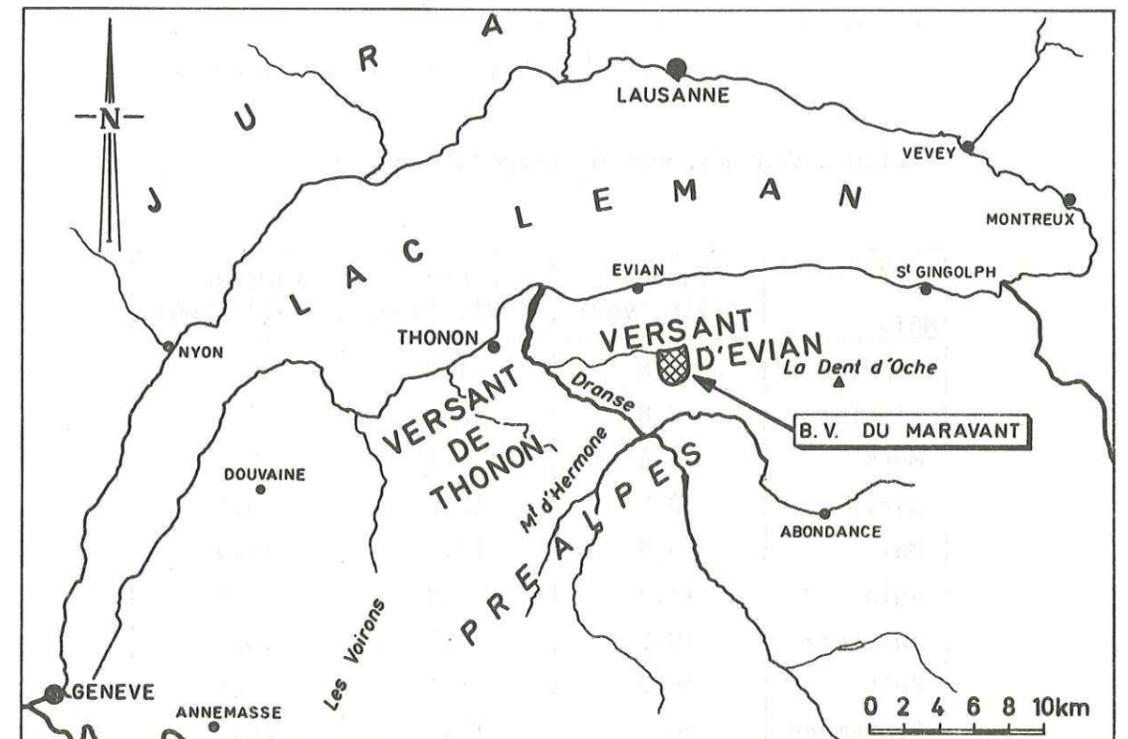


Fig. 2 - CADRE GEOGRAPHIQUE GENERAL DE LA REGION ETUDIEE

Les versants de Thonon et d'Evian, séparés l'un de l'autre par la vallée de la Dranse, sont à faible pente vers le Nord et s'étendent du front Nord des Préalpes à la rive Sud du Lac Léman.

Le bassin versant représentatif du Maravant, d'une superficie de 3 km², occupe une partie du plateau de Vinzier, dominant le versant d'Evian.

A l'échelle du Lac Léman et des versants considérés, nous donnons ci-après sous forme de tableaux ou de graphiques les seules caractéristiques physiques et climatiques susceptibles de définir ou d'influencer les paramètres hydrologiques étudiés par la suite.

- Coordonnées moyennes { Latitude : 46° 20' N
 Longitude : 6° 30' E
 375 m < Altitude < 1 000 m

- Valeurs des moyennes de températures en °C :

STATIONS	THONON (1946-1962)	GENEVE (1931-1960)	LAUSANNE (1931-1960)
MOIS			
Janvier	1,8	1,1	0,3
Février	2,8	2,2	1,4
Mars	6,4	6,1	5,5
Avril	10,2	10,0	9,4
Mai	13,9	14,1	13,6
Juin	17,4	17,8	16,9
Juillet	19,5	19,9	18,9
Août	18,9	19,1	18,1
Septembre	16,5	15,8	15,1
Octobre	10,8	10,3	9,7
Novembre	6,0	5,7	5,0
Décembre	3,1	2,1	1,4
MOYENNE ANNUELLE	10,7	10,3	9,6

TABEAU I.1.1. - Valeurs des moyennes mensuelles et annuelles des températures à Thonon, Genève et Lausanne.

Il ressort donc que, dans la région lémanique et plus particulièrement sur le pourtour du lac, Janvier est le mois en moyenne le plus froid et Juillet le plus chaud.

- Valeurs des moyennes annuelles d'humidité relative de l'air en % :

- . Genève : 76 %
- . Lausanne : 78 %
- . Thonon : 77 %

Ces moyennes annuelles sont remarquablement constantes d'un lieu à un autre du pourtour immédiat du Léman et sont issues de valeurs annuelles quasi-invariantes ; l'effet tampon du lac a été évoqué par tous les auteurs pour expliquer cette constance des valeurs observées.

- Régime général des vents.

Du fait de l'orographie (figure 3), deux vents sont dominants :

- . "La Bise" du NE
- . "Le Vent" du SW

Les périodes de calme (vent nul) représentent 57 % des situations dans l'année.

- Relief des versants de Thonon-Evian.

- . Relief de plateau avec vallums morainiques et/ou terrasses.
- . Orientations des vallums et terrasses : E-W.
- . Pente : vers le Nord.
- . Altitudes : entre 1 000 m et 375 m.

- Carte géologique des versants de Thonon-Evian (figure 4) (VIAL et al, 1976).

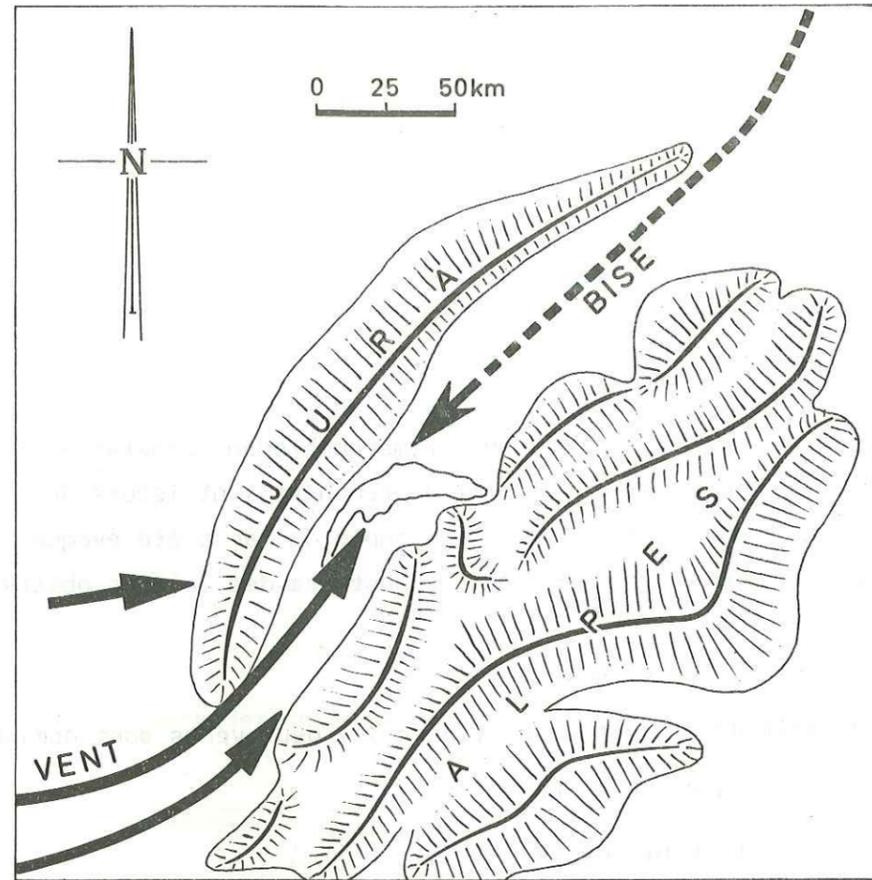


Fig. 3 - LES VENTS PRINCIPAUX DE LA REGION LEMANIQUE.

Apparaissent essentiellement à l'affleurement :

- Des terrasses fluvioglaciales tardi et post-glaciaires (BLAVOUX et al, 1971) sur le versant de Thonon.

- Des moraines würmiennes sur le versant d'Evian.

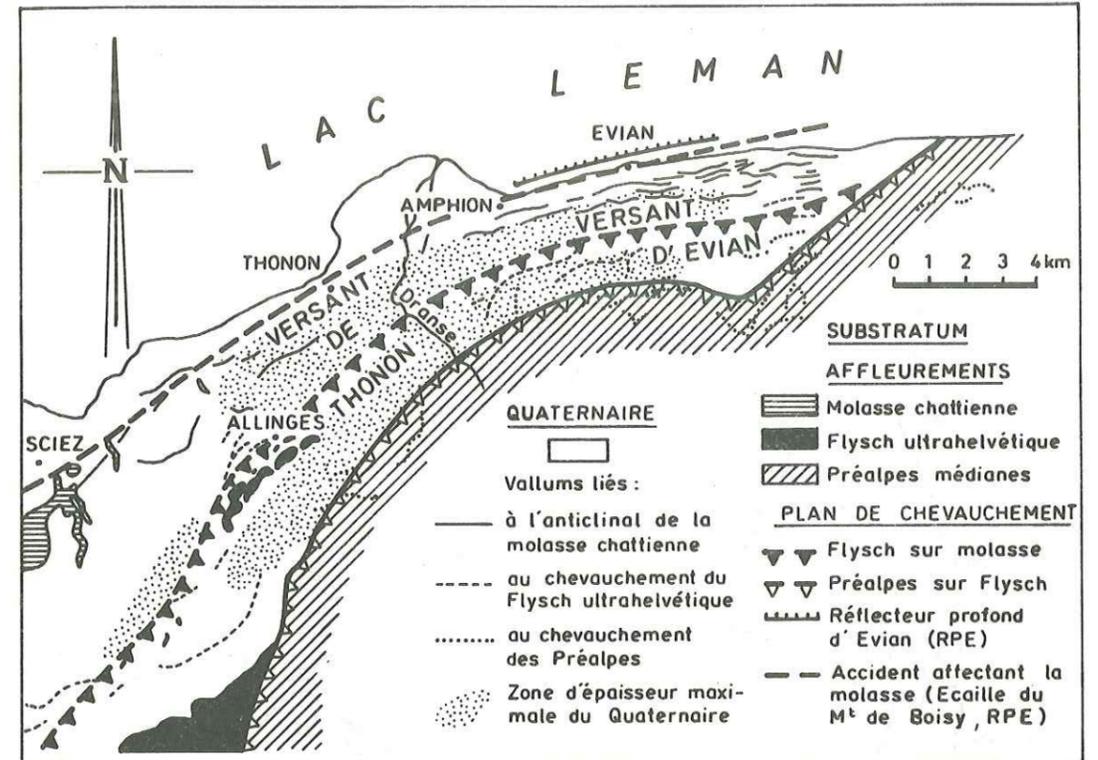


Fig. 4 - ESQUISSE GEOLOGIQUE DANS LA REGION DE THONON - EVIAN (D'après VIAL, 1976)

I.2. - LE BASSIN VERSANT REPRESENTATIF DU MARAVANT.

Le bassin versant représentatif du Maravant (figure 5) qui correspond au bassin supérieur du Maravant, a déjà été décrit par BLAVOUX (1965) et HEYDARPOUR (1974). On se contentera donc ici de rappeler, en les précisant si nécessaire, les principaux caractères qu'il présente. Par contre, on étudiera plus en détail les types de sols et de végétation qu'il porte.

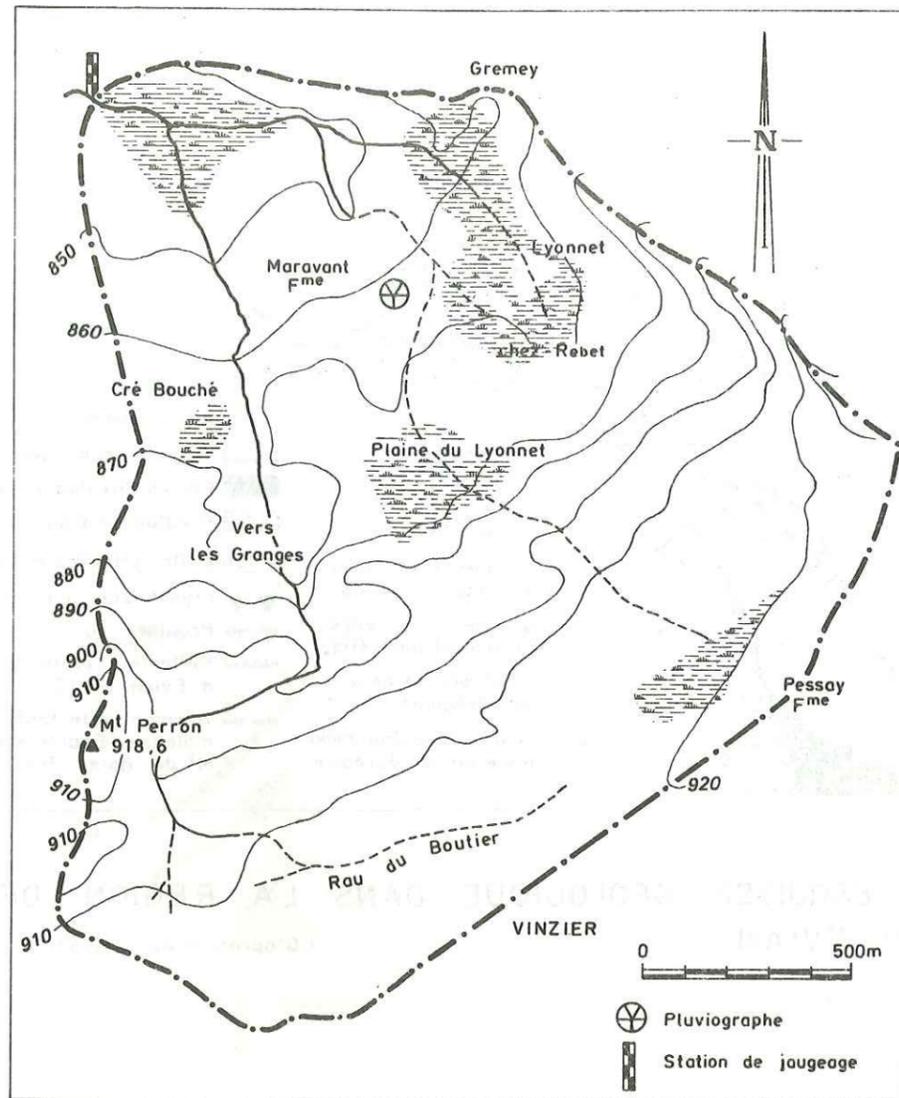


Fig. 5 - BASSIN VERSANT DU MARAVANT

1.2.1. - Caractères physiques et morphologiques.

1) Les *coordonnées géographiques* de l'exutoire du bassin sont les suivantes :

- . Latitude : 46° 22' N
- . Longitude : 6° 37' E
- . Altitude : 840 mètres

2) Les limites du bassin versant topographique, assez difficiles à préciser, ont permis d'estimer la *superficie* du bassin à 3 km²; cette estimation est valable à 3 à 4 % près.

3) La *forme* du bassin, triangulaire et compacte, peut se caractériser par la valeur du coefficient de compacité, K_c, défini par le rapport du périmètre P du bassin à celui d'un cercle de même superficie A :

$$K_c = 0,28 \cdot P \cdot A^{-0,5}$$

Pour le bassin du Maravant :

$$A = 3 \text{ km}^2$$

$$P = 6,9 \text{ km}$$

d'où :

$$K_c = 1,12$$

4) Le relief se caractérise en moyenne par une décroissance régulière de l'altitude du SE vers le NW. Les altitudes extrêmes du bassin sont les suivantes :

- . Altitude maximum : 930 m à l'Est du bassin
- . Altitude minimum : 840 m à l'exutoire

Le tableau I.2.1. suivant donne la répartition hypsométrique et la figure 6 fournit les fréquences altimétriques et les graphiques correspondants :

- . Altitude moyenne : 890 mètres
- . Altitude médiane : 896 mètres

On remarquera que la courbe hypsométrique révèle deux ruptures de pente, la première à 915 mètres, la deuxième à 870 mètres d'altitude. Ces ruptures déterminent deux lignes de sources caractéristiques.

TRANCHES D'ALTITUDE (m)	SUPERFICIE	
	en km ²	en %
930 - 920	0,15	5
920 - 910	0,78	26
910 - 900	0,38	12,5
900 - 890	0,30	10
890 - 880	0,21	7
880 - 870	0,39	13
870 - 860	0,36	12
860 - 850	0,24	8
850 - 840	0,20	6,5

TABLEAU I.2.1. - Caractéristiques hypsométriques du bassin versant représentatif du Maravant.

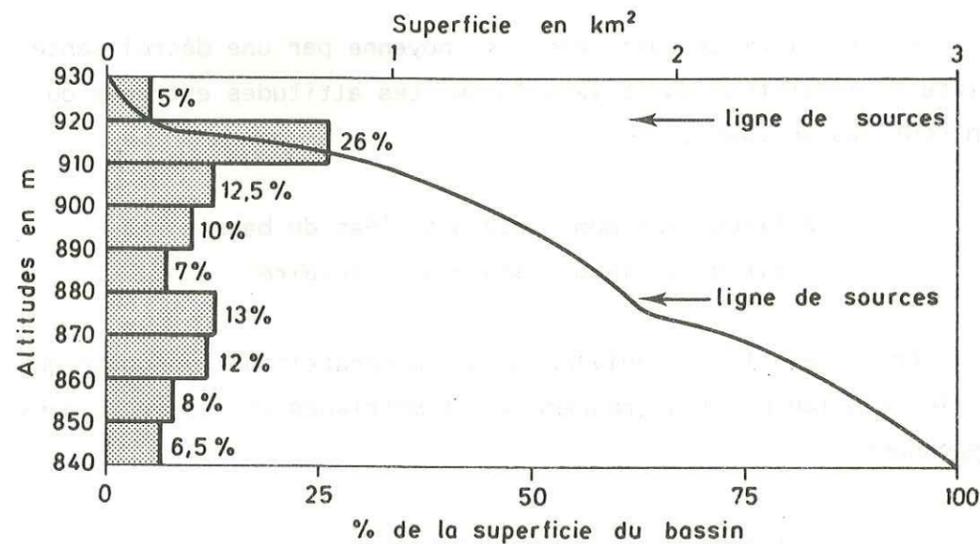


Fig. 6 - FREQUENCES ALTIMETRIQUES ET COURBE HYPSONOMETRIQUE DU BASSIN VERSANT REPRESENTATIF DU MARAVANT

5) Afin de rendre compte de la répartition hypsométrique, ROCHE (1963) propose la détermination d'un *indice de pente* qui est défini à partir du *rectangle équivalent* (rectangle ayant même superficie, même coefficient de compacité et même répartition hypsométrique que le bassin versant).

Si l et L sont respectivement la largeur et la longueur, P et A le périmètre et l'aire du bassin, K_c le coefficient de compacité, on a :

$$P = \frac{1}{0,28} \cdot K_c \cdot A^{0,5}$$

$$L = \frac{K_c \cdot A^{0,5}}{1,12} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \frac{1,12^2}{K_c}} \right]$$

$$L = \frac{K_c \cdot A^{0,5}}{1,12} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{1,12^2}{K_c}} \right]$$

Pour le bassin versant du Maravant, ce rectangle est, en gros, un carré de côté L égal à 1,73 km (figure 7).

L'indice de pente I_p de ROCHE se calcule comme suit :

$$I_p = L^{-0,5} \cdot \sum_i^n (a_i \cdot d_i)^{0,5}$$

équation dans laquelle a_i représente la fraction de la surface A du bassin comprise entre deux courbes de niveau distantes l'une de l'autre de d_i.

La détermination pour le bassin du Maravant de cet indice de pente donne le résultat suivant :

$$I_p = 0,76$$

En outre, la pente moyenne P_m évaluée à partir du rapport de la dénivelée Δ à la longueur L du rectangle équivalent est égale à :

$$P_m = \frac{\Delta}{L} = 0,05$$

Cependant, on préfère à P_m l'indice global de pente I_g , rapport de la dénivelée utile (90 %) à la longueur du rectangle équivalent, ici égal à 40 m/km.

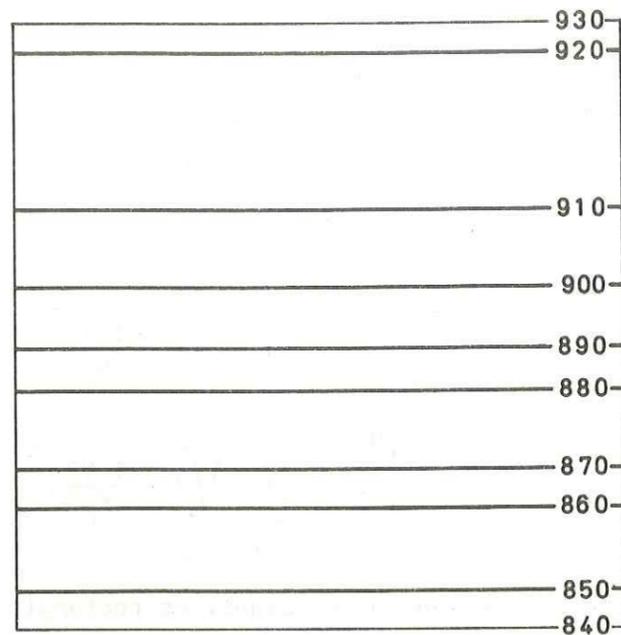


Fig. 7 - RECTANGLE EQUIVALENT DU MARAVANT

6) Le réseau hydrographique se limite à deux bras principaux :

- L'un de direction S-N et de 1,9 à 2,0 km de longueur.
- L'autre de direction E-W et de 0,7 à 1,0 km de longueur.

Les cours supérieurs de ces deux bras sont assez diffus et le réseau de drainage intégral difficile à établir ; en effet, la présence, comme on le verra plus loin, de nombreuses zones marécageuses et de canaux de drainage temporaire rendent incertaine toute détermination.

Signalons toutefois le ruisseau du Boutier, long de 1 km environ, qui draine la partie Sud du bassin du NE vers le SW et aboutit au bras principal du Maravant, ainsi que l'écoulement saisonnier prenant naissance dans les marécages bordant le bois de Pessay et que l'on peut suivre occasionnellement jusqu'aux marécages du Lyonnet.

7) Tableau récapitulatif des caractéristiques de forme du bassin du Maravant.

! Superficie	3 km ²	!
! Périmètre	6,9 km	!
! Indice de compacité	1,12	!
! Indice de pente	0,76	!
! Pente moyenne	0,05	!
! Rectangle équivalent	L = l = 1,73 km	!
! Altitude moyenne	890 m	!
! Encadrement altimétrique	930 m < z < 840 m	!

1.2.2. - Caractéristiques géologiques et pédologiques du bassin du Maravant.

1) *Caractéristiques géologiques.*

On se bornera à reproduire la coupe géologique (figure 8) proposée par VIAL et al (1976) pour l'ensemble du versant d'Evian et le "log" présenté par BLAVOUX (1965) pour les puits de Chez Portay et de Pugny, très proches du bassin (figure 9).

Deux caractères hérités de la géologie sont à souligner :

- La présence, d'une part, de faibles ondulations dues vraisemblablement à l'emboîtement de vallums morainiques et, d'autre part, de dolines ayant 2 origines possibles : dolines de karsts ou de pingos.

- L'affleurement, sur l'ensemble du bassin, essentiellement de moraines würmiennes constituées d'argiles à blocs considérées comme quasi-imperméables.

2) *Caractères pédologiques.*

Les types de sols conditionnent pour une grande part l'écoulement sur le bassin.

On a pu établir une séquence pédologique du Maravant (figure 10) séquence directement liée à la morphologie du bassin. Des parties hautes vers l'exutoire du bassin, les profils obtenus sont les suivants :

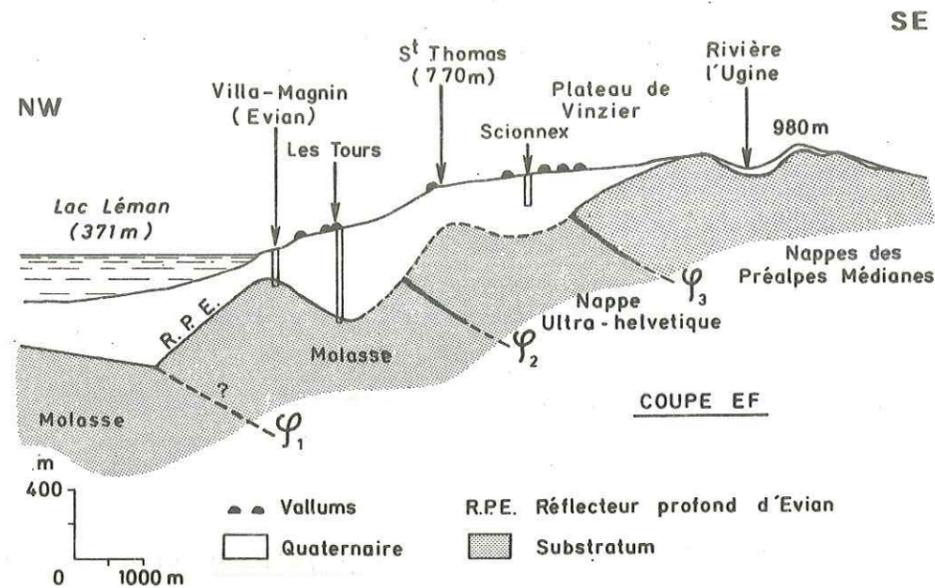


Fig. 8 - COUPE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE DU VERSANT D'EVIAN
(D'après VIAL, 1976)

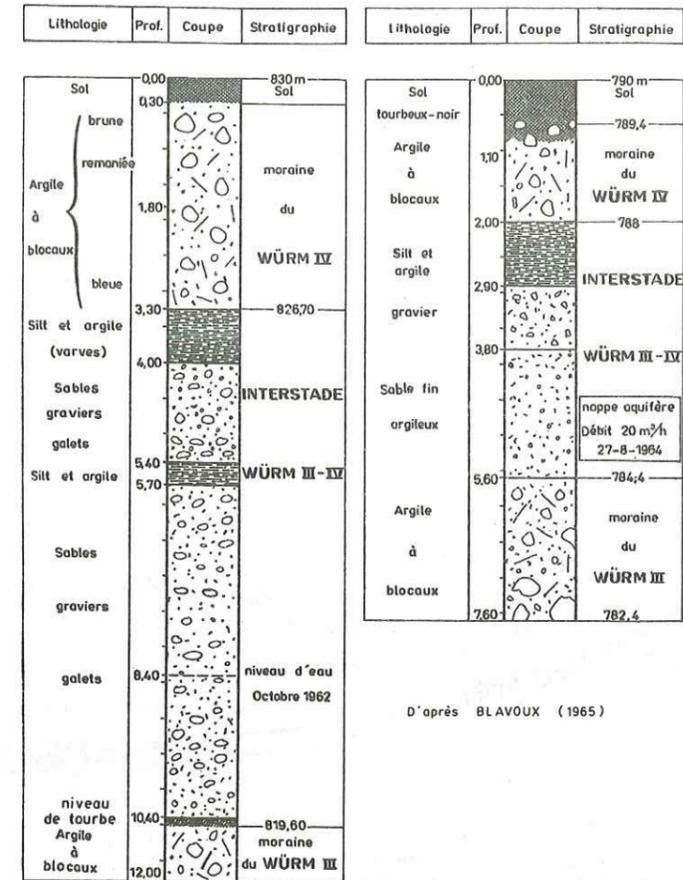
- Sous forêts, des sols bruns forestiers à mull-oligotrophe présentant :

- . Un horizon A d'humus noir doux.
- . Un horizon B, brun, non calcaire, à texture équilibrée.
- . Une formation de pente assez sableuse, décarbonatée,

montrant à sa base un horizon graveleux et non hydromorphe.

- Dans la prairie subalpine drainée se succèdent 2 types de profils passant progressivement de l'un à l'autre :

- . Le premier, caractéristique d'un sol brun eutrophe de prairie, a les mêmes propriétés que le profil précédent avec cependant une couche d'humus beaucoup moins importante.
- . Le deuxième, représentant d'un sol colluvial de prairie à horizon humifère colluvionné assez limoneux, montre un épaissement de la formation de pente décarbonatée sur une moraine altérée de texture argilo-sableuse.



D'après BLAVOUX (1965)

Fig. 9 - COUPE GEOLOGIQUE AU NIVEAU DES PUIITS DE CHEZ PORTAY ET PUGNY

- La prairie subalpine humide est occupée par des sols alluviaux de prairie à hydromorphie profonde ; les profils indiquent : un horizon humifère de surface évoluant du limon argileux faiblement sableux au limon argileux à texture relativement peu équilibrée, des taches fréquentes d'hydromorphie (traces de charbon) témoignant d'un colluvionnement récent et des accidents sableux dus au pourrissement d'éléments cristallins, enfin, une zone hydromorphe en milieu argileux.

Se succèdent ensuite dans les parties basses du bassin :

- Des sols semi-tourbeux à gley, eutrophes, calciques et sur horizon minéral.

- Des sols semi-tourbeux à gley réduit et gorgés d'eau à 40 cm de profondeur.

- Des tourbes moyennement décomposées et gorgées d'eau (LENIST des U.S.A.). La figure 11 a illustre ce type de sol pour la doline du Cré Bouché.

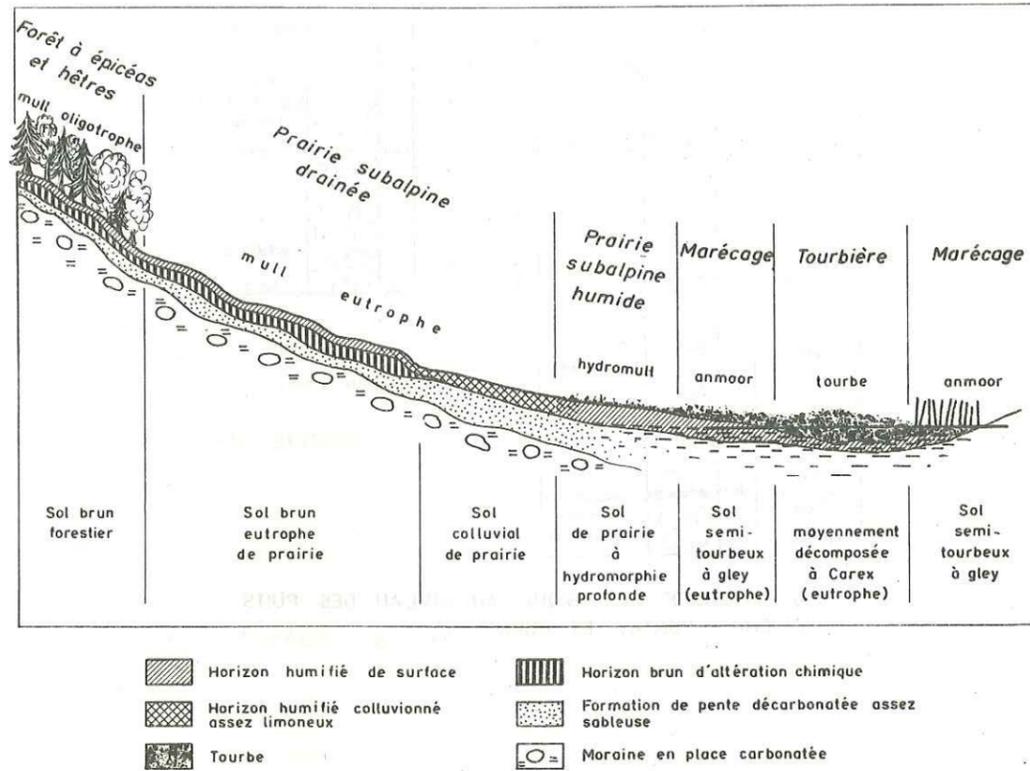


Fig. 10 - SEQUENCE PEDOLOGIQUE DU MARAVANT

A cette séquence caractéristique du Maravant, d'une grande importance pour l'étude de l'écoulement, il convient d'ajouter 2 types de sols apparaissant sur les parties les plus hautes du bassin :

- Sur le Mont Perron, butte triassique, des sols bruns calciques, éventuellement colluvionnés, plus ou moins épais sur substrat carbonaté (figure 11 b).

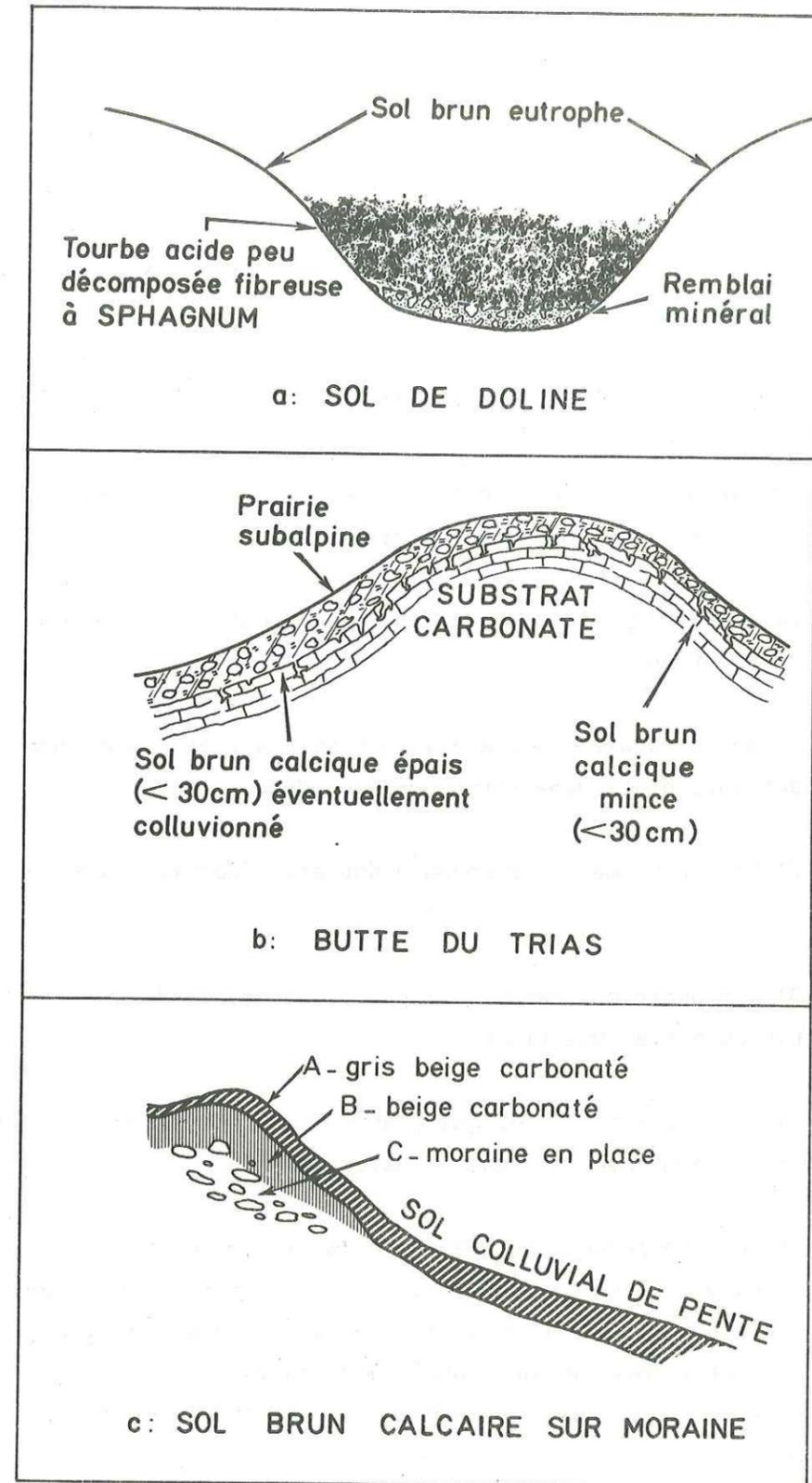


Fig. 11

- Des sols bruns calcaires sur les moraines à pente assez forte et présentant un horizon A gris beige carbonaté, un horizon B beige carbonaté et un horizon C montrant la moraine en place (figure 11 c).

La morphologie héritée des caractères géologiques du bassin et les types de sols mis en évidence permettront d'expliquer une grande part des mécanismes d'hydrologie de surface et de répartition des précipitations. Cette distribution dépend aussi des formations végétales qui occupent le bassin.

1.2.3. - Etude phytosociologique du bassin du Maravant.

Différents types de groupements végétaux s'observent sur le bassin du Maravant ; ils sont en liaison directe avec la morphologie et les types de sols définis précédemment.

La figure 12 situe les différentes formations rencontrées sur le bassin. On relève :

- 1) Des groupements de marais à Cypéracées et tourbières occupant des sols pratiquement toujours inondés.
- 2) Des groupements de bordure des eaux immobiles à Phragmites et Carex.
- 3) Des prairies, pacages et pelouses non amendées sur sol humide à niveau phréatique élevé.
- 4) Des prairies et pacages gras semi-naturels sur sol riche et humide entretenus par fauchage et pâturage.
- 5) Des groupements forestiers climaciques (correspondant à l'équilibre naturel dans les conditions édaphiques et climatiques du bassin) ; Ces forêts sont en général feuillues (hêtres) principalement caducifoliées et fermées et présentent des conifères plantés de petites tailles. Elles portent le plus souvent les 4 strates suivantes de végétation :

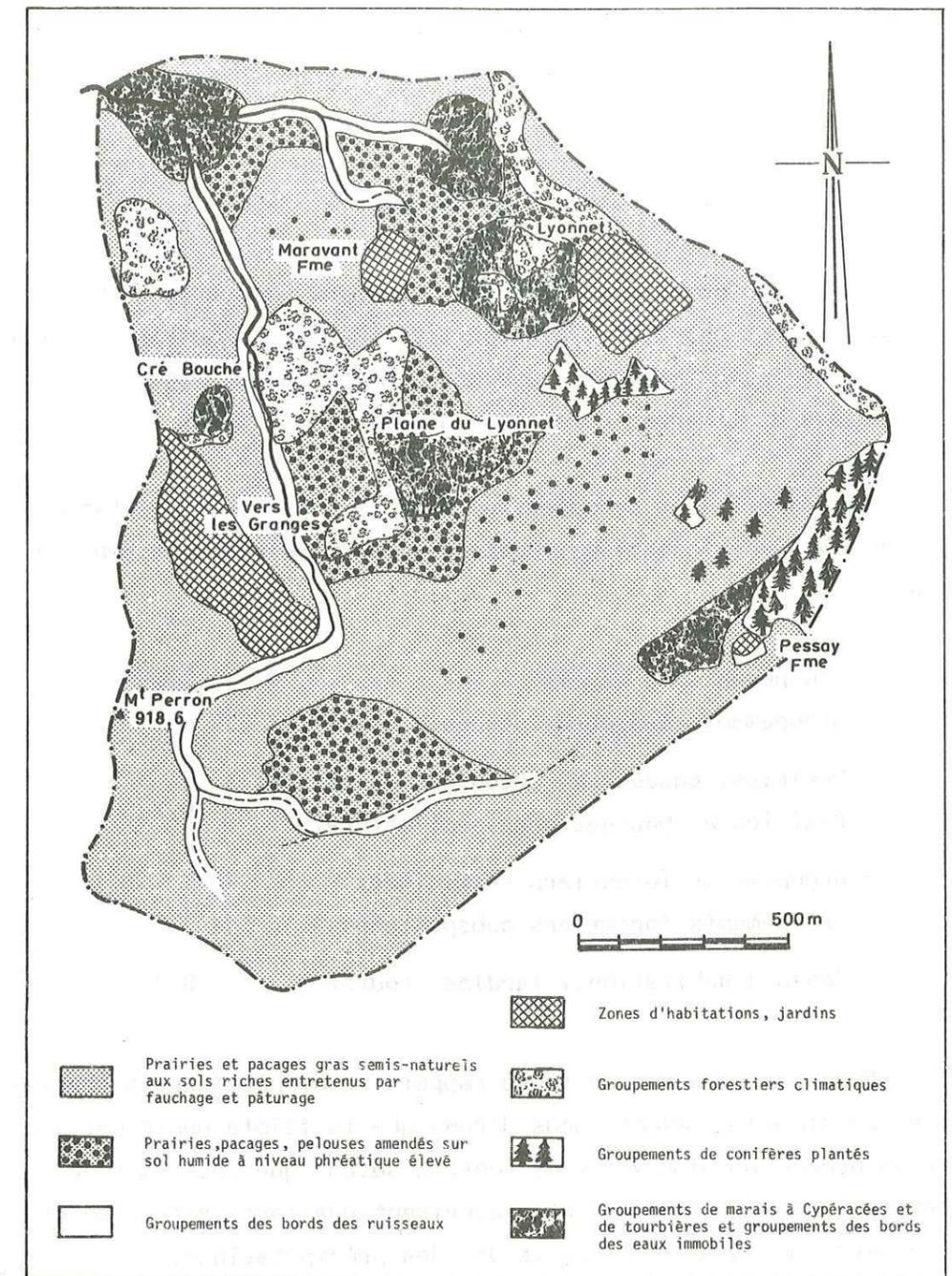


Fig. 12 - SCHEMA PHYTOSOCIOLOGIQUE DU BASSIN DU MARAVANT

- . Strate arborescente (cime des arbres).
- . Strate arbustive (moins de 5 m).
- . Strate herbacée (moins de 50 cm).
- . Strate muscinale (Bryophytes généralement).

6) Des groupements forestiers subspontanés de conifères à cimes coniques ne possédant pas de strates herbacée et arbustive.

Le bassin du Maravant présente donc une végétation dont le trait commun est l'hydro et l'hygrophilie. Suivant la qualité du drainage, on passe insensiblement à des groupements caractérisant les différents stades d'alimentation en eau possibles.

Les superficies occupées, en % de la superficie du bassin, par les divers types de formations végétales cités précédemment sont les suivantes :

- Groupements de marais	}	11 %
- Groupements des bords des eaux immobiles		
- Prairies, pacages et pelouses non amendés	}	70 %
- Prairies et pacages gras semi-naturels		
- Groupements forestiers climaciques	}	11 %
- Groupements forestiers subspontanés		
- Zones d'habitations, jardins, routes		8 %

Pour conclure ces quelques rappels et données sur la physiologie du bassin du Maravant, nous dirons que la faible pente est propice à la production d'*écoulement lent*, d'autant que les types de *sols* et la *végétation* qu'il porte favorisent une *forte rétention* et d'*importants stockages* de l'eau issue des précipitations.

DEUXIEME CHAPITRE

DEUXIEME CHAPITRE

ETUDE DES PRECIPITATIONS

Nous ne considérons que les précipitations sous forme de pluie, de neige et de grêle car l'eau mobilisée par les précipitations occultes (rosée, brouillard, ...) ne joue qu'un rôle négligeable dans un bilan hydrologique.

Afin de situer les pluies sur le bassin versant du Maravant dans le contexte pluviométrique régional, nous avons étudié le régime des précipitations aux 3 échelles d'espace suivantes :

- Echelle du lac.
- Echelle du versant d'Evian.
- Echelle du bassin versant du Maravant.

Les données relatives à ces 3 échelles d'espace correspondront à 2 échelles de temps. En effet, nous avons retenu une période de 74 années de relevés (1901-1974) à 4 stations du pourtour lémanique, alors que les postes pluviométriques du versant d'Evian et le pluviographe du Maravant n'offrent respectivement que 12 et 10 années de mesures. La figure 2 illustre les différentes échelles d'espace considérées (cf. § I.1.).

II.1. - ETUDE A L'ECHELLE REGIONALE.

II.1.1. - La banque de données.

On a utilisé les données obtenues aux 4 stations météorologiques suivantes : Genève (405 m), Thonon-les-Bains (375 m), Lausanne (558 m) et Montreux (408 m) pour la période allant de 1901 à 1974. Les résultats des stations suisses sont publiés par l'Institut Suisse de Météorologie (UTTINGER, 1961) pour la période précédant l'année 1961. Les valeurs concernant les années 1961 à 1974 nous ont été aimablement fournies par le Service Météorologique de l'aéroport de Genève-Cointrin (M. AUBERT, communication personnelle).

Afin de rendre homogènes les 4 séries de données, la méthode du double cumul (double masse) a été appliquée (figure 13). Ceci nous conduit à une légère correction des données de Genève et de Thonon à partir de 1965. Les 2 stations ont, en effet, été déplacées, la première en 1965, la deuxième en 1957, mais les effets du déplacement de la station de Thonon ne se font sentir que vers 1965 à l'échelle de l'étude et de la technique utilisée.

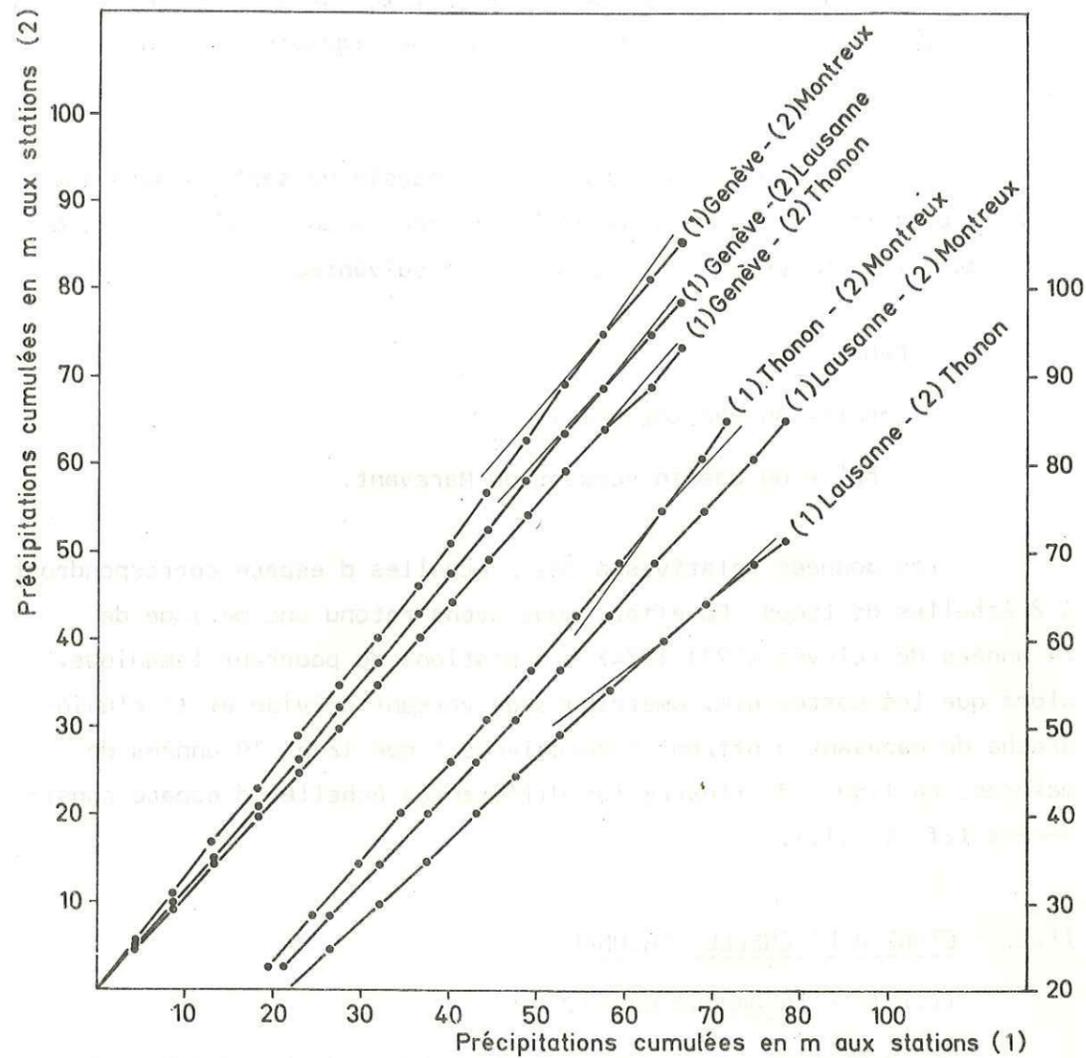


Fig. 13 - APPLICATION DU TEST DE LA DOUBLE MASSE AUX STATIONS PLUVIOMETRIQUES DE GENEVE, LAUSANNE, MONTREUX, THONON - RIVES. (1901-1974)

De plus, les valeurs adoptées pour la période 1917-1934 de non-observation à la station de Thonon ont été estimées à partir des totaux relevés à la station de Lausanne. Sur le tableau II.1.1. sont reportées les 4 séries chronologiques de précipitations annuelles retenues.

ANNEE	GENEVE	THONON	LAUSANNE	MONTREUX	ANNEE	GENEVE	THONON	LAUSANNE	MONTREUX
1901	967	1 008	1 047	1 108	1938	705	841	936	1 080
1902	1 012	1 085	1 088	1 179	1939	1 050	1 231	1 309	1 260
1903	902	916	951	1 206	1940	955	1 116	1 195	1 276
1904	684	806	790	923	1941	732	867	991	1 041
1905	840	1 168	1 100	1 303	1942	652	748	836	875
1906	588	619	693	817	1943	795	802	847	960
1907	942	918	952	1 041	1944	844	950	1 069	1 191
1908	773	823	929	944	1945	629	746	775	943
1909	855	961	1 163	1 118	1946	855	1 058	960	1 081
1910	1 146	1 049	1 384	1 360	1947	827	932	880	1 023
1911	798	933	940	968	1948	882	1 058	1 129	1 213
1912	848	1 008	1 041	1 230	1949	663	750	744	904
1913	929	985	1 015	1 093	1950	888	1 133	1 194	1 363
1914	1 058	1 154	1 187	1 455	1951	936	1 067	1 179	1 341
1915	1 002	1 198	1 285	1 374	1952	1 036	1 118	1 286	1 402
1916	1 209	1 319	1 305	1 395	1953	609	725	737	898
1917	1 029	(1 139)	1 225	1 206	1954	968	1 106	1 156	1 354
1918	956	(1 007)	1 116	1 164	1955	930	1 058	1 233	1 256
1919	1 020	(974)	1 072	1 206	1956	804	1 040	1 085	1 216
1920	841	(812)	860	815	1957	635	753	834	1 023
1921	457	(565)	537	583	1958	927	1 103	1 173	1 330
1922	1 271	(1 274)	1 464	1 642	1959	831	1 117	1 044	1 058
1923	1 188	(1 129)	1 274	1 199	1960	1 271	1 273	1 294	1 496
1924	780	(918)	999	1 068	1961	785	845	1 064	1 176
1925	758	(888)	959	1 103	1962	762	705	842	788
1926	937	(923)	1 005	1 190	1963	1 013	1 135	1 129	1 338
1927	1 050	(1 110)	1 250	1 413	1964	747	769	810	981
1928	1 027	(1 023)	1 136	1 101	1965	1 206	1 173	1 373	1 633
1929	678	(859)	921	865	1966	1 016	1 076	1 123	1 307
1930	1 207	(1 356)	1 572	1 476	1967	942	1 031	1 113	1 026
1931	873	(1 077)	1 207	1 167	1968	1 206	1 318	1 374	1 421
1932	874	(863)	927	1 110	1969	884	843	977	1 000
1933	823	(850)	910	1 013	1970	987	1 169	1 320	1 398
1934	705	(886)	957	1 063	1971	668	697	830	957
1935	1 013	1 134	1 276	1 335	1972	723	770	789	1 026
1936	840	1 181	1 209	1 225	1973	759	942	912	1 156
1937	1 042	1 167	1 161	1 090	1974	975	1 173	1 172	1 335

TABLEAU II.1.1. - Précipitations annuelles à Genève, Thonon, Lausanne et Montreux.

Les données des stations suisses sont publiées par l'INSTITUT SUISSE DE METEOROLOGIE jusqu'en 1961. Période 1961-1974 : communication de M. AUBERT (Station de Genève-Cointrin).

Les résultats de la station de Thonon sont publiés par la METEOROLOGIE NATIONALE. Pour la période de non observation (1917-1934) les valeurs sont estimées à partir des données de la station de Lausanne.

Les valeurs en italique résultent de l'homogénéisation des données à la suite du déplacement de la station à Genève et d'un changement d'appareil à Thonon.

II.1.2. - Analyse statistique des séries de données.

L'analyse statistique des 74 valeurs a été faite pour chacun des 4 échantillons ; elle conduit à la définition des paramètres empiriques reportés sur le tableau II.1.2.

STATIONS	MOYENNES 1901-1974		ECARTS-TYPES (mm)
	ESTIMATIONS (mm)	PRECISIONS (INTERVALLES DE CONFIANCE) (à 95 %)	
Genève	892	4,4 %	173
Thonon	989	4,1 %	177
Lausanne	1 062	4,3 %	199
Montreux	1 158	4,0 %	203

TABLEAU II.1.2. - Paramètres empiriques des chroniques de précipitations annuelles à Genève, Thonon, Lausanne et Montreux.

Chaque série de valeurs a été ajustée à la loi de Gauss (figure 14). L'application du test du χ^2 montre que pour chaque échantillon, l'adéquation est très satisfaisante ($0,50 < P(\chi^2) < 0,90$) et ceci, quel que soit le nombre de classes d'égalité probabilité théorique retenu (test d'adéquation procédé à partir de 4, 5, 6, 7 et 8 classes).

Les résultats obtenus par DRAY (1970) nous ont poussé à essayer les ajustements à la loi de Galton et à la loi 1/2 normale ; les adéquations sont encore satisfaisantes mais relativement moins que celles obtenues pour la loi de Gauss.

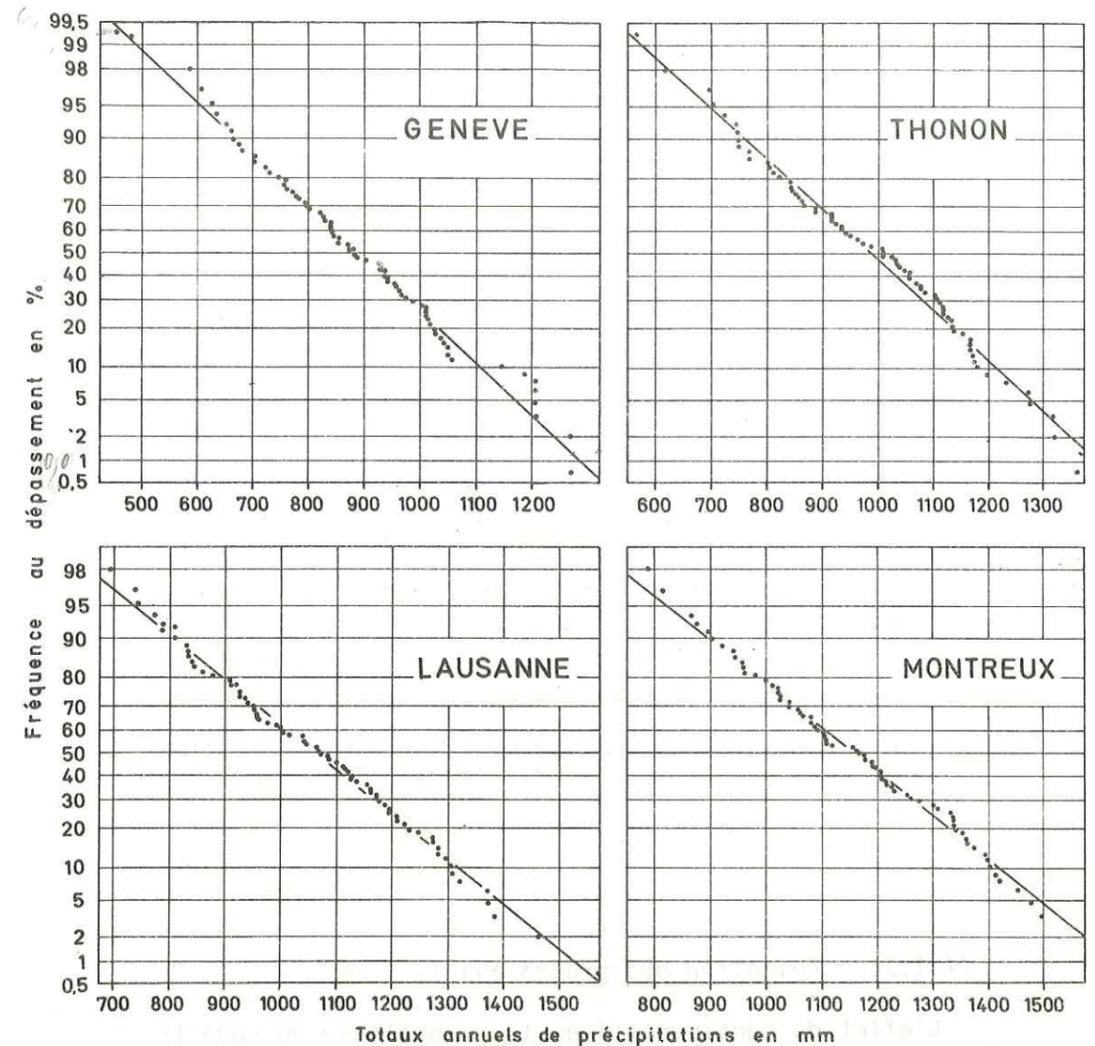


Fig.14 - DISTRIBUTION NORMALE DES TOTAUX ANNUELS DE PRECIPITATIONS A GENEVE , THONON , LAUSANNE , MONTREUX. (1901 - 1974)

L'analyse statistique a permis de calculer la récurrence théorique des précipitations annuelles extrêmes à chacune des stations pour la période d'étude (1901-1974) (tableau II.1.3.), ainsi que les quantiles caractéristiques (tableau II.1.4.).

Les méthodes utilisées pour cette analyse statistique sont celles préconisées par DUBREUIL (1974).

STATIONS	VALEURS EXTREMES (mm)	PROBABILITES D'APPARITION P	PERIODES DE RETOUR T (T = 1/P)
Genève	457 (1921)	0,006	166 ans
	1 271 (1922, 1960)	0,014	70 ans
Thonon (estimation)	565 (1921)	0,004	242 ans
	1 356 (1930)	0,005	197 ans
Lausanne	537 (1921)	0,002	429 ans 500
	1 572 (1930)	0,009	116 ans 111
Montreux	583 (1921)	0,008	118 ans 125
	1 642 (1922)	0,019	52 ans

TABLEAU II.1.3. - Récurrence théorique des lames d'eau extrêmes précipitées en 1 an à Genève, Thonon, Lausanne et Montreux.

II.1.3. - Formation des pluies sur le Léman.

L'effet de continentalité, la morphologie en cuvette et l'orientation des versants ont été évoqués dans de nombreux travaux pour expliquer la répartition des précipitations dans la région lémanique. Ainsi, MERTZ et al (1957) ont souligné la particularité de la station de Genève lors de l'invasion de la vallée du Rhône et des Préalpes par une masse d'air chaud venant du Sud et ont mis en évidence une persistance des types de temps due à la morphologie en cuvette de la région lémanique. BLAVOUX et al (1962), BLAVOUX (1965) établissent la relation existant entre les totaux pluviométriques annuels, la situation géographique et le régime des vents auxquels sont soumises les diverses stations (figure 15). Comme pour la plupart des stations des Alpes et des Préalpes, la région lémanique est souvent sous l'influence du régime météorologique du Sud-Ouest (MERTZ, 1957) provoquant de fortes précipitations de printemps et d'été. Les valeurs mensuelles

des lames d'eau précipitées à chaque station sont données dans le tableau II.1.5. et présentées par la figure 16 qui soulignent cette influence.

QUANTILES CARACTERISTIQUES A GENEVE				
Récurrence	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Année humide (mm)	1 113 ± 53	1 177 ± 60	1 246 ± 69	1 293 ± 76
Précision (IC 95 %)	4,8 %	5,1 %	5,6 %	5,9 %
Année sèche (mm)	671 ± 53	607 ± 60	537 ± 69	491 ± 76
Précision (IC 95 %)	7,9 %	10 %	12,9 %	15,4 %
QUANTILES CARACTERISTIQUES A LAUSANNE				
Récurrence	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Année humide (mm)	1 317 ± 61	1 389 ± 70	1 470 ± 80	1 523 ± 87
Précision (IC 95 %)	4,6 %	5 %	5,4 %	5,7 %
Année sèche (mm)	807 ± 61	734 ± 70	654 ± 80	600 ± 87
Précision (IC 95 %)	7,6 %	9,5 %	12,2 %	14,5 %
QUANTILES CARACTERISTIQUES A MONTREUX				
Récurrence	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Année humide (mm)	1 418 ± 62	1 492 ± 71	1 574 ± 81	1 629 ± 89
Précision (IC 95 %)	4,4 %	4,8 %	5,2 %	5,5 %
Année sèche (mm)	898 ± 62	824 ± 71	742 ± 81	687 ± 89
Précision (IC 95 %)	6,9 %	8,6 %	11 %	12,9 %
QUANTILES CARACTERISTIQUES A THONON				
Récurrence	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Année humide (mm)	1 216 ± 54	1 280 ± 62	1 351 ± 71	1 399 ± 77
Précision (IC 95 %)	4,5 %	4,8 %	5,3 %	5,5 %
Année sèche (mm)	762 ± 54	698 ± 62	626 ± 71	578 ± 77
Précision (IC 95 %)	7,1 %	8,9 %	11,3 %	13,4 %

TABLEAU II.1.4. - Les précipitations annuelles extrêmes à Genève, Lausanne, Montreux et Thonon ; quantiles caractéristiques.

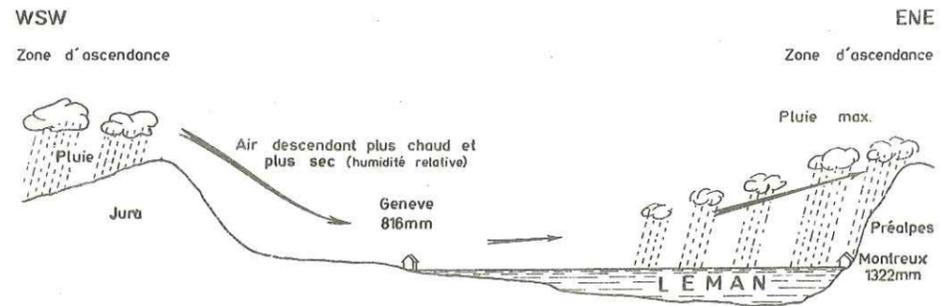


Fig.15- MECANISME ET PROGRESSION DES PLUIES SUR LE LEMAN

D'après B. Blavoux (1966)

De plus, l'étude de l'évolution des coefficients pluviométriques mensuels relatifs à l'année moyenne issue de la période 1901-1974 pour les stations de Genève, Lausanne et Montreux et 1935-1974 pour la station de Thonon-les-Bains (figure 17) montre très nettement la prédominance des précipitations d'été. Le coefficient pluviométrique mensuel, c , étant le rapport des précipitations moyennes pour le mois considéré à la moyenne fictive égale au 1/12e du module pluviométrique annuel. Les valeurs de ces coefficients sont reportées sur le tableau II.1.6. Ces valeurs, bien qu'altérant le phénomène de variabilité mensuelle rendent bien compte du régime moyen global relatif.

On notera aussi l'influence de la situation géographique des stations par rapport au déplacement des masses d'air venant de l'Ouest sur la répartition des précipitations, influence bien illustrée pour le mois de juillet montrant une croissance progressive de la pluviosité de Genève à Montreux et pour le mois de novembre qui présente la variation inverse ; les changements dans le régime des vents (régime du Sud-Ouest en été, Bise en hiver) sont à l'origine du sens de ces variations.

STATIONS	PRECIPITATIONS (mm)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
		Genève (1901-1974)	Maximum	191	185	189	244	159	192	203	250	216	212
	Moyenne	57	59	67	65	71	83	69	97	90	76	86	72
	Minimum	2	0	1	0	15	25	2	14	15	2	4	5
Lausanne (1901-1974)	Maximum	230	174	185	251	186	229	247	339	246	262	345	219
	Moyenne	71	67	73	73	90	106	97	118	102	87	96	82
	Minimum	12	0	2	8	18	6	13	23	11	3	2	3
Montreux (1901-1974)	Maximum	148	191	192	225	201	229	328	348	242	202	281	207
	Moyenne	68	67	76	83	87	128	128	145	105	87	91	83
	Minimum	10	0	6	12	19	19	23	49	11	4	2	4
Thonon (1901-1974)	Maximum	207	144	189	129	154	184	183	229	236	228	285	182
	Moyenne	65	65	59	67	83	103	76	109	105	69	91	61
	Minimum	14	0	2	3	32	34	13	34	9	1	21	3

TABLEAU II.1.5. - Les précipitations mensuelles à Genève, Lausanne, Montreux et Thonon.

STATIONS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Genève	0,77	0,79	0,90	0,87	0,96	1,12	0,93	1,30	1,21	1,02	1,16	0,97
Thonon	0,82	0,82	0,75	0,85	1,05	1,30	0,96	1,38	1,33	0,87	1,15	0,77
Lausanne	0,81	0,76	0,82	0,82	1,02	1,20	1,10	1,33	1,15	0,98	1,08	0,93
Montreux	0,70	0,69	0,79	0,86	1,00	1,33	1,33	1,50	1,09	0,90	0,94	0,86

TABLEAU II.1.6. - Coefficients pluviométriques mensuels à Genève, Thonon, Lausanne et Montreux.

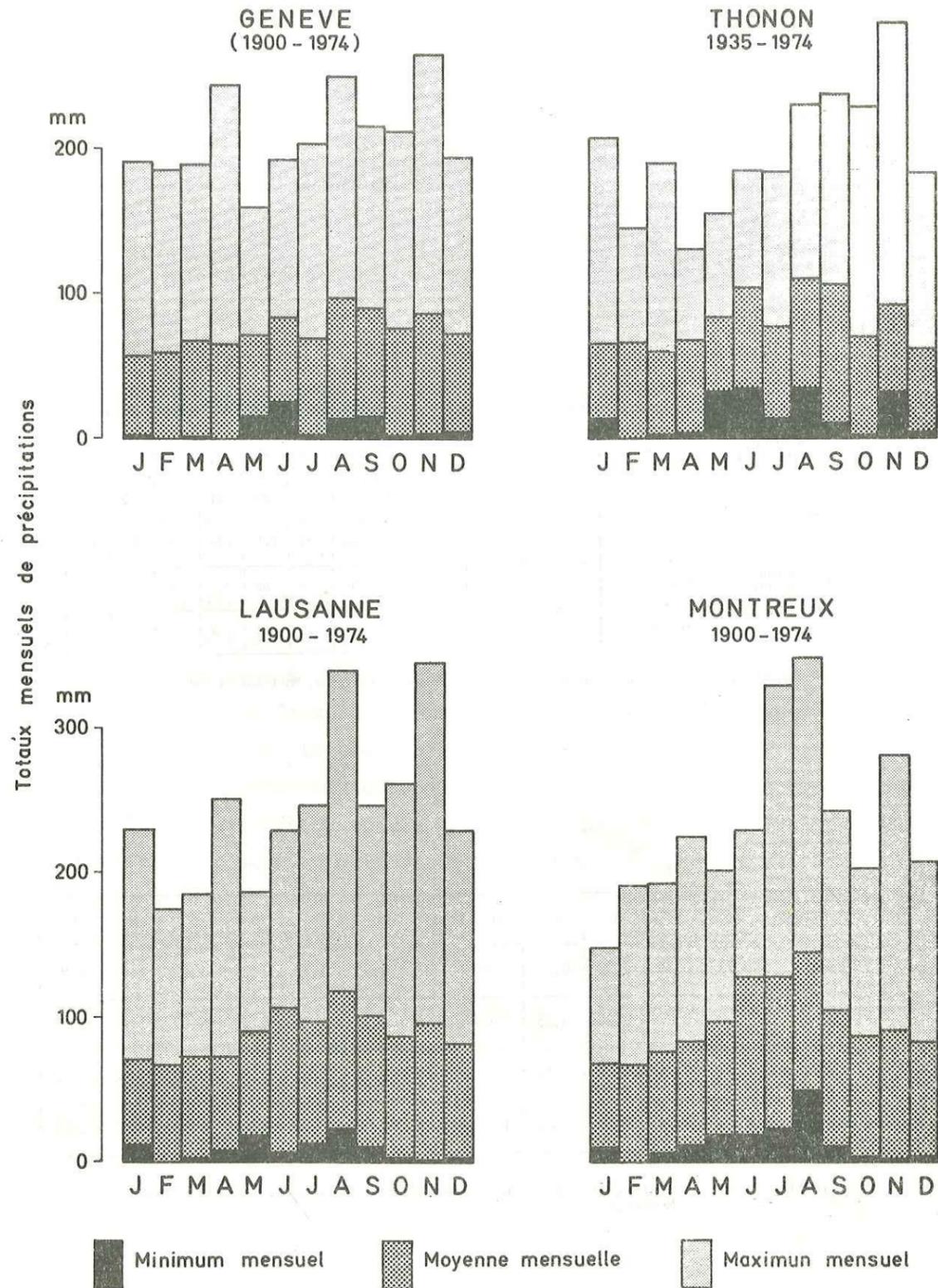


Fig. 16 - REPARTITION DES TOTAUX MENSUELS DE PRECIPITATIONS A GENEVE - THONON - LAUSANNE ET MONTREUX.

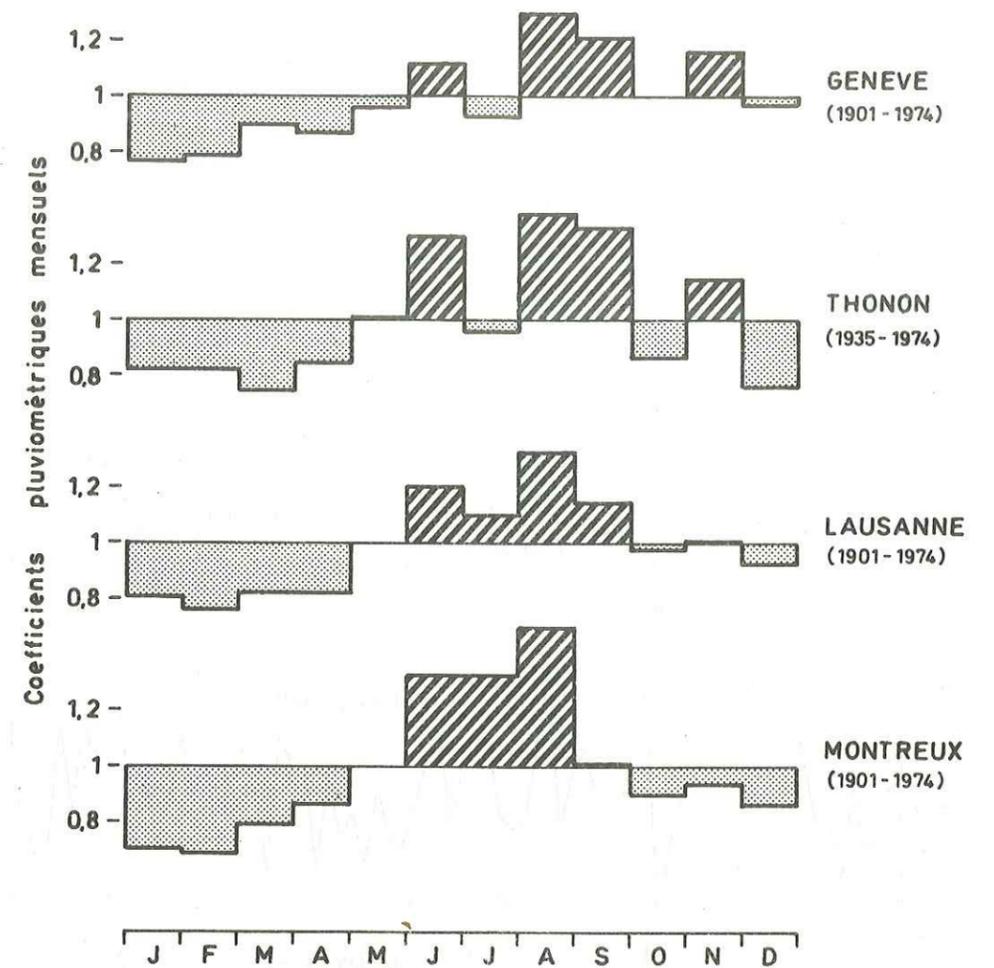


Fig. 17 - EVOLUTION DES COEFFICIENTS PLUVIOMETRIQUES MENSUELS A GENEVE , THONON , LAUSANNE ET MONTREUX

II.1.4. - Variations des précipitations annuelles.

Les séries chronologiques de totaux annuels de précipitations en un lieu étant données, elles présentent des variations qui peuvent masquer l'évolution de la variable "précipitations annuelles" dans le temps. Pour les 4 stations étudiées, aucune tendance pluriannuelle ne se dégage nettement d'un simple examen des 4 séries (figure 18). Les rapports des lames d'eau annuelles extrêmes et les coefficients de variations, c_v , calculés pour chacune des stations ont des valeurs qui confirment cette variabilité des précipitations annuelles sur le pourtour lémanique :

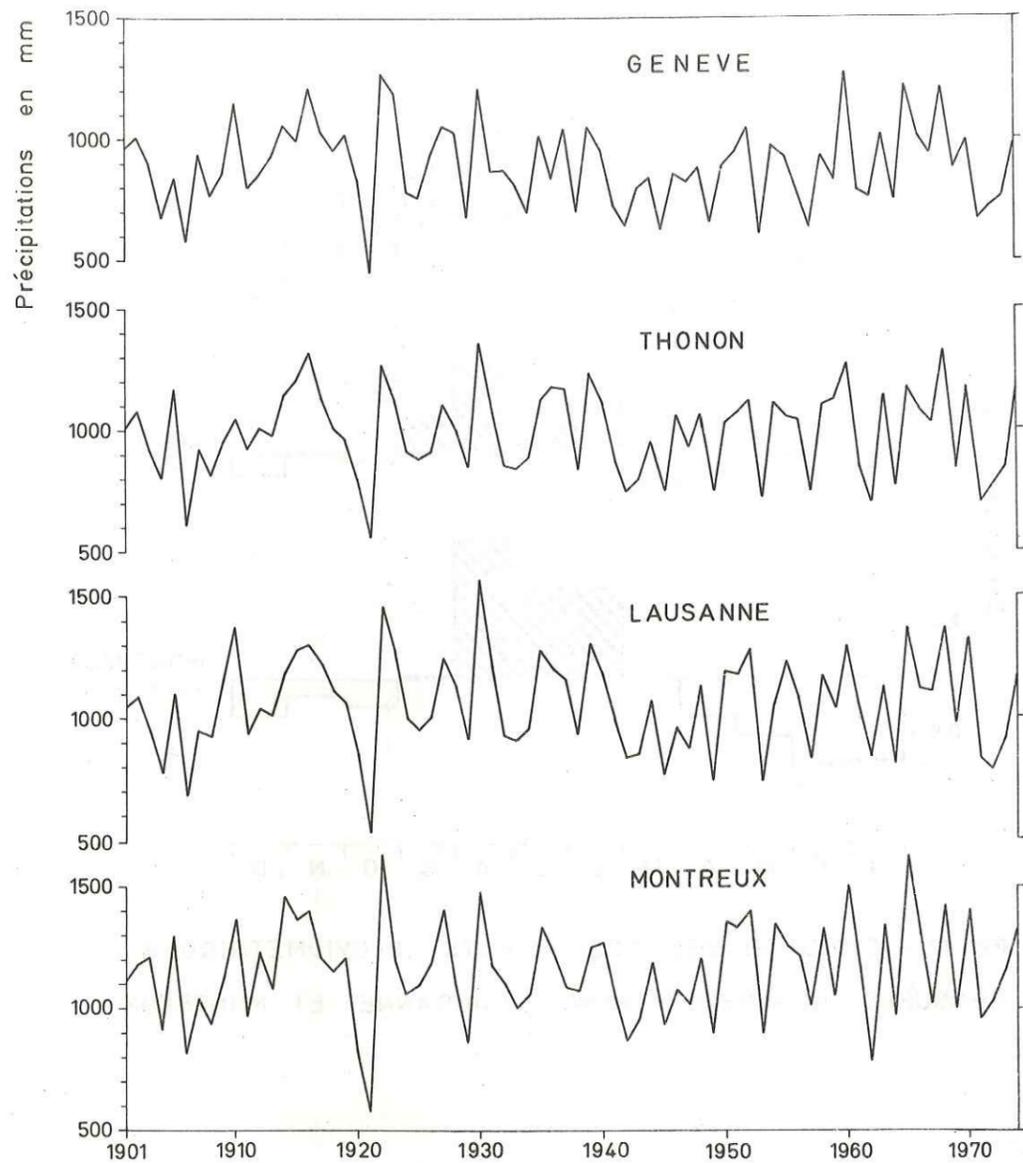


Fig.18 - VARIATIONS DES PRECIPITATIONS ANNUELLES A GENEVE THONON , LAUSANNE , MONTREUX

Station de Genève	$\frac{P_{\max}}{P_{\min}} = 2,78$	$c_v = 0,19$
Station de Thonon	$\frac{P_{\max}}{P_{\min}} = 2,40$	$c_v = 0,18$
Station de Lausanne	$\frac{P_{\max}}{P_{\min}} = 2,93$	$c_v = 0,19$
Station de Montreux	$\frac{P_{\max}}{P_{\min}} = 2,82$	$c_v = 0,16$

P_{\max} et P_{\min} étant respectivement les précipitations annuelles maximales et minimales relevées ou estimées à la station considérée. c_v est égal au rapport de la moyenne à l'écart-type estimée pour chaque station (cf. § II.1.2.).

Nous avons présenté un schéma de l'évolution des précipitations sur le pourtour lémanique basé sur l'utilisation du procédé des moyennes mobiles (JEREMIE et al, 1976).

Ce procédé consiste à substituer à chaque total annuel de précipitations d'une série chronologique donnée, la moyenne arithmétique d'un nombre quelconque p de valeurs consécutives encadrant chacun de ces totaux, p est le pas choisi. Des détails plus précis sur cette méthode figurent en annexe 1.

L'utilisation des moyennes mobiles, en atténuant les variations d'ordre particulier, permet la mise en évidence, si elle existe, de la tendance globale. La figure 19 présente les moyennes mobiles des valeurs de précipitations annuelles aux pas de temps de 5 ans et de 20 ans. Les courbes relatives au pas de 5 ans montrent encore la variabilité constatée à l'examen des séries chronologiques de valeurs annuelles ; cependant, pour la station de Genève, une tendance générale peut déjà être distinguée sur la courbe que forme la série de moyennes mobiles sur 5 ans. Cette tendance de l'évolution dans le temps des précipitations à chacune des stations se dégage clairement si l'on considère les moyennes calculées sur 20 ans ; les courbes obtenues sont débarrassées des variations d'ordre inférieur.

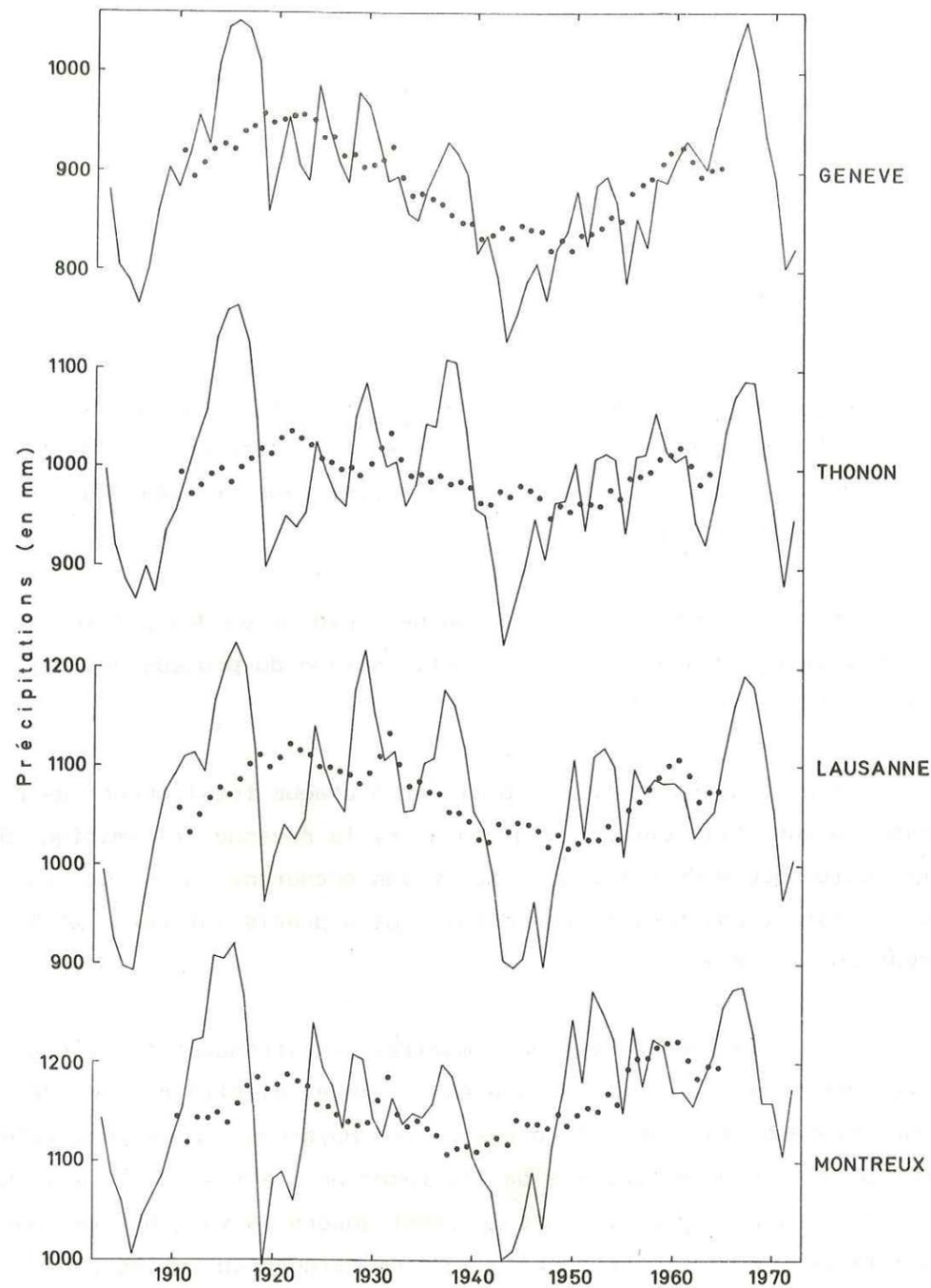


Fig. 19 - MOYENNES MOBILES SUR 5 ANS (—) ET SUR 20 ANS (...) DES TOTAUX ANNUELS DE PRECIPITATIONS A GENEVE, THONON, LAUSANNE ET MONTREUX. (1901 - 1974)

Pour les 4 stations considérées, les tendances sont parallèles et présentent des changements très nets dans le régime des pluies ; chacune des courbes représentant la tendance globale permet d'observer :

- Une augmentation moyenne de la pluviosité de 1901 jusqu'aux années trente.
- Une diminution moyenne qui se poursuit jusqu'à 1950 environ.
- Une nouvelle augmentation moyenne à partir des années 50.

Sur le tableau II.1.7. sont reportées les valeurs prises par les modules pluviométriques annuels à chacune des stations pour les périodes 1911-1930, 1931-1950 et 1951-1970, ainsi que les variations relatives de ces moyennes ; les écarts les plus nets s'observent à Genève et atteignent - 12,6 % et 11,2 %.

STATIONS	ANNEES	PRECIPITATIONS ANNUELLES MOYENNES (mm)	VARIATIONS RELATIVES
Genève	1911 - 1930	952	- 12,6 %
	1931 - 1950	832	+ 11,2 %
	1951 - 1970	925	
Thonon	1911 - 1930	1 029	- 6,2 %
	1931 - 1950	965	+ 5,8 %
	1951 - 1970	1 021	
Lausanne	1911 - 1930	1 108	- 7,4 %
	1931 - 1950	1 026	+ 7,9 %
	1951 - 1970	1 107	
Montreux	1911 - 1930	1 177	- 5,6 %
	1931 - 1950	1 111	+ 10 %
	1951 - 1970	1 222	

TABEAU II.1.7. - Estimations des modules pluviométriques annuels pour les périodes 1911-1930, 1931-1950, 1951-1970 et variations relatives de ces estimations.

La figure 20 présente les courbes isohyètes au niveau du Léman pour les 3 périodes retenues ; elle illustre les variations observées et indique nettement la *diminution de la pluviosité pour la période 1931-1950*.

L'analyse des séries de moyennes mobiles obtenues pour différents pas de temps a permis d'identifier une oscillation dans le régime des précipitations autour du Léman sur une période comprise entre 50 et 55 ans. La durée de cette oscillation est de :

- 50 à 52 ans pour Genève et Thonon.
- 52 ans pour Lausanne.
- 52 à 55 ans pour Montreux.

Une variation cinquantenaire du régime des précipitations peut donc être retenue dans la région lémanique pour la période 1901-1974.

Si cette tendance générale se poursuit, on doit s'attendre à une diminution globale des précipitations moyennes jusqu'à l'an 2000 par rapport à la lame d'eau moyenne précipitée pendant la période 1950-1975 (figure 21).

Du point de vue méthodologique, il ressort du résultat précédent que la connaissance du module pluviométrique annuel en une station donnée doit s'appuyer sur l'étude des oscillations éventuelles masquées dans la série de précipitations annuelles en cette station. Suivant l'importance des données que l'on possède, l'estimation du module pluviométrique sera d'autant meilleure qu'elle sera faite sur un nombre d'années plus proche de la durée (ou d'un multiple entier de cette durée) de l'oscillation la plus importante mise en évidence ; ceci dans le cas des "stations longues". Pour les "stations courtes", il importe de replacer les moyennes calculées dans un contexte respectant l'évolution générale d'une station de longue durée proche et représentative, en utilisant, par exemple, la méthode d'extension des données préconisée par ROCHE (1963). Ainsi, la connaissance des seules 10 dernières années pour chacune des 4 stations étudiées nous donnerait des écarts à la moyenne calculée sur les 50 dernières années *tous positifs* et significatifs. Nous reviendrons sur ce problème au chapitre II.1.6.

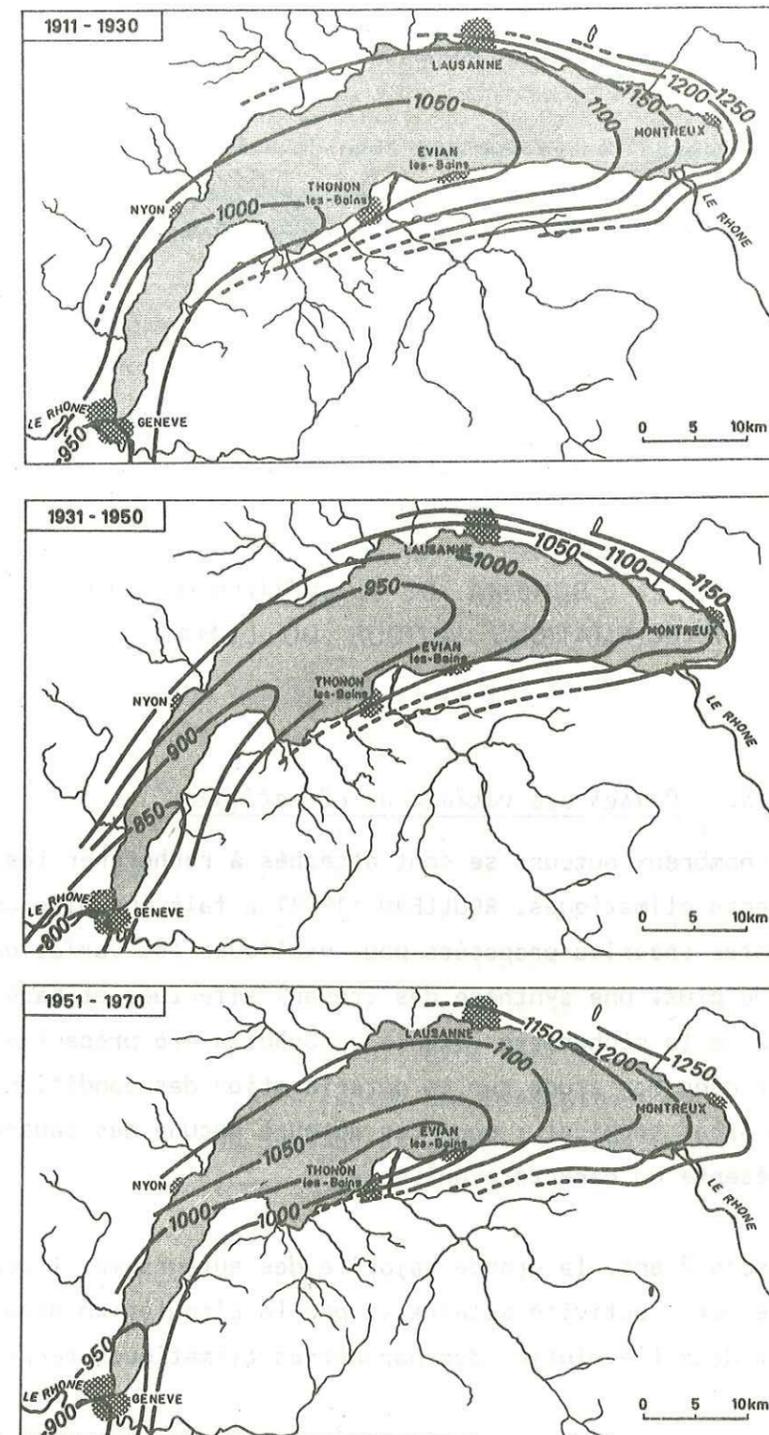


Fig.20 - COURBES ISOHYETES DE LA REGION DU LEMAN POUR LES PERIODES 1911-1930, 1931-1950, 1951-1970.

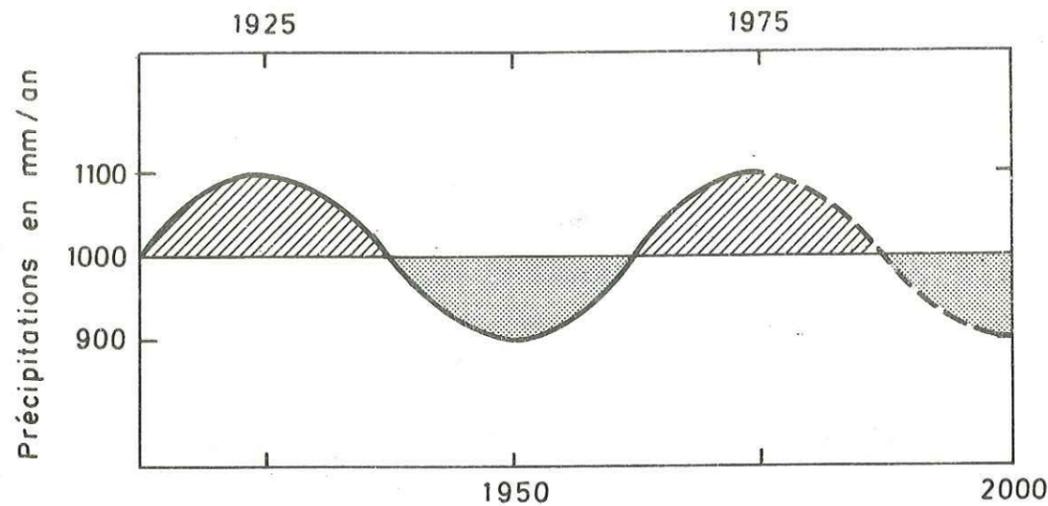


Fig. 21 - SCHEMA DE L'EVOLUTION DES PRECIPITATIONS AUTOUR DU LEMAN

II.1.5. - Causes des variations climatiques.

De nombreux auteurs se sont attachés à rechercher les causes des changements climatiques. ROULLEAU (1958) a fait une mise au point des différentes théories proposées pour expliquer les variations observées. De plus, une synthèse des travaux effectués et basés sur les origines de la sécheresse récente au Sahel a été présentée par PLOTE (1974) dans son étude sur la détérioration des conditions climatiques au Sahel tropical ; pour ces auteurs aucune des causes évoquées ne présente un caractère universel*.

Depuis 2 ans, la grande majorité des auteurs met l'accent sur le rôle joué par l'activité solaire et par la circulation atmosphérique zonale dans l'évolution des paramètres climatiques terrestres.

* On trouvera les détails sur ces théories dans la bibliographie indiquée.

Dans une étude basée sur les variations climatiques dans les régions de l'Atlantique Nord, KING (1973) montre que les effets des changements de l'activité solaire sur les précipitations ne peuvent intervenir que de façon indirecte et suivant un processus complexe dans lequel l'influence du nombre de taches solaires devrait avoir une place négligeable. De même, MEADOWS (1975), en examinant les multiples corrélations exprimées entre taches solaires et phénomènes climatiques, conclut à une synthèse problématique et à un manque d'explication claire des liaisons possibles.

Pour LAMB (1968, 1972), les changements climatiques à l'échelle terrestre sont dus à des modifications de la circulation atmosphérique. Dans les régions tempérées, la circulation d'Ouest a connu un maximum vers 1925 et diminue d'intensité depuis. Ces changements seraient dus à des ondes se formant dans le flux d'Ouest et provoquant de faibles précipitations sur la Grande-Bretagne et de fortes pluies sur la Méditerranée (WINSTANLEY, 1973).

Nous noterons que si les causes des changements intervenant dans le régime des précipitations à l'échelle terrestre agissent aussi, sans doute possible à l'échelle régionale, au niveau local entre en compte un certain nombre de paramètres qui va croissant lorsque l'échelle du niveau d'étude diminue. Dans le cas du pourtour lémanique, les variables climatiques influent toutes sur le régime des précipitations. Le paramètre essentiel étant vraisemblablement la fréquence des types pluviométriques régionaux et des diverses situations météorologiques. Une étude qui s'attacherait plus particulièrement à relier les variations observées dans le régime des précipitations en régions tempérées à l'évolution des paramètres de la circulation atmosphérique régionale devrait confirmer cette hypothèse.

II.1.6. - Variations du module pluviométrique annuel avec la durée de la période d'observation.

Les séries de moyennes mobiles obtenues pour différents pas de temps permettent d'estimer l'erreur susceptible d'entacher la mesure d'un module pluviométrique annuel dans la région lémanique.

Toute série chronologique des \bar{P}_i (série de moyennes mobiles au pas de temps p et centrées sur les années i : voir annexe 1) est

composée de $74 - p + 1$ estimations possibles du module pluviométrique annuel sur p années. On peut ainsi évaluer les écarts Δ de ces modules à la moyenne ${}_{74}\bar{P}$ calculée sur les 74 années.

Les écarts absolus maxima et moyens ont été cherchés pour des pas de temps caractéristiques, ainsi que les écarts relatifs correspondant. Les valeurs obtenues sont reportées sur le tableau II.I.8.* pour chacune des stations étudiées. L'examen du graphique de la figure 22 permet de constater que globalement, les séries chronologiques de précipitations annuelles peuvent être assimilées à des séries stationnaires : l'écart du module pluviométrique estimé sur p années au module vrai (p très grand) décroît quand p croît. Dans le cas des stations lémaniques, les équations de régression obtenues sont les suivantes :

$$\Delta_{\text{Max}} = 95,1 p^{-1} \quad (r = 0,94, 88 \text{ couples})^{**}$$

$$\bar{\Delta} = 27,3 p^{-0,88} \quad (r = 0,93, 88 \text{ couples})$$

Δ_{Max} et $\bar{\Delta}$ étant respectivement l'écart relatif maximum et l'écart relatif moyen définis plus haut pour p années ($2 < p < 70$).

Notons que les valeurs prises par les écarts moyens passent par un minimum correspondant à $p = 50$ ans et ceci pour chacune des stations.* Ce résultat significatif confirme les conclusions énoncées au paragraphe II.1.4.

Cette étude des variations du module pluviométrique annuel avec la durée d'observation rendra possible la comparaison des précisions théoriques données par l'analyse statistique classique et des erreurs déduites de l'étude précédente pour les stations de courte durée d'observation de la région lémanique.

* Voir tableau en annexe.

** Voir annexe 2.

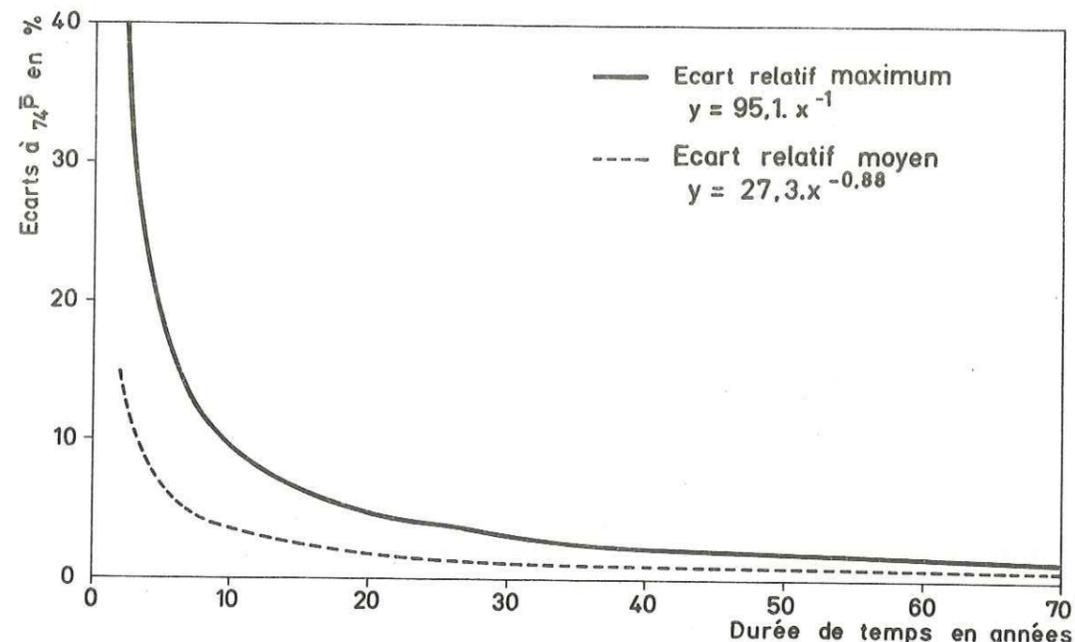


Fig.22 - VARIATIONS DU MODULE PLUVIOMETRIQUE ANNUEL AVEC LA DUREE DE LA PERIODE D'OBSERVATION

II.2. - LES PRECIPITATIONS SUR LE VERSANT D'EVIAN.

II.2.1. - Le réseau d'observation.

On a disposé des valeurs fournies par 3 pluviographes du type "CERF" à surface réceptrice de 2 000 cm² et mouvement hebdomadaire et par 15 pluviomètres du type "Association".

Les caractéristiques et la situation de ces postes sont données au tableau II.2.1. et à la figure 23.

II.2.2. - Hauteurs de précipitations annuelles et module pluviométrique annuel pour chaque station.

Les hauteurs de précipitations annuelles et de module pluviométrique annuel pour chaque station sont donnés au tableau II.2.2. Certaines rares valeurs ont été estimées à partir des données fournies par les stations voisines, par suite d'absence de relevés ou de valeurs aberrantes, ceci à l'échelle mensuelle, comme nous le verrons plus loin.

STATIONS	EQUIPEMENTS	ALTITUDES (m)	DATES DE CREATION	ETATS AU 31-12-74
Thonon-Rives	1 pluviographe	375		en fonctionnement
Thonon-C.R.G.*	1 pluviographe 2 pluviomètres	385	01-03-63 05-08-63	en fonctionnement
Amphion-usine	1 pluviomètre	385	01-06-67	en fonctionnement
Evian-usine	1 pluviomètre	415	01-06-67	en fonctionnement
Maxilly*	1 pluviomètre	450	13-12-62	en fonctionnement
Golf-Evian	1 pluviomètre	475	16-11-62	supprimé le 1-4-64
Marin*	1 pluviomètre	582	16-11-62	en fonctionnement
Vougron*	1 pluviomètre	760	16-11-62	en fonctionnement
Larringes*	1 pluviomètre	795	27-10-62	en fonctionnement
Saint-Paul*	1 pluviomètre	820	27-10-62	en fonctionnement
Maravant*	1 pluviographe	865	14-09-64	en fonctionnement
Piolan	1 pluviomètre	905	01-12-63	supprimé le 1-1-66
Vinzier*	1 pluviomètre	920	27-10-63	en fonctionnement
Thollon*	1 pluviomètre	925	18-12-62	en fonctionnement
La Beunaz	1 pluviomètre	980	18-12-62	supprimé le 1-1-66
Mont-Benant	1 pluviomètre 1 totalisateur	1 240	27-10-62 07-03-66	supprimé le 1-4-65 en fonctionnement

* Stations utilisées pour cette étude.

TABLEAU II.2.1. - Caractéristiques des stations pluviométriques du versant d'Evian.

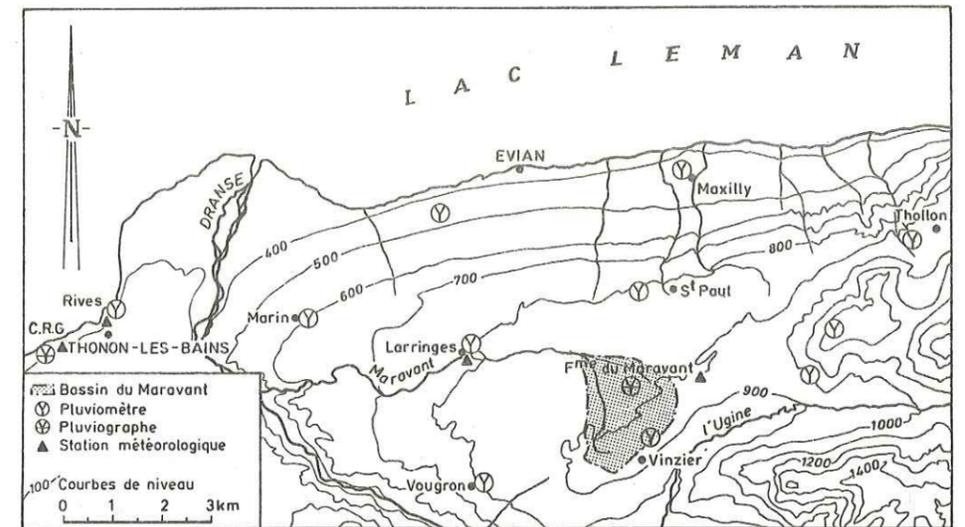


Fig. 23 - POSTES PLUVIOMETRIQUES DU VERSANT D'EVIAN

STATIONS	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
Thonon-C.R.G.	1 121	800	1 176	992	965	1 201	837	1 083	669	725	812	978
Maxilly	1 116	904	1 174	973	1 023	1 313	939	1 229	801	948	917	1 367
Marin	1 060	859	1 180	1 059	975	1 164	845	1 070	797	822	824	1 003
Vougron	1 416	1 072	1 491	1 317	1 207	1 396	1 080	1 297	766	991	1 087	1 238
Larringes	1 366	1 078	1 358	1 165	1 047	1 371	983	1 213	803	895	1 001	1 189
Saint-Paul	1 344	1 027	1 321	1 239	1 004	1 360	1 157	1 237	828	915	1 163	1 184
Maravant	-	-	1 348	1 084	1 174	1 462	1 159	1 291	881	985	1 032	1 225
Vinzier	1 489	1 092	1 631	1 320	1 151	1 513	1 147	1 362	846	944	1 087	1 327
Thollon	1 536	1 165	1 649	1 413	1 278	1 622	1 295	1 539	1 001	1 172	1 133	1 760

TABLEAU II.2.2. - Précipitations annuelles aux postes pluviométriques du versant d'Evian.

II.2.3. - Les cartes pluviométriques du versant d'Evian.

A l'aide des hauteurs de précipitations annuelles et des modules pluviométriques annuels, les isohyètes du versant d'Evian ont été dessinées (figure 24). Les relations entre la pluviosité et l'orographie mises en évidence par BLAVOUX (1965) nous ont guidé dans le tracé de ces isohyètes ; cette démarche n'est d'ailleurs pas en contradiction avec les valeurs relevées à chaque station.

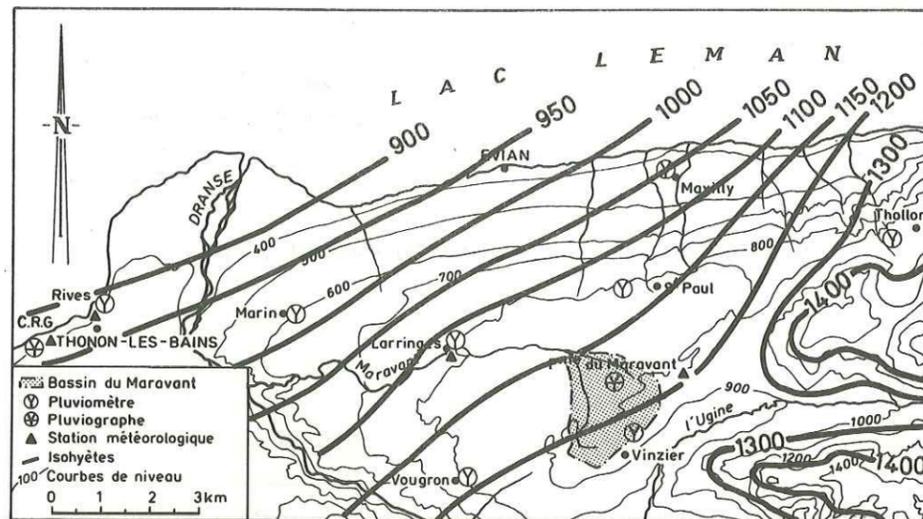


Fig. 24 - ISOHYETES DU VERSANT D'EVIAN (1963 - 1974)

Les isohyètes mettent aussi en évidence l'augmentation des précipitations de l'Ouest vers l'Est, caractère déjà observé pour les stations du pourtour lémanique étudiées précédemment.

Augmentation avec l'altitude et de l'Ouest vers l'Est sont donc les caractères essentiels qui guident la distribution spatiale des précipitations sur le versant d'Evian. De plus, sur les versants directement au vent, l'effet de relief se traduit par une augmentation des hauteurs de précipitations.

L'action conjuguée de ces 3 paramètres ne nuit que peu à la corrélation entre la hauteur annuelle, P, en mm, de précipitations et

l'altitude, h, en m, de chacune des 9 stations considérées. On aboutit à la droite de régression suivante :

$$P = 0,57 h + 726 \quad (r = 0,854, 9 \text{ couples})$$

Cette corrélation indique que les totaux annuels de précipitations augmentent en moyenne de 57 mm pour une dénivellation de 100 m. La valeur obtenue est proche de celles retenues dans d'autres travaux pour la région Thonon-Evian et reportées sur le tableau suivant :

AUTEURS	GRADIENTS mm/100 m	ZONE D'ETUDE
BLAVOUX (1965)	65	Versant d'Evian
SIWERTZ (1973)	60	Thonon-Evian
HAUBERT (1974)	61	B.V. du Brévon
VIAL (1976)	64	Versant de Thonon

II.2.4. - Lame d'eau moyenne tombée sur le versant d'Evian.

L'application des 3 méthodes classiques suivantes de calcul de la lame d'eau mensuelle a été envisagée :

- Calcul de la moyenne arithmétique des hauteurs de précipitations relevées à chaque station.
- Méthode de pondération de Thiessen.
- Méthode des isohyètes.

Ces méthodes sont décrites dans les ouvrages théoriques de base (CASTANY, 1963 ; ROCHE, 1963).

Nous avons retenu la méthode simple du calcul de la moyenne arithmétique des valeurs fournies par chaque station. En effet, les 2 autres procédés, plus raffinés, sont aussi et surtout beaucoup plus

longs à mettre en oeuvre. De plus, la probabilité qu'ils donnent des résultats significativement différents de ceux issus du simple calcul de la moyenne est faible. En effet, pour le versant d'Evian, les écarts, à la moyenne calculée par la moyenne arithmétique, des valeurs issues des 2 autres méthodes ne dépassent pas 4 %.

De plus, la méthode de Thiessen attribuée à chaque poste pluviométrique un poids proportionnel à la surface supposée de la zone qu'il influence. Or, les relations existant entre la pluviométrie et, soit l'orographie, soit l'exposition des versants rendent peu probable que chaque surface définie corresponde à une zone de pluviosité identique en tout point de cette surface. De plus, la qualité des données n'est pas la même pour chaque station et les valeurs auxquelles la méthode de pondération donne un poids plus important peuvent ne pas être les plus sûres. Enfin et surtout, on doit s'attendre, pour tout réseau pluviométrique assez dense et dans les régions climatiques homogènes, à une différence négligeable entre les lames d'eau annuelles issues du simple calcul de la moyenne et de la méthode de Thiessen ; cette différence ne dépassant pas la précision admise pour un tel calcul. C'est le cas pour la région Thonon-Evian.

La méthode des isohyètes, par la longueur de sa mise en oeuvre et la liberté laissée à l'opérateur pour le choix des tracés des lignes, n'a d'intérêt que dans les régions présentant de fortes discontinuités dans le régime des précipitations et pour des études très fines.

Tenant compte de ces remarques, la moyenne arithmétique des hauteurs de précipitations aux diverses stations a été calculée pour chaque année de la période 1963-1974. Les résultats sont reportés sur le tableau II.2.3. qui indique également les valeurs de l'indice pluviométrique annuel, i , lié au versant d'Evian pour la période considérée (i étant égal pour chaque année au rapport de la lame d'eau annuelle P_j calculée à la hauteur moyenne de précipitations, \bar{P}) :

$$\bar{P} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_j}{12}$$

2 années s'écartent de 5 % ou moins de la moyenne \bar{P} , 7 s'en écartent de 18 % ou moins et 3 années se distinguent avec des écarts dépassant 20 % : 1971 année sèche, 1965 et 1968 années humides.

- Distribution des hauteurs de précipitations annuelles à chaque station autour de leur module.

ANNEES	LAMES D'EAU P_i (mm)	INDICES PLUVIOMETRIQUES ANNUELS $i = \frac{P_i}{\bar{P}}$
1963	1 314	1,16
1964	1 004	0,88
1965	1 369	1,21
1966	1 173	1,03
1967	1 080	0,95
1968	1 378	1,21
1969	1 049	0,92
1970	1 257	1,11
1971	821	0,72
1972	933	0,82
1973	1 006	0,88
1974	1 252	1,10

TABLEAU II.2.3. - Lames d'eau moyennes sur le versant d'Evian.

Le module pluviométrique annuel \bar{P}_x , l'écart-type correspondant σ_x , la précision sur la valeur de \bar{P}_x pour l'intervalle de confiance à 90 %, le coefficient de répartition r (rapport de la lame d'eau moyenne calculée pour l'ensemble du versant au module de la station considérée) et le coefficient de variation $V_x = \frac{\sigma_x}{\bar{P}_x}$, calculés pour chaque station x sur la période 1963-1974 sont reportés sur le tableau II.2.4.

STATIONS	ALTITUDES (m)	MODULES (1963-1974) $P(x)$ (mm)	σ_x (mm)	r %	PRECISIONS (IC 90 %)	$\frac{\sigma}{\bar{P}}$
Thonon-C.R.G.	385	947	177	83,3	10 %	0,19
Maxilly	450	1 059	179	93,2	9 %	0,17
Marin	582	972	138	85,6	7 %	0,14
Vougron	760	1 197	207	105,4	9 %	0,17
Larringes	795	1 122	187	98,8	9 %	0,16
Saint-Paul	820	1 148	171	101,1	8 %	0,15
Maravant	865	1 164	179	102,5	8 %	0,15
Vinzier	920	1 242	238	109,3	10 %	0,19
Thollon	925	1 380	241	121,5	9 %	0,17
MOYENNE	-	1 136	181	100,0	8 %	-

TABLEAU II.2.4. - Caractéristiques des hauteurs de précipitations annuelles sur le versant d'Evian.

Les relations :

$$\bar{P}_x = f(\sigma_x)$$

et $\bar{P}_x = f(V_x)$

ont été étudiées (figure 25) ; on voit que l'estimation de l'écart-type croît avec celle du module en valeur absolue, mais pas en valeur relative puisque les coefficients de variation présentent une dispersion d'apparence aléatoire entre 0,14 et 0,19. Ce résultat confirme que le versant d'Evian constitue une région climatique homogène quant au régime des précipitations annuelles ; toute variation de ces précipitations annuelles sur l'ensemble du versant correspond à une variation à chaque station, proportionnelle, en gros, au coefficient de répartition qui la caractérise ; ce coefficient de répartition étant lié à l'altitude et à l'orientation des stations.

Les précisions obtenues par le calcul sur l'estimation des modules pluviométriques varient entre 8 % et 10 % ; ces valeurs sont proches des résultats présentés plus haut (cf. chapitre II.1.6.) sur les variations du module pluviométrique annuel avec la durée de la période d'observation.

- Lames d'eau moyennes pour des périodes mensuelles.

La méthode de calcul des lames d'eau moyennes tombées sur le versant pour des périodes mensuelles est la même que celle qui a été utilisée précédemment à l'échelle annuelle.

Les résultats obtenus sont reportés sur le tableau II.2.5. qui indique aussi les valeurs des paramètres statistiques liés au calcul de ces moyennes, ainsi que celles du coefficient pluviométrique mensuel relatif C pour l'année moyenne.

La figure 26 illustre les variations globales de la pluviométrie moyenne pour la période 1963-1974 à l'échelle mensuelle.

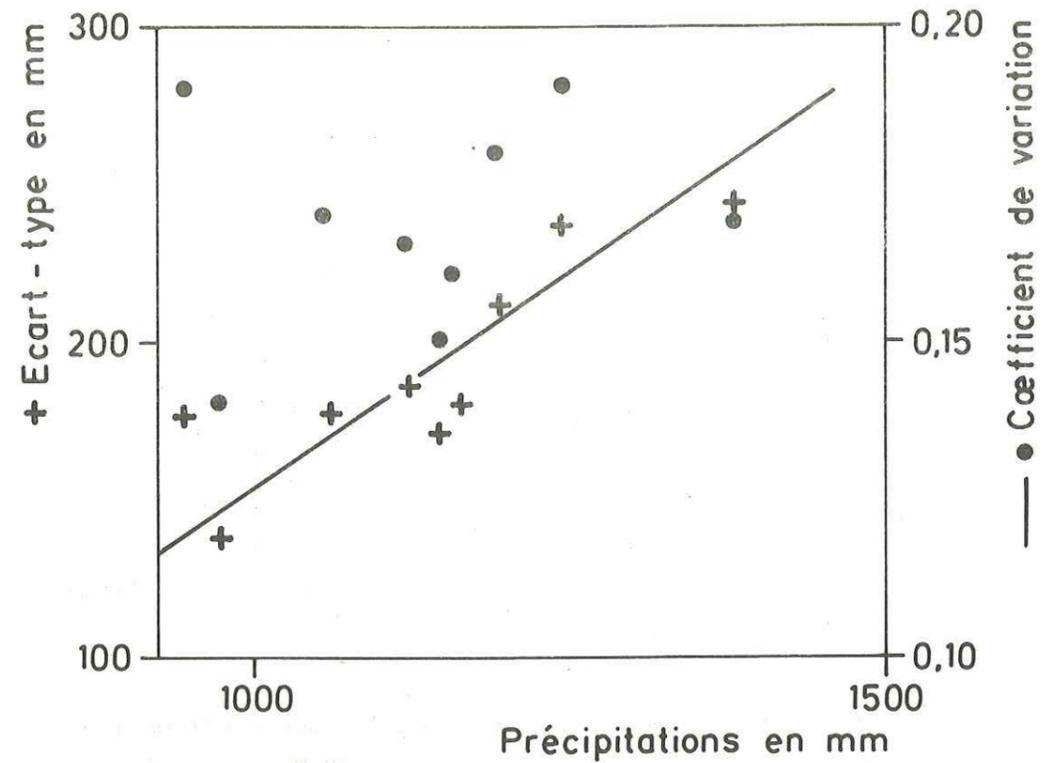


Fig. 25 - RELATIONS ENTRE LES PRECIPITATIONS ANNUELLES MOYENNES, LEURS ECARTS-TYPE ET COEFFICIENTS DE VARIATION AUX POSTES PLUVIOMETRIQUES DU VERSANT D'EVIAN

Pour un même mois, les hauteurs de précipitations varient dans de larges proportions ; la répartition annuelle des totaux mensuels est elle-même aussi très fluctuante ; les valeurs prises par C indiquent aussi d'importantes discontinuités. Cependant, l'importance relative des pluies moyennes d'été et de printemps constatée à l'échelle du lac se retrouve ici. La pluviométrie croît du minimum de Décembre à Juin, décroît en Juillet, atteint ensuite un maximum au mois d'Août ; on assiste en Septembre et Octobre à une nouvelle décroissance interrompue par les fortes précipitations du mois de Novembre : ces fortes précipitations de Novembre sont liées, comme nous l'avons précisé au paragraphe II.1.3., au régime des vents dans la région : les vents du N.E pouvant rabattre sur la rive française du lac et les reliefs préalpins, les masses d'air chargées d'humidité.

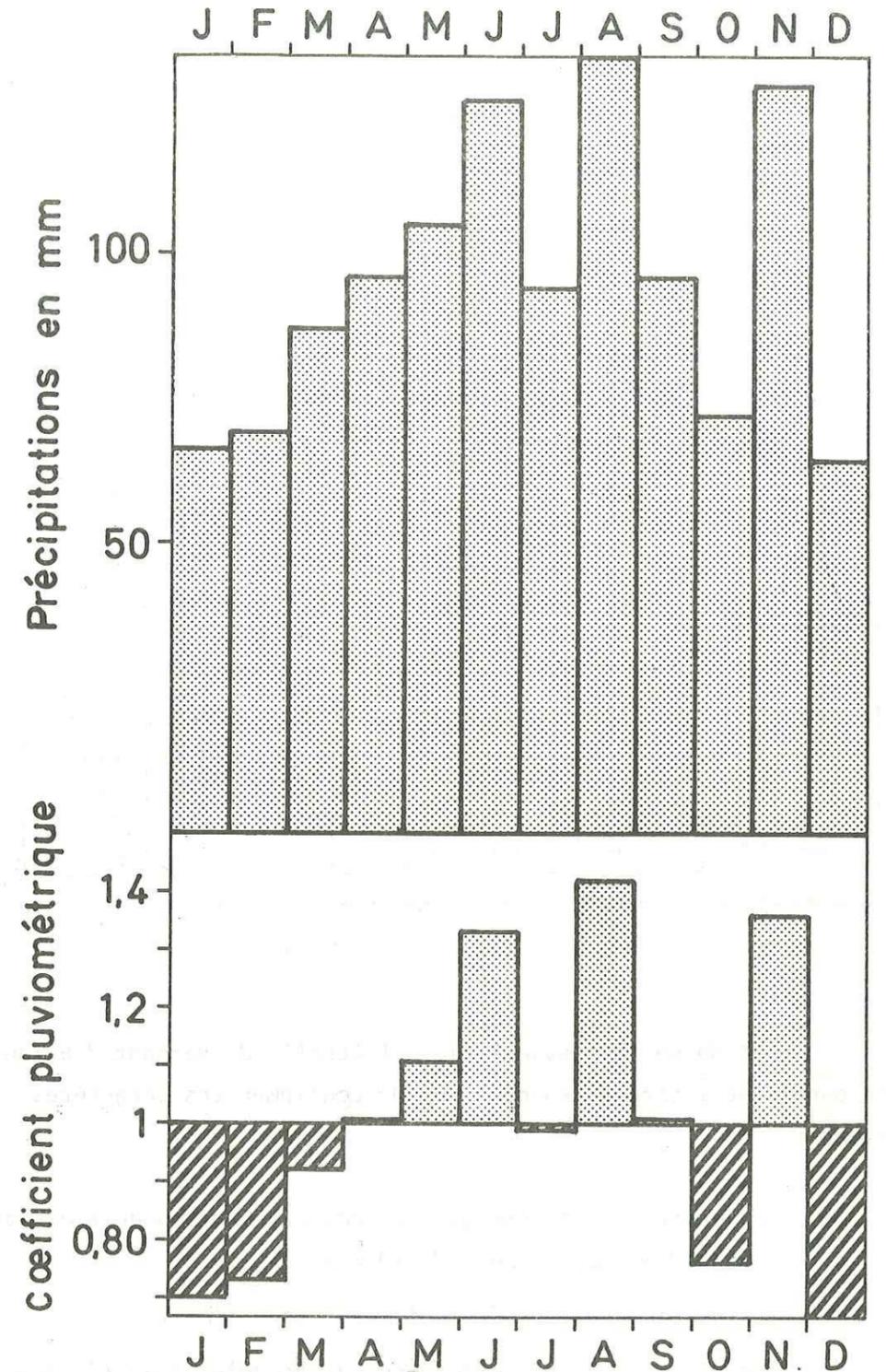


Fig. 26 - REGIME MOYEN DES PRECIPITATIONS MENSUELLES SUR LE VERSANT D'EVIAN

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1963	74	57	159	98	79	222	48	223	63	28	250	6
1964	15	27	177	92	98	100	60	134	96	119	55	45
1965	92	27	119	92	137	74	203	97	177	49	154	153
1966	89	127	64	161	100	52	97	142	67	99	74	100
1967	49	53	89	36	159	80	77	95	111	87	182	73
1968	109	103	45	102	121	89	121	266	173	75	80	97
1969	55	63	82	105	91	126	92	143	68	4	149	60
1970	94	138	103	169	49	146	68	163	46	80	160	41
1971	76	25	94	56	106	118	24	121	39	46	103	14
1972	25	68	54	102	70	159	99	56	42	44	158	55
1973	44	48	13	97	101	142	160	95	131	69	47	59
1974	65	90	49	36	154	208	78	73	135	158	140	66
Précipitations moyennes (mm)	66	69	87	96	105	126	94	134	96	72	129	64
Ecart type (mm)	29	38	48	41	33	52	49	61	49	42	59	40
Coefficient pluviométrique mensuel	0,70	0,73	0,92	1,01	1,11	1,33	0,99	1,42	1,01	0,76	1,36	0,68
Maximum	109	138	177	169	159	222	203	266	177	158	250	153
Minimum	15	25	13	36	49	52	24	56	39	4	47	6

TABEAU II.2.5. - Précipitations moyennes mensuelles sur le versant d'Evian.

L'étude de la pluviométrie à l'échelle du versant d'Evian a donc permis de mettre en évidence ou de confirmer les caractères suivant :

- Le gradient altimétrique de précipitations annuelles est égal à + 57 mm/100 m pour la période 1963-1974.

- La pluviométrie croît de l'Ouest vers l'Est.

- Le régime des précipitations est homogène pour l'ensemble du versant, mais présente des discontinuités importantes dans le temps, aussi bien à l'échelle annuelle qu'à l'échelle mensuelle ; ces variations se répercutant sur l'ensemble du versant.

- Les précisions théoriques obtenues sur les estimations des lames d'eau moyennes annuelles sont de l'ordre de grandeur des écarts relatifs observés dans l'étude des stations longues du pourtour lémanique.

II.3. - LES PRECIPITATIONS SUR LE BASSIN VERSANT DU MARAVANT.

Le réseau pluviométrique utilisé pour l'estimation des hauteurs moyennes de lames d'eau précipitées sur le bassin versant du Maravant est constitué d'un pluviomètre installé à Vinzier et du pluviographe implanté à la Ferme du Maravant ; les emplacements respectifs de ces appareils ont été indiqués sur la figure 24, leurs caractéristiques sur le tableau II.2.1. (cf. § II.2.1.).

Les précipitations déterminant à chaque instant l'alimentation en eau du bassin, il convient d'abord d'examiner comment et avec quelle précision sont évaluées les lames d'eau précipitées ; nous passerons ensuite à leur étude.

II.3.1. - Précision et méthode d'évaluation des lames d'eau précipitées sur le bassin versant du Maravant.

En faisant l'hypothèse d'une répartition uniforme des précipitations, JACQUET (1960) montre que les écarts systématiques observés entre postes voisins situés de 0,3 m à 1,5 m de la surface du sol ne doivent pas dépasser en grandeur l'erreur admissible sur la mesure des hauteurs de précipitations, soit 15 % à l'échelle journalière, 8 % à l'échelle mensuelle et 2,4 % à l'échelle annuelle. Nous admettons donc que les lames d'eau précipitées mesurées à Vinzier et à la Ferme du Maravant sont des estimations correctes des valeurs réelles dans les conditions d'installation des appareils.

Après planimétrage de la zone d'influence de chacune des 2 stations, le total moyen de précipitations (\bar{P}) sur le bassin, exprimé en fonction des lames d'eau relevées à Vinzier (P_V) et à la station du Maravant (P_M) est égal à :

$$\bar{P} = 0,6 P_M + 0,4 P_V \quad (1)$$

En utilisant la droite de régression qui lie P_V à P_M (précipitations mensuelles) définie par l'équation :

$$P_V = 1,15 P_M - 9,24 \quad (r = 0,923, 120 \text{ valeurs})$$

On obtient :

$$\bar{P} = 1,06 P_M - 3,7 \quad (2)$$

L'estimation de la lame d'eau précipitée à l'échelle mensuelle peut donc se faire avec une erreur relativement faible (inférieure à 6 %) à partir des seules précipitations enregistrées par le pluviographe du Maravant. Une telle démarche paraissant légitime, l'étude des précipitations sur le bassin versant du Maravant se fera sur la base des lames d'eau enregistrées par le pluviographe.

Par ailleurs, il s'avèrera toujours possible d'appliquer l'équation (2) dans les cas où une précision étroite sera recherchée.

II.3.2. - Etude des précipitations annuelles.

On dispose de 10 années d'enregistrement (1965 à 1974).

- Précipitations annuelles et interannuelles.

Les valeurs des lames d'eau annuelles précipitées et du module pluviométrique calculées pour la période 1965-1974 sont consignées dans le tableau II.3.1. qui porte également les valeurs de l'indice d'humidité de chaque année. L'échantillon de 10 valeurs a les paramètres suivants :

Moyenne $\bar{P} = 1\ 164 \text{ mm}$

Ecart-type $\bar{\sigma} = 176 \text{ mm}$

Les encadrements de l'estimation du module annuel pour les intervalles de confiance (I.C.) à 90 % et 95 % conduisent aux résultats suivants :

IC 90 % $1\ 061 \text{ mm} < \bar{P} < 1\ 267 \text{ mm}$ précision : 8 %

IC 95 % $1\ 037 \text{ mm} < \bar{P} < 1\ 291 \text{ mm}$ précision : 10,9 %

ANNEES	PRECIPITATIONS ANNUELLES (mm)	INDICES PLUVIOMETRIQUES
1965	1 348	1,16
1966	1 084	0,93
1967	1 174	1,01
1968	1 462	1,26
1969	1 159	1,00
1970	1 291	1,11
1971	881	0,76
1972	985	0,85
1973	1 032	0,98
1974	1 225	1,05
ANNEE MOYENNE	1 164	1

TABLEAU II.3.1. - Précipitations annuelles à la station du Maravant.

- Variabilité des précipitations annuelles pour la période 1965-1974.

Les valeurs extrêmes observées et les paramètres calculés conduisent aux caractéristiques suivantes :

- Encadrement $\left\{ \begin{array}{l} \text{Maximum} \quad P_M = 1\ 462 \text{ mm} \quad (1968) \\ \text{Minimum} \quad P_m = 881 \text{ mm} \quad (1971) \end{array} \right.$

- Rapport des valeurs extrêmes $\frac{P_M}{P_m} = 1,66$
- Amplitude $P_M - P_m = 581 \text{ mm} = 3,3 \sigma$
- Coefficient de variation $\frac{\sigma}{P} = 0,15$
- Valeur médiane : 1 167 mm

(la série ayant un nombre pair de termes, nous avons pris pour valeur médiane la moyenne arithmétique des 2 termes centraux).

Pour la période d'étude, la médiane (1 167 mm) et la moyenne (1 164 mm) sont pratiquement confondues, ce qui indique une certaine symétrie dans la distribution.

Les résultats obtenus indiquent une dispersion comparable à celle mise en évidence précédemment pour les autres stations lémaniques.

- *Extension de la série des lames d'eau annuelles au Maravant.*

La méthode employée est celle que préconise ROCHE (1963) et les diverses étapes de l'étude correspondent à la suite d'opérations conseillées par DUBREUIL (1974).

La normalité des séries de base ayant été montrée au paragraphe II.1.2. la recherche de la corrélation entre la série des précipitations annuelles à la station du Maravant (P_M) et celles des stations de base (P_B) sur les 10 années communes a été entreprise et mène aux droites de régression ci-après :

EQUATIONS DE REGRESSION	COEFFICIENTS DE CORRELATION	STATIONS DE BASE
$P_M = 0,88 P_B + 341$	0,92	Genève
$P_M = 0,79 P_B + 360$	0,90	Thonon
$P_M = 0,75 P_B + 336$	0,93	Lausanne
$P_M = 0,60 P_B + 430$	0,77	Montreux

Ces droites sont représentées sur le graphique de la figure 27. Malgré la faiblesse du nombre de couples de valeurs, les coefficients de corrélation trouvés témoignent d'une liaison assez serrée. Le test du double cumul a été appliqué afin de vérifier l'homogénéité des valeurs retenues pour les précipitations annuelles à la station du Maravant. Les résultats régionaux obtenus ont guidé le choix des 2 séries de base retenues : stations de Lausanne et de Montreux. La figure 28 montre une liaison et une homogénéité excellentes.

Pour la pratique de l'extension de la série pluviométrique du Maravant nous avons donc choisi la station de base de Lausanne puisque c'est elle qui donne la meilleure corrélation.

Les échantillons de 10 années de mesures (1965-1974) à ces 2 stations ont les paramètres suivants :

- Maravant

- . Moyenne $\bar{P}_M = 1\ 164 \text{ mm}$
- . Ecart-type $\sigma_M = 176 \text{ mm}$

- Lausanne

- . Moyenne $\bar{P}_L = 1\ 062 \text{ mm}$
- . Ecart-type $\sigma_L = 199 \text{ mm}$

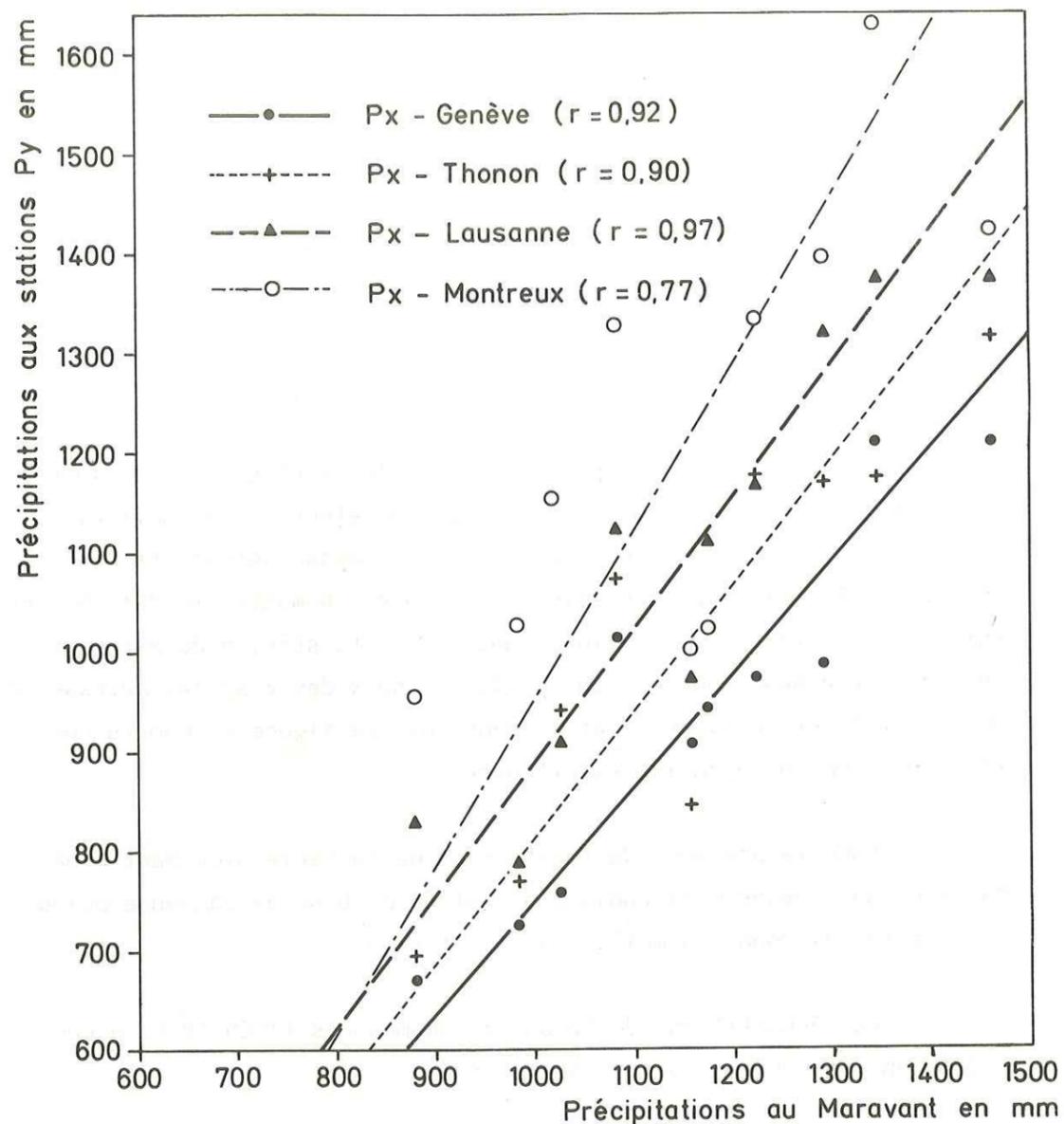


Fig.27 - CORRELATION ENTRE LES PRECIPITATIONS ANNUELLES A LA STATION DU MARAVANT (Px) ET AUX STATIONS DE REFERENCE (Py) - (1965 - 1974)

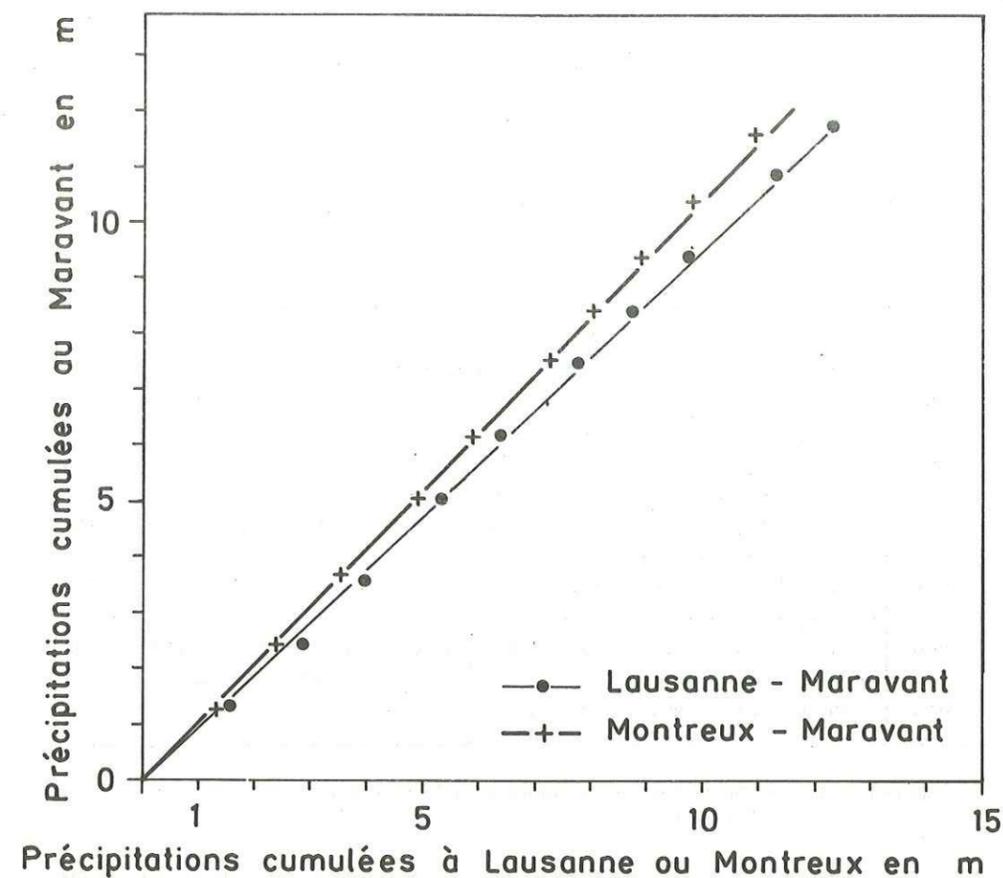


Fig.28 - APPLICATION DU TEST DE LA DOUBLE MASSE AUX STATIONS PLUVIOMETRIQUES DU MARAVANT, DE LAUSANNE ET DE MONTREUX

L'extension conduit à une nouvelle estimation des paramètres liés aux précipitations à la station du Maravant pour un gain de 37 années ; ces paramètres sont les suivants :

- Moyenne $\bar{P}_M = 1\ 137$ mm
- Ecart-type $\hat{\sigma}_M = 166$ mm

18 AOÛT 2003

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
 MAISON DES SCIENCES
 DOCUMENTATION
 B.P. 53
 F. 38041 GRENOBLE CEDEX
 Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 45 58
 Mail: plalour@ujf.grenoble.fr

Pour un coefficient de corrélation de 0,93, l'expérience veut que si la nouvelle estimation de l'écart-type est inférieure à la première, l'on conserve cette première. On a donc une nouvelle série de valeurs sur 47 ans (1928-1974) de moyenne $\hat{P}_M = 1\ 137$ mm et d'écart-type $\hat{\sigma}_M = 176$ mm.

Les 47 valeurs sont rassemblées dans le tableau II.3.2.

ANNEES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1920	-	-	-	-	-	-	-	1 278	1 193	1 030
1930	1 521	1 246	1 035	1 022	1 058	1 298	1 248	1 211	1 042	1 323
1940	1 237	1 083	966	975	1 142	920	1 060	1 000	1 187	897
1950	1 236	1 225	1 306	892	1 208	1 266	1 154	965	1 220	1 123
1960	1 312	1 138	971	1 187	947	1 348	1 084	1 174	1 462	1 159
1970	1 291	881	985	1 032	1 225	-	-	-	-	-

TABEAU II.3.2. - Série étendue des totaux annuels de précipitations à la ferme du Maravant.

(Chaque estimation P_x correspond à la moyenne des valeurs possibles de la pluviométrie au Maravant pour l'année x connaissant sa valeur correspondante au poste de Lausanne)

L'intervalle de confiance à 95 %, calculé pour les diverses séries, donne les résultats suivants :

- Maravant (10 ans, loi de Student) :

$$IC\ 95\ \% = \pm 2,262 \cdot \frac{176}{\sqrt{10}} = \pm 126\ \text{mm}$$

$$\text{soit : } 1\ 037\ \text{mm} < \bar{P} < 1\ 291\ \text{mm}$$

- Maravant (47 ans) :

$$IC\ 95\ \% = \pm 1,96 \cdot \frac{176}{\sqrt{47}} = \pm 50\ \text{mm}$$

$$\text{soit : } 1\ 087\ \text{mm} < \bar{P} < 1\ 187\ \text{mm}$$

- Lausanne (74 ans) :

$$IC\ 95\ \% = \pm 1,96 \cdot \frac{199}{\sqrt{74}} = \pm 45\ \text{mm}$$

La précision sur la connaissance de la moyenne passe donc, pour l'intervalle de confiance à 95 %, de 10,9 % pour la série de 10 ans de précipitations à la station du Maravant à 4,4 % pour la série étendue à 47 ans.

Les mêmes calculs ont été effectués à partir des trois autres stations de base (Genève, Thonon, Montreux). Les résultats, reportés sur le tableau II.3.3, soulignent le rôle important joué par le coefficient de corrélation entre la série de base et la série à étendre sur le degré d'extension de la série courte (DUBREUIL, 1974).

On remarquera aussi que les quatre estimations de \bar{P}_M sont inférieures au module calculé sur les dix années d'observations ; résultat qui vient appuyer les conclusions du paragraphe II.1.

II.3.3. - Les précipitations mensuelles à la station du Maravant.

Les totaux mensuels de précipitations à la Ferme du Maravant sont reportés sur le tableau II.3.4.

Nous avons consigné dans le tableau II.3.5. les principales caractéristiques de tendance centrale et de dispersion des valeurs de précipitations pour chaque mois*. Ces résultats sont représentés graphiquement sur la figure 29. On observe que l'intervalle de variation ainsi

* (L'hypothèse d'une distribution normale des précipitations mensuelles a été faite).

que l'erreur absolue pour l'intervalle de confiance à 90 % augmentent avec la pluviométrie mensuelle. Cette pluviométrie est traduite par les valeurs prises par le coefficient moyen de variation mensuel (tableau II.3.6.). On aboutit globalement aux mêmes conclusions énoncées pour le versant d'Evian dans son ensemble, conclusions traduisant l'uniformité du régime des précipitations dans la région.

	ESTIMATIONS PAR RAPPORT A :			
	GENEVE	THONON	LAUSANNE	MONTREUX
Coefficient de corrélation	0,92	0,90	0,93	0,77
Estimation de la moyenne (mm)	1 125	1 140	1 137	1 123
Gain en années	34	30	37	18
Intervalle de confiance à 95 %	± 52	± 55	± 50	± 65
Précision en % (IC 95 %)	4,6	4,8	4,4	5,8

TABLEAU II.3.3. - Principaux paramètres issus de l'extension de la chronique des précipitations annuelles à la station du Maravant.

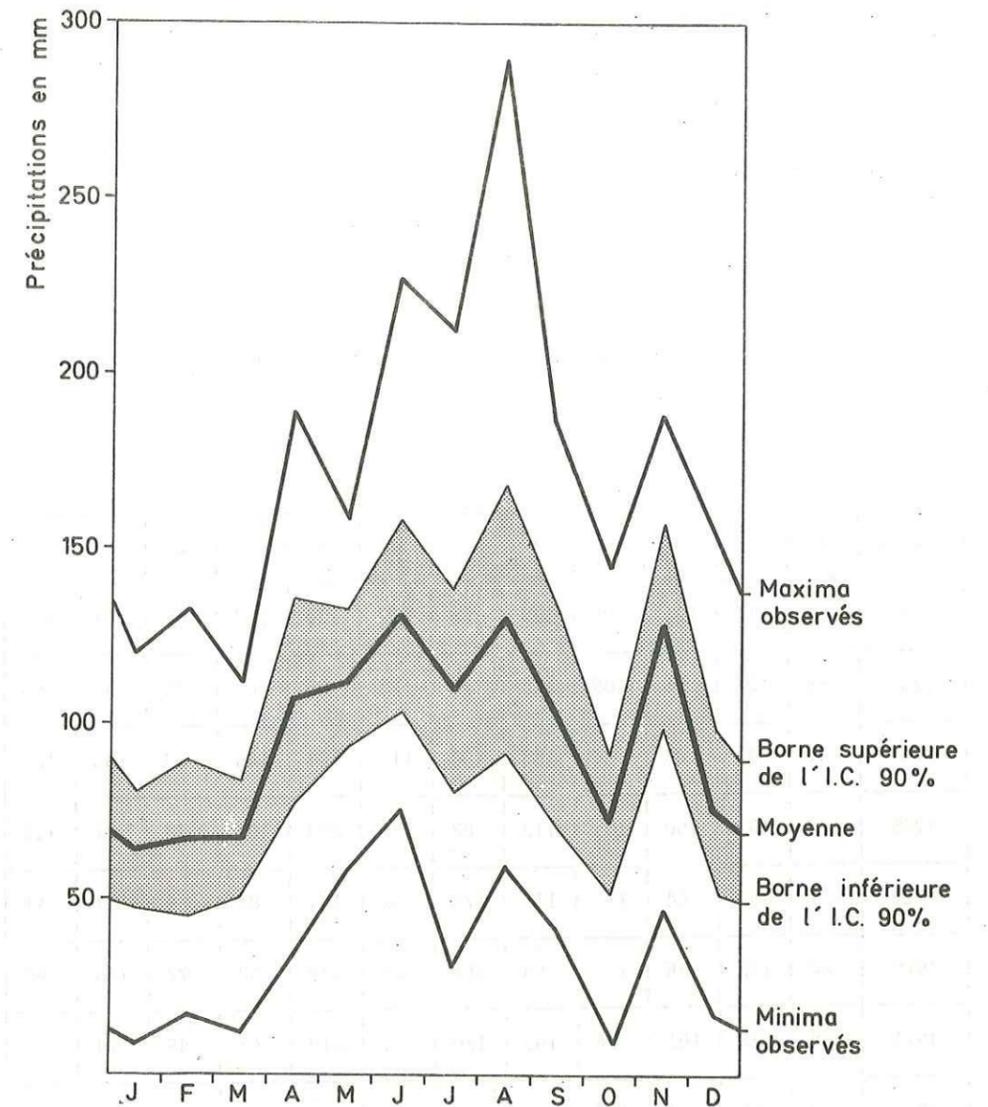


Fig. 29 - EVOLUTION DES PRECIPITATIONS MENSUELLES A LA STATION DU MARAVANT (1965-1974).

Pour préciser cette uniformité, on a recherché les droites de régression issues des corrélations entre les pluies mensuelles X et Y, respectivement au Maravant et aux autres stations du versant d'Evian ; les équations obtenues sont les suivantes :

Thonon-C.R.G.	$Y = 0,78 X + 3,5$	$(r = 0,883 , 120 \text{ couples})$
Maxilly	$Y = 0,76 X + 13,3$	$(r = 0,869 , 120 \text{ couples})$
Marin	$Y = 0,75 X + 8,7$	$(r = 0,871 , 120 \text{ couples})$
Vougron	$Y = 0,88 X + 12,8$	$(r = 0,878 , 120 \text{ couples})$
Larringes	$Y = 0,89 X + 5,9$	$(r = 0,923 , 120 \text{ couples})$
Saint-Paul	$Y = 0,90 X + 7,8$	$(r = 0,890 , 120 \text{ couples})$
Vinzier	$Y = 1,15 X - 9,24$	$(r = 0,923 , 120 \text{ couples})$
Thollon	$Y = 1,09 X + 9,9$	$(r = 0,894 , 120 \text{ couples})$

Les liaisons obtenues, pour 120 couples de valeurs, sont étroites.

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANNUEL
1965	62	17	111	108	129	85	212	100	172	52	147	153	1 348
1966	83	104	56	189	115	75	73	96	68	104	53	68	1 084
1967	51	40	63	34	155	98	111	104	145	83	188	102	1 174
1968	120	103	50	105	113	82	139	290	187	78	81	114	1 462
1969	57	52	84	111	112	175	92	171	84	9	171	41	1 159
1970	88	132	86	184	58	151	77	170	58	77	168	42	1 291
1971	68	33	101	74	108	120	31	119	47	49	114	17	881
1972	9	67	54	110	75	168	125	59	41	54	161	62	985
1973	42	47	12	112	93	131	162	109	130	72	47	75	1 032
1974	59	76	54	40	159	226	78	80	92	144	145	72	1 225

TABEAU II.3.4. - Précipitations mensuelles à la ferme du Maravant.

MOIS	MOYENNES	ECARTS-TYPES	PRECISIONS I.C. 90 %
Janvier	64	30	27
Février	67	36	30
Mars	67	29	31
Avril	107	51	28
Mai	112	32	23
Juin	131	49	32
Juillet	110	52	33
Août	130	66	37
Septembre	102	53	38
Octobre	72	36	35
Novembre	128	51	28
Décembre	75	40	39

TABEAU II.3.5. - Répartition mensuelle des lames d'eau moyennes précipitées à la station du Maravant.

MOIS	COEFFICIENTS
Janvier	0,66
Février	0,69
Mars	0,69
Avril	1,10
Mai	1,15
Juin	1,35
Juillet	1,13
Août	1,34
Septembre	1,05
Octobre	0,74
Novembre	1,32
Décembre	0,77

TABEAU II.3.6. - Coefficients pluviométriques mensuels à la station du Maravant.

II.3.4. - Etude des précipitations journalières.

Pour chaque année de la période 1965-1974, nous avons recensé les précipitations journalières enregistrées par le pluviographe et stockées en annexe (tableaux II.3.7. à II.3.16). Les résultats obtenus pour l'année moyenne sont présentés dans le tableau II.3.17. qui indique pour chaque mois la fréquence moyenne des précipitations journalières groupées en classes. Ce tableau montre, en outre, qu'une journée sur deux est soumise à une lame d'eau supérieure à 0,2 mm et une journée sur trois, en gros à une lame d'eau supérieure à 1 mm. Cette distribution moyenne est illustrée par la figure 30. Elle montre que les journées intéressées par les lames d'eau les plus importantes (> 30 mm) se rapportent presque exclusivement aux mois de printemps et d'été, ainsi qu'au mois de Novembre, c'est-à-dire aux époques de l'année pour lesquelles la pluviométrie est forte. La même tendance se souligne pour les précipitations journalières comprises entre 10 mm et 20 mm, d'une part et 20 mm et 30 mm, d'autre part. Par contre, cette répartition tend à s'inverser pour les lames d'eau journalières inférieures à 10 mm puisque l'on constate un minimum d'été du nombre de jours présentant de tels totaux.

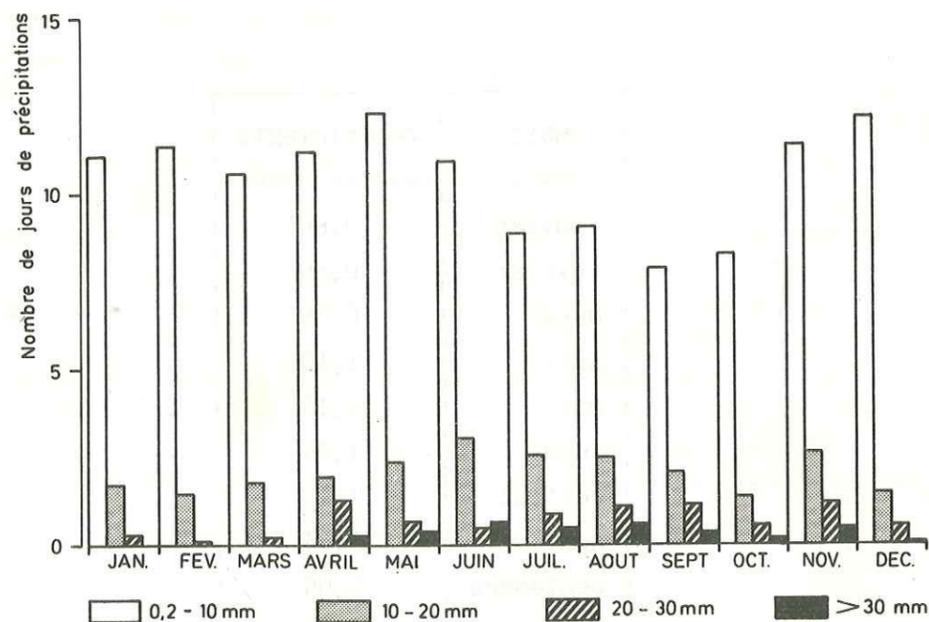


Fig.30 - DISTRIBUTION MOYENNE DES PRECIPITATIONS JOURNALIERES A LA STATION DU MARAVANT (1965 - 1974)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
	194	178	176	185	197	196	168	192	212	197	210	189	2 294
0 à 0,2	63	48	50	37	39	44	39	59	96	92	52	45	664
> 0,2	131	130	126	148	158	152	129	133	116	105	158	144	1 630
0,2 à 1	29	19	16	19	21	18	26	19	23	29	20	39	278
1 à 10	82	95	90	93	102	91	63	72	56	54	94	83	975
10 à 20	17	15	18	20	24	31	26	25	21	14	27	15	253
20 à 30	3	1	2	13	7	5	9	11	12	6	12	6	87
30 à 40	-	-	-	2	2	2	3	4	2	1	3	1	20
40 à 50	-	-	-	1	1	3	1	1	-	1	1	-	9
50 à 60	-	-	-	-	-	2	1	1	1	-	1	-	6
60 à 70	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
70 à 80	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1
80 à 90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABLEAU II.3.17. - Fréquence des précipitations journalières (en nombre de jours sur 10 ans) à la ferme du Maravant (1965-1974).

Du point de vue quantitatif, le régime moyen des précipitations journalières a été défini et se caractérise par les résultats reportés sur le tableau II.3.18. et représentés graphiquement sur la figure 31. On extrait surtout de ceux-ci les couples de valeurs suivants :

- 40 % de la lame d'eau annuelle moyenne précipitée se rapportent à des précipitations journalières de moins de 10 mm.
- 72 % de cette lame d'eau précipitée correspondent à des précipitations journalières de moins de 20 mm.
- 90 % correspondent à des précipitations journalières de moins de 30 mm.

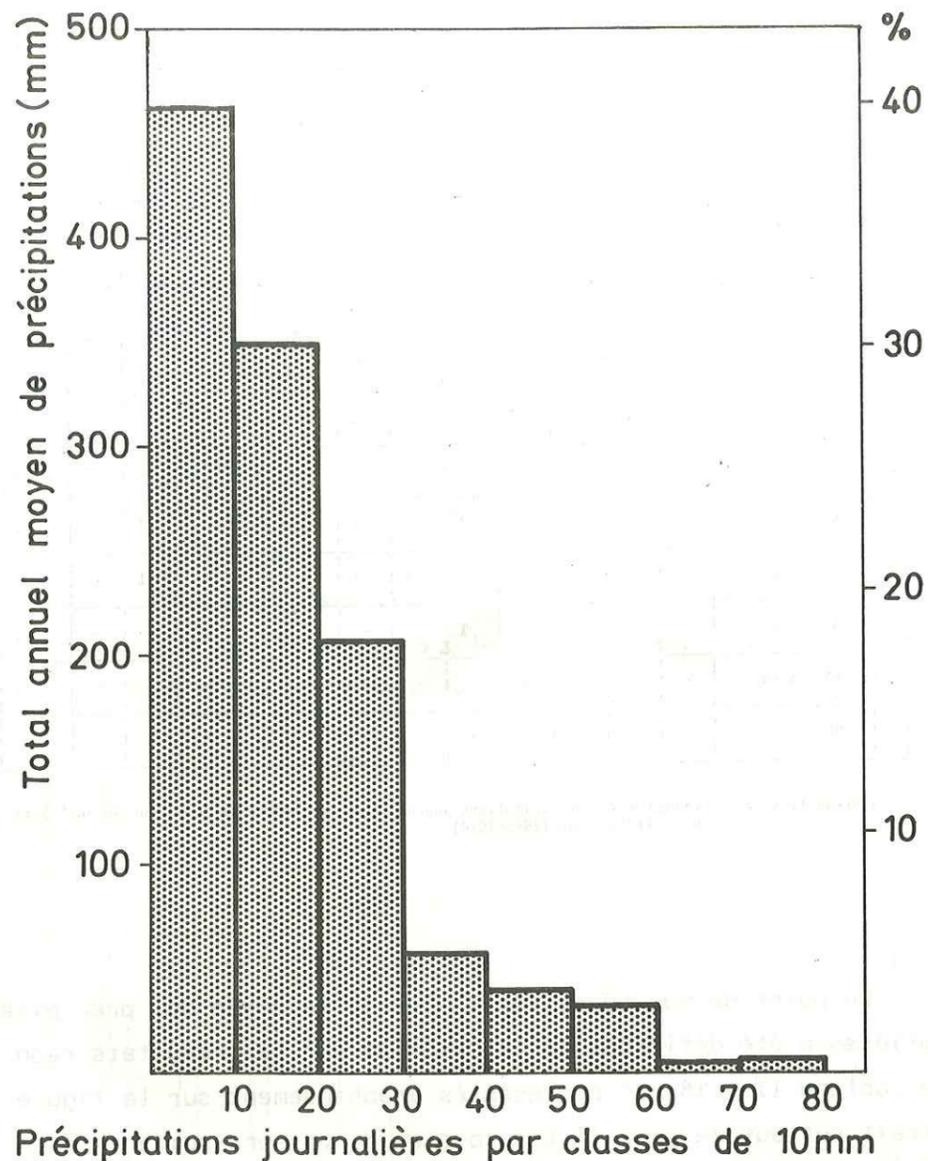


Fig. 31 - REGIME MOYEN DES PRECIPITATIONS JOURNALIERES A LA STATION DU MARAVANT (1965 - 1974)

CLASSES DE PRECIPITATIONS JOURNALIERES	PRECIPITATIONS (mm)	FREQUENCES (%)	FREQUENCES CUMULEES (%)
0 - 10	4 636	40	40
10 - 20	3 474	30	70
20 - 30	2 075	18	88
30 - 40	582	5	93
40 - 50	405	3	96
50 - 60	330	2,8	98,8
60 - 70	64,2	0,5	99,3
70 - 80	73,6	0,6	100
<i>TOTAL</i>	<i>11 639</i>		

TABLEAU II.3.18. - Régime moyen des précipitations journalières à la station du Maravant.

II.3.5. - Les précipitations neigeuses.

Les précipitations sous forme de neige sont mesurées à Vinzier ; les résultats présentés (tableau II.3.19.) concernent donc la partie haute du bassin du Maravant. La transformation de la hauteur de neige en lame d'eau équivalente a été faite suivant la relation simple :

$$1 \text{ cm neige} = 1 \text{ mm eau}$$

Cette relation, vérifiée par DRAY (1970) dans son étude sur le versant de Thonon peut être retenue pour le bassin du Maravant, étant données les faibles variations de la densité de la neige dans les zones d'étendue modeste et climatiquement homogènes (TRIPET, 1972).

Nous avons reporté sur le tableau II.3.20. les valeurs des coefficients nivométriques mensuels à Vinzier et le graphique de la figure 32 indique l'évolution des précipitations sous forme de neige de 1966 à 1974.

La couverture neigeuse, variable avec les années, peut exister en Octobre-Novembre et disparaît généralement en Avril, mais subit des fluctuations souvent importantes pendant cette période.

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANNUUEL
1966	44	9	61	-	-	-	-	-	-	-	51	56	221
1967	30	22	32	17	14	-	-	-	-	-	18	59	192
1968	129	72	41	9	20	-	-	-	-	-	15	94	380
1969	41	67	25	12	-	-	-	-	-	-	64	41	250
1970	46	90	74	84	-	-	-	-	-	25	26	38	383
1971	18	26	32	-	-	-	-	-	-	-	48	7	131
1972	23	49	30	7	-	-	-	-	-	8	21	4	142
1973	52	56	11	62	-	-	-	-	-	-	34	16	231
1974	5	65	33	6	-	-	-	-	-	81	41	25	256

TABLEAU II.3.19. - Précipitations neigeuses à Vinzier (920 m).

La présence possible de ce stock neigeux pendant près de six mois sur une partie du bassin du Maravant sera d'une grande importance pour la dynamique de la nappe superficielle du bassin, largement alimentée et souvent à l'affleurement dans les zones marécageuses pendant la période hivernale.

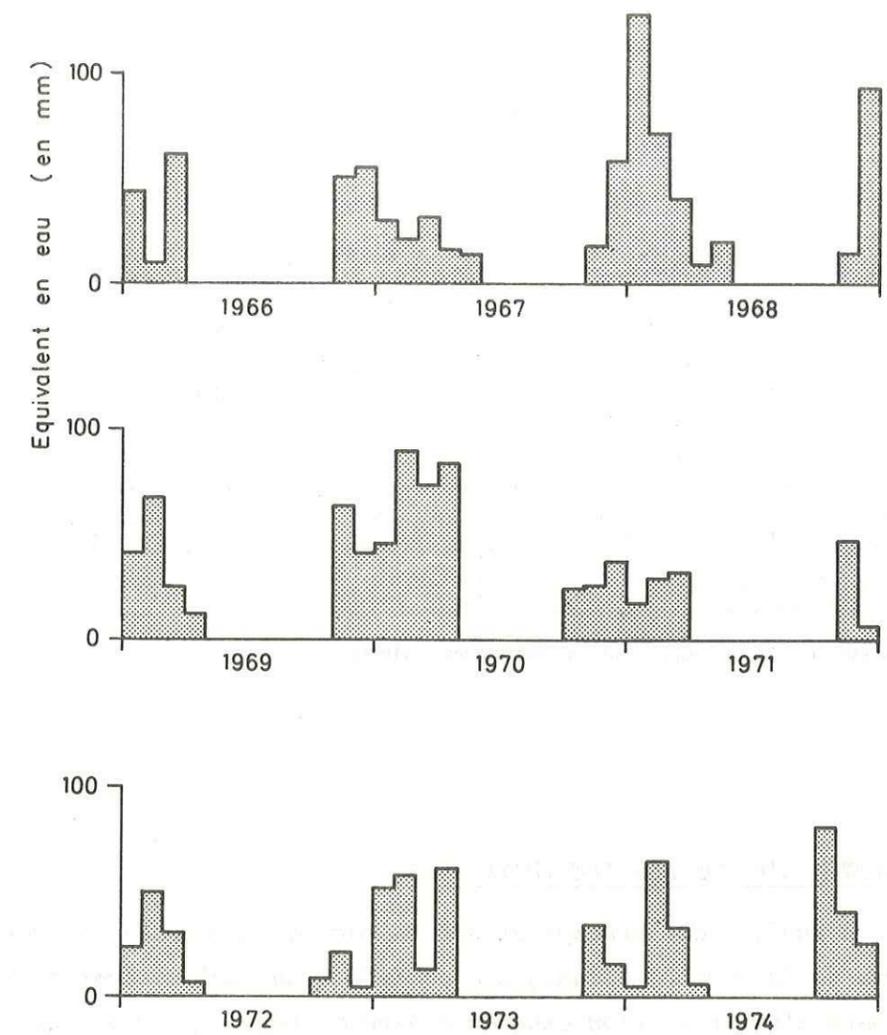


Fig.32 - PRECIPITATIONS NEIGEUSES A VINZIER. (920 m)

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNUEL
1966	0,44	0,06	0,66	-	-	-	-	-	-	-	0,61	0,59	0,17
1967	0,73	0,37	0,34	0,42	0,08	-	-	-	-	-	0,11	0,70	0,16
1968	1,00	0,68	1,00	0,08	0,18	-	-	-	-	-	0,22	0,79	0,25
1969	0,73	0,91	0,29	0,13	-	-	-	-	-	-	0,38	0,74	0,21
1970	0,51	0,65	0,56	0,53	-	-	-	-	-	0,34	0,17	0,74	0,28
1971	0,23	1,00	0,43	-	-	-	-	-	-	-	0,47	0,47	0,15
1972	1,00	0,80	0,63	0,09	-	-	-	-	-	0,17	0,13	0,09	0,15
1973	1,00	1,00	1,00	0,86	-	-	-	-	-	-	0,51	0,21	0,24
1974	0,12	0,76	0,73	0,13	-	-	-	-	-	0,46	0,35	0,39	0,20
ANNEE MOYENNE	0,64	0,69	0,63	0,25	0,03	-	-	-	-	0,11	0,33	0,52	0,20

TABLEAU II.3.20. - Coefficients nivométriques à Vinzier.

CONCLUSION A L'ETUDE DES PRECIPITATIONS.

L'analyse des précipitations en tant que processus hydrologique au niveau de la cuvette lémanique a conduit à une schématisation qui rend compte d'une variation cinquantenaire du régime pluviométrique. D'un point de vue purement déterministe, la variable "précipitations annuelles ou pluriannuelles" est à rattacher aux autres paramètres météorologiques spécifiques à la région et, vraisemblablement, aux fréquences des types pluviométriques liées à la circulation atmosphérique régionale à basse altitude. Le nombre de ces paramètres et l'importance relative de chacun d'entre eux sont, à l'échelle de l'étude, difficiles à estimer.

Les changements d'échelle d'espace et de temps effectués lors de l'étude des précipitations sur le versant d'Evian et le bassin versant représentatif du Maravant ont permis de souligner l'homogénéité du régime des précipitations dans la région étudiée, homogénéité

qui peut permettre la mobilisation des données d'une station à des stations voisines pour lesquelles l'information est peu sûre ou moins abondante.

L'exploitation de l'information pluviométrique disponible pour le bassin du Maravant a confirmé sa représentativité régionale et les résultats obtenus ont permis d'estimer les apports en eau sur le bassin à différentes échelles de temps et de cerner les variations correspondant à ces diverses échelles ; ces variations jouent un rôle capital dans le régime hydrologique global.

TROISIEME CHAPITRE

TROISIEME CHAPITRE

ETUDE DE L'EVAPOTRANSPIRATION

Dans l'équation d'un bilan hydrologique, l'évapotranspiration représente un terme essentiel dont l'importance relative est parfois aussi grande que celle des précipitations et dépasse souvent celle du ruissellement ou de l'écoulement.

L'étude simultanée du phénomène physique qu'est l'évaporation de l'eau à la surface du sol, ou de tout matériel capable d'en retenir, et des phénomènes physiologiques au niveau des plantes nécessitant une utilisation naturelle de l'eau, constitue l'étude de l'évapotranspiration ("consumptive use" pour les auteurs américains).

La terminologie la plus courante est la suivante :

Evaporation : c'est le mécanisme suivant lequel l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux grâce à un transfert d'énergie.

Transpiration : représente l'évaporation de l'eau absorbée par la végétation, puis transpirée, essentiellement par ouverture des stomates.

Evapotranspiration : c'est le procédé suivant lequel l'eau est évaporée à partir des surfaces humides et transpirée par les plantes. L'évapotranspiration désigne aussi la quantité d'eau utilisée ou mobilisée sous l'action du phénomène du même nom.

III.1. - LES MECANISMES DE L'EVAPOTRANSPIRATION.

Comme on le verra, les lois qui régissent l'évapotranspiration dépendent d'un nombre de paramètres tel qu'il serait illusoire de vouloir définir une méthode universelle d'évaluation des lames d'eau évapotranspirées. L'étude des mécanismes de l'évapotranspiration permet de mieux sélectionner les paramètres régionaux les plus importants et d'aboutir à une estimation la plus proche possible de la réalité.

III.1.1. - Evaporation à la surface d'une masse d'eau libre.

L'évaporation survient à la surface d'une masse d'eau libre lorsque certaines molécules possèdent une énergie cinétique suffisante pour s'échapper de la masse liquide ; le phénomène d'évaporation est un phénomène de diffusion suivant lequel la vapeur d'eau est transférée de la surface de l'eau à l'atmosphère ; ce transfert ayant lieu, la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air varie ; le degré d'évaporation est donc déterminé par la différence existant entre la pression de vapeur de la masse d'eau et celle de l'air surmontant la surface de l'eau. A des conditions données, l'évaporation est proportionnelle à cette différence ou déficit de pression. Ces lois, énoncées par DALTON (1802), représentent les bases de toutes les équations utilisées.

La forme de la loi de DALTON et de certaines des autres équations proposées sont reportées dans le tableau suivant :

AUTEURS	DATES	EQUATIONS	UNITES
(1) DALTON	1802	$E = k. (e_w - e_a)$	in/24 heures
(2) HORTON	1917	$E = 0,4. (\psi e_w - e_a) \quad \psi = 2 - e^{-0,2. w}$	in/24 heures
(3) HARBECK et al.	1958	$E = 0,001813. w. (e_w - e_a). t. 1 - 0,03. (T_a - T_w)$ Pour les grandes surfaces E est multiplié par $(1 - D) + D. \frac{\psi - 1}{\psi - h}$	in/t jours
(4) LAKSHMAN	1972	$E = N. W. 0,8. (e_w - e_a)$ $N = \frac{3,9.10^{-4}. m^{0,2}}{(m + 1)^{1,6}. (2m + 1)^{0,2}} \cdot \left(\frac{\delta}{2}\right)^{1,8}. m. \left(\frac{P}{A}\right)^{0,2}$	in/heures

TABLEAU III.1.1. - Exemples d'équations proposées pour le calcul de l'évaporation E.

- A : Aire de la surface de l'eau en pieds carrés.
- e_a : Pression de vapeur moyenne de l'air saturé à la température du point de mesure, en mb pour (3) et (4) et en in. Hg pour (1) et (2).
- e_w : Pression de vapeur moyenne à la température de la surface de l'eau, en mb pour (3) et (4) et en in. Hg pour (1) et (2).
- E : Evaporation (suivant les unités reportées).
- h : Humidité relative.
- D : Durée de la turbulence du vent.
- P : Périmètre de l'ensemble aqueux (en pieds).
- t : Nombre de jours.
- m : Constante liée au vent ("wind profile exponent").
- k : Constante.
- T_a : Température moyenne de l'air en °C + 1,9 °C.
- T_w : Température moyenne à la surface de l'eau, en °C.
- w : Vitesse moyenne du vent au-dessus de la surface de l'eau (à 2 m pour (4)), en noeuds pour (3), en miles par heure pour (1), (2) et (4).
- ψ : Facteur lié au vent.
- δ : Epaisseur de la couche d'eau intéressée en m.

Les facteurs essentiels qui contrôlent l'évaporation sont donc connus depuis longtemps, mais l'interdépendance de ceux-ci rend complexe toute formulation du phénomène dans la nature.

La température, en variant, modifie l'équilibre vapeur d'eau - eau liquide et donc les valeurs du déficit de pression. Globalement, ces valeurs augmentent avec tout apport d'énergie sollicitant la masse d'eau libre ; Cependant, avec le cycle saisonnier apparaît un phénomène d'hystérésis ; sous des températures moyennes égales, l'évaporation pouvant varier, la température n'est pas le seul facteur entrant en jeu.

Le vent, joue un rôle important en mobilisant l'air humide qui surmonte la surface de l'eau et en amenant de l'air plus sec et plus chaud ; il peut donc assurer le maintien du rythme de l'évaporation ; Inversement, la venue d'un air plus frais provoquera une diffusion moindre ; c'est le phénomène d'advection.

Nous considérerons que température et vent constituent les facteurs essentiels qui guident le taux d'évaporation à la surface d'une masse d'eau libre.

La pression atmosphérique (MEYER, 1915), la charge en ions de la masse d'eau (ROHWER, 1933), la forme et les dimensions du réservoir (LAKSHMAN, 1972) doivent être considérées comme des facteurs secondaires à n'étudier que dans les cas où une précision extrême est recherchée.

III.1.2. - Evaporation à la surface des sols.

Les paramètres météorologiques qui conditionnent l'évaporation à la surface d'une masse d'eau libre affectent aussi l'évaporation à la surface et dans les sols ; cependant, dans ce deuxième cas, le sol oppose une résistance au déplacement de l'eau sous forme de vapeur. VEIHMEYER (1964) propose d'appliquer la loi de DARCY à un tel déplacement :

$$\vec{V} = - k \cdot \text{grad } \theta$$

- V : Vitesse de déplacement
- k : Constante de Darcy
- θ : Perte de charge

Dans le cas des sols non saturés, l'évaporation a lieu, selon VEIHMEYER (1938), tant que les 10 à 20 cm supérieurs du sol restent humides ; pour les sols saturés, LEE (1942), VEIHMEYER et BROOKS (1954) affirment que l'évaporation se poursuit jusqu'à ce que la surface de la nappe superficielle atteigne une profondeur de 30 cm environ ; au-dessous, la diffusion de l'eau aurait lieu sous forme de transpiration.

Signalons aussi les résultats obtenus par MUTIN (1969) à la suite de l'étude des mouvements de l'eau dans le sol argileux du bassin de Miélan :

- Les variations d'humidité volumique du sol se manifestent jusqu'à une profondeur de 3,50 m,

- Les variations des stocks d'eau sont importantes et atteignent 270 mm ; elles sont surtout dues aux changements intervenant dans la zone superficielle (0 - 60 cm).

D'après cet auteur, les mouvements ascendants de l'eau, dus aux phénomènes d'évapotranspiration intéressaient donc une tranche de sol de 0 à 3 m d'épaisseur.

En fait, dans les milieux non saturés, l'expression de DARCY se généralise et devient :

$$\vec{V} = - k (\theta) \cdot \text{grad } \theta$$

où θ est la teneur en eau. Le rôle de la frange capillaire, dont l'extension verticale et la pression capillaire qui lui est liée varient avec les types de sols et de sous-sols, est donc important.

III.1.3. - La transpiration.

L'eau utilisée par les plantes est transpirée au niveau des nombreux stomates et s'évapore au contact de l'air dans les mêmes conditions qu'une masse d'eau libre.

Le mécanisme physiologique décrit par DE PARCEVAUX (1963) souligne l'importance du facteur eau et des éléments climatiques. Les quantités d'eau transpirées en forêt et en prairie, d'après les données de RISLER et de KEILHACH (citées par POIREE et OLLIER, 1971), sont les suivantes (consommation en mm/jour).

	RISLER	KEILHACH
Prairies	3 à 7	2 à 7
Forêts (chênes)	0,5 à 0,8	0,5 à 0,8
Forêts (sapins)	-	0,5 à 1

En définitive, les données théoriques précédentes montrent bien que les phénomènes d'évaporation et de transpiration naissent de processus complexes dus à un grand nombre de variables interdépendantes difficiles à quantifier et parfois même, à définir (KREITH et SELLERS, 1975). La connaissance des mécanismes généraux de l'évapotranspiration ne peut que guider toute étude régionale n'ayant souvent pour seul support efficace que les valeurs de température et d'humidité de l'air.

III.2. - L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (ETP) SUR LE POURTOUR DU LEMAN : CAS DES VERSANTS DE THONON ET D'EVIAN.

Thorntwaite (1948) proposa le terme d'évapotranspiration potentielle pour désigner l'évaporation d'une surface maintenue humide. Une amélioration apportée par PEMMAN (1956) fait de l'ETP "l'évapotranspiration à partir d'une surface de gazon court, poussant activement, recouvrant totalement le sol, de hauteur uniforme et bien pourvue en eau". Cette définition correspond donc à une double hypothèse de présence d'eau en quantité suffisante et de développement végétatif maximum. L'ETP est donc l'évapotranspiration maximale d'un couvert de gazon.

De la même façon, on définira par évaporation potentielle (EP) l'évaporation maximale que subit une masse d'eau libre.

Les phénomènes d'évapotranspiration mettant en jeu des transferts d'énergie, ETP et EP pourront représenter, soit la lame d'eau en mm évapotranspirable, soit l'énergie disponible qui conduirait à l'évapotranspiration de cette lame d'eau. Nous suivons par là les idées de BOUCHET (1963) et de HLAVEK et al (1974).

III.2.1. - L'évaporation potentielle.

L'évaporation potentielle est mesurée aux trois stations suivantes des versants de Thonon et d'Evian :

- Station du C.R.G. (altitude : 385 m),
- Station des Blaves (altitude : 600 m),
- Station de Larringes (altitude : 800 m).

Chacune de ces stations est équipée d'un bac Colorado et d'un évaporomètre Piche sous abri.

Les valeurs annuelles fournies par les différents appareils sont reportées sur le tableau III.2.1.

ANNEES	EVAPORATIONS POTENTIELLES EN mm					
	THONON		BLAVES		LARRINGES	
	BAC	PICHE	BAC	PICHE	BAC	PICHE
1963	510	410	-	-	528	440
1964	615	485	-	-	485	410
1965	545	410	-	-	391	360
1966	605	465	-	-	440	405
1967	566	407	485	525	495	420
1968	524	402	642	442	442	370
1969	538	420	521	438	420	360
1970	540	423	478	450	432	-
1971	492	458	553	464	452	-
1972	591	465	674	459	434	-
1973	595	433	610	405	419	-
1974	479	457	545	425	376	-

TABEAU III.2.1. - Evaporation bac et évaporation Piche à Thonon, les Blaves et Larringes.

La comparaison des résultats obtenus à partir des deux méthodes de mesures montre, comme l'ont indiqué SIWERTZ et al (1974), que l'évaporation bac Colorado est systématiquement plus élevée que celle du Piche. A l'échelle mensuelle, il existe une liaison assez serrée entre les deux séries de valeurs pour chacune des trois stations ; ces liaisons sont linéaires (figure 33) et le calcul mène aux droites de régression suivantes :

$$EP_{\text{bac}} = 1,94 \cdot EP_{\text{Piche}} - 27 \quad (\text{Thonon})$$

$$EP_{\text{bac}} = 1,37 \cdot EP_{\text{Piche}} - 18 \quad (\text{Larringes})$$

$$EP_{\text{bac}} = 1,05 \cdot EP_{\text{Piche}} - 9 \quad (\text{Les Blaves})$$

Les écarts relatifs moyens d'environ 20 % à Thonon, 23 % aux Blaves et 14 % à Larringes sont dus au placement sous abri des évaporomètres Piche. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de JACQUET (1963) qui ne fait de l'évaporation Piche qu'un "indice d'évaporation" d'une surface humide sous abri.

Ces écarts systématiques existant entre les données du bac et celles du Piche apparaissent nettement sur les courbes de la figure 34, montrant l'évolution de l'évaporation annuelle cumulée pour chacune des deux méthodes.

L'évaporation potentielle peut, par contre, être estimée à partir des valeurs fournies par les bacs. En effet, les causes d'erreurs ont des effets négligeables compte tenu de la précision de 20 % souhaitable sur des mesures annuelles ; ces erreurs peuvent d'ailleurs se compenser lors de l'estimation définitive. Les sources d'erreurs et les effets qu'elles produisent sont les suivantes :

- Conduction Bac-sol..... Sous-estimation en période chaude, sur-estimation en période froide

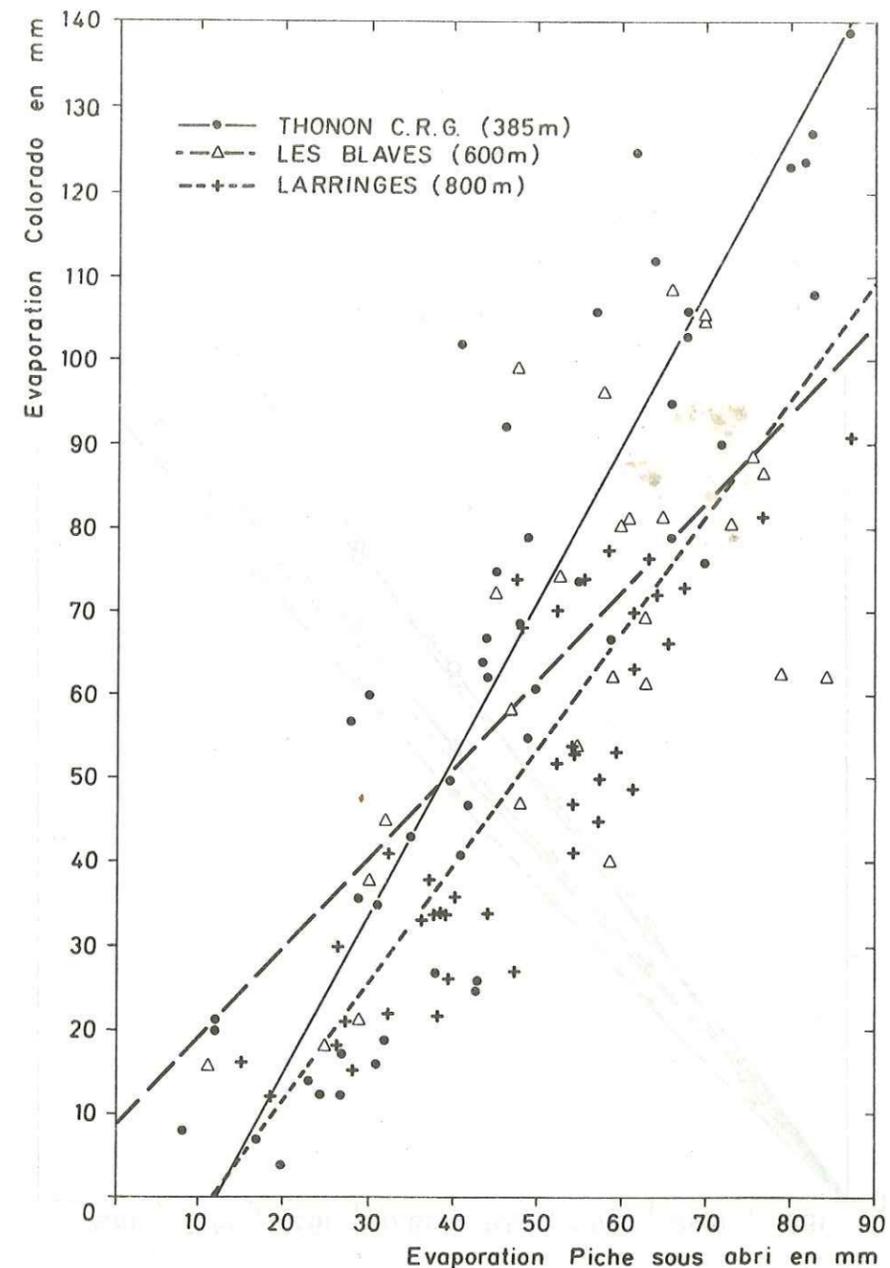


Fig.33 - CORRELATION ENTRE L'EVAPORATION PICHE ET L'EVAPORATION BAC MENSUELLES A THONON-C.R.G. (385m), LES BLAVES (600m) ET LARRINGES (800m)

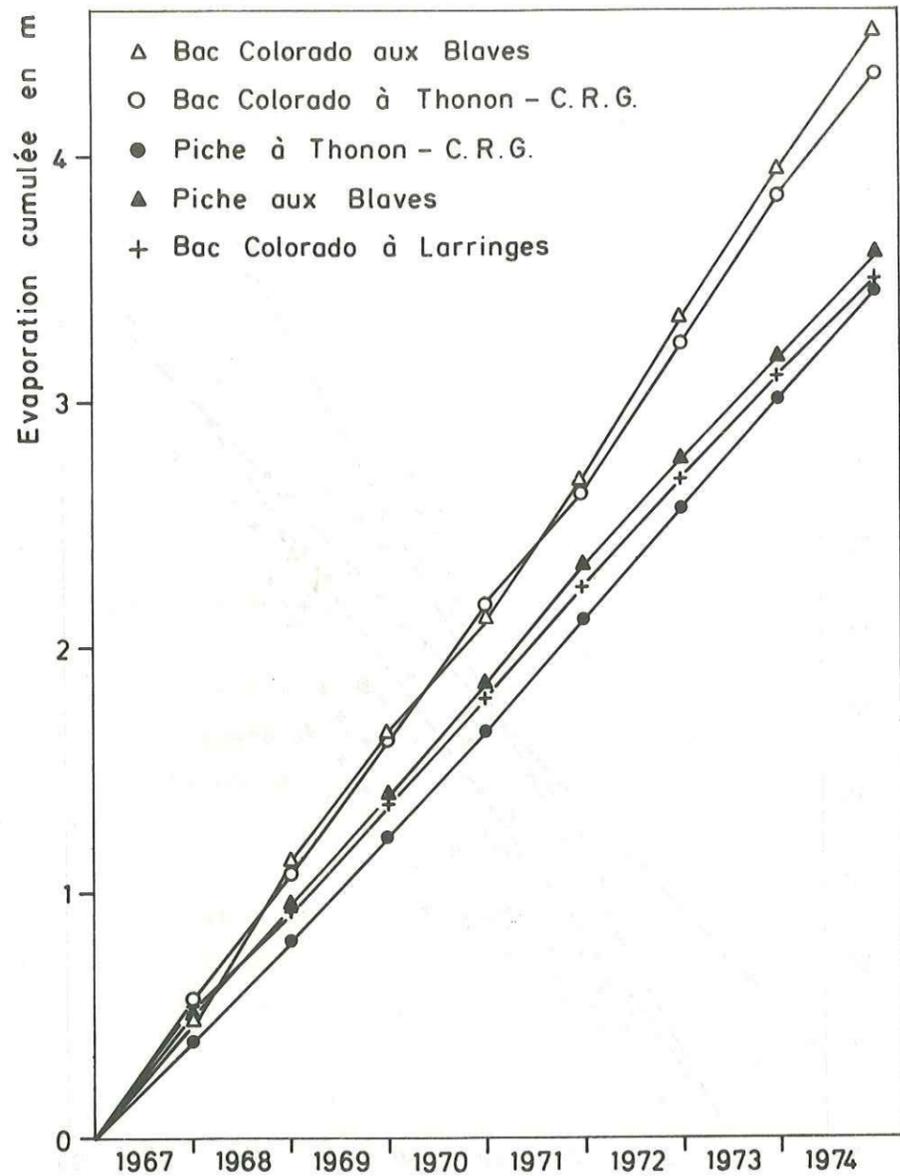


Fig.34_ EVOLUTION GLOBALE DE L'EVAPORATION A THONON - C.R.G., AUX BLAVES ET A LARRINGES

- Air plus humide au-dessus du bac en absence de vent ou par vent faible..... Sous-estimation
- Rebondissement des gouttes de pluies au niveau du pluviomètre au sol..... Sur-estimation
- Transferts latéraux d'énergie..... Sur-estimation (effets d'oasis)
- Mauvaises observations.

Les valeurs de l'évaporation bac relevées aux trois stations ont cependant une forte probabilité d'être entachées chacune d'une erreur de même signe et de même importance ; la comparaison de ces valeurs peut donc se faire sans ambiguïté.

Le cumul des données annuelles du bac Colorado à chaque station (cf. figure 34) indique nettement une quasi-similarité des valeurs globales d'évaporation potentielle à Thonon et aux Blaves, ceci malgré la différence d'altitude de plus de 200 m entre ces deux stations. Par contre, le gradient altimétrique est prononcé entre les Blaves et Larringes.

Les moyennes interannuelles d'EP pour la période 1967-1974 sont égales à :

- 541 mm à Thonon,
- 563 mm aux Blaves,
- 434 mm à Larringes.

Les données des évaporomètres Piche vont dans le même sens avec, toutefois, une atténuation des écarts.

Cette évolution caractéristique de l'évaporation potentielle avec l'altitude est à rapporter aux valeurs globales d'humidité de l'air (SIWERTZ et al., 1974) égales à 76 % à Thonon et 70 % aux Blaves et 60 % à Larringes. Cette forte humidité, trouvée constante, sur tout le pourtour immédiat du Lac Léman, limite l'évaporation potentielle sur la tranche d'altitude 375 - 500 à 600 mètres. La limite supérieure de cette tranche a été estimée à partir des deux constatations suivantes :

- La variabilité interannuelle de EP (figure 35) à la station des Blaves est plus importante que celles des stations de Thonon et de Larringes ; ceci est peut-être en relation avec la situation de charnière de la station des Blaves soumise au battement des valeurs moyennes d'humidité liées à la présence du lac.

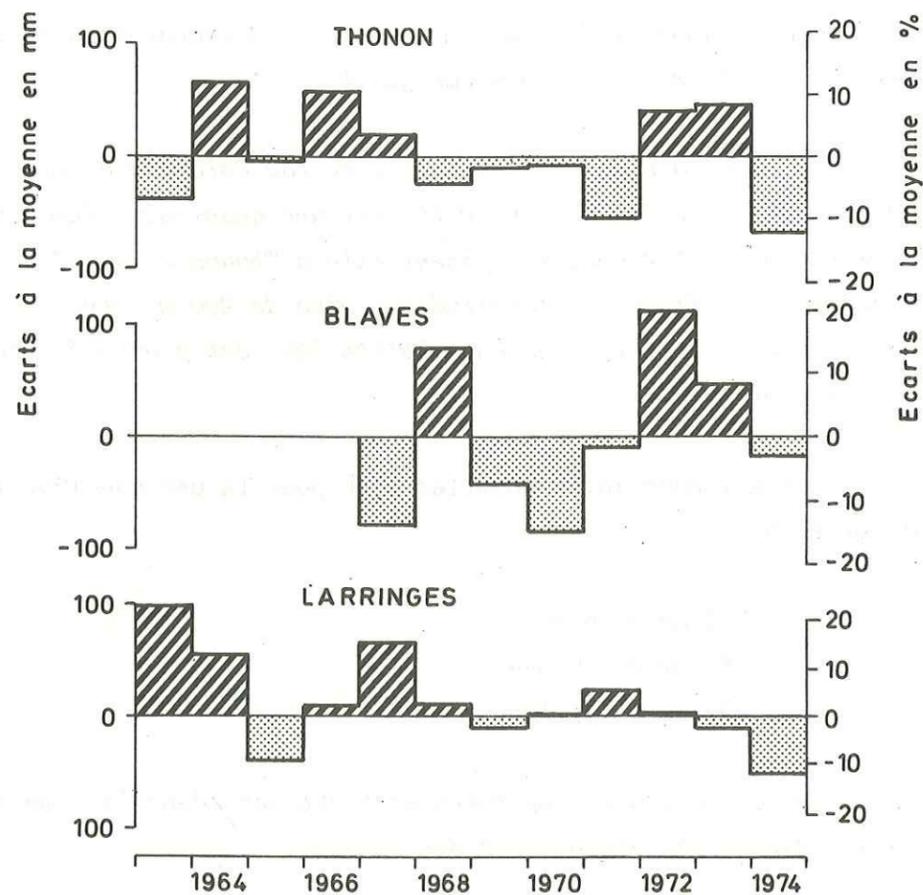


Fig. 35 - VARIATIONS ANNUELLES DE L'EVAPORATION BAC A THONON , AUX BLAVES ET A LARRINGES

- Aux Blaves, l'évapotranspiration potentielle (énergie disponible) est égale à l'évaporation mesurée au niveau du bac. La valeur moyenne de l'ETP Thornthwaite (cf. chapitre III.2.2.) égale à 554 mm confirme cette hypothèse. A Thonon, où l'ETP est aussi égale à l'EP, on constate une différence sensible entre les valeurs fournies par la formule de Thornthwaite (626 mm) et le bac (548 mm) pour la période 1966-1974 ; cet écart tient du fait que la formule utilisée ne tient compte que de la température. Or, les gradients altimétriques de température égaux à - 1,1 °C/100 mètres entre Thonon et les Blaves et à - 0,6 °C/100 mètres entre les Blaves et Larringes ne reflètent l'influence du lac que faiblement.

On a représenté graphiquement ces évolutions à la figure 36 qui situe la tranche d'altitude subissant l'influence du Léman. Elle indique aussi que l'emploi de toute méthode ne tenant pas compte de la masse d'eau, réservoir d'humidité, est à éviter dans la zone délimitée.

III.2.2. - Etude critique des formules donnant l'évapotranspiration et employées dans la région.

Les formules empiriques les plus couramment utilisées dans la région lémanique pour le calcul de l'ETP sont :

- La formule de Thornthwaite (1948),
- La formule de Turc (1963),
- La formule de Primault (1963).

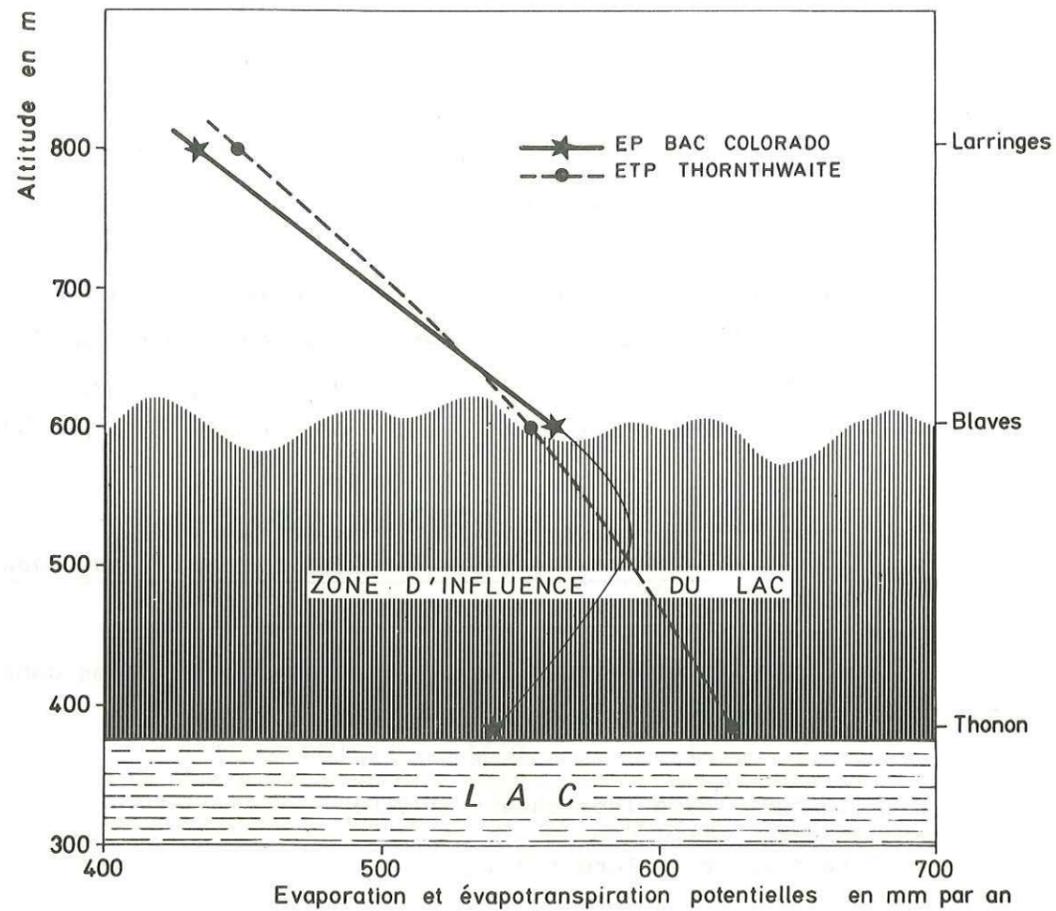


Fig. 36 - EVOLUTION DE L'EVAPORATION POTENTIELLE ET DE L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE AVEC L'ALTITUDE SUR LES VERSANTS THONON - EVIAN

- Méthode de Thornthwaite.

$$E = c \cdot T_m^a$$

où E = Evaporation ou évapotranspiration potentielle en cm

c = Coefficient

T_m = Température moyenne mensuelle en °C

a = Exposant

Les constantes a et c dépendent du lieu. L'exposant "a" peut être évalué en fonction d'un indice thermique I tel que :

$$a = 67,5 \cdot 10^{-8} \cdot I^3 - 77,1 \cdot 10^{-6} \cdot I^2 + 17,9 \cdot 10^{-3} \cdot I + 49,2 \cdot 10^{-2}$$

$$\text{et } I = \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1,51}$$

On applique aux résultats obtenus le coefficient c, facteur de correction fonction de la latitude du lieu. Pour la région lémanique, les valeurs mensuelles de "c" sont les suivantes :

MOIS	c	MOIS	c
Janvier	0,79	Juillet	1,32
Février	0,81	Août	1,22
Mars	1,02	Septembre	1,04
Avril	1,13	Octobre	0,94
Mai	1,29	Novembre	0,79
Juin	1,31	Décembre	0,74

- Méthode de Turc.

$$ETP = (I_g + 50) \cdot \frac{0,40 \cdot T}{T + 15} \quad \text{si } Hr > 50$$

où ETP = Evapotranspiration potentielle en mm
 I_g = Radiation solaire globale moyenne
 T = Température moyenne
 Hr = Humidité relative

I_g est calculé en fonction de la radiation atteignant le sol, abstraction faite de l'atmosphère, I_{gA}, et de l'insolation relative $\frac{S}{S_0}$, à partir de la formule :

$$I_g = I_{gA} \cdot (0,18 + 0,62 \cdot \frac{S}{S_0})$$

- Méthode de Primault.

$$ETP = J \cdot C \cdot (1,03 - \frac{H}{100}) \cdot (\sum Si + 2 n)$$

où ETP = Evapotranspiration potentielle
 J = Coefficient de correction mensuel
 C = Coefficient de correction altimétrique
 H = Humidité relative en %
 ΣSi = Insolation en heures
 n = Nombre de jours.

Les valeurs du facteur de correction mensuel J sont les suivantes :

MOIS	J	MOIS	J
Janvier	0,11	Juillet	1,11
Février	0,17	Août	1,02
Mars	0,45	Septembre	0,80
Avril	0,75	Octobre	0,56
Mai	0,93	Novembre	0,36
Juin	1,05	Décembre	0,22

Le coefficient C varie avec l'altitude h en mètres suivant la relation ci-après :

$$C = 1,75 \cdot 10^{-4} \cdot h + 0,88$$

Les valeurs obtenues à partir de chacune de ces méthodes à l'échelle annuelle sont reportées sur le tableau III.2.2. pour la station de Thonon.

ETP A THONON EN mm			
ANNEES	PRIMAULT	THORNTHWAITE	TURC
1966	533	632	663
1967	574	595	660
1968	483	555	569
1969	530	594	624
1970	533	624	671
1971	622	702	771
1972	694	637	676
1973	533	626	655
1974	409	673	702
ANNEE MOYENNE	548	626	666

TABLEAU III.2.2. - Estimations de l'ETP annuelle à Thonon.

Compte tenu des résultats obtenus au paragraphe précédent à la station de Thonon et des réserves faites au sujet de la représentativité des valeurs d'évaporation potentielle obtenues à partir du bac, on peut considérer que l'énergie disponible ETP est égale à l'énergie utilisée au niveau du bac.

Le rôle important joué par l'humidité de l'air entre la surface du lac et la cote 600 mètres doit conduire à une utilisation prudente des méthodes de Thornthwaite et de Turc qui conduisent à une surestimation systématique des valeurs recherchées.

La méthode de Primault est donc celle qui possède la probabilité la plus forte d'approcher l'ETP véritable dans la zone d'influence du lac.

On pourra alors confronter l'ETP Primault et l'EP bac ; dans le cas de la station de Thonon C.R.G. et pour la période 1966-1974, les deux valeurs sont les mêmes et égales à 548 mm.

En définitive, dans la zone d'influence du lac Léman, où les besoins en eau du sol sont satisfaits, on a la relation caractéristique suivante :

$$\overline{\text{ETP}} \text{ Primault} = \overline{\text{EP}} \text{ Bac}$$

Cette importante identité fait du bac Colorado le moyen idéal de calcul de l'évapotranspiration sur le pourtour immédiat du Léman.

III.3. - L'EVAPOTRANSPIRATION SUR LE BASSIN DU MARAVANT.

Avec une altitude moyenne d'environ 900 mètres, le bassin versant représentatif du Maravant se situe hors de la zone d'influence directe du Lac Léman. Les estimations de l'évaporation et de l'évapotranspiration se feront à partir des mesures fournies par la station météorologique de Larringes et en tenant compte éventuellement des variations avec l'altitude des paramètres climatiques utilisés.

III.3.1. - L'évaporation potentielle.

L'évaporation potentielle est mesurée à Larringes depuis 1963 grâce au bac Colorado. Il nous a semblé inutile, vue la précision généralement admise, de rapporter les valeurs obtenues pour la station à l'altitude moyenne du bassin ; de plus, le gradient de - 65 mm/100 m calculé entre les Blaves et Larringes ne tient pas compte des positions respectives des deux stations par rapport au vent.

Le tableau III.3.1. donne les valeurs de l'évaporation mensuelle et annuelle de 1963 à 1974. L'évolution mensuelle de l'EP pour chaque année considérée est présentée par la figure 37.

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANNUUEL
1963	10	10	20	45	60	96	90	80	47	35	25	10	528
1964	10	10	20	36	58	75	107	77	44	25	13	10	485
1965	10	10	20	24	53	54	75	63	35	22	15	10	391
1966	10	10	16	38	58	59	75	64	42	21	11	10	440
1967	10	10	20	36	57	79	88	84	42	35	24	10	495
1968	10	10	20	43	66	69	89	50	32	28	15	10	442
1969	10	10	20	34	57	57	75	69	35	25	18	10	420
1970	10	10	20	36	52	78	77	56	49	22	12	10	432
1971	10	10	20	36	43	74	96	72	42	19	14	10	452
1972	10	10	20	40	51	69	80	70	43	17	14	10	434
1973	10	10	20	25	47	58	93	62	42	23	19	10	419
1974	10	10	20	47	45	61	70	55	23	11	14	10	376
ANNEE MOYENNE	10	10	20	36	55	72	86	68	42	25	16	10	430

TABLEAU III.3.1. - Evaporation bac à Larringes.

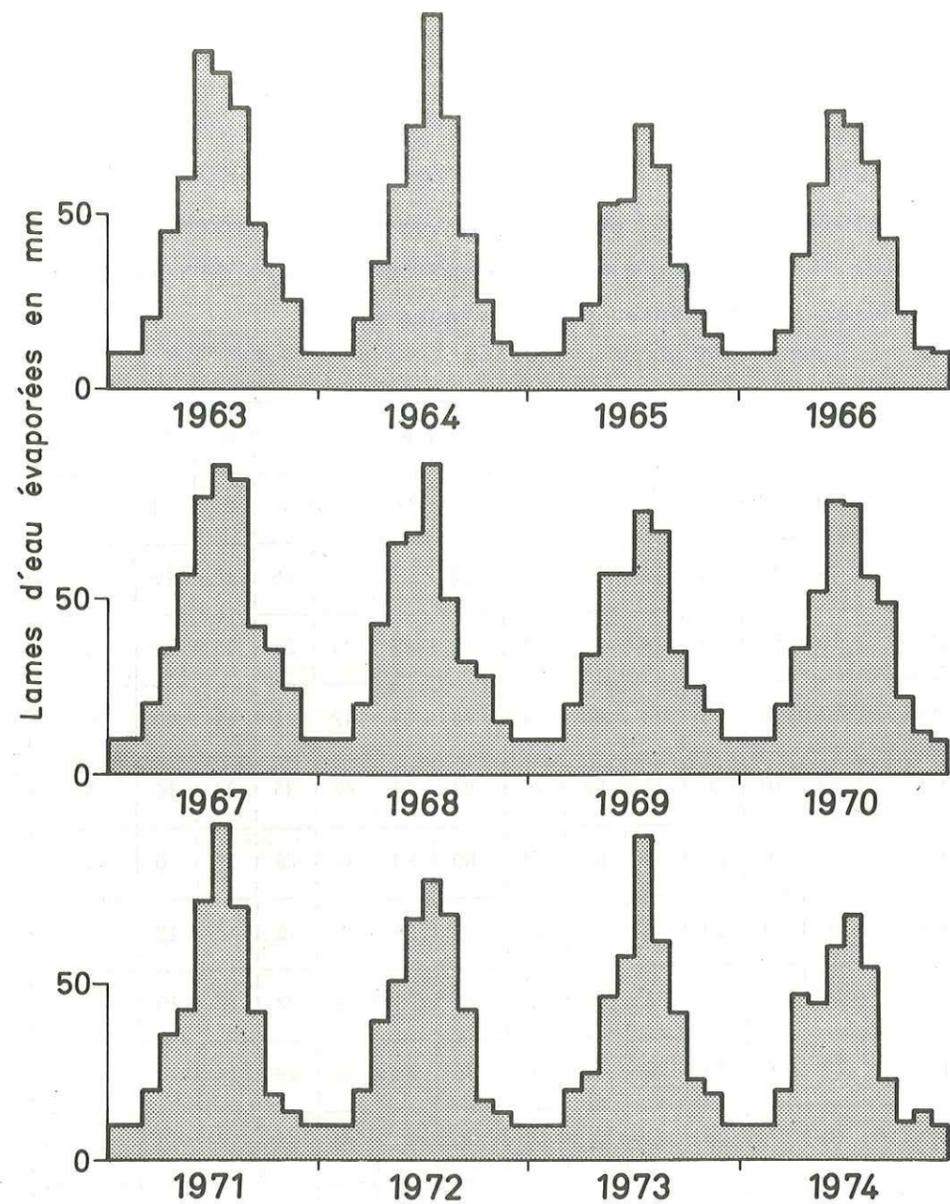


Fig.37-EVAPORATION AU BAC COLORADO DE LARRINGES

Les maxima d'évaporation apparaissent aux mois de Juillet ou de Juin et une dissymétrie parfois très marquée s'observe dans la répartition sur l'année des lames d'eau évaporées.

On a porté sur la figure 38 les valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation bac, de la température mesurée à la station de Larringes pour la période 1965-1974 et de l'ensoleillement à Thonon pour la même période. On constate que les maxima de Juillet se retrouvent dans l'évolution des trois paramètres et que la répartition des valeurs moyennes de durée d'ensoleillement explique la dissymétrie observée précédemment.

Si on fait l'hypothèse que toute l'énergie disponible dans l'environnement du bac est utilisée pour assurer l'évaporation d'une partie de l'eau qu'il contient, on aboutit à une évaporation potentielle moyenne \overline{EP} égale à 430 mm pour l'année moyenne de la période 1965-1974.

Dans les conditions naturelles moyennes du bassin du Maravant, les réserves de surface sont pratiquement toujours assurées et la nappe superficielle affleure environ 10 mois sur 12 ; ceci rend possible une évaporation directe au niveau des nombreuses zones hydromorphes (cf. chapitre I).

L'évaporation sur le bassin du Maravant a donc lieu au taux potentiel et peut-être assimilée à l'évaporation mesurée au niveau du bac.

III.3.2. - L'évapotranspiration potentielle.

L'évapotranspiration potentielle peut-être calculée à partir des méthodes de Thornthwaite, de Turc et de Primault. Les formes des formules empiriques ont été rappelées au paragraphe II.2.2.

La méthode de Turc, faisant intervenir la durée d'insolation, s , qui n'est mesurée qu'à Thonon (valeurs communiquées par la station I.N.R.A. de Thonon), ne donne que des approximations des valeurs recherchées.

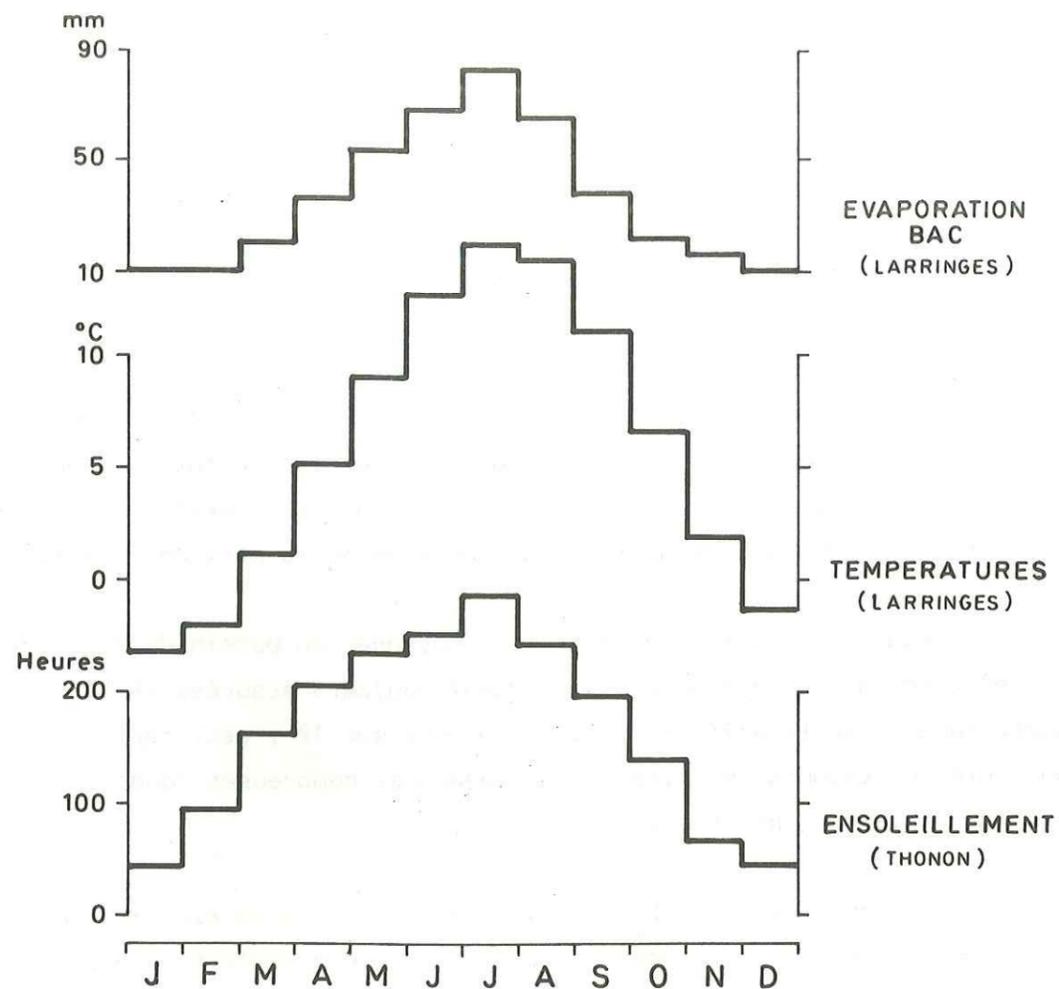


Fig. 38 - EVOLUTION MOYENNE MENSUELLE DE L'EVAPORATION BAC, DE LA TEMPERATURE ET DE LA DUREE D'ENSOLEILLEMENT. (1965 - 1974)

En effet :

$$\frac{\partial \text{ETP}(s)}{\partial s} = k \quad k = \text{constante} > 0$$

or, $s(\text{Thonon}) < s(\text{Larringes})$

Les estimations faites à partir de la formule de Turc auront donc tendance à sous-estimer l'évapotranspiration potentielle vraie.

La méthode de Primault, si elle s'applique avec succès à la tranche d'altitude subissant l'influence du lac, nous paraît impropre à la traduction des variations d'ETP avec l'altitude h .

En effet, si :

$$\text{ETP}(h) = k(h) \cdot a(h) \cdot b(h)$$

$$\text{avec } k(h) = 1,75 \cdot 10^{-4} \cdot h + 0,88$$

$$a(h) = 1,03 - \frac{H}{100}$$

$$b(h) = \sum Si + 2n$$

et $k(h) > 0, a(h) > 0, b(h) > 0$

On obtient :

$$\frac{\partial \text{ETP}(h)}{\partial h} = \frac{\partial k(h)}{\partial h} \cdot a(h) \cdot b(h) + k(h) \cdot \frac{\partial a(h)}{\partial h} \cdot b(h) + k(h) \cdot a(h) \cdot \frac{\partial b(h)}{\partial h}$$

De plus :

$$\frac{\partial k(h)}{\partial h} > 0, \quad \frac{\partial a(h)}{\partial h} > 0, \quad \frac{\partial b(h)}{\partial h} > 0$$

L'humidité relative de l'air et la durée d'insolation étant, dans la région lémanique (si $h > 600$ mètres) des fonctions respectivement décroissante et croissante de l'altitude.

d'où :

$$\frac{\partial \text{ETP}(h)}{\partial h} > 0$$

La formule proposée par Primault conduit donc à une croissance de ETP avec l'altitude dans les conditions régionales du pourtour lémanique situé au-dessus de la tranche d'altitude influencée par le lac. Pareille conclusion interdit donc l'application de la méthode de Primault au bassin du Maravant.

Nous n'avons considéré, tenant compte des résultats précédents, que les valeurs fournies par les formules de Thornthwaite et Turc. Les températures moyennes mensuelles, nécessaires à l'application des deux méthodes, ont été rapportées à l'altitude moyenne du bassin en tenant compte de l'évolution mensuelle du gradient altimétrique moyen de températures entre les Blaves et Larringes (figure 39). Ce gradient a les valeurs suivantes (en °C/100 m) :

MOIS	c	MOIS	c
Janvier	0,68	Juillet	0,81
Février	0,66	Août	0,52
Mars	0,61	Septembre	0,44
Avril	0,73	Octobre	0,15
Mai	0,81	Novembre	0,51
Juin	0,97	Décembre	0,38

L'utilisation du gradient moyen mensuel est légitime, compte tenu de l'excellente corrélation existant entre les températures relevées aux deux stations. A l'échelle annuelle, on aboutit à la droite de régression (figure 40) suivante :

$$\text{Températures Larringes} = 0,98 \cdot \text{Températures Blaves} - 0,95$$

$$(r = 0,997, 12 \text{ couples})$$

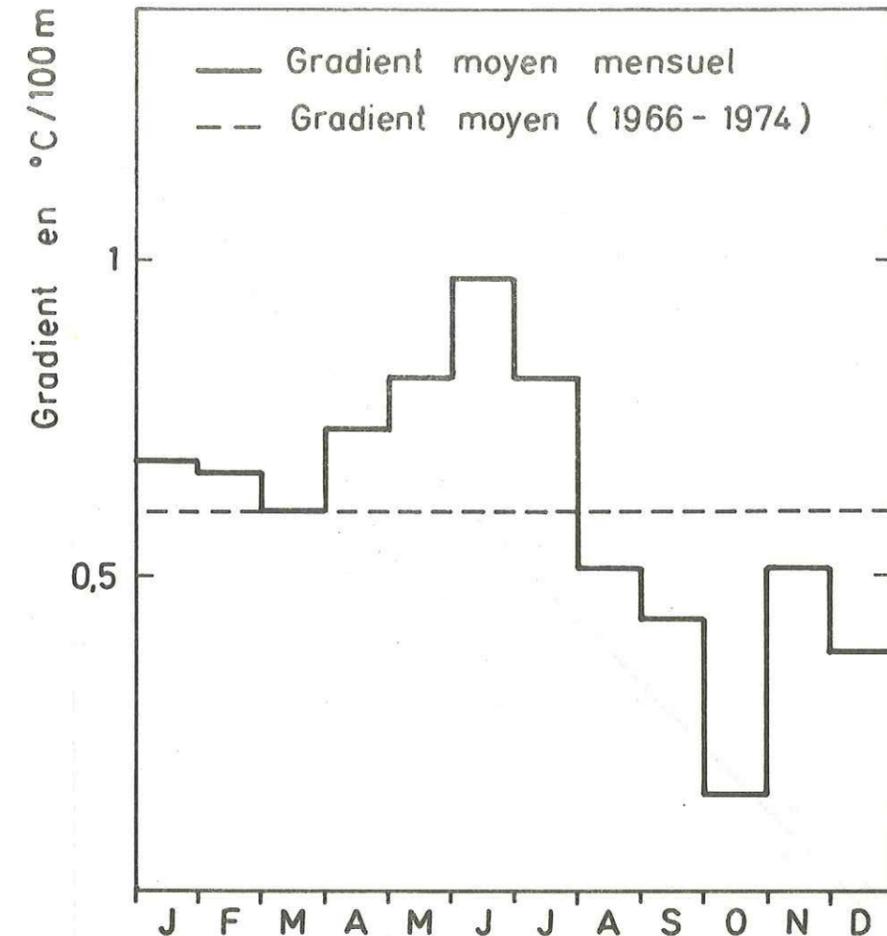


Fig.39 - EVOLUTION DU GRADIENT ALTIMETRIQUE DE TEMPERATURE ENTRE LES BLAVES (600m) ET LARRINGES (800m). (1966-1974)

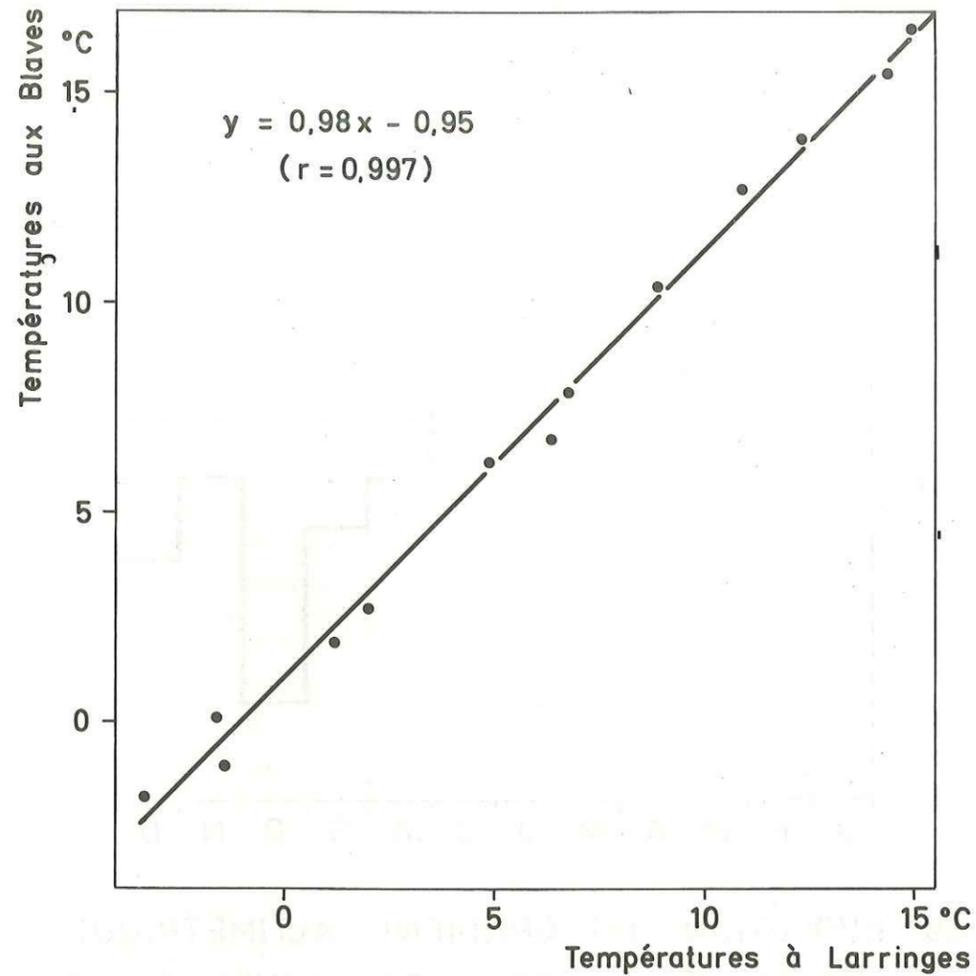


Fig. 40 - CORRELATION ENTRE LES TEMPERATURES MENSUELLES A LARRINGES (800m) ET AUX BLAVES (600m) (1966 - 1974)

Les estimations retenues pour les températures moyennes sur le bassin du Maravant sont reportées sur le tableau III.3.2.

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	MOYENNE ANNUELLE
1965	- 3,7	- 7,4	- 0,3	3,1	7,6	12,5	13,4	13,7	9,5	7,2	1,4	0,1	4,8
1966	- 4,8	2,3	0,2	6,6	9,4	13,9	13,4	13,0	12,7	8,8	- 0,2	- 1,5	6,1
1967	- 4,4	- 1,8	2,7	3,7	8,9	11,3	16,5	15,3	11,4	10,1	2,4	- 3,3	6,1
1968	- 3,7	- 1,8	- 1,1	3,8	6,3	8,9	13,4	12,2	9,9	8,8	3,8	0,6	5,0
1969	- 1,9	- 5,9	- 0,2	3,5	9,2	9,5	14,5	13,8	11,1	6,3	1,6	- 6,5	4,6
1970	- 5,1	- 0,9	- 1,7	2,8	7,4	12,5	13,9	14,1	11,5	5,0	2,5	- 3,3	4,9
1971	- 4,2	- 2,3	- 1,9	7,9	6,8	10,3	15,0	15,0	9,0	6,4	- 1,2	- 2,7	4,8
1972	- 4,4	- 2,2	1,7	2,7	7,0	9,5	12,8	12,2	6,7	3,8	1,8	- 3,3	4,0
1973	- 4,9	- 3,7	- 1,7	1,3	8,7	11,5	13,6	14,7	10,9	4,6	0,1	1,9	4,4
1974	- 1,7	- 1,1	3,0	4,1	7,9	10,9	14,0	15,4	11,6	2,9	2,5	1,4	5,9
ANNEE MOYENNE	- 3,3	- 2,1	1,1	5,1	9,0	12,6	14,9	14,3	11,1	6,6	1,8	- 1,4	5,06

TABLEAU III.3.2. - Estimations des températures moyennes sous abri à 900 m (B.V. du Maravant).

Les résultats obtenus à partir des deux méthodes sont portés sur les tableaux III.3.3. (méthode de Thornthwaite) et III.3.4. (méthode de Turc) et les valeurs moyennes sont représentées graphiquement sur la figure 41. Cette figure montre que les estimations de l'ETP moyenne mensuelle par la méthode de Thornthwaite sont réparties de façon homogène de Janvier à Décembre, alors qu'une certaine dissymétrie existe pour le graphique lié à la méthode de Turc.

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANNUEL
1965	-	-	-	26	62	96	102	95	60	43	9	1	494
1966	-	12	2	44	68	97	96	87	73	47	-	-	526
1967	-	-	17	26	65	81	116	100	66	53	12	-	536
1968	-	-	-	32	55	73	103	88	63	53	22	4	493
1969	-	-	-	28	72	76	108	95	69	39	22	-	509
1970	-	-	-	24	61	94	104	98	70	32	15	-	498
1971	-	-	-	55	55	80	111	102	56	39	-	-	498
1972	-	-	17	27	65	81	104	93	50	30	14	-	481
1973	-	-	-	12	70	89	103	101	68	30	1	11	485
1974	-	-	21	32	63	84	104	104	70	20	14	8	520
ANNEE MOYENNE	-	1	6	31	64	85	105	96	65	39	11	2	504

TABLEAU III.3.3. - Estimation de l'ETP à partir de la formule de Thornthwaite (B.V. du Maravant).

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANNUEL
1965	-	-	-	27	66	95	99	87	48	26	4	0,3	453
1966	-	11	2	51	85	116	102	82	65	32	-	-	546
1967	-	-	19	36	74	102	127	98	56	45	8	-	568
1968	-	-	-	37	55	86	106	69	54	36	10	2	459
1969	-	-	-	29	78	74	117	97	69	34	7	-	506
1970	-	-	-	26	68	102	111	95	75	25	9	-	515
1971	-	-	-	71	63	87	127	108	64	33	-	-	554
1972	-	-	14	26	62	86	108	89	47	21	6	-	458
1973	-	-	-	14	77	95	100	97	67	22	0,4	5,3	477
1974	-	-	20	41	68	89	109	96	61	13	8	5	514
ANNEE MOYENNE	-	1	6	36	70	93	111	92	61	29	5	1	505

TABLEAU III.3.4. - Estimations de l'ETP à partir de la formule de Turc (B.V. du Maravant).

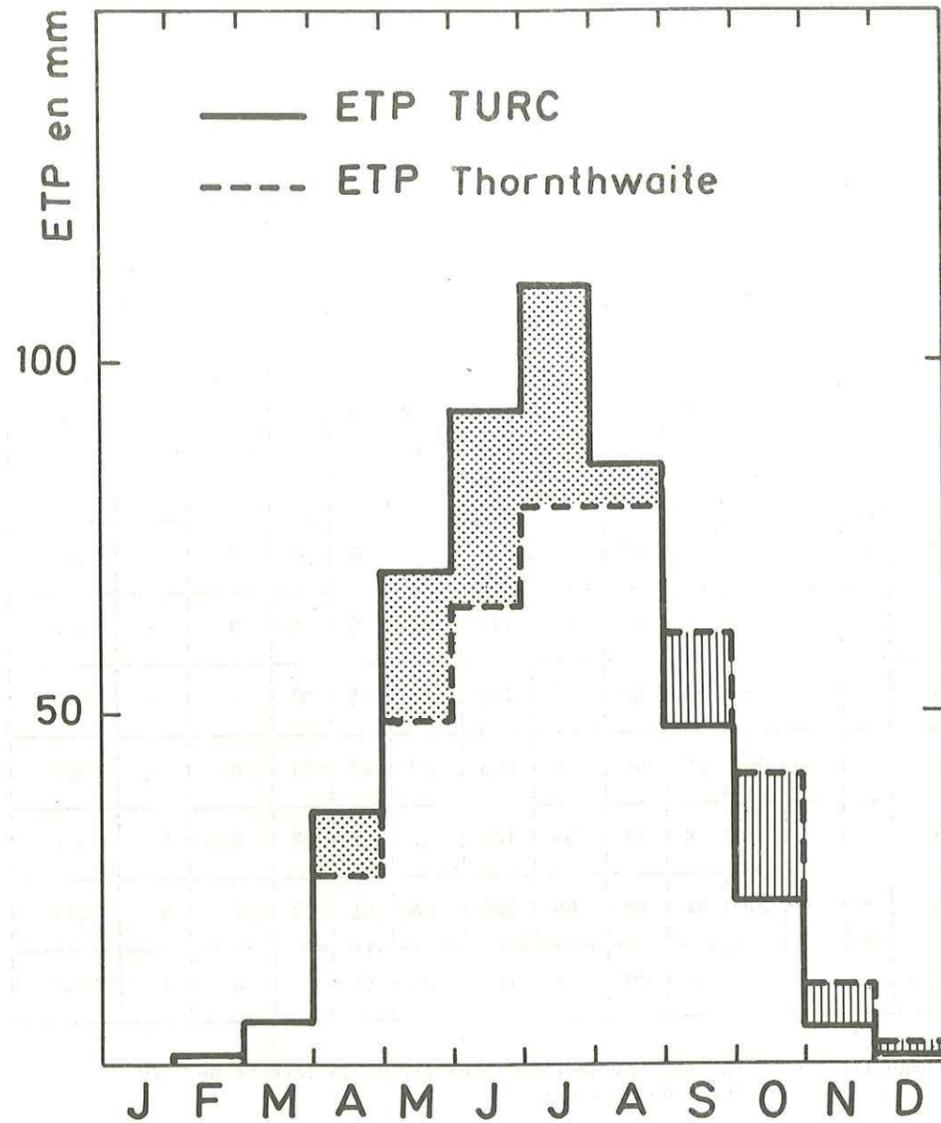


Fig. 41 - EVOLUTION MENSUELLE MOYENNE DE L'ETP TURC ET L'ETP THORNTHWAITE AU MARAVANT (1965 - 1974)

L'évapotranspiration potentielle moyenne en 1 an pour la période 1965-1974, après application directe des formules, a les valeurs suivantes pour le bassin du Maravant :

Méthode de Thornthwaite : 504 mm
Méthode de Turc : 505 mm

Ces résultats sont ceux qu'auraient retenus les auteurs dans les conditions propres qui sont celles qui servent de base à l'obtention de leur formule.

Afin de nous assurer de la validité des valeurs trouvées et de les modifier éventuellement, on a fait l'hypothèse d'une corrélation linéaire entre les estimations mensuelles de l'évaporation bac Colorado et de l'évapotranspiration théorique calculée ; l'évaporation bac deviendrait alors un indice de l'évapotranspiration ETP (ROBERTSON et al, 1956 ; PRUITT, 1960).

L'étude a été faite pour les mois d'avril à octobre de la période 1965-1974 ; les droites de régression obtenues sont les suivantes :

- Méthode de Thornthwaite :

$$ETP = 1,1 \cdot EP + 11,6 \quad (r = 0,847 \text{ , } 70 \text{ couples})$$

- Méthode de Turc :

$$ETP = 1,3 \cdot EP + 1,7 \quad (r = 0,907 \text{ , } 70 \text{ couples})$$

Ces liaisons, pourtant significatives, masquent des effets d'hystérésis assez marqués (figure 42). Pour chaque corrélation, on peut mettre en évidence deux droites distinctes : l'une relative aux mois d'avril à juillet, l'autre d'août à octobre ; ces droites sont tracées sur les graphiques de la figure 43.

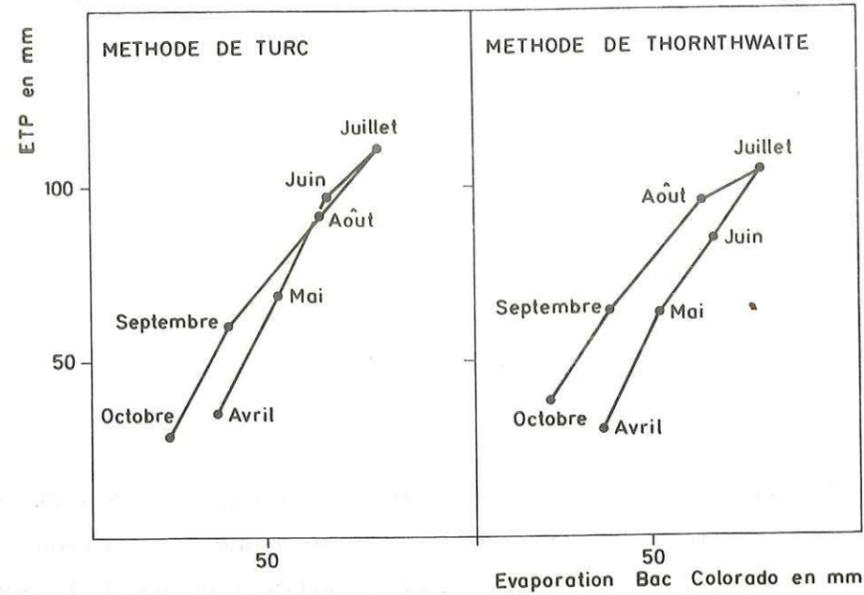


Fig.42 - EVOLUTION MENSUELLE DE L'ETP MOYENNE CALCULEE A PARTIR DE FORMULES EMPIRIQUES PAR RAPPORT A L'EVAPORATION MOYENNE DANS LE BAC COLORADO A LARRINGES.

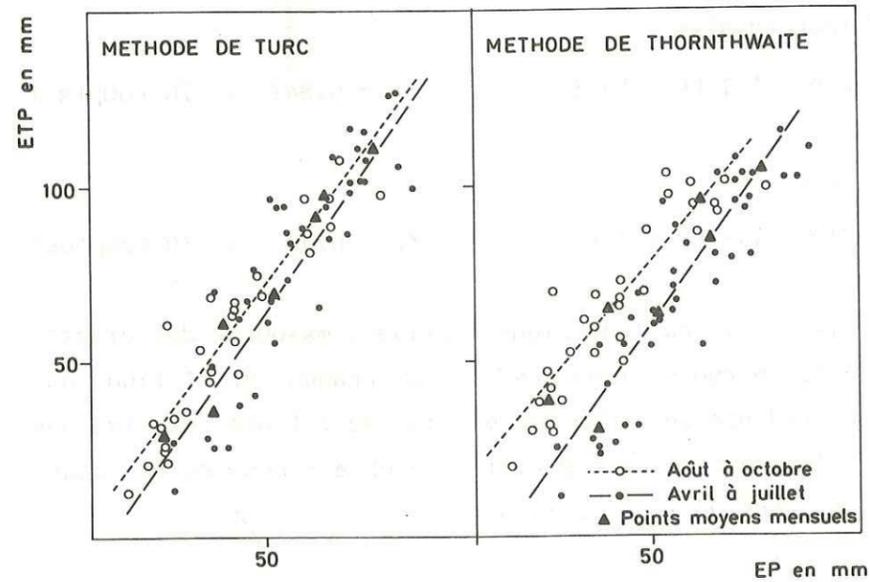


Fig.43 - CORRELATION ENTRE L'EVAPORATION BAC ET L'EVAPOTRANSPIRATION CALCULEE A PARTIR DES FORMULES EMPIRIQUES DES AUTEURS

Pour les mois d'Avril à Juillet, on trouve :

- Thornthwaite :

$$ETP = 1,4 \cdot EP - 10,5 \quad (r = 0,847 \text{ , } 40 \text{ couples})$$

- Turc :

$$ETP = 1,4 \cdot EP - 8,5 \quad (r = 0,894 \text{ , } 40 \text{ couples})$$

Pour les mois d'Août à Octobre :

- Thornthwaite :

$$ETP = 1,2 \cdot EP + 16,8 \quad (r = 0,908 \text{ , } 30 \text{ couples})$$

- Turc :

$$ETP = 1,3 \cdot EP + 4,4 \quad (r = 0,920 \text{ , } 30 \text{ couples})$$

Ces variations saisonnières peuvent être attribuées soit aux formes des formules utilisées, soit aux erreurs sur les mesures de l'évaporation potentielle dans le bac.

Les méthodes empiriques, établies dans des conditions bien précises sont celles qui ont ici la probabilité la plus forte d'entraîner des variations saisonnières ou de s'écarter de façon notable des valeurs vraies recherchées ; de plus, on a vu que les sources d'erreurs au niveau du bac peuvent se compenser (cf. paragraphe III.2.1.) et que les phénomènes de conduction qui lui sont liés sont négligeables si l'on applique les données qu'il fournit à l'altitude moyenne du bassin du Maravant.

Nous attribuerons ces effets d'hystérésis aux seules formes des équations utilisées en considérant qu'elles conduisent à une sur-estimation des valeurs de ETP pour les mois d'Août, Septembre et d'Octobre, d'autant que ces mois correspondent approximativement au début de la période de repos végétatif.

Afin de supprimer ces effets d'hystérésis, nous proposons d'appliquer aux valeurs trouvées pour les mois d'Août à Octobre des *coefficients de correction mensuels* qui conduiront à une nouvelle liaison linéaire entre les valeurs d'ETP et d'EP. La correction des valeurs calculées permettra une application plus juste des formules empiriques à d'autres bassins de la région. Les coefficients de correction mensuels ont été estimés à partir des droites de régression correspondant aux mois d'Avril à Juillet pour chacune des deux méthodes.

Les valeurs moyennes suivantes ont été retenues :

- Méthode de Thornthwaite :

Coefficient de correction mensuel :

Août	Septembre	Octobre
0,83	0,68	0,52

- Méthode de Turc :

Coefficient de correction mensuel :

Août	Septembre	Octobre
0,92	0,79	0,81

On aboutit ainsi à de nouvelles séries de valeurs mensuelles de ETP (tableaux III.3.5. et III.3.6.) et aux corrélations linéaires suivantes :

- Méthode de Thornthwaite (après correction) :

$$ETP = 1,3 \cdot EP - 6,3 \quad (r = 0,919 \text{ , } 70 \text{ couples})$$

- Méthode de Turc (après correction) :

$$ETP = 1,4 \cdot EP - 5,8 \quad (r = 0,925 \text{ , } 70 \text{ couples})$$

Ces droites sont tracées sur la figure 44.

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANNUEL
1965	-	-	-	26	62	96	102	79	41	22	9	1	438
1966	-	12	2	44	68	97	96	72	50	25	-	-	466
1967	-	-	17	26	65	81	116	83	45	28	12	-	473
1968	-	-	-	32	55	73	103	73	43	28	22	4	433
1969	-	-	-	28	72	76	108	79	47	20	22	-	452
1970	-	-	-	24	61	94	104	81	48	18	15	-	445
1971	-	-	-	55	55	80	111	85	38	20	-	-	444
1972	-	-	17	27	65	81	104	77	34	16	14	-	435
1973	-	-	-	12	70	89	103	84	47	16	1	11	433
1974	-	-	21	32	63	84	104	86	48	10	14	8	470
ANNEE MOYENNE	-	1	6	31	64	85	105	80	44	20	11	2	449

TABLEAU III.3.5. - Estimations de l'ETP à partir de la formule de Thornthwaite corrigée (B.V. du Maravant).

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANNUEL
1965	-	-	-	27	66	95	99	80	38	21	4	0,3	430
1966	-	11	2	51	85	116	102	76	51	26	-	-	520
1967	-	-	19	36	74	102	127	90	44	37	8	-	537
1968	-	-	-	37	55	86	106	64	42	29	10	2	431
1969	-	-	-	29	78	74	117	89	54	28	7	-	476
1970	-	-	-	26	68	102	111	88	59	20	9	-	483
1971	-	-	-	71	63	87	127	100	50	27	-	-	525
1972	-	-	14	26	62	86	108	82	37	17	6	-	438
1973	-	-	-	14	77	95	100	89	53	18	0,4	5,3	452
1974	-	-	20	41	68	89	109	89	48	11	8	5	488
ANNEE MOYENNE	-	1	6	36	70	93	111	85	48	23	5	1	478

TABLEAU III.3.6. - Estimations de l'ETP à partir de la formule de Turc corrigée (B.V. du Maravant).

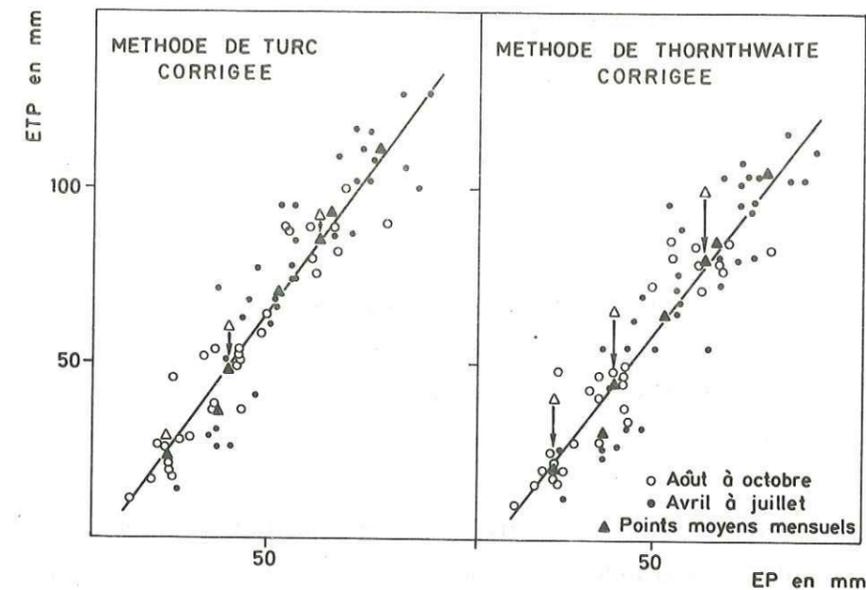


Fig.44 - CORRELATION ENTRE L'EVAPORATION BAC ET L'EVAPOTRANSPIRATION CALCULEE A PARTIR DES FORMULES EMPIRIQUES CORRIGEEES

Les valeurs interannuelles de l'ETP sur le bassin du Maravant pour la période 1965-1974 seront :

- Méthode de Thornthwaite : 449 mm
- Méthode de Turc : 478 mm

Ces valeurs sont très proches de celles fournies par le bac (430 mm) pour la même période.

On retrouve ainsi, pour le bassin du Maravant, la relation annuelle caractéristique déjà mise en évidence sur les versants soumis à l'influence directe du lac :

$$\overline{ETP} \approx \overline{EP} \text{ Bac}$$

III.4. - ESTIMATION DE L'EVAPORATION DUE A L'INTERCEPTION DES PRECIPITATIONS PAR LA VEGETATION.

Afin de pouvoir évaluer les hauteurs d'eau parvenant effectivement au sol, il est intéressant de chiffrer l'interception des précipitations par la végétation, c'est-à-dire la quantité d'eau retenue par la voûte foliaire des forêts ou le tapis herbacé et restituée à l'atmosphère après évaporation.

La carte phytosociologique des espèces végétales, présentée au chapitre I (figure 12), montre que le bassin du Maravant est couvert à 11 % de forêts, 11 % de tourbières et de marais à Cypéracées et 70 % de prairies.

La pluie et la neige sont interceptées par la végétation et cette interception commande à des degrés divers la distribution et les valeurs des lames d'eau parvenant au sol.

III.4.1. - Mécanisme de l'interception des précipitations.

Les précipitations sont retenues par la voûte forestière, les formations arbustives et la végétation herbacée puis redistribuées sous forme d'égouttement et d'écoulement le long des branches et des troncs ou des tiges. Le mécanisme de cette interception a été décrit par HORTON (1919).

Au début d'un épisode pluvieux, les gouttes sont retenues pour la plupart et une petite partie seulement des précipitations atteint le sol jusqu'au moment où un certain volume d'eau correspondant à la capacité maximale d'interception imprègne le réservoir intercepteur. Cette capacité maximale d'interception varie avec le type de végétation, la vitesse du vent, l'intensité de la pluie, la saison, pour ne citer que les facteurs principaux. Si l'épisode pluvieux persiste, l'eau s'égouttera à la même vitesse que la pluie, abstraction faite de l'évaporation survenant pendant son transfert sur les éléments de la végétation ; à la fin de l'épisode pluvieux, l'eau interceptée commence à s'évaporer.

On appellera *précipitations brutes* les hauteurs d'eau mesurées par les appareils à ciel ouvert, *précipitations interceptées* la partie des précipitations retenue par les éléments aériens de la végétation et qui est ensuite, soit utilisée par elle, soit rendue à l'atmosphère par évaporation, *précipitations nettes ou effectives* la différence entre les précipitations brutes et les précipitations interceptées.

III.4.2. - Facteurs influençant l'interception.

La lame d'eau traversant la voûte foliaire varie d'un point à un autre dans de larges proportions. REYNOLDS et al. (1963) ont montré que les lames d'eau interceptées sont inversement proportionnelles à l'éloignement des troncs ; De même, l'influence des strates et du nombre de celles-ci est importante dans la répartition des précipitations nettes ; pour ces auteurs, les caractéristiques du peuplement végétal influent davantage sur les valeurs de l'interception que les caractéristiques climatiques (hauteurs des précipitations brutes mises à part). L'interception varie avec les groupements d'espèces végétales, l'âge de ceux-ci, la densité de la voûte foliaire. Pour la *végétation forestière*, l'interception par les conifères est supérieure à celle liée aux arbres à feuilles caduques ; ainsi, BULTOT et al. (1972), mettent en évidence une interception par pessière environ deux fois supérieure à celle d'une hêtraie, ceci, quelles que soient la côte pluviométrique, l'intensité de la pluie et le pouvoir évaporant de l'air.

De plus, WISLER et al. (1959) admettent qu'à hauteurs de précipitations égales, l'interception est la même en hiver qu'en été pour les conifères, alors qu'elle est deux à trois fois supérieure l'été que l'hiver pour les groupements végétaux à feuilles caduques ; l'influence de la saison est ainsi mise en évidence.

La *végétation herbacée* intercepte aussi une part importante de la pluie ; le total de pluie interceptée varie avec la hauteur et la densité du tapis végétal et la saison ; LULL (1964) considère que les lames d'eau interceptées en prairies ont des valeurs proches de celles mesurées pour les groupements à feuilles caduques pendant leur saison végétative.

Les variables climatiques jouent aussi un rôle non négligeable dans le degré d'interception des précipitations ; vitesse du vent, température, intensité de la pluie, pouvoir évaporant de l'air sont autant de facteurs qui rendent toute étude sur l'interception difficile et longue.

Malgré tout, il nous a semblé intéressant de pouvoir chiffrer, même avec une précision médiocre, l'interception dans la région, gardant à l'esprit que les résultats obtenus sont des mesures ponctuelles, dans l'espace et le temps, donc des estimations applicables avec les réserves d'usage.

III.4.3. - Mesure et estimation de l'interception.

On a utilisé une parcelle principalement caducifoliée fermée, à érables et épicéas, non protégée du vent et pendant la saison végétative.

Un pluviographe a été placé sous une partie plus ou moins commune des cimes d'un érable et d'un épicéa. L'emplacement utilisé ne possède que cette strate arborescente.

Un autre pluviographe à ciel ouvert situé à une trentaine de mètres du précédent a permis l'enregistrement des précipitations brutes P_b .

Afin d'assurer la représentativité et l'homogénéité des valeurs enregistrées aux deux appareils, ceux-ci furent placés à 5 mètres l'un de l'autre pour un étalonnage relatif durant la période de Mars à Juin 1975, pour laquelle 27 averses de 0,6 mm à 25,8 mm ont été comptées. Le traitement statistique des deux séries de mesures obtenues a conduit à la droite de régression suivante :

$$y = 1,06.x \quad (r = 0,999 \text{ , } 27 \text{ couples})$$

où x correspond aux hauteurs d'averses enregistrées par le pluviographe destiné à mesurer les précipitations brutes et y les hauteurs des mêmes averses données par le pluviographe destiné à mesurer les précipitations nettes.

Les points expérimentaux et le tracé de cette droite sont présentés à la figure 45. Les écarts obtenus sont largement inférieurs à l'erreur de 15 % communément admise pour l'échelle de l'averse.

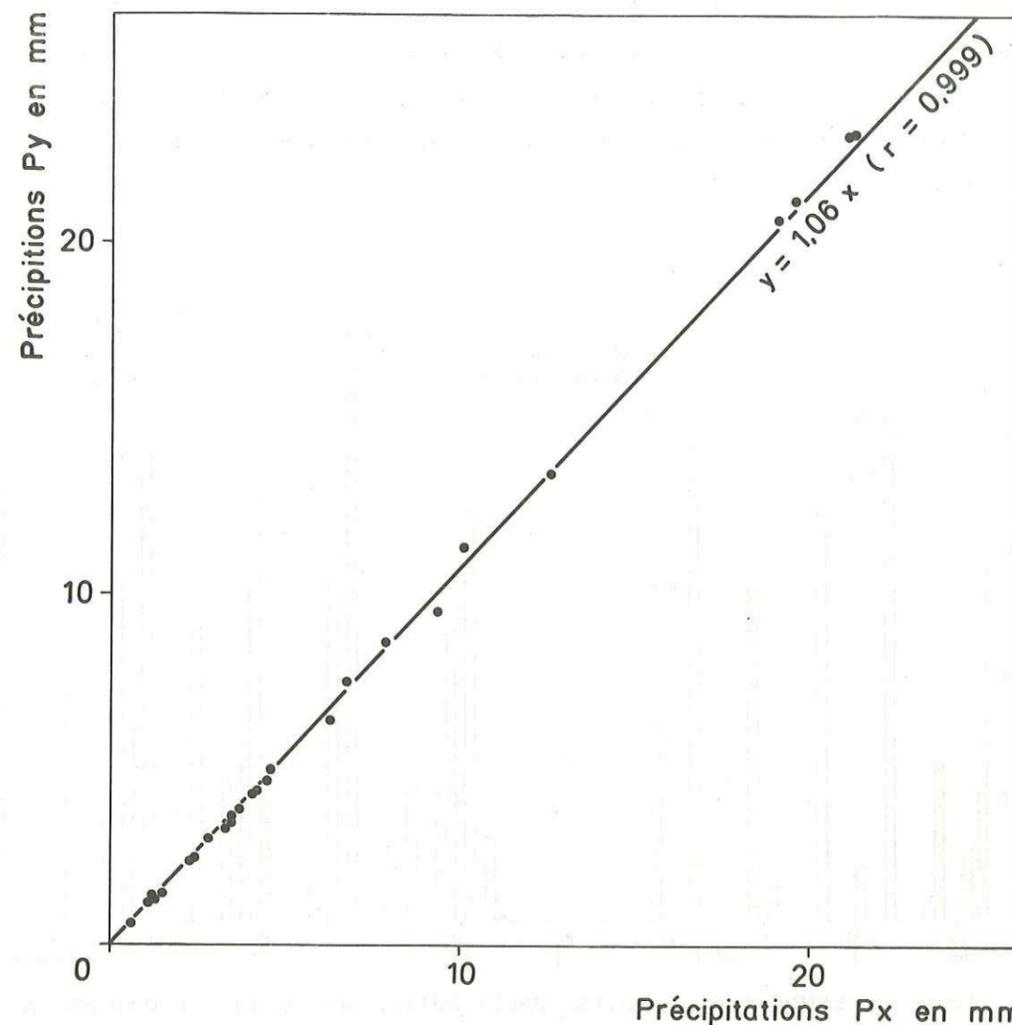


Fig. 45 - CORRELATION ENTRE LES DONNEES FOURNIES PAR LES PLUVIOGRAPHES Px (fixe) ET Py (destiné à la mesure de l'interception.)

L'étude de l'interception a été réalisée à partir des lames d'eau précipitées de juin à septembre 1975.

Les résultats obtenus pour la pluie brute P_b et la pluie nette P_n à l'échelle journalière sont reportés sur la figure 46. Le graphique présenté montre que l'interception est un phénomène général si l'on excepte les averses du 4 Juillet et du 14 Septembre pour lesquelles $P_n > P_b$; ces deux anomalies proviennent soit du mauvais fonctionnement d'un des pluviographes, soit plus vraisemblablement d'un effet instantané d'entonnoir dû à l'une des branches de l'érable.

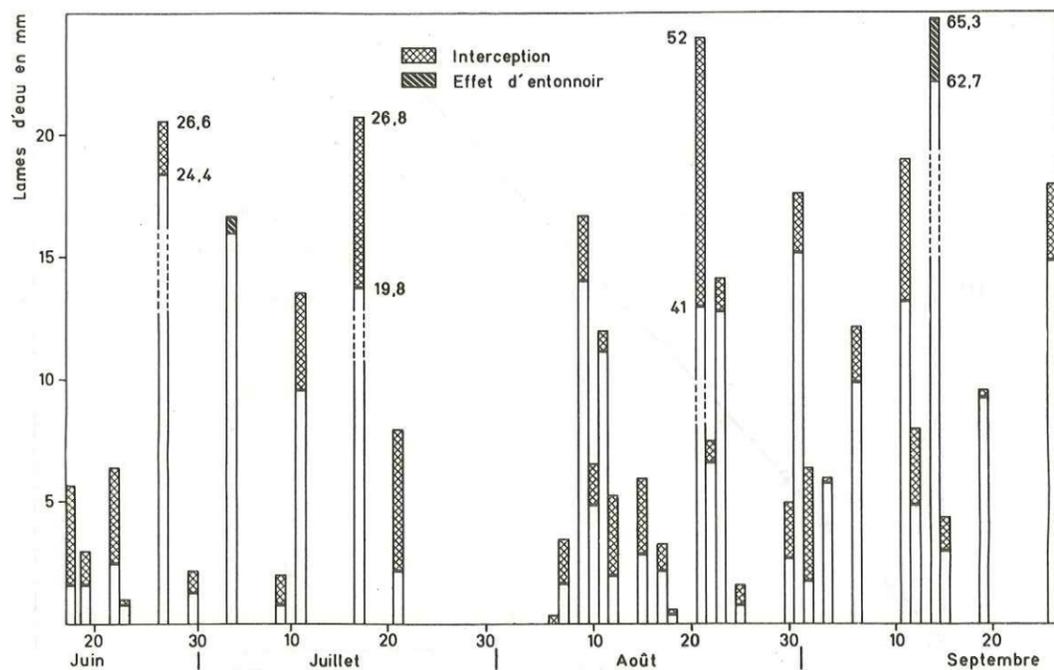


Fig. 46 - PRECIPITATIONS BRUTES, PRECIPITATIONS NETTES ET INTERCEPTION A L'ECHELLE JOURNALIERE

Le cumul des pluies a été effectué pour la période d'étude et est présenté à la figure 47. Il indique une augmentation moyenne régulière de la lame d'eau interceptée ; le tableau suivant donne une idée globale du taux d'interception relevé :

Nombre de jours	$P_b - P_n$ (en mm)	% P_b
30	20	20
60	35	23
90	66	20
110	80	18

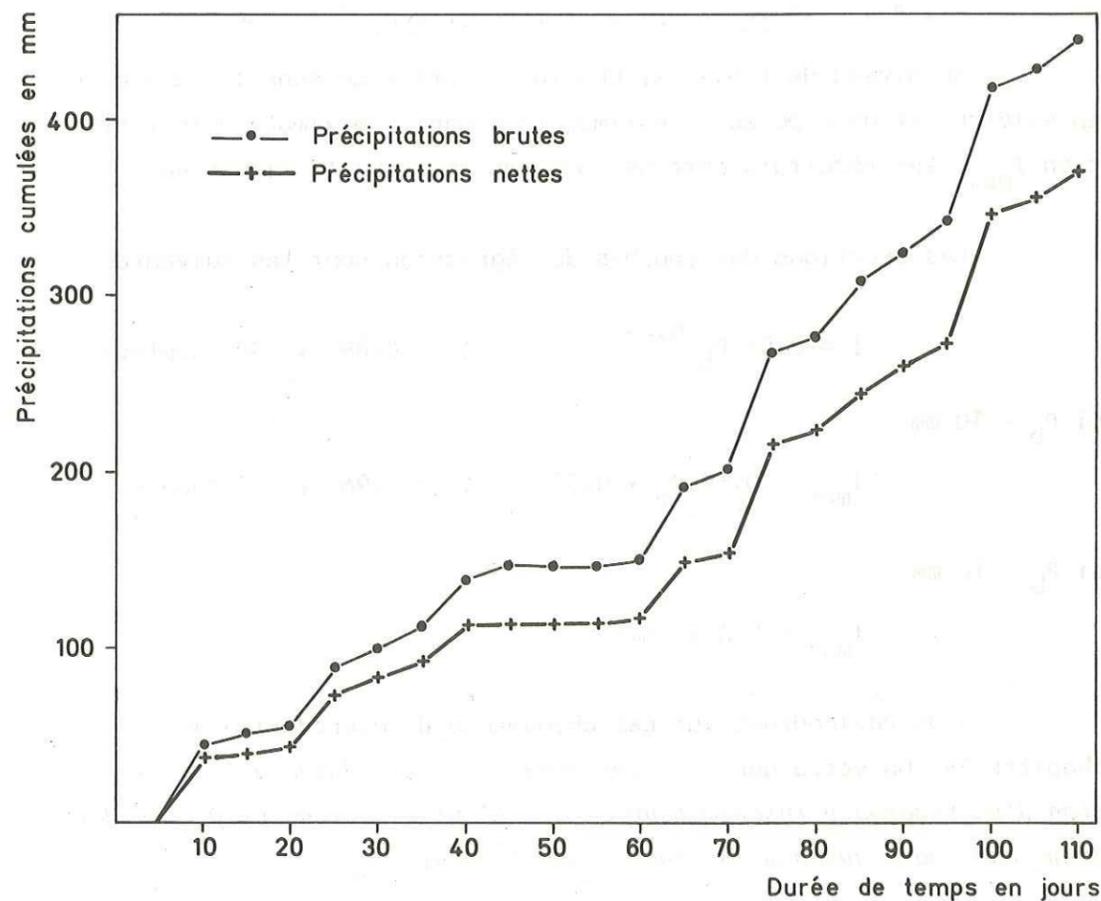


Fig. 47 - PRECIPITATIONS BRUTES ET PRECIPITATIONS NETTES CUMULEES

Les valeurs obtenues sont inférieures à celles proposées par les autres auteurs : BULTOT et al. (1972), KITTREDGE (1948), ceci pour l'unique raison que nous nous sommes placés dans les conditions d'interception minimale (appareil à la limite des cîmes, parcelle non protégée du vent, absence de strate arbustive...) de façon à tenir compte de l'écoulement le long des troncs qui n'a pas été mesuré.

On peut donc retenir l'expression moyenne de 20 % P_b pour l'estimation minimale de l'interception en forêt pendant la période végétative, soit en gros d'Avril à Octobre dans la région. Pour la végétation herbacée, les conclusions de LULL (1964) nous conduiraient à un chiffre identique que nous abaisserons à 10 % P_b environ compte tenu de la hauteur moyenne des pelouses, prairies, parcs et tourbières.

III.4.4. - L'interception à l'échelle de l'averse.

Au niveau de l'averse, une interception moyenne I a été mise en évidence et on a pu aussi estimer la capacité maximale d'interception I_{max} . Les résultats obtenus sont reportés sur la figure 48.

Les équations des courbes de régression sont les suivantes :

$$I = 0,52 \cdot P_b^{0,64} \quad (r = 0,89 \text{ , } 30 \text{ couples})$$

si $P_b < 10 \text{ mm}$

$$I_{max} = 0,69 \cdot P_b + 0,38 \quad (r = 0,96 \text{ , } 6 \text{ couples})$$

si $P_b > 10 \text{ mm}$

$$I_{max} \approx 9 \text{ à } 12 \text{ mm}$$

Nous reviendrons sur ces phénomènes d'interception au chapitre IV. On verra que leur importance doit conduire à la définition d'un réservoir intercepteur et que l'interception est à considérer comme une phase autonome du cycle hydrologique.

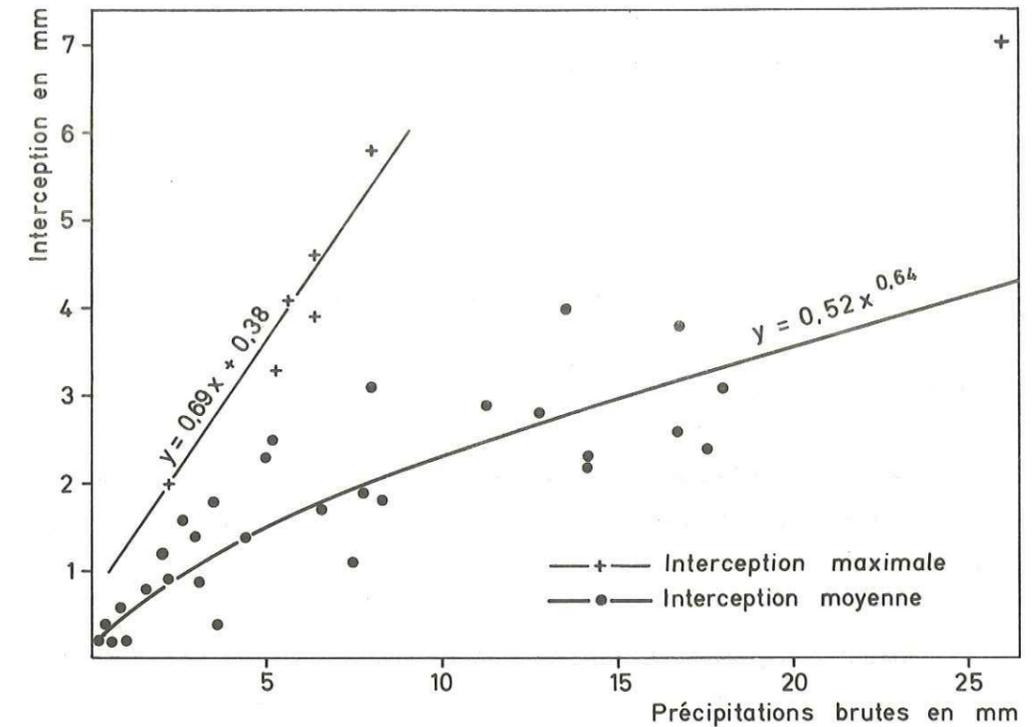


Fig.48.-RELATION A L'ECHELLE DE L'EVERSE ENTRE L'INTERCEPTION ET LA LAME D'EAU BRUTE PRECIPITEE.

CONCLUSION A L'ETUDE DE L'EVAPOTRANSPIRATION.

La particularité de la région lémanique a été démontrée et a pour cause essentielle l'effet tampon produit par le lac ; cette influence du Léman sur les paramètres qui déterminent le taux d'évapotranspiration dans la région se traduit fortement sur le pourtour immédiat du lac et jusqu'à une altitude d'environ 600 m.

Ainsi la confrontation des résultats obtenus à l'aide de diverses méthodes, méthodes empiriques et expérimentales a montré l'inadaptation des formules de Thornthwaite et de Turc ; par contre, il existe une identité remarquable des estimations faites à partir de la formule de Primault et fournies par les bacs Colorado.

Sur le bassin du Maravant, nous avons fait du bac Colorado un indicateur idéal de l'ETP ; ceci nous a conduit à appliquer aux estimations empiriques des coefficients de correction mensuels ; l'adaptation éventuelle des formules de base aux données expérimentales doit, en effet, être de règle dans toute région climatique homogène.

Pour la période moyenne d'étude sur le bassin, l'évapotranspiration représente environ 40 % des apports par les précipitations et il a été montré que l'interception représente un mécanisme important agissant surtout sur les faibles précipitations.

La répartition des précipitations et l'état des réserves en eau du sol font que l'évapotranspiration dans la région a lieu globalement au taux potentiel, d'où :

Evapotranspiration réelle = Evapotranspiration potentielle

ETR = ETP

QUATRIEME CHAPITRE

QUATRIEME CHAPITRE

ETUDE DE L'ECOULEMENT SUR LE BASSIN DU MARAVANT

IV.1. - MESURES DES HAUTEURS D'EAU ET CALCULS DES DEBITS.

Les mesures des hauteurs d'eau sont effectuées à l'exutoire du bassin du Maravant au niveau d'une station de jaugeage équipée d'un limnigraphe OTT type X à réduction 1/5 et enregistrement hebdomadaire, ainsi que d'une échelle limnimétrique graduée en centimètres.

La précision absolue sur la hauteur d'eau obtenue par lecture directe sur l'échelle est de 1 cm.

La technique de jaugeage utilisée a été essentiellement celle du jaugeage au moulinet hydrométrique par intégration. Elle est susceptible d'entacher les mesures d'une certaine erreur qui relève, en particulier, des deux faits suivants :

1) Le long d'un profil vertical, il n'est pas possible d'estimer la vitesse au fond en raison du diamètre de l'hélice ; l'erreur faite est d'autant plus forte que la profondeur est plus faible.

2) Les mesures étant effectuées 30 m à l'aval de la station à la faveur de la section rectangulaire d'un pont en béton, lors des très fortes crues (1 fois par an en moyenne au maximum), le recouvrement du pont rend difficiles les opérations de terrain et conduit à une sous-estimation des valeurs réelles.

Compte tenu de ces remarques et des séries de jaugeages obtenues, il est apparu que l'erreur maximale à craindre sur la mesure des débits du ruisseau du Maravant est de 10 % pour les faibles et forts écoulements et de 5 % pour les valeurs intermédiaires.

La courbe de tarage du Maravant est présentée à la figure 49. Cette courbe a été obtenue à partir des valeurs rassemblées dans le tableau IV.1.1. en annexe qui synthétise l'ensemble des mesures effectuées depuis novembre 1963, date d'installation de la station.

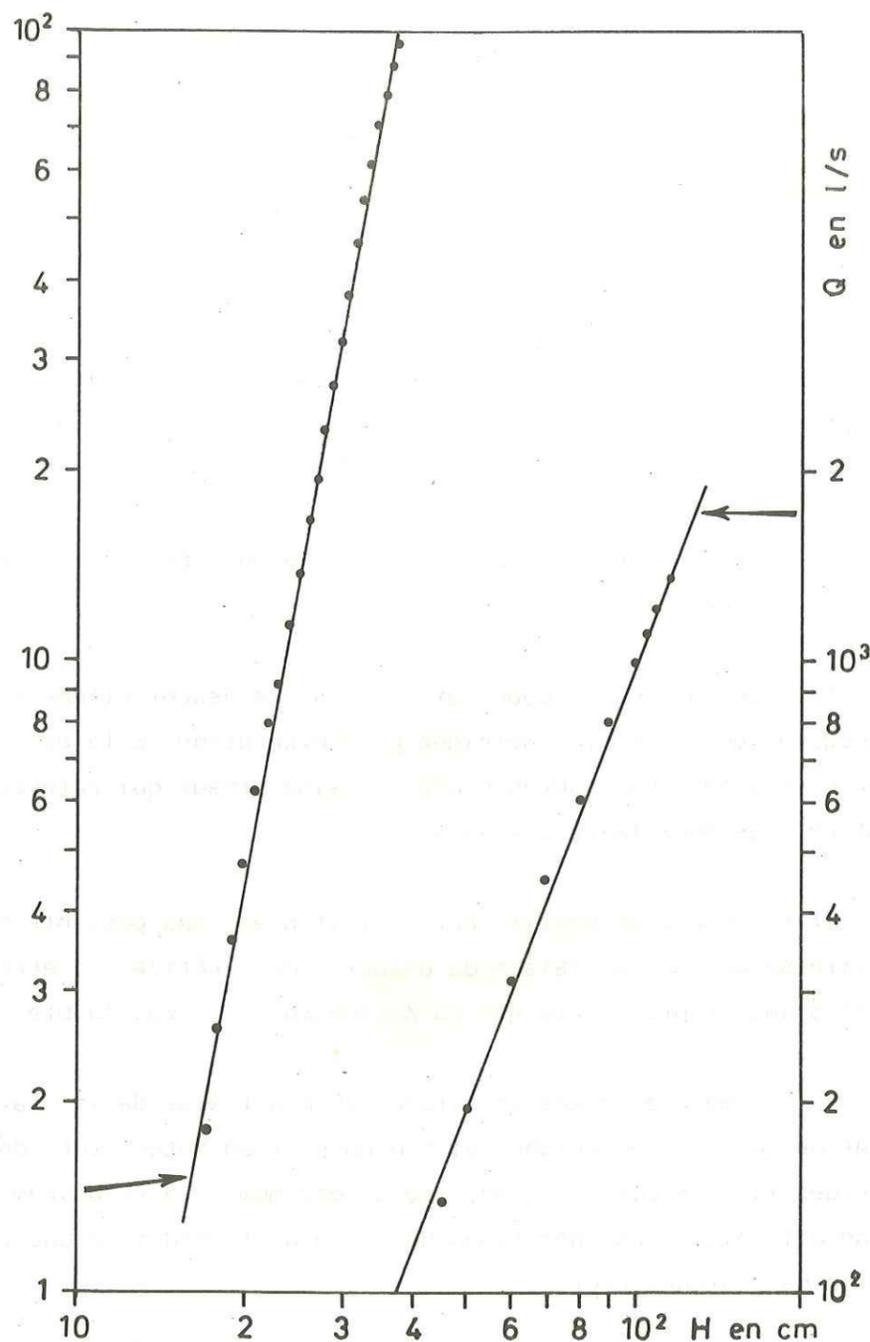


Fig. 49 - COURBE DE TARAGE
DU MARAVANT

On remarque que pour les hauteurs d'échelle H inférieures à 40 cm, lesquelles correspondent à des débits Q inférieurs à 100 l/s, l'équation de la courbe est :

$$Q_{l/s} = 11 \cdot 10^{-7} \cdot H_{cm}^{5,06}$$

pour les hauteurs d'échelle supérieures ou égales à 40 cm ($Q > 100$ l/s) l'équation devient :

$$Q_{l/s} = 176 \cdot 10^{-4} \cdot H_{cm}^{2,38}$$

IV.2. - ETUDE DES DEBITS ; REGIME DU RUISSEAU DU MARAVANT.

Les débits moyens journaliers qui figurent dans les tableaux IV.2.1. à IV.2.10. (en annexe) ont été calculés à partir des hauteurs d'eau enregistrées par le limnigraphe. Le débit indiqué pour un jour j est la valeur moyenne des débits horaires relevés entre le jour j à 0 heure et le jour j + 1 à 0 heure.

Les débits moyens mensuels représentent pour chaque mois la moyenne arithmétique des débits moyens journaliers.

Les débits moyens annuels ou modules annuels sont issus du calcul de la moyenne arithmétique des 365 ou 366 débits moyens journaliers.

Ces différents débits seront exprimés, soit en l/s, soit en l/s/km² (débits spécifiques), soit encore en lames d'eau équivalentes (en mm) ramenées à la superficie du bassin.

IV.2.1. - Débits d'écoulement annuels.

Les débits moyens annuels du ruisseau du Maravant sont reportés sur le tableau IV.2.11. Pour chacune des dix années d'observations (1965-1974), les débits sont exprimés dans les unités définies précédemment.

ANNEES	DEBITS (L/s)	LAMES D'EAU (mm)	DEBITS SPECIFIQUES (L/s/km ²)
1965	64	672	21
1966	74	773	25
1967	63	665	21
1968	98	1 034	33
1969	51	539	17
1970	61	628	20
1971	22	236	7
1972	26	275	9
1973	31	328	10
1974	57	600	19

TABLEAU IV.2.11. - Débits moyens annuels du Maravant.

Le module interannuel \bar{Q}_{65-74} , estimé pour l'année moyenne de la période d'étude par la moyenne arithmétique des dix débits moyens annuels, a les caractéristiques suivantes :

$$\bar{Q}_{65-74} = \begin{cases} 575 \text{ mm} \\ 55 \text{ l/s} \\ 18 \text{ l/s/km}^2 \end{cases}$$

Ecart-type $\sigma = 23 \text{ l/s}$

Pour un intervalle de confiance à 90 %, (dans l'hypothèse d'une distribution normale) on aboutit aux encadrements suivants :

$$433 \text{ mm} < \bar{Q}_{65-74} < 717 \text{ mm}$$

$$41 \text{ l/s} < \bar{Q}_{65-74} < 68 \text{ l/s}$$

$$13,7 \text{ l/s/km}^2 < \bar{Q}_{65-74} < 22,7 \text{ l/s/km}^2$$

L'amplitude de ces encadrements correspond à une précision de 25 % sur l'estimation du module \bar{Q}_{65-74} et pour un intervalle de confiance à 90 %.

Cette précision modeste est à rapporter à la forte variabilité des débits annuels d'écoulement durant la période considérée. Les caractéristiques qui permettent d'apprécier cette variabilité sont les suivantes :

- Valeurs extrêmes $\left\{ \begin{array}{l} \text{Maximum } Q_M = 1\,034 \text{ mm (1968)} \\ \text{Minimum } Q_m = 236 \text{ mm (1971)} \end{array} \right.$

- Rapports des valeurs extrêmes $\frac{Q_M}{Q_m} = 4,38$

- Amplitude : $Q_M - Q_m = 798 \text{ mm}$

- Coefficient de variation : $\frac{\sigma}{\bar{Q}_{65-74}} = 42 \%$

- Centre de gravité de la série : 614 mm

L'examen de la figure 50, qui montre l'évolution de la courbe des écoulements de surface cumulés, fait ressortir un phénomène de persistance et met en évidence une variation du régime pluriannuel du ruisseau sur la période considérée ; en effet, aux années 1965 à 1970, excédentaires par rapport à l'année moyenne 1965-1974, s'opposent les années 1971 à 1974, déficitaires. Cette fluctuation est soulignée par les valeurs suivantes prises par l'écart δ des débits moyens annuels au module \bar{Q}_{65-74} et par le report graphique à la figure 51 de ces valeurs.

ANNEES	δ (mm)	ANNEES	δ (mm)
1965	+ 97	1970	+ 53
1966	+ 198	1971	- 339
1967	+ 90	1972	- 300
1968	+ 459	1973	- 247
1969	- 36	1974	+ 25

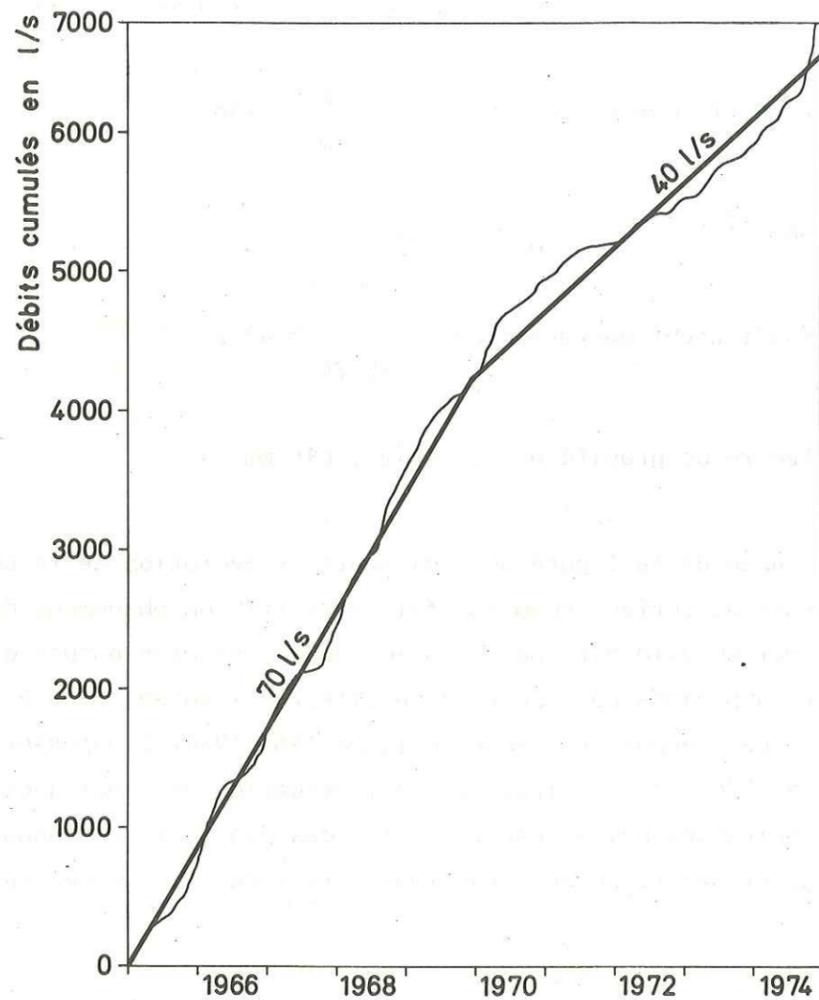


Fig. 50 - COURBE DES DEBITS CUMULES DU MARAVANT

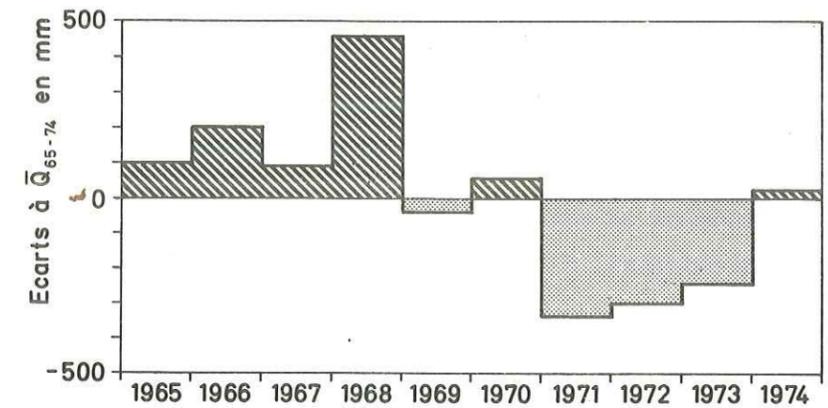


Fig. 51 - ECARTS AU MODULE ANNUEL \bar{Q}_{65-74} DES DEBITS MOYENS ANNUELS DU MARAVANT

($\bar{Q}_{65-74} = 575 \text{ mm}$)

L'évolution de ces débits moyens annuels a été rapportée à celle des précipitations sur le bassin pour la même période. Pour chaque année, nous avons reporté sur le tableau IV.2.12. les valeurs des lames d'eau précipitées P et écoulées L (en mm) sur le bassin, ainsi que les valeurs prises par le coefficient d'écoulement superficiel $k = \frac{L}{P}$ (en %).

ANNEES	P (mm)	L (mm)	K (%)
1965	1 348	672	50
1966	1 084	773	71
1967	1 174	665	57
1968	1 462	1 034	71
1969	1 159	540	47
1970	1 291	628	49
1971	881	236	27
1972	985	275	28
1973	1 032	327	32
1974	1 225	600	49

TABLEAU IV.2.12. - Précipitations, lames écoulées et coefficients d'écoulements annuels ; B.V. du Maravant.

(Même si l'année civile ne conduit qu'à une image déformée des caractéristiques hydrologiques du bassin, nous avons préféré son emploi à celui des "cycles" hydrologiques ; car ces derniers, de durée variable et difficiles à limiter, pêcheraient par manque d'homogénéité et par la liberté que nous aurions dans le choix définitif de leurs bornes).

L'étude de la relation Précipitations-Ecoulement conduit, pour les années calendaires, à la droite de régression suivante :

$$(1) L \text{ (mm)} = 1,19.P \text{ (mm)} - 805 \quad (r = 0,853 ; 10 \text{ couples})$$

Si nous excluons le point représentatif du couple de valeurs lié à l'année 1966 (l'écart de ce point à la droite correspondant en grande partie au report de la fonte du stock neigeux de 1965 sur 1966), on aboutit à une nouvelle corrélation nettement plus satisfaisante que la précédente ; l'équation linéaire obtenue est (figure 52) :

$$(2) L \text{ (mm)} = 1,28.P \text{ (mm)} - 951 \quad (r = 0,950 ; 9 \text{ couples})$$

Une telle relation Précipitations-Débits à l'échelle annuelle, si elle se confirme avec l'addition d'autres couples de valeurs, sera d'un intérêt capital pour la prévision hydrologique.

IV.2.2. - Débits moyens mensuels.

Le tableau IV.2.13. en annexe rassemble les valeurs de débits moyens mensuels en l/s correspondant à l'échantillon des 10 années de la période d'étude.

La répartition sur les divers mois de l'année, ainsi que les caractéristiques des valeurs centrales et de dispersion de ces débits exprimés en l/s, figurent dans le tableau IV.2.14. (L'hypothèse de la normalité étant aussi faite pour les débits moyens mensuels).

Ces résultats sont complétés par les graphiques des figures 53 et 54 montrant la répartition mensuelle des débits de la période 1965-1974. Le régime moyen du ruisseau du Maravant est donc simple et se caractérise globalement par un minimum d'été et un maximum d'hiver. Ce régime est donc de type nivo-pluvial (PARDE, 1947) ; les étiages

d'été sont souvent sévères et les hautes eaux d'hiver et de début du printemps (fonte du stock neigeux) importantes.

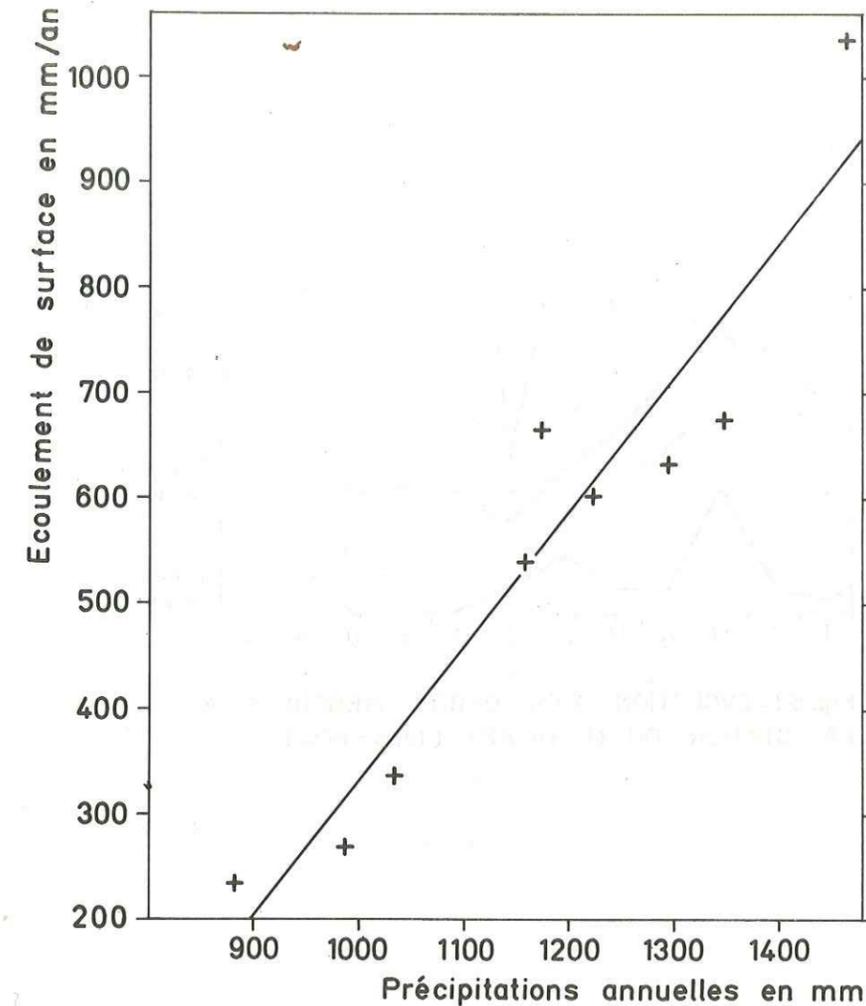


Fig. 52 - RELATION ENTRE LES VALEURS ANNUELLES DES PRECIPITATIONS ET DE L'ECOULEMENT DE SURFACE

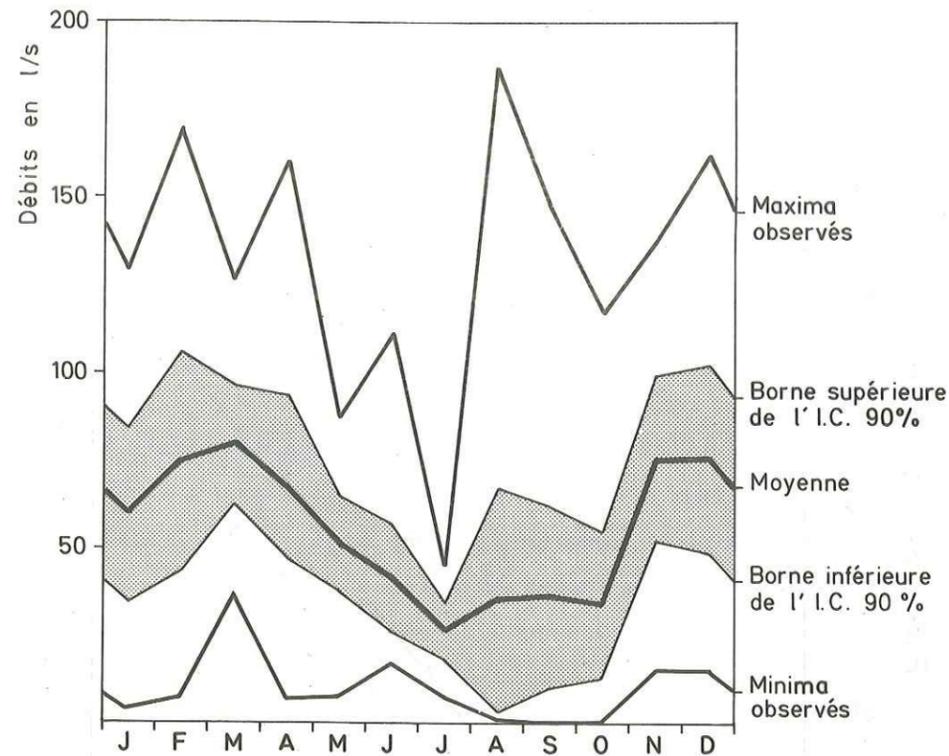


Fig. 53 - EVOLUTION DES DEBITS MENSUELS A LA STATION DU MARAVANT (1965-1974)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Valeurs (l/s)	Maximale	116	169	127	160	88	111	46	188	148	117	137	162
	Moyenne (m)	60	75	80	67	51	42	27	36	34	76	76	76
Ecart-type σ (l/s)	Minimale	4	8	36	7	8	18	9	1	0	1	16	16
		44	56	30	47	25	27	14	56	46	37	42	48
Coefficient de variation $\frac{\sigma}{m}$		0,73	0,75	0,38	0,29	0,49	0,64	0,52	1,56	1,28	1,09	0,55	0,63
Coefficient mensuel de débit		1,09	1,36	1,45	1,22	0,93	0,76	0,49	0,65	0,65	0,62	1,38	1,38
Précision sur m (%) (Intervalle de confiance à 90 %)		43	43	22	40	28	38	30	92	73	63	32	37

TABEAU IV.2.14. - Débits moyens mensuels du Maravant (1965-1974).

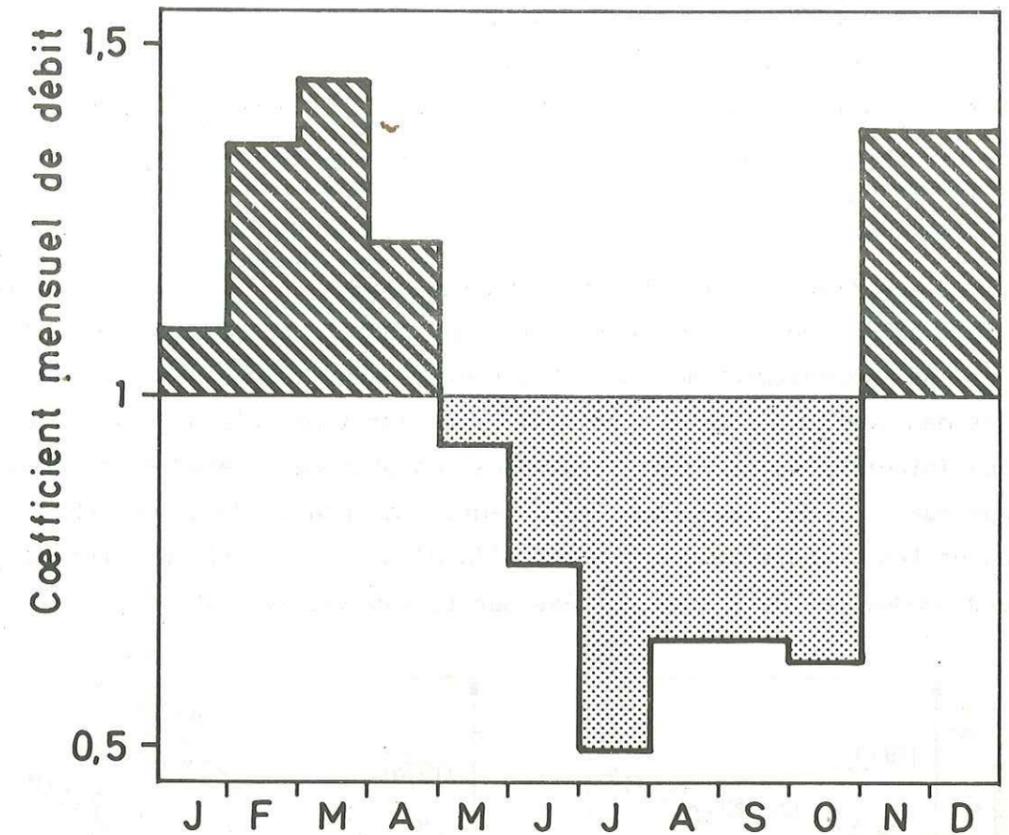


Fig. 54 - EVOLUTION MOYENNE DES DEBITS MENSUELS DU MARAVANT

La courbe moyenne montre cependant deux maxima, l'un en Mars, l'autre en Novembre-Décembre, d'amplitudes pratiquement égales ; les deux minima ont des durées très différentes l'un de l'autre : la baisse hivernale n'affecte que le mois de Janvier, alors que l'étiage d'été, déjà sensible en Juin se poursuit habituellement jusqu'à la fin du mois d'Octobre.

Ce régime moyen masque cependant une variation interannuelle importante du débit moyen d'un même mois ; cette variation est bien mise en évidence pour les mois d'Août, Septembre et Octobre ; en effet, les encadrements des estimations des débits moyens mensuels correspondants à un intervalle de confiance à 90 % conduisent à des degrés de

précision médiocres dus à la présence, dans chacune des séries de données du mois considéré, d'une valeur exceptionnelle qui détermine donc une forte variance. Ces valeurs exceptionnelles se rapportent, en Août et Septembre, à l'écoulement important de l'année 1968 pour ces deux mois et en Octobre à l'année 1974 ; elles sont directement liées aux fortes précipitations sur le bassin durant ces périodes.

Le tracé des courbes de "fonctionnement" $\Sigma L = f(\Sigma P)$ du bassin (figure 55) permet de suivre l'évolution, dans chacune des années étudiées, de l'écoulement mensuel. Ces courbes sont issues du cumul des valeurs mensuelles des précipitations P, et des lames d'eau écoulées L. Elles intègrent le temps et illustrent les phénomènes étudiés en même temps que ceux qui leurs sont antérieurs. Les pentes de ces courbes donnent les valeurs du coefficient d'écoulement apparent, k ; les valeurs mensuelles de k sont portées sur le tableau IV.2.15.

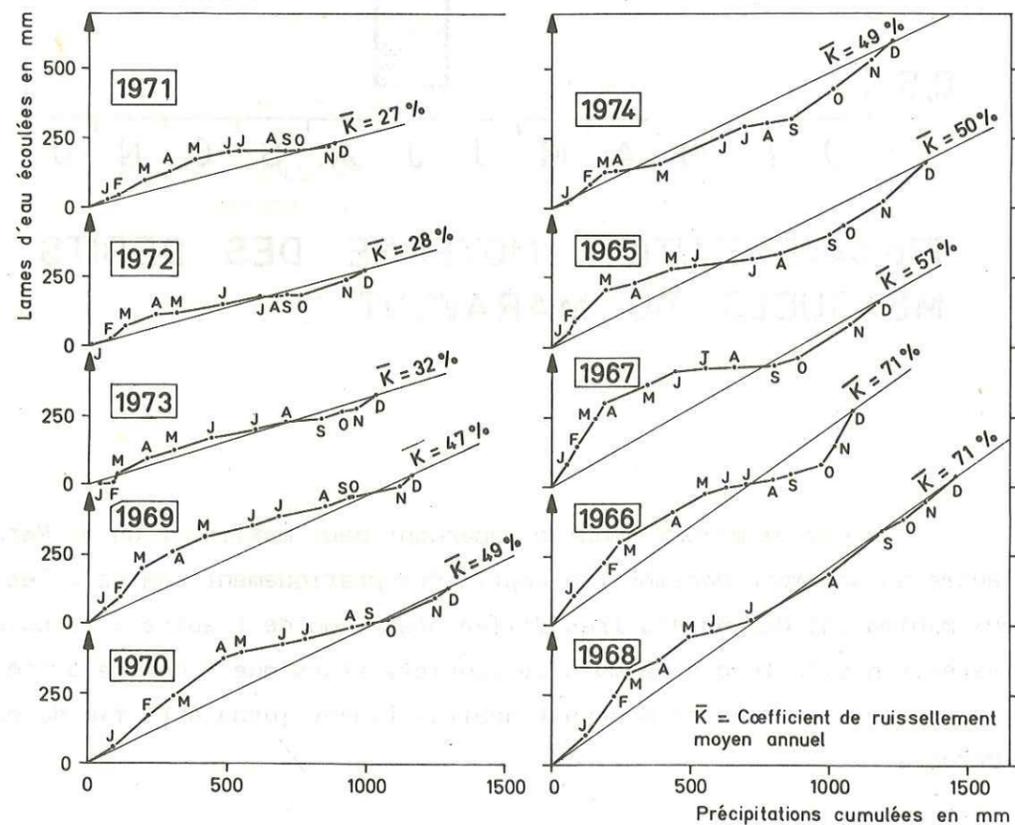


Fig. 55- COURBES DE FONCTIONNEMENT DU RUISSEAU DU MARAVANT

ANNEES		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
1965	P (mm)	62	17	111	108	129	85	212	100	172	52	147	153	1 348
	L (mm)	51	39	113	27	47	16	28	15	70	33	91	145	672
	K (%)	82	229	102	25	36	19	13	15	41	63	62	95	50
1966	P (mm)	83	104	56	189	115	75	73	96	68	104	53	68	1 084
	L (mm)	116	110	69	115	68	21	7,7	15	22	33	72	124	773
	K (%)	140	106	123	61	59	28	11	16	32	32	136	182	71
1967	P (mm)	51	40	63	34	155	98	111	104	145	83	188	102	1 174
	L (mm)	87	60	96	61	65	47	9	1,9	11	24	119	86	665
	K (%)	171	150	152	179	42	48	8	2	8	29	63	84	57
1968	P (mm)	120	103	50	105	113	82	139	290	187	78	81	114	1 462
	L (mm)	103	141	85	55	79	15	41	167	128	67	66	88	1 034
	K (%)	86	137	170	52	70	18	29	58	68	86	81	77	71
1969	P (mm)	57	52	84	111	112	175	92	171	84	9	171	41	1 159
	L (mm)	51	48	100	64	56	42	29	35	36	3,4	37	38	540
	K (%)	89	92	119	58	50	24	32	20	43	38	22	93	47
1970	P (mm)	88	132	86	184	58	151	77	170	58	77	168	42	1 291
	L (mm)	57	112	66	139	27	25	20	47	10	17	76	32	628
	K (%)	65	85	77	76	47	17	26	28	17	22	45	76	49
1971	P (mm)	68	33	101	74	108	120	31	119	47	49	114	17	881
	L (mm)	31	14	58	31	37	28	7,4	1,1	0,13	0,6	13,4	13,9	236
	K (%)	46	42	57	42	34	23	24	1	0,3	1,2	12	82	27
1972	P (mm)	9	67	54	110	75	168	125	59	41	54	161	62	985
	L (mm)	5,8	19,2	48	40	7,1	30	29	4,1	0,89	0,73	56	34	275
	K (%)	64	28	89	36	9	18	23	7	2	2	35	55	28
1973	P (mm)	42	47	12	112	93	131	162	109	130	72	47	75	1 032
	L (mm)	3,7	6,1	32	45	41	41	33	23	18	22	14	48	328
	K (%)	10	13	267	40	44	31	20	21	14	31	30	64	32
1974	P (mm)	59	76	54	40	159	226	78	80	92	144	145	72	1 225
	L (mm)	24	60	43	6,3	29	96	35	6,9	18	105	110	66	600
	K (%)	41	79	80	15	18	42	45	9	20	73	76	92	49

TABEAU IV.2.15. - Précipitations, lames d'eau écoulées et coefficients d'écoulement du Maravant.

Les courbes sont tracées par ordre décroissant des valeurs annuelles de k et rendent compte des faits suivants :

- Aux années sèches à faibles valeurs annuelles de k correspondent des étés aux écoulements quasi nuls et de faibles précipitations d'hiver.

- Le coefficient d'écoulement, k, augmente de façon préférentielle pour le semestre de Novembre à Mai.

- Lorsque l'hydraulicité (ΣL) devient importante les écoulements d'été sont forts, c'est le cas pour l'année 1968.

Les notions hydrologiques d'hiver et d'été sont donc réelles et la difficulté qui réside dans la définition des limites entre ces saisons peut être levée de façon moyenne après l'examen de la figure 56 qui indique l'évolution du coefficient d'écoulement mensuel moyen.

Pour le bassin du Maravant et pour la période moyenne d'étude, tout mois pour lequel le coefficient d'écoulement apparent moyen est inférieur à la moyenne des coefficients d'écoulement moyens annuels sera considéré comme un mois d'été ; inversement, tout mois pour lequel le coefficient d'écoulement moyen apparent est supérieur à la moyenne des coefficients d'écoulement moyens annuels sera considéré comme mois d'hiver. D'une telle définition découle le découpage saisonnier suivant :

Hiver (s.l.) = { Novembre,....., Avril }

Eté (s.l.) = { Mai,....., Octobre }

On remarquera la relation inverse caractéristique existant entre les variations respectives dans l'année des lames d'eau précipitées et des coefficients d'écoulement apparent ; les principales causes de cette inversion, l'évapotranspiration mise à part, sont liées à la dynamique, variable avec les saisons, de la nappe superficielle.

Pendant la saison hivernale, la nappe affleure et possède donc un fort gradient hydraulique et une composante latérale de l'écoulement souterrain souvent importante.

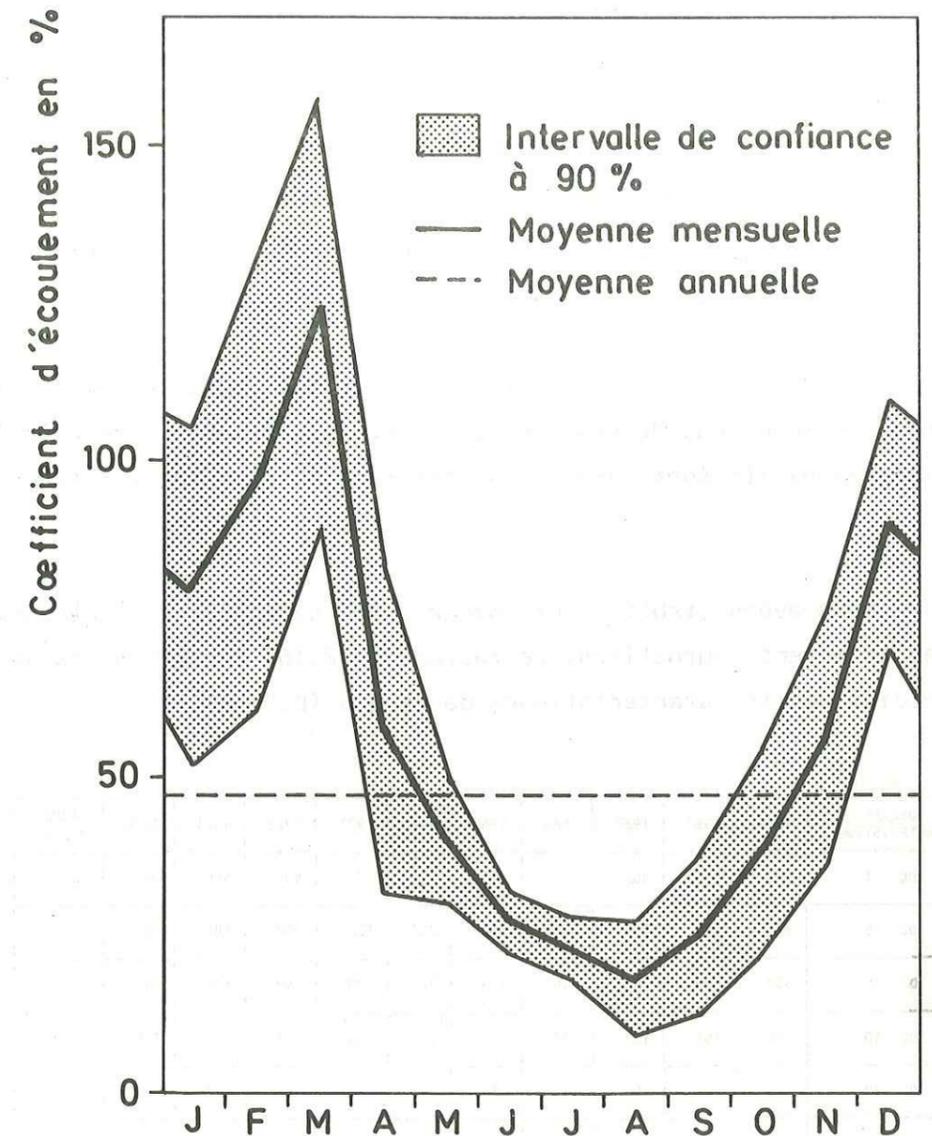


Fig.56-EVOLUTION MENSUELLE DES COEFFICIENTS D' ECOULEMENT SUPERFICIEL. (1965-1974)

Pendant la saison estivale, l'abaissement du niveau de la nappe provoque une diminution du gradient hydraulique et de la composante latérale de l'écoulement souterrain.

Nous verrons plus loin que l'on peut admettre, avec GUEGAN (1972) et SIWERTZ (1973) une variation de la composante verticale de l'écoulement souterrain (infiltration) en sens inverse de celle précédemment établie.

IV.2.3. - Écoulements journaliers.

Les valeurs de débits moyens journaliers, en l/s, sont données en annexe (tableaux IV.2.1. à IV.2.10.).

Ces débits ont été calculés à partir des débits horaires instantanés. Quelques-uns de ces débits ont été estimés par interpolation du limnigramme, ils sont rares et n'affectent en rien les résultats présentés.

Nous avons établi, pour chaque année calendaire, un classement des débits moyens journaliers. Le tableau IV.2.16. rassemble les valeurs de certains débits caractéristiques de rang n (D.C. n).

DEBITS CARACTERISTIQUES	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	ANNEE MOYENNE
DC 1	568	455	488	515	253	730	323	496	508	918	525
DC 5	371	340	229	391	202	337	156	298	181	269	277
DC 10	338	200	194	340	176	302	129	149	134	212	217
DC 30	218	167	132	237	112	152	68	77	88	135	139
DC 90	76	104	90	117	70	77	25	27	37	80	70
DC 180	33	64	58	75	45	29	12	10	16	33	37
DC 270	16	21	24	48	21	14	2	4	6	14	17
DC 335	6	9	1,4	12	5	8	0,0	0,3	3	5	4,9
DC 355	1,2	2	0,0	7	1,0	5	0,0	0,0	2	4	2,2
DC 360	0,6	0,7	0,0	0,6	0,6	4	0,0	0,0	1,6	3	1,1
DC 365	0,4	0,0	0,0	0,2	0,2	3	0,0	0,0	1,0	2,0	0,7

TABLEAU IV.2.16 - Débits caractéristiques du ruisseau du Maravant.

On constate que les valeurs peuvent être les mêmes en période d'étiage :

$$0,0 \text{ l/s} < \text{DC } 365 < 3,2 \text{ l/s}$$

$$0,0 \text{ l/s} < \text{DC } 355 < 5,1 \text{ l/s}$$

alors qu'elles sont fort différentes en période de hautes eaux :

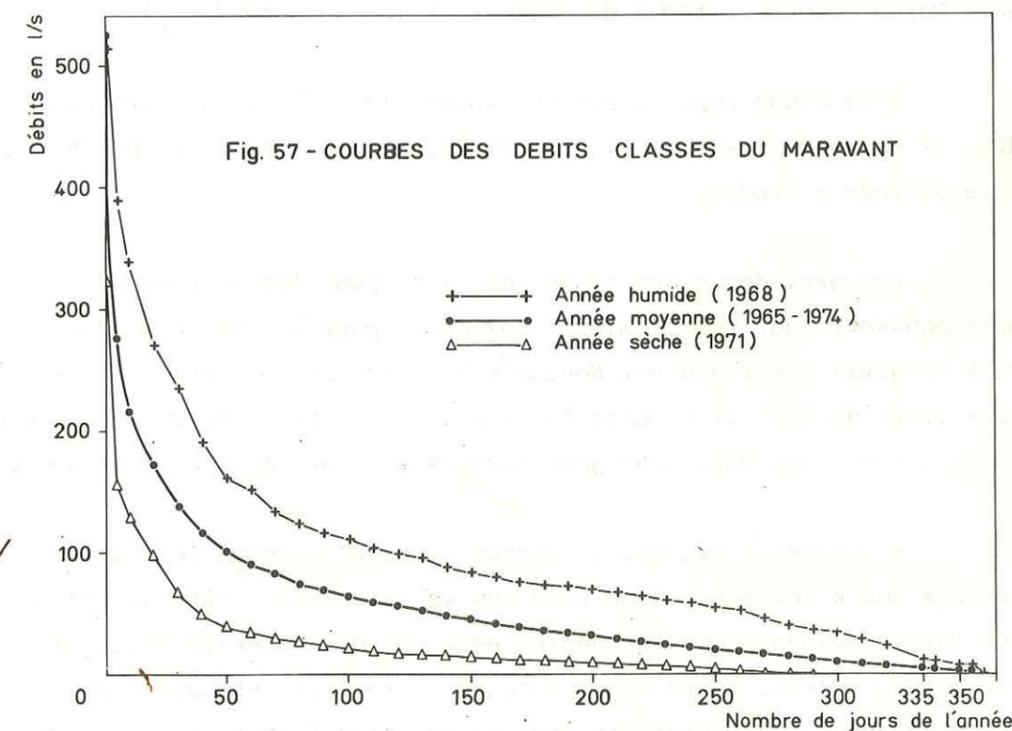
$$253 \text{ l/s} < \text{DC } 1 < 918 \text{ l/s}$$

$$156 \text{ l/s} < \text{DC } 5 < 391 \text{ l/s}$$

$$129 \text{ l/s} < \text{DC } 10 < 340 \text{ l/s}$$

On peut en déduire que, mis à part les violents orages déterminant des crues importantes, il se crée un équilibre entre les différents termes du bilan hydrologique.

Ces remarques sont illustrées par la figure 57 qui présente les courbes des débits moyens journaliers classés pour l'année 1971 (année sèche), 1968 (année humide) et l'année moyenne 1965-1974.



Les débits caractéristiques DC conduisent essentiellement à des comparaisons et des analyses de fréquences ; afin de rendre compte des questions relatives aux volumes d'écoulement, questions liées à la capacité de stockage, aux besoins de régularisation, à l'étude du bilan, ..., il nous a paru intéressant de déterminer les débits moyens sur k jours consécutifs. Ils sont calculés en déplaçant un intervalle de k jours, jour par jour, tout au long de l'année considérée, avec un débordement de k/2 jours sur les deux années adjacentes afin d'obtenir une série de 365 valeurs. Ces séries de moyennes mobiles des débits moyens journaliers sur k jours consécutifs donnent une idée précise de l'évolution de l'écoulement dans l'année ; nous les avons représentées graphiquement pour chaque année de la période 1965-1974 (figures 58 A et 58 D). Ce type de représentation a pour avantage de respecter les *notions de continuité* qui sont liées à toute variation de l'écoulement sur le bassin, et ceci quelle que soit l'échelle de temps considérée.

La plus petite moyenne mobile sur k jours consécutifs sera le Débit Moyen Caractéristique d'Étiage sur k jours (noté $DMCE_k$).

La plus grande moyenne mobile sur k jours consécutifs sera le Débit Moyen Caractéristique de Crue sur k jours (noté $DMCC_k$).

Nous avons reporté sur le tableau IV.2.17 les valeurs des $DMCE_k$ et des $DMCC_k$ avec $k = 1, 5, 10, 20, 30$ jours et pour chaque année de la période d'étude.

Les périodes d'occurrence observées pour les DMCC et les DMCE correspondent, pour les premiers, aux deux époques liées à la fonte du stock neigeux, c'est-à-dire, Novembre-Décembre et Mars-Avril, exception étant faite du DMCC de l'année 1968, lié aux fortes précipitations continues d'été ; les DMCE sont généralement atteints en été ou en automne.

L'occurrence des débits moyens caractéristiques de crue ou d'étiage sur k jours est donc liée aux variations des réserves de surface (stock neigeux pour les hautes eaux) et des réserves souterraines du ruisseau (niveau de la nappe superficielle pour les basses eaux) ; en conséquence, ces variations sont en relation directe avec le total des précipitations ayant intéressé la période précédant le DMCC ou le DMCE.

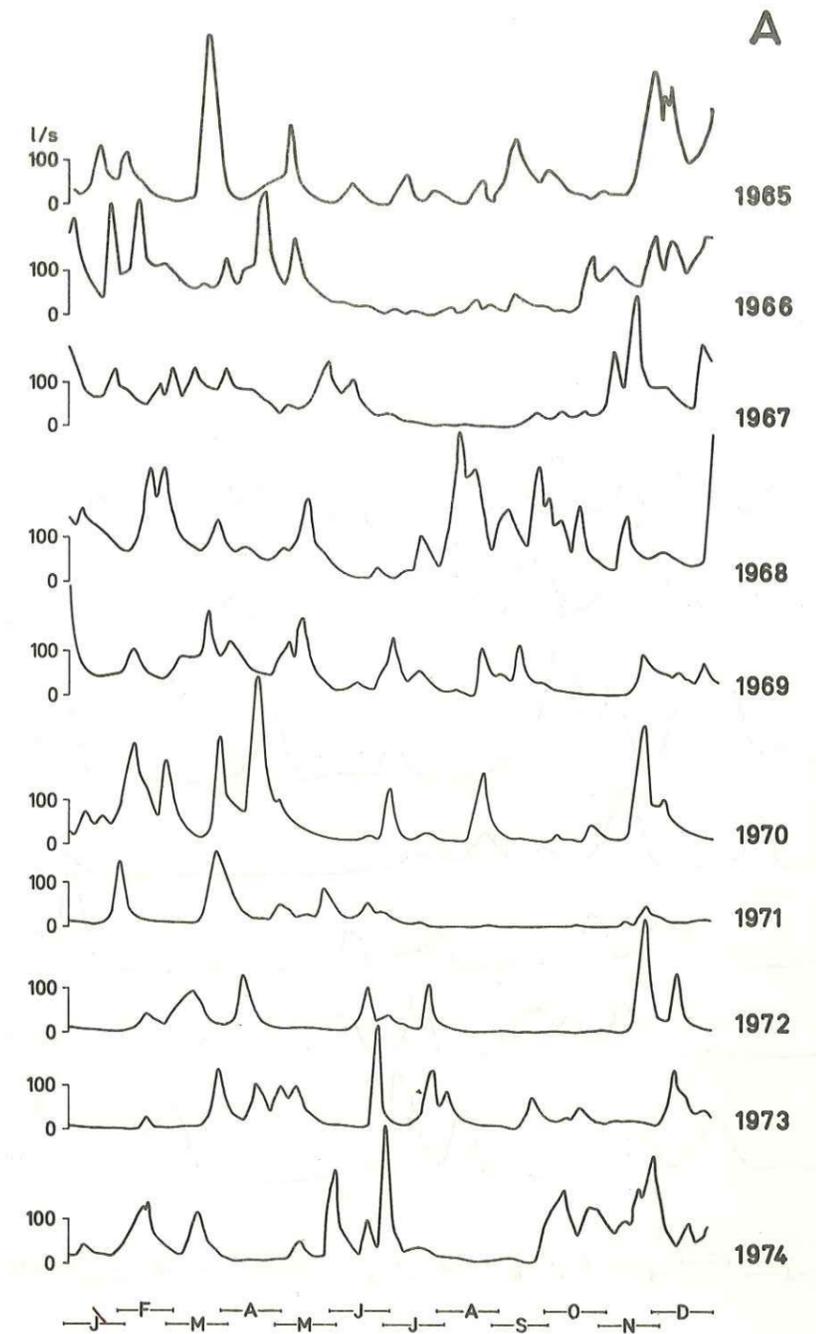


Fig. 58: DEBITS MOYENS DU MARAVANT SUR 5 JOURS CONSECUTIFS

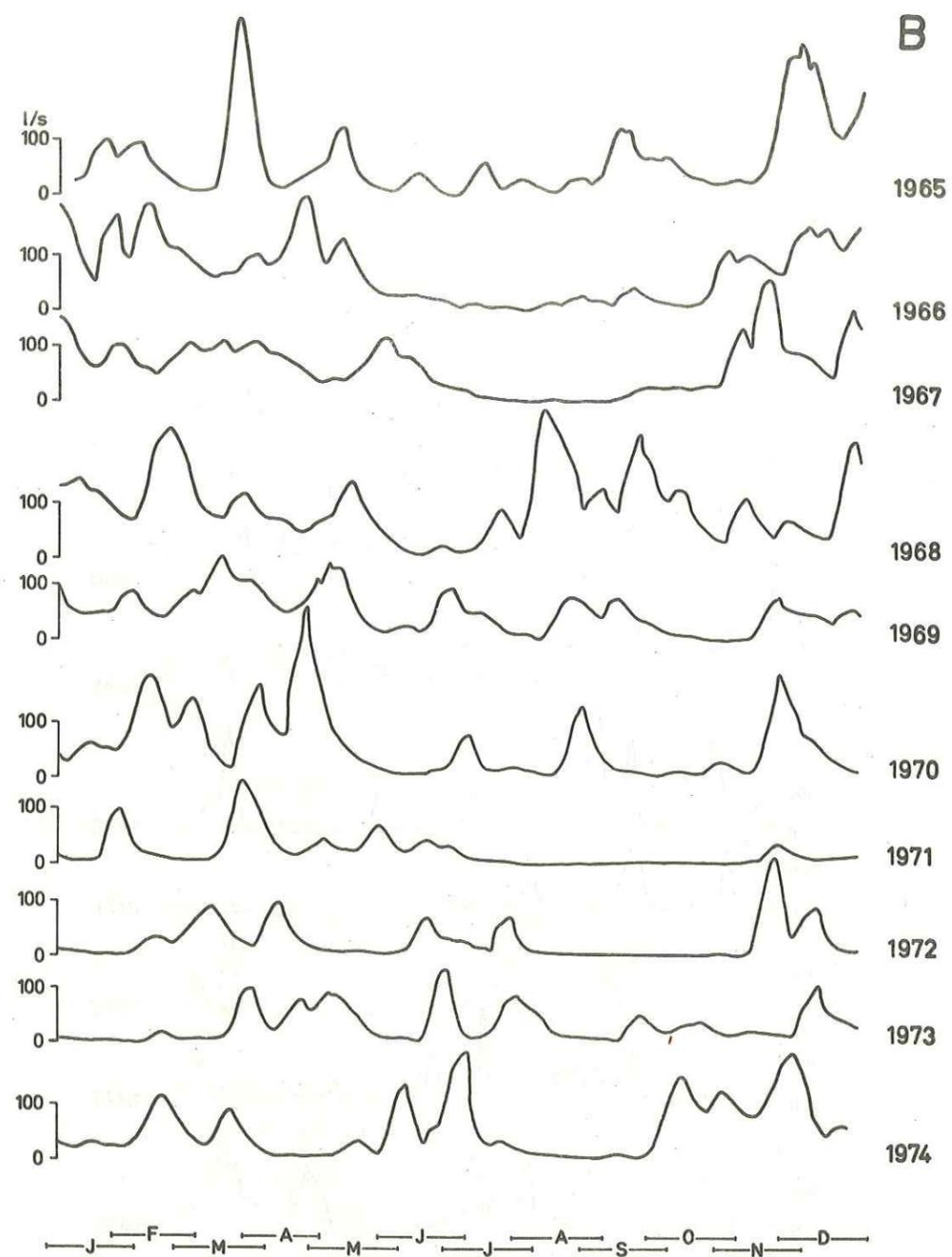


Fig.58 : DEBITS MOYENS DU MARAVANT SUR 10 JOURS CONSECUTIFS

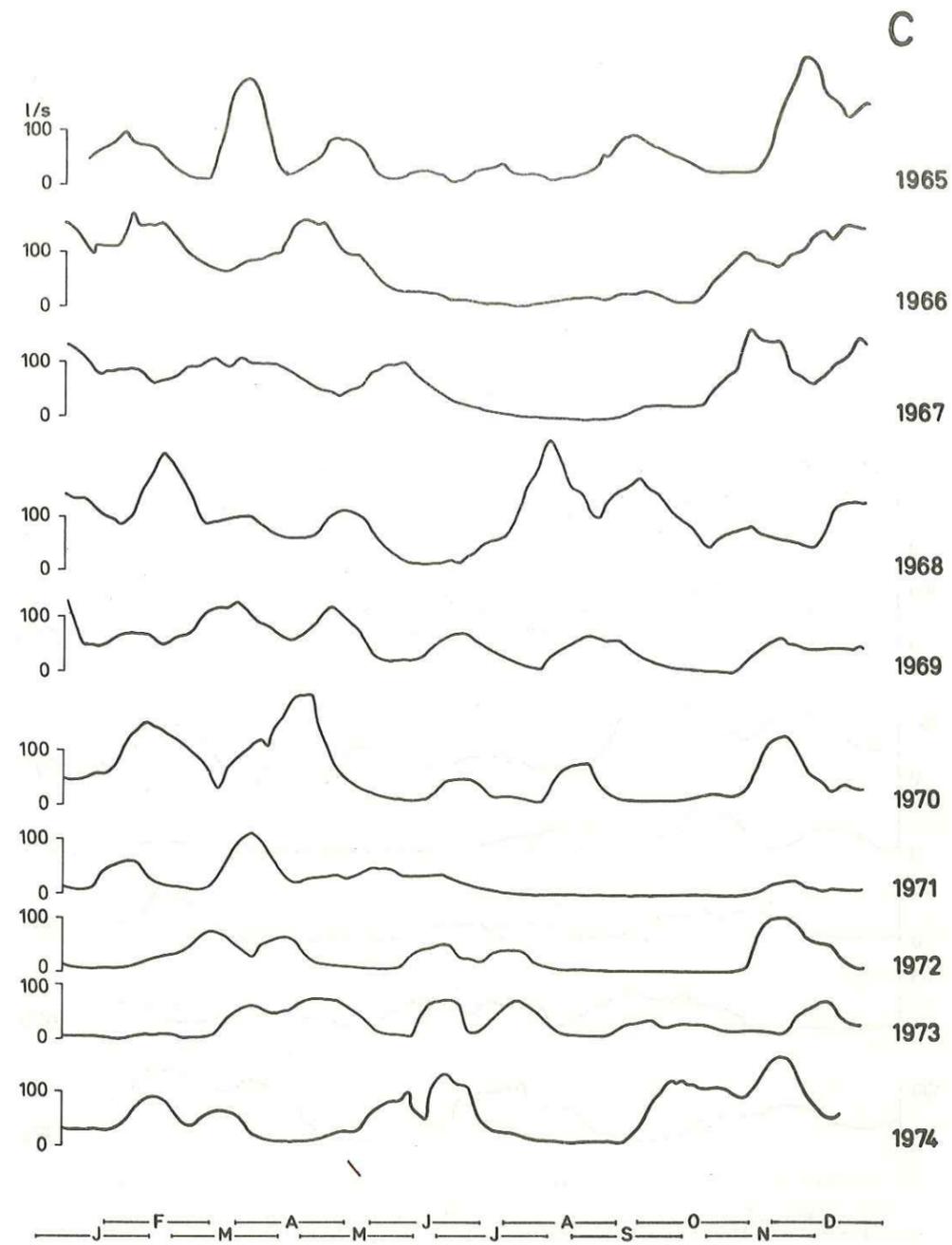


Fig.58 : DEBITS MOYENS DU MARAVANT SUR 20 JOURS CONSECUTIFS

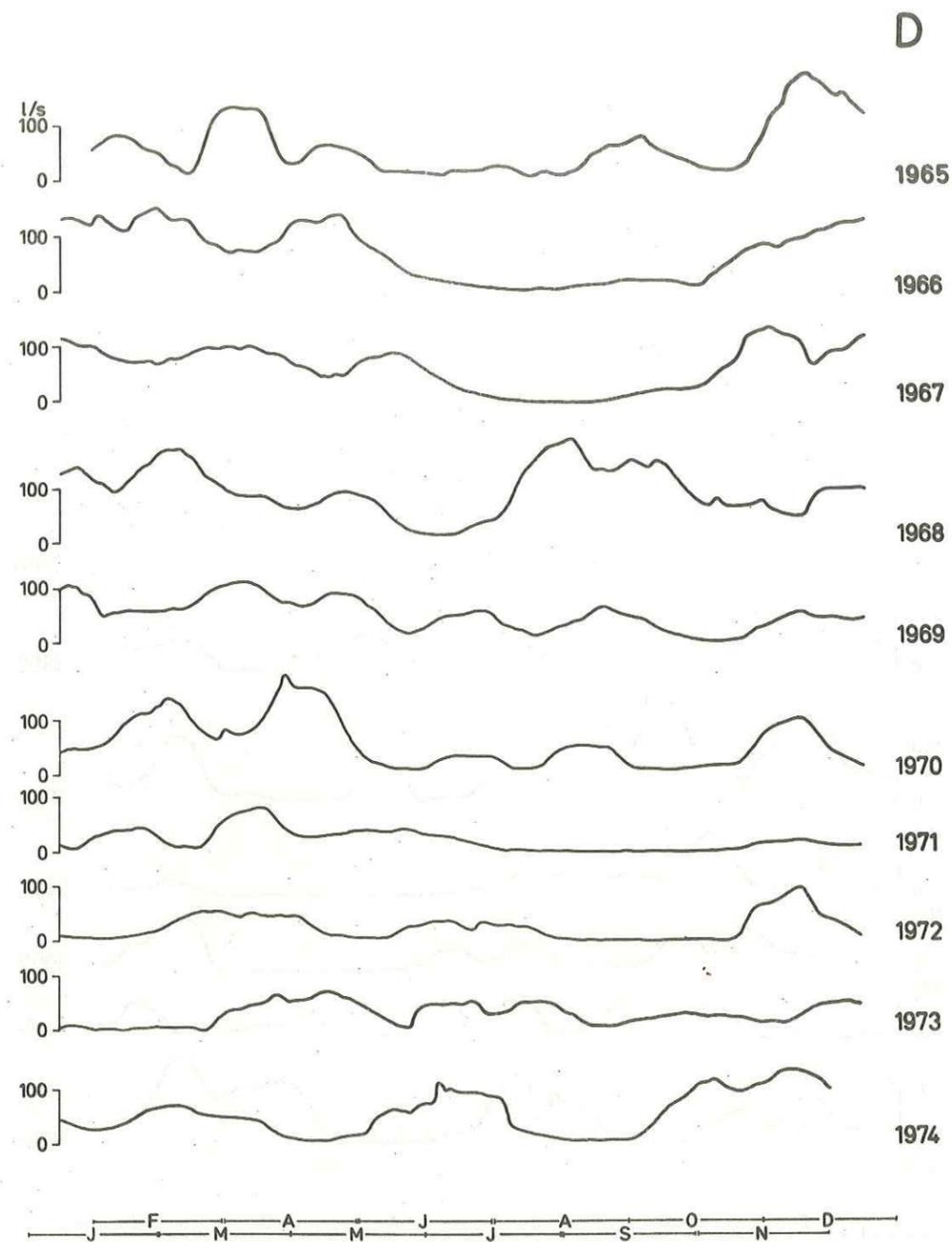


Fig. 58 : DEBITS MOYENS DU MARAVANT SUR 30 JOURS CONSECUTIFS

K \ ANNEES	HAUTES EAUX					BASSES EAUX				
	1	5	10	20	30	1	5	10	20	30
1965	568	391	318	238	200	0,4	1,0	1,6	4,1	14,8
1966	455	279	206	175	156	0,0	0,3	1,6	5,4	6,7
1967	488	295	200	163	139	0,0	0,0	0,0	0,2	1,2
1968	515	343	270	239	195	0,2	8,0	10,5	16	15
1969	253	194	149	131	113	0,2	0,3	0,6	1,2	2,0
1970	730	379	308	201	183	3,2	3,6	4,6	9,0	10,0
1971	323	169	150	110	81	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1972	496	255	175	102	96	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1973	508	236	131	75	76	1,0	1,0	1,4	2,2	2,9
1974	918	314	196	165	137	2,0	3,6	4,1	4,6	6,9
ANNEE MOYENNE	525	286	210	160	138	0,8	1,8	2,4	4,3	6,0

TABLEAU IV.2.17. - Débits moyens caractéristiques de crue (DMCC) et d'étiage (DMCE) sur 1, 5, 10, 20, 30 jours consécutifs du ruisseau du Maravant.

Il aurait été intéressant de pouvoir relier entre eux les $DMCC_k$ ou les $DMCE_k$ (avec k variable) en vue de leur prédétermination ; malheureusement, le nombre d'années d'observations dont nous disposons est trop faible pour envisager une telle étude. Rappelons cependant que DAUTY (1967) arrive, pour l'étiage du bassin de l'Allier, à la relation suivante :

$$DMCE_k = DMCE_{30} \cdot e^{n \cdot (k-30)}$$

avec $10 < k < 120$ et n dépendant de la nature géologique du bassin.

Les quelques résultats en notre possession ne vérifient pas la relation de DAUTY et ceci, vraisemblablement, à cause du caractère fluctuant des débits du ruisseau du Maravant pendant l'étiage et de la faible importance des réserves due à la taille du bassin du Maravant.

IV.2.4. - Le tarissement du ruisseau du Maravant.

Le ruisseau du Maravant, en régime non influencé, c'est-à-dire en absence de précipitations et d'exploitation, est alimenté suivant deux processus essentiels qui varient suivant la période de l'année.

Le premier de ces processus, qui concerne une alimentation du ruisseau par l'intermédiaire des eaux souterraines a été décrit par CASTANY (1963, 1967) ; il suit le schéma général présenté à la figure 59.

On utilisera ce principe pour les époques de l'année à stock neigeux nul sur tout le bassin (cas B et C de la figure 59).

Dans le cas des périodes hivernales caractérisées généralement par l'existence d'un stock neigeux, à l'alimentation du type précédent se superposent deux types d'écoulement dus à la fonte partielle de la neige : un ruissellement diffus de surface, E_r , et un écoulement souterrain latéral (hypodermique) E_{sl} (cas A de la figure 59).

Lorsque le stock neigeux est épuisé, le mécanisme de la vidange en absence d'alimentation de la nappe superficielle survient.

Nous nous intéresserons ici à ce seul mécanisme, n'ayant choisi pour les périodes hivernales que des laps de temps pour lesquels le stock neigeux du bassin était considéré comme nul.

On verra au paragraphe suivant que le tarissement observé est dû, d'une part, à la vidange des réserves souterraines du ruisseau, d'autre part, au prélèvement continu par évapotranspiration ; cependant, l'objectif ici étant d'approcher la loi de décroissance des débits du ruisseau en absence d'alimentation ou d'exploitation de la nappe superficielle, abstraction sera faite du rôle de l'évapotranspiration sur le régime de tarissement.

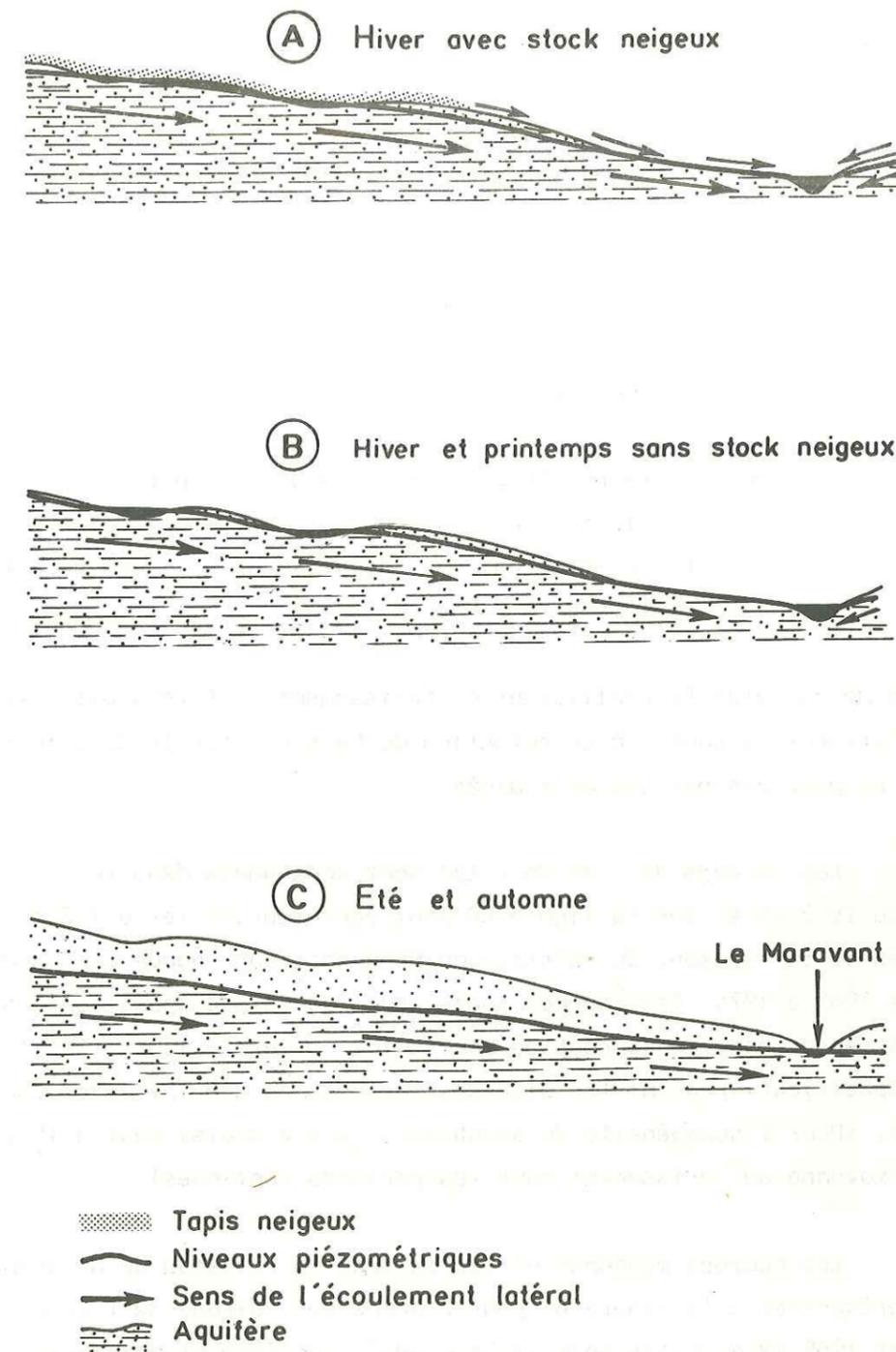


Fig. 59 - SCHEMA DE LA VIDANGE DE L'AQUIFERE LIBRE DANS LE RUISSEAU DU MARAVANT SUIVANT LES SAISONS

L'étude a été menée pour chaque saison et chaque année de la période 1965-1974, car, en fait, la nappe superficielle n'est jamais en équilibre permanent et son niveau supérieur varie avec ces saisons, voire les années pour une même époque.

La décroissance exponentielle des débits moyens journaliers est à la base des résultats (loi de Maillet).

Cette loi de Maillet, fondée sur l'équation :

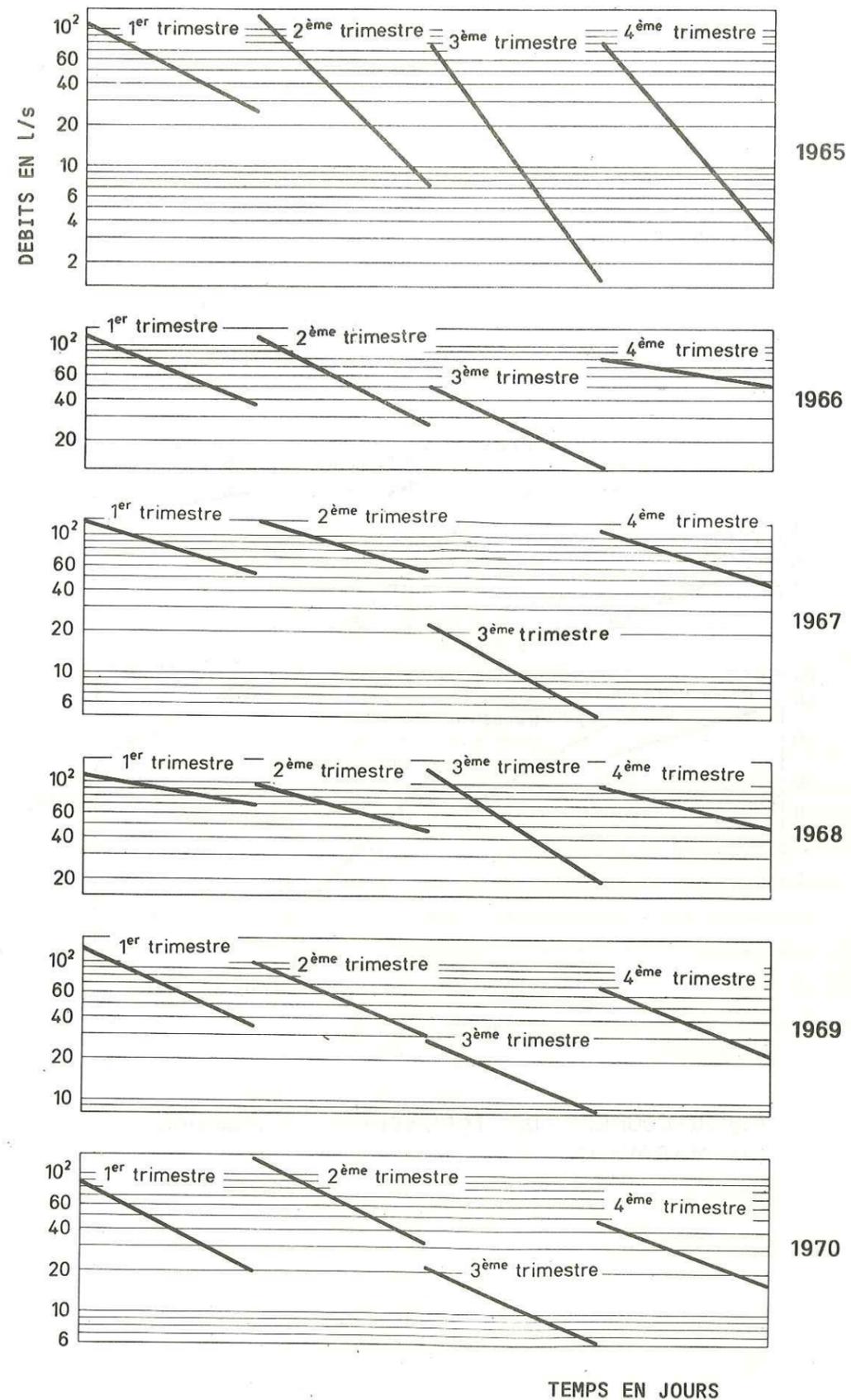
$$Q(t) = Q(o) e^{-\alpha t}$$

où $Q(t)$ est le débit à l'instant t , en l/s
 $Q(o)$, le débit au début du tarissement, en l/s
 t , le temps en jours écoulé depuis le début du tarissement

permet de calculer le coefficient de tarissement α et le débit $Q(o)$ qui caractérisent la capacité de rétention du bassin à partir de l'instant $t = 0$ et pour une période déterminée.

Les valeurs de α et de $Q(o)$ sont consignées dans le tableau IV.2.18 et sur la figure 60 sont représentées les différentes courbes de tarissement du ruisseau du Maravant pour chaque saison des années 1965 à 1974. Ces courbes sont issues de la superposition des points représentatifs de couples débits journaliers - jours ($Q(t), t$), jour après jour, pendant les diverses périodes de non influence considérées. (Pour l'homogénéité du graphique t a été choisi égal à 15 jours, durée moyenne du tarissement pour les périodes continues).

Les courbes moyennes de tarissement du ruisseau du Maravant, sont présentées à la figure 61 pour chacune des saisons de l'année moyenne 1965-1974. Elles permettent d'avoir une idée globale des variations saisonnières de la vitesse et du régime de la vidange de la nappe dans le ruisseau.



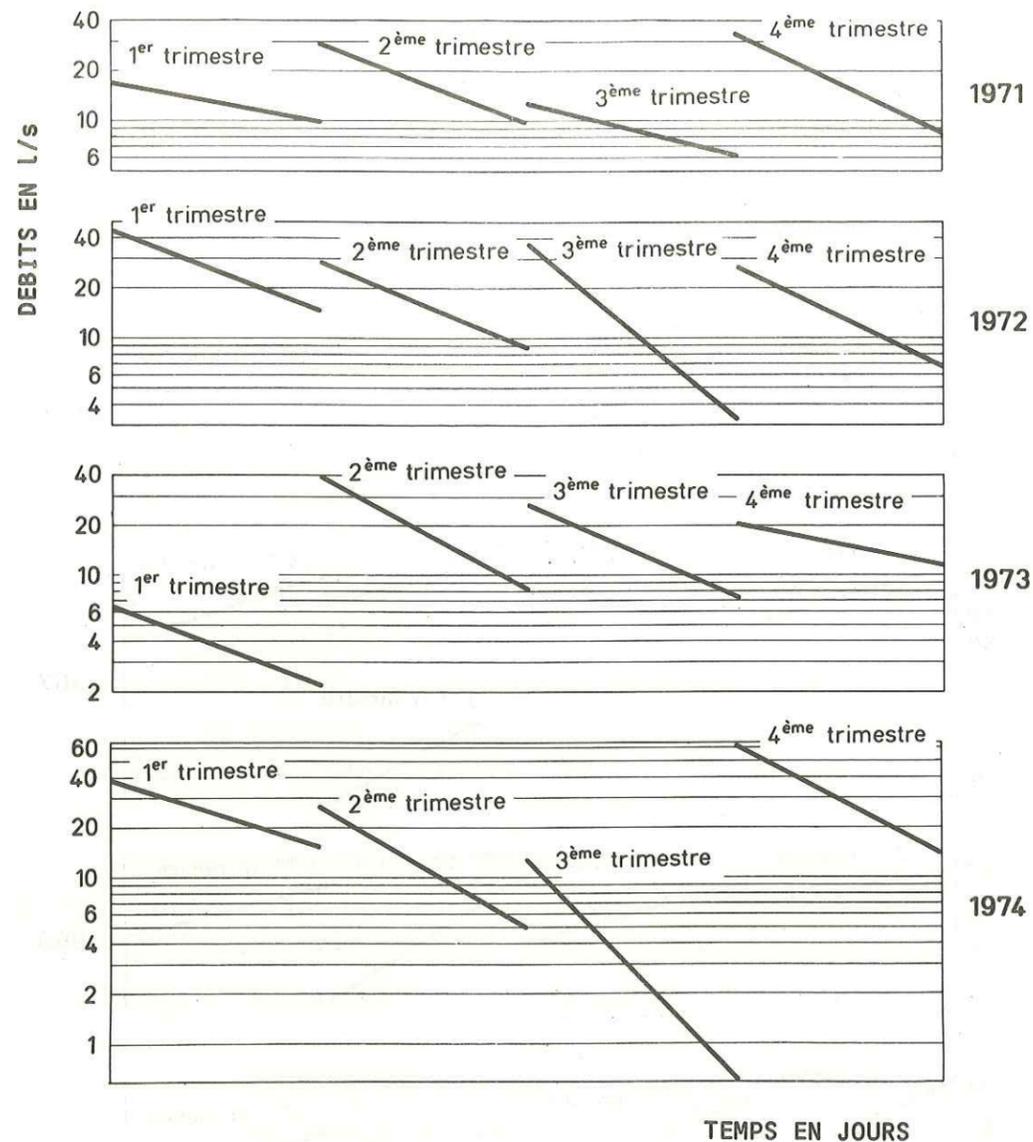


Fig. 60 - COURBES DE TARISSEMENT SAISONNIERES DU MARAVANT

ANNEES	1er TRIMESTRE		2e TRIMESTRE		3e TRIMESTRE		4e TRIMESTRE	
	Q ₀	α						
1965	106	0,098	127	0,192	77	0,262	52,4	0,068
1966	115	0,076	114	0,097	50,4	0,090	82,4	0,030
1967	124	0,056	132	0,055	23,6	0,102	114	0,060
1968	117	0,037	95	0,050	127	0,124	92,2	0,045
1969	125	0,086	99	0,083	27,8	0,082	66,2	0,075
1970	87	0,100	130	0,094	21	0,080	46	0,071
1971	16,9	0,037	24,5	0,063	12,5	0,048	32,3	0,091
1972	42,2	0,073	28,3	0,079	36,3	0,160	20,7	0,076
1973	6,51	0,071	40,3	0,103	27,5	0,087	20,9	0,040
1974	38,4	0,062	26,1	0,111	12,6	0,193	63,1	0,100
ANNEE MOYENNE	78	0,070	82	0,093	42	0,123	59	0,066

TABEAU IV.2.18. - Estimations des paramètres saisonniers de l'équation de tarissement ($Q(t) = Q_0 e^{-\alpha t}$) du ruisseau du Maravant.

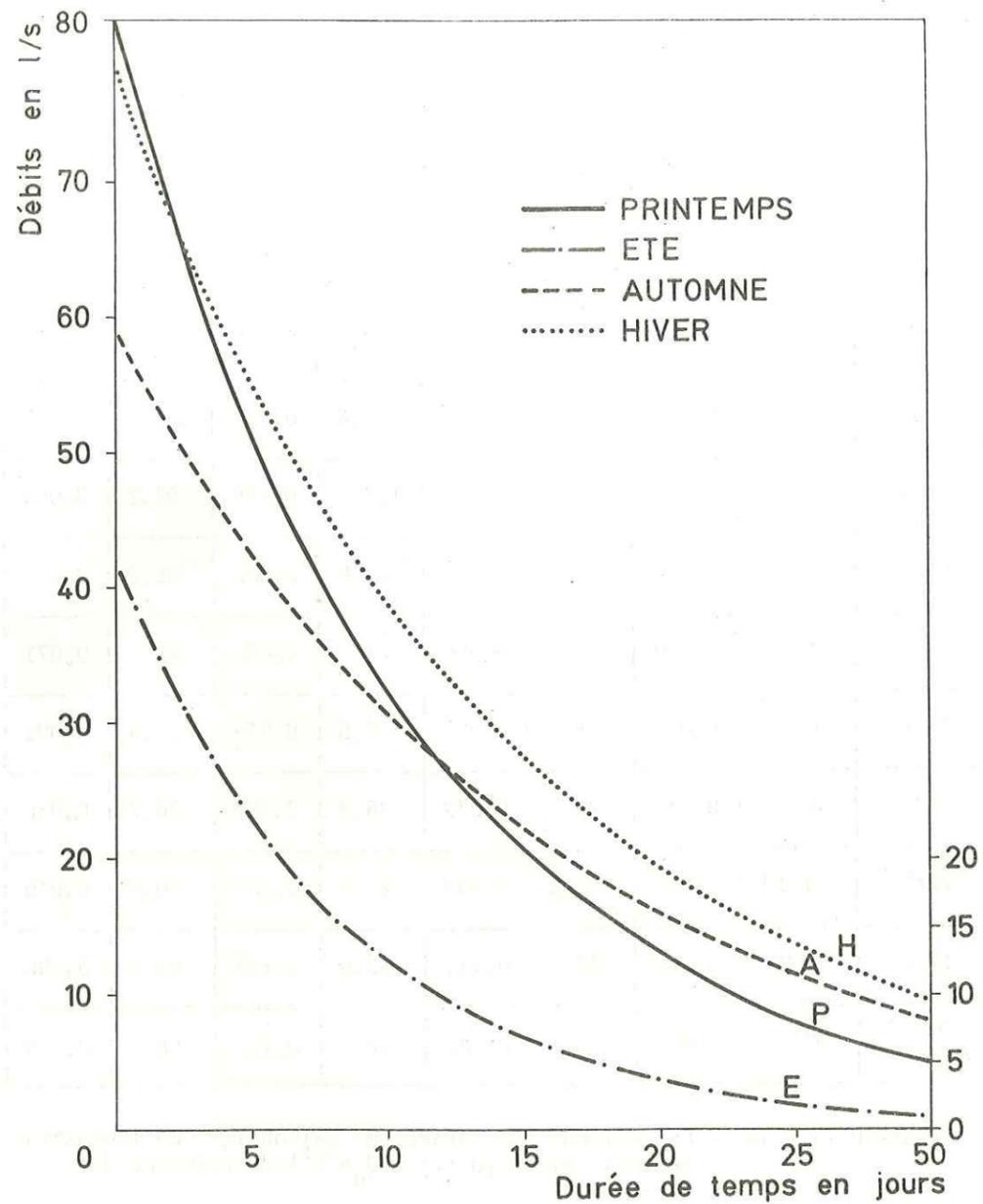


Fig. 61-COURBES MOYENNES DE TARISSEMENT DU RUISSEAU DU MARAVANT. (1965 - 1974)

L'intégration du deuxième membre de l'équation de tarissement permet d'évaluer le stock d'eau $V(o)$ disponible dans les réserves souterraines à l'instant $t = 0$ pour l'alimentation du ruisseau.

$$V(o) = \int_{t=0}^{\infty} Q(t) dt$$

$$= \frac{Q_0}{\alpha} = 86,4 \text{ (m}^3\text{)}$$

Ce volume $V(o)$ correspond, en fait, comme on le verra plus loin, à la part des réserves qui ne s'est ni évapotranspirée, ni infiltrée plus profondément. Les valeurs obtenues et consignées dans le tableau IV.2.19 sont donc des valeurs *par défaut*.

ANNEES	1er TRIMESTRE		2ème TRIMESTRE		3ème TRIMESTRE		4ème TRIMESTRE	
	VOLUME (m ³)	LAME D'EAU (mm)	VOLUME (m ³)	LAME D'EAU (mm)	VOLUME (m ³)	LAME D'EAU (mm)	VOLUME (m ³)	LAME D'EAU (mm)
1965	93 453	31	57 150	19	25 392	8	66 578	22
1966	130 736	44	101 542	34	48 384	16	237 312	79
1967	191 314	64	207 360	69	19 990	7	164 160	55
1968	273 210	91	164 160	55	88 490	29	177 024	59
1969	125 581	42	103 055	34	29 291	10	76 262	25
1970	75 168	25	119 489	40	22 680	8	55 977	19
1971	39 463	13	33 600	11	22 500	8	30 667	10
1972	52 313	17	30 950	10	19 602	7	23 532	8
1973	7 922	3	33 805	11	27 310	9	45 144	15
1974	53 512	18	20 315	7	5 641	2	54 518	18

TABLEAU IV.2.19 - Estimations saisonnières des réserves du ruisseau du Maravant en début de tarissement.

Les équivalents en lames d'eau des réserves souterraines du ruisseau ont été mis en regard des infiltrations potentielles, P - ETP, pour chacun des trimestres considérés (figure 62) ; l'examen de cette figure appelle les remarques suivantes :

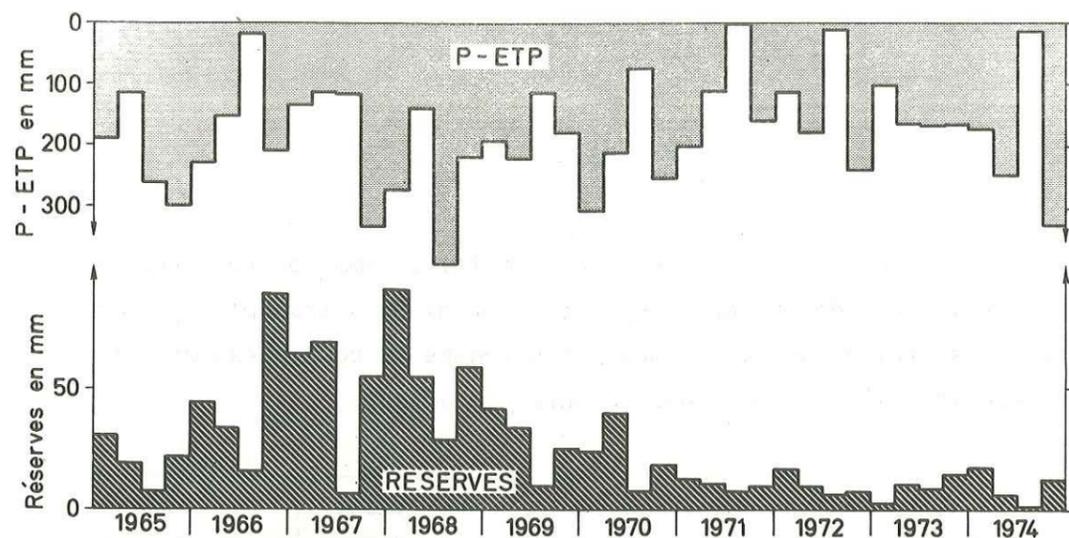


Fig.62-VARIATIONS COMPAREES DES RESERVES SUPERFICIELLES ET DE L'ÉCOULEMENT GLOBAL

- Il existe un parallélisme très net entre l'évolution dans le temps des réserves souterraines et celle des infiltrations potentielles.

- Les limites choisies (trimestres), même si elles provoquent, en particulier pour les années 1968 et 1969, un décalage des creux et pointes des graphiques, rendent bien compte du lien existant entre les deux paramètres étudiés.

- La participation des eaux précipitées de Novembre à Mars à la recharge annuelle de la nappe superficielle est prépondérante ; ce résultat rejoint celui de SIWERTZ (1973), qui trouve, pour le bassin versant des Blaves, une participation à 80 % des eaux de pluie de l'année dans la recharge annuelle, avec une très forte influence des précipitations de Décembre à Mai.

Ces phénomènes liés à l'écoulement souterrain, bien que débordant du cadre de notre étude, méritaient d'être soulignés vue l'importance qu'a la dynamique souterraine dans les mécanismes de transfert

d'eau d'un point quelconque du bassin à l'exutoire ; nous y reviendrons, d'ailleurs, par la suite.

IV.2.5. - *L'évapotranspiration et le tarissement.*

Un même bassin et c'est le cas, nous l'avons vu, pour celui du Maravant, peut présenter des courbes de tarissement dont les équations varient avec la saison pour une même année et avec l'année pour une même saison.

De plus, vers la fin du tarissement la pente de la courbe est susceptible de s'accroître brusquement, traduisant ainsi l'épuisement des réserves souterraines du ruisseau en l'absence d'alimentation. Ces cas d'épuisement, observables sur de courtes périodes pour le bassin du Maravant, n'ont pu être systématiquement exploités étant données la précision des débits aux basses eaux et l'occurrence faible d'une telle situation pendant la période d'étude.

Les variations observées peuvent être rapportées pour une grande part aux phénomènes d'évapotranspiration sur le bassin (TROXELL, 1936 ; CROFT, 1948 ; WHELAN, 1950 ; MILLER, 1965 ; SINGH, 1968).

- *Mise en évidence du rôle de l'évapotranspiration.*

En saison chaude, l'observation des limnigrammes laisse apparaître des fluctuations journalières du régime d'épuisement. Ce phénomène, déjà mis en évidence pour l'Alrance par DOSSEUR (1964), puis par REIGNER (1966) pour le bassin de Dilldown (Pennsylvanie), illustre bien les possibilités d'extraction de l'eau des réserves du ruisseau par évapotranspiration.

La longue période chaude et sans précipitations de fin Juillet-début Août 1975, a été propice à l'enregistrement de ces fluctuations. Les amplitudes de ces fluctuations furent suffisamment importantes pour permettre leur étude compte tenu de la réduction au 1/5 du limnigraphe. L'hydrogramme issu des enregistrements est construit pour la période du 28 Juillet au 9 Août (figure 63).

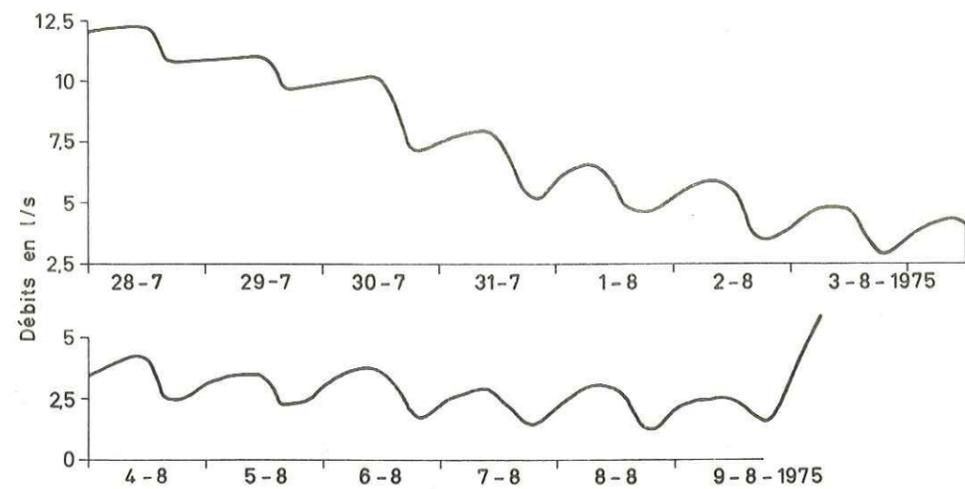


Fig. 63 - HYDROGRAMME DE TARISSEMENT DU RUISSEAU DU MARAVANT DU 28-7 AU 9-8-1975

On observe de façon régulière :

- Une diminution rapide des débits de chaque jour j de 11 heures à 19 heures environ.
- Un minimum des débits vers 19-20 heures.
- Une augmentation assez lente jusqu'à 9-10 heures du jour j + 1.

La décroissance des débits a donc lieu pendant la période de la journée où l'évapotranspiration est maximale.

Pour mieux souligner le rôle de l'ETP sur ces fluctuations, nous avons rapporté les variations de niveau de l'eau du ruisseau au rythme journalier de la température de l'air (figure 64).

Aux minima de l'hydrogramme correspondent des maxima de températures (donc d'ETP) avec un décalage variable.

De même, les maxima de l'hydrogramme suivent eux aussi les minima de températures (minima nocturnes d'ETP).

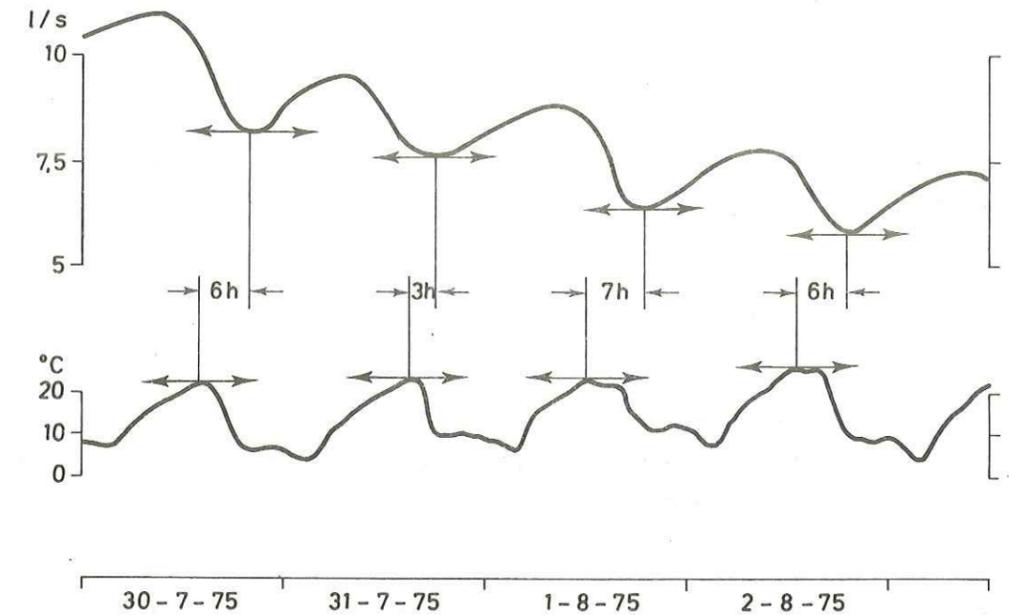


Fig. 64 - RELATIONS ENTRE LES FLUCTUATIONS DE DEBIT ET LES VARIATIONS DE LA TEMPERATURE DE L'AIR SOUS ABRI

On observe donc une suite de réajustements du niveau du ruisseau aux conditions énergétiques qui règlent l'évapotranspiration ; chaque réajustement journalier suit le schéma suivant (LANGBEIN, 1942 ; TSCHINKEL, 1963) :

- Quand l'évapotranspiration est importante, elle provoque un abaissement local du niveau de la nappe sur une distance variable de part et d'autre du ruisseau.
- La nuit, l'évapotranspiration diminue et le niveau de la nappe superficielle se réajuste avant de subir un nouveau battement le jour suivant.

Ce schéma général est illustré par la figure 65.

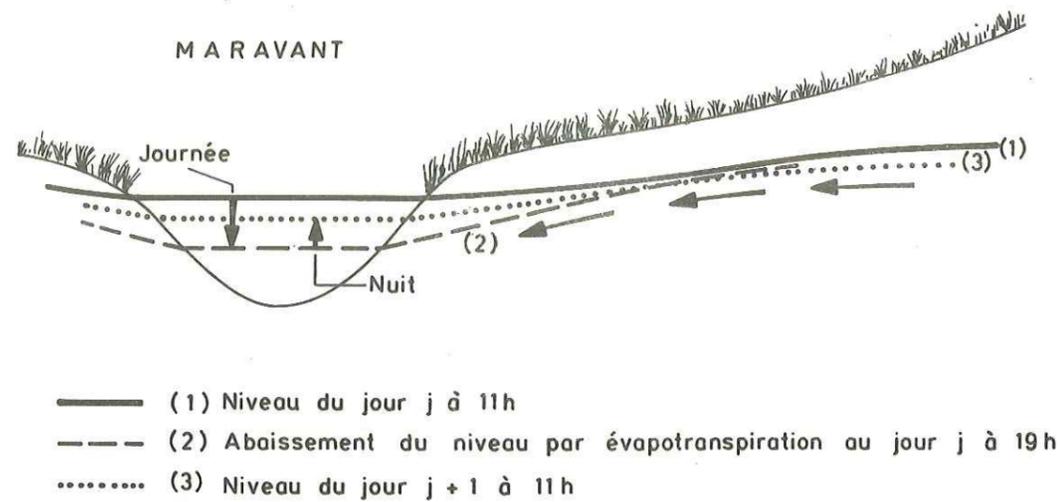


Fig. 65 - FLUCTUATIONS DU NIVEAU DE L'EAU EN REGIME DE TARISSEMENT

L'étude quantitative de ce phénomène sur le bassin du Maravant est pratiquement impossible étant donné l'occurrence faible des longues périodes de non influence, le manque de repères piézométriques qui permettraient d'estimer les zones soumises aux fluctuations du niveau de la nappe et surtout la forte réduction du limnigraphe.

L'exemple considéré a permis toutefois de mettre l'accent sur la cause essentielle de la variation des paramètres de tarissement qu'est l'évapotranspiration sur le bassin.

Le schéma général des rapports entre l'évapotranspiration et le tarissement des réserves souterraines du ruisseau est donné par la figure 66. Il indique les trois types de décroissance de débits en période de non-influence.

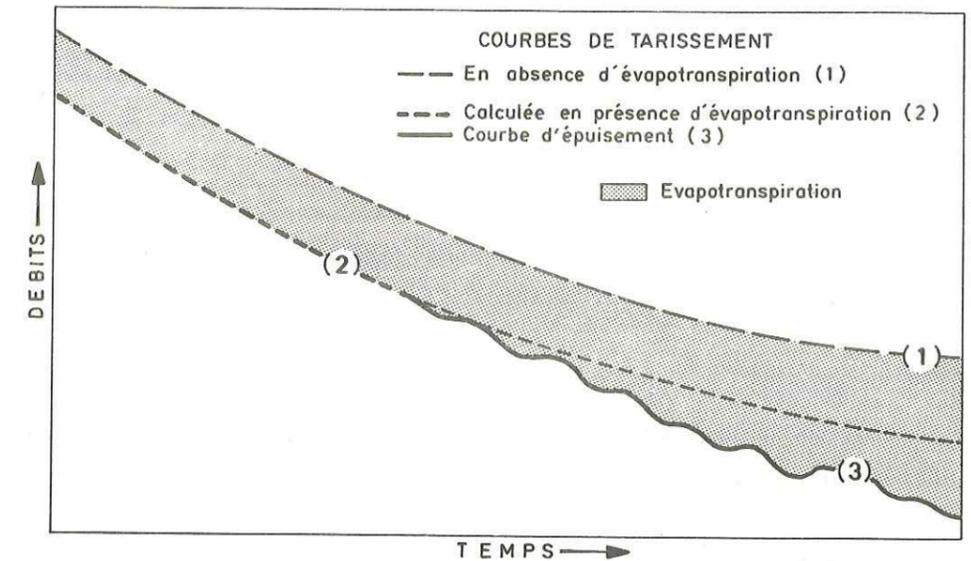


Fig. 66 - SCHEMA DES RAPPORTS ENTRE L'EVAPOTRANSPIRATION ET LE TARISSEMENT EN REGIME NON INFLUENCE

Le type 1 correspond au tarissement en absence d'évapotranspiration ; il est purement théorique et peut être approché en période froide.

Le type 2 est issu du calcul des paramètres de tarissement à partir des enregistrements limnigraphiques ; il correspond à la décroissance réelle des débits sous l'influence de l'ETP.

Le type 3 représente la partie terminale de la courbe du type précédant : c'est la courbe d'épuisement qui montre souvent des fluctuations journalières.

- Estimation de l'évapotranspiration en période de tarissement sans épuisement.

On considérera que les courbes de tarissement d'hiver (s.l.) sont représentatives d'une vidange sous évapotranspiration limitée, voire nulle (approximation légitime en valeur relative).

Sachant qu'une des formulations de la décroissance des débits en période non influencée est :

$$Q(t) = Q(t_0) \cdot e^{-\alpha t}$$

et que les paramètres $Q(t_0)$ et α ont des valeurs saisonnières données pour une même année, on peut approcher les équations de décroissance des débits pour les périodes hivernales, $Q_H(t)$, et les périodes estivales $Q_E(t)$.

Deux cas s'observent généralement et correspondent aux couples d'inégalités suivants :

$$(1) \quad Q_E(t_0) < Q_H(t_0) \quad , \quad \alpha_H < \alpha_E$$

$$(2) \quad Q_H(t_0) < Q_E(t_0) \quad , \quad \alpha_H < \alpha_E$$

De plus, le volume $[V]_{t_1}^{t_2}$ écoulé entre les instants t_1 et t_2 est :

$$[V]_{t_1}^{t_2} = \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt$$

$$= \frac{Q(t_0)}{\alpha} \cdot (e^{-\alpha t_1} - e^{-\alpha t_2})$$

D'après la loi de Darcy, $Q = -k \cdot \text{Grad } h$, on peut admettre qu'à charge, h , égale correspondent des débits $Q_E(t)$ et $Q_H(t)$ égaux et des volumes stockés eux aussi égaux.

Si l'on considère les deux lois de décroissance $Q_H(t)$ et $Q_E(t)$, on peut admettre qu'à l'instant t_i ou $Q_H(t_i) = Q_E(t_0)$ pour le cas (1) (ou bien t_j où $Q_E(t_j) = Q_H(t_0)$ pour le cas (2)) le volume hivernal stocké est égal au volume des réserves au début du tarissement estival.

Prenant l'instant t_0 pour origine, la différence ΔV entre le volume écoulé en hiver, V_H , (volume intégral à évapotranspiration limitée) et le volume écoulé en été, V_E , (volume résiduel après évapotranspiration sur t jours) représente le surplus de l'ET estivale rapporté à l'ET hivernale.

Si on admet que $ET_H = 0$, cette différence de volume correspond à l'ET estivale (ET = évapotranspiration).

Pour le cas (1), ce volume est indiqué à la figure 67.

- Calcul de l'évapotranspiration sur t jours ET_t .

Partant des lois de décroissance hivernale $Q_H(t)$ et estivale $Q_E(t)$ et $t_0 = 0$

$$Q_H(t) = Q_H(0) \cdot e^{-\alpha_H \cdot t} \quad (1)$$

$$Q_E(t) = Q_E(0) \cdot e^{-\alpha_E \cdot t} \quad (2)$$

cherchons l'instant t_i tel que $Q_H(t_i) = Q_E(0)$

$$Q_H(0) \cdot e^{-\alpha_H \cdot t_i} = Q_E(0) \quad (3)$$

soit donc :

$$t_i = -\frac{1}{\alpha_H} \cdot \text{Ln} \left(\frac{Q_E(0)}{Q_H(0)} \right) = \frac{1}{\alpha_H} \cdot \text{Ln} \left(\frac{Q_H(0)}{Q_E(0)} \right)$$

(le calcul est fait pour le cas (1), il se conduit de la même façon pour le cas (2)).

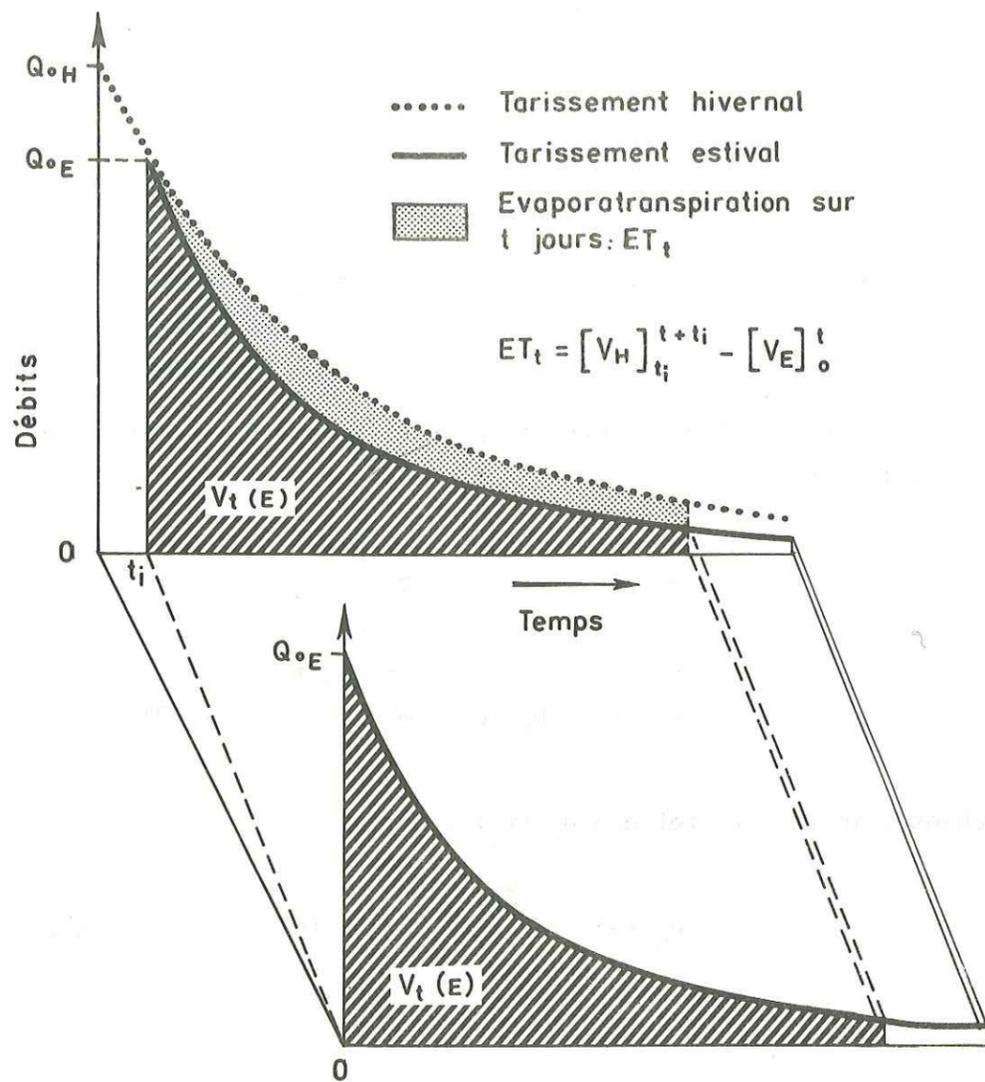


Fig. 67 - ESTIMATION DES PRELEVEMENTS AUX RESERVES SOUTERRAINES A PARTIR DES COURBES DE TARISSEMENT SAISONNIERES

- Volume écoulé sur t jours en été :

$$V_E = \int_0^t Q_E(t) \cdot dt = \frac{Q_E(0)}{\alpha_E} (1 - e^{-\alpha_E \cdot t})$$

- Volume écoulé sur t jours (ti à t + ti) en hiver :

$$V_H = \frac{Q_H(0)}{\alpha_H} \left[e^{-\alpha_H t_i} - e^{-\alpha_H (t + t_i)} \right]$$

d'après (3) :

$$V_H = \frac{Q_H(0)}{\alpha_H} \cdot \frac{Q_E(0)}{Q_H(0)} \cdot (1 - e^{-\alpha_H \cdot t})$$

$$V_H = \frac{Q_E(0)}{\alpha_H} \cdot (1 - e^{-\alpha_H \cdot t})$$

- Calcul de ETt :

$$ET_t = V_H - V_E$$

$$ET_t = \frac{Q_E(0)}{\alpha_H} \cdot (1 - e^{-\alpha_H \cdot t}) - \frac{Q_E(0)}{\alpha_E} \cdot (1 - e^{-\alpha_E \cdot t})$$

d'où :

$$ET_t = Q_E(0) \cdot \left(\frac{1 - e^{-\alpha_H \cdot t}}{\alpha_H} - \frac{1 - e^{-\alpha_E \cdot t}}{\alpha_E} \right)$$

Un calcul similaire pour le cas (2) conduit à :

$$ET_t = Q_H(0) \cdot \left(\frac{1 - e^{-\alpha_H \cdot t}}{\alpha_H} - \frac{1 - e^{-\alpha_E \cdot t}}{\alpha_E} \right)$$

Le taux de prélèvement aux réserves superficielles par évapotranspiration croît donc avec la durée du tarissement en tendant vers une limite égale à :

$$ET_{Max} = Q_E (o) \cdot \frac{\alpha_E - \alpha_H}{\alpha_E \cdot \alpha_H} \quad (\text{cas (1)})$$

ou bien :

$$ET_{Max} = Q_H (o) \cdot \frac{\alpha_E - \alpha_H}{\alpha_E \cdot \alpha_H} \quad (\text{cas (2)})$$

Ces prélèvements par évapotranspiration en période de non-influence, ainsi que leur limite, sont donc d'autant plus importants que le tarissement est plus précoce.

On peut ainsi estimer l'évapotranspiration relative à toute période de tarissement de t jours sur des durées de 1 à t jours ; les seules données nécessaires au calcul étant les paramètres d'une courbe de tarissement d'hiver choisie en référence (ET ≈ 0) et pouvant correspondre à α minimum, et ceux de la période étudiée. Les valeurs obtenues sont des estimations très légèrement par défaut.

La méthode a été appliquée au bassin du Maravant et nous présentons à la figure 68a l'abaque permettant d'estimer les prélèvements par évapotranspiration aux réserves souterraines du ruisseau sur une période de 15 jours en prenant α_H = 0,030 (minimum observé de 1965 à 1974) et en fonction du coefficient de tarissement saisonnier et du débit au début de ce tarissement (Q (o) < 82,4 l/s).

Un abaque identique (figure 68b) a été construit afin de fournir les prélèvements maxima possibles.

Nous noterons que ces résultats concernent un stock d'eau souterrain (à faible profondeur) subissant un écoulement ; il s'agit donc d'eau gravitaire, par opposition aux réserves souterraines du bassin lui-même, mobilisables par osmose au niveau des plantes ou par évaporation si l'énergie nécessaire à l'extraction de l'eau contenue dans ces réserves est suffisante.

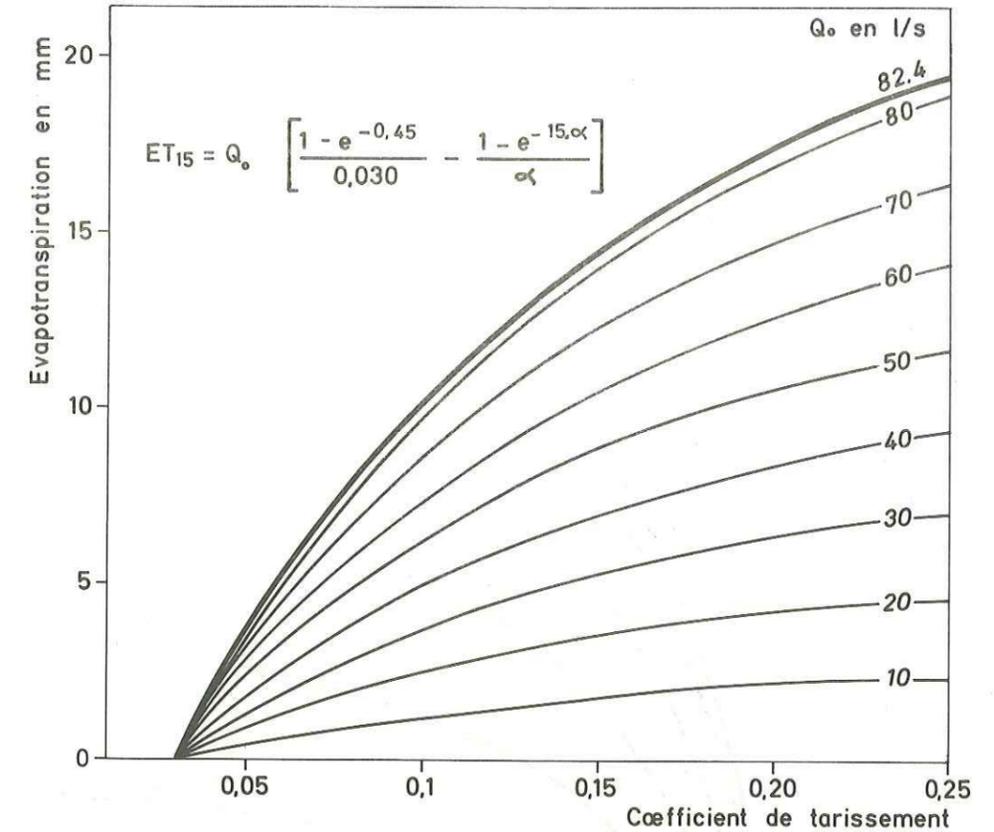


Fig.68 a - PRELEVEMENTS PAR EVAPOTRANSPIRATION AUX RESERVES SOUTERRAINES DU MARAVANT POUR 15 JOURS DE TARISSEMENT.

IV.3. - CONSIDERATIONS GENERALES SUR L'ECOULEMENT GLOBAL.

Le terme écoulement global (noté Q_G) sera employé pour désigner la valeur correspondant à la lame d'eau non évapotranspirée, c'est-à-dire l'équivalent de la recharge efficace.

$$Q_G = P - ET$$

Dans les cas où l'on dispose des valeurs mensuelles des précipitations (P) et de l'évapotranspiration (ET), deux démarches sont possibles pour aboutir à la valeur annuelle de Q_G.

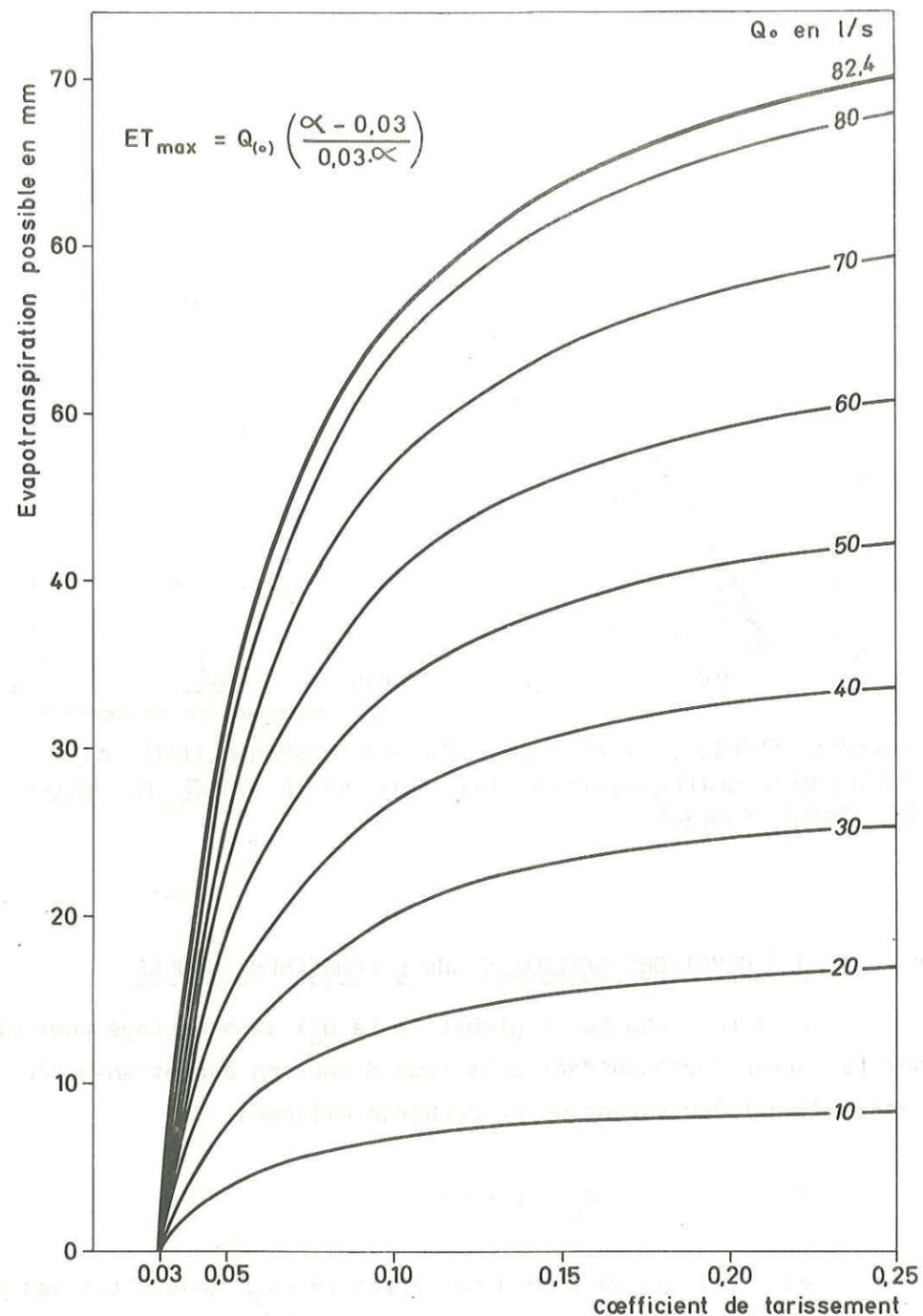


Fig. 68 b - PRELEVEMENTS MAXIMA PAR EVAPOTRANSPIRATION AUX RESERVES SOUTERRAINES DU MARAVANT EN PERIODE DE TARISSEMENT.

La première méthode, proposée par THORNTHWAITE et couramment utilisée, consiste à tenir compte des ressources en eau du sol, ressources fixées à 100 mm, 150 mm, 200 mm, voire 300 mm sel on les auteurs ; la méthode est basée sur les concepts suivants :

- Lorsque les précipitations du mois sont supérieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP), l'évapotranspiration réelle (ETR) est égale à ETP et le surplus d'eau constitue l'écoulement global réparti en infiltration vers les nappes profondes et écoulement dans le réseau de surface.

- Les ressources en eau du sol interviennent lorsque les précipitations du mois sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle ; en effet, si, $P < ETP$, les phénomènes d'évaporation utilisent d'abord P , puis éventuellement un complément emprunté à la réserve du sol et l'écoulement sera nul.

- Si surviennent des précipitations à un moment où les réserves sont déjà atteintes, une partie de P (ou sa totalité) servira en priorité à l'évapotranspiration, puis à combler le déficit ΔR des réserves du sol et enfin à l'écoulement global si $P > ETP + \Delta R$.

Un tel processus souffre de nombreuses simplifications et d'hypothèses qui appellent les remarques suivantes :

1) Sous climats arides, semi-arides ou méditerranéens, l'application de la méthode conduit le plus souvent à des réserves mensuelles du sol toujours nulles et à une absence totale d'écoulement, résultats qui s'accordent difficilement aux faits.

2) Le prélèvement dans les réserves du sol par évapotranspiration suit une loi de type exponentiel ou hyperbolique et qui varie avec l'état de saturation d'un sol considéré ; la soustraction aux réserves du sol de l'équivalent du déficit $ETP - P$ est donc impropre car une partie de l'énergie disponible est utilisée pour les phénomènes d'extraction et de succion de l'eau (voir annexe 3).

3) Les phénomènes d'infiltration pendant la période estivale d'occurrence des violents orages sont, comme le montrent les travaux de GUEGAN (1972) et de SIWERTZ (1973), en grande partie liés à la

macroporosité des sols ; l'infiltration rapide qui a lieu en été peut donc intervenir alors que le déficit des réserves du sol n'est pas comblé en totalité.

4) Un même total de pluie, supérieur à l'ETP mensuel, supposé réparti, d'une part, régulièrement sur un mois donné et, d'autre part, sur deux ou trois jours consécutifs de ce même mois ne peut en aucun cas satisfaire l'évapotranspiration potentielle de façon identique.

La deuxième méthode, utilisée au C.R.G., consiste à négliger l'état des réserves du sol et à considérer ainsi que l'écoulement global est proche de la somme des termes positifs de la série des valeurs de $P - ETP$; donc :

$$Q_G = \sum (P - ETP) \quad \text{avec } P - ETP > 0$$

une telle approche, plus proche de la réalité que la précédente, permet de justifier, en travaillant à une échelle de temps adéquate (fonction du régime des précipitations), les faits d'observation.

L'utilisation de cette méthode dans la région Thonon-Evian est d'autant plus justifiée que les réserves du sol sont rarement (et de très peu) sollicitées. Son application à l'échelle mensuelle au bassin du Maravant a conduit aux valeurs d'écoulement global suivantes :

ANNEES	ECOULEMENTS GLOBAUX (mm)	ANNEES	ECOULEMENTS GLOBAUX (mm)
1965	921	1970	876
1966	663	1971	517
1967	706	1972	568
1968	1 029	1973	599
1969	734	1974	787

Nous avons relié ces valeurs à celles des précipitations annuelles P . La courbe de régression obtenue a l'équation suivante :

$$Q_G = 0,029 \cdot P^{1,43} \quad (r = 0,991, 10 \text{ couples})$$

et est représentée à la figure 69.

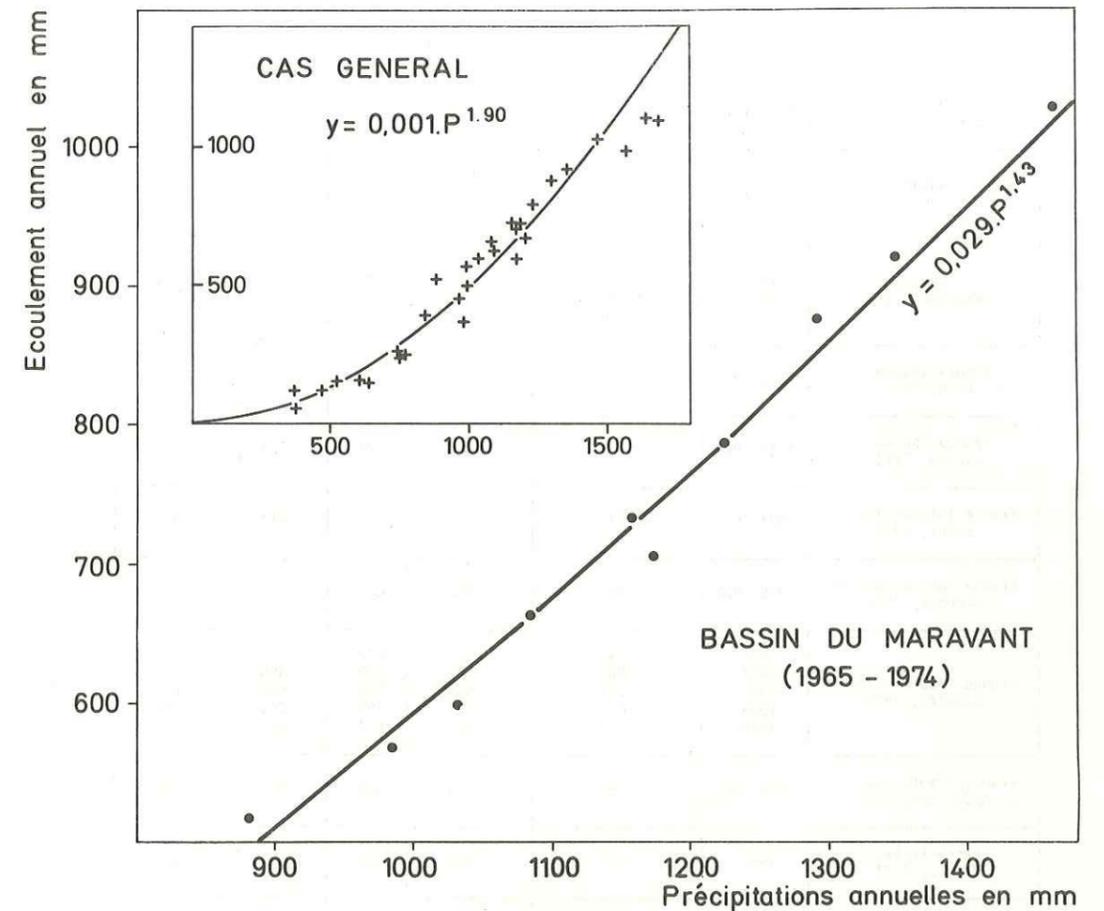


Fig.69-RELATION ENTRE LES VALEURS ANNUELLES DES PRECIPITATIONS ET L'ECOULEMENT GLOBAL

A partir des données recueillies dans divers travaux et reportées dans le tableau IV.3.1. (OLIVE, communication personnelle), on aboutit à une courbe de régression plus générale et d'équation suivante :

$$Q_G = 0,001 \cdot p^{1,90} \quad (r = 0,973, 30 \text{ couples})$$

LOCALISATIONS ET AUTEURS	ANNEES	PRECIPITATIONS P (mm/an)	EVAPOTRANSPIRATIONS THORNTHWAITE (mm/an)		ECOULEMENTS q (mm/an)	
			POTENTIELLE ETP	REELLE ETR	P - ETR	P - ETP > 0
Tunisie Elbatti, 1974	1957-1972	376	1 010	376	0	52
Espagne Martinez Gil, 1968	1948-1962	606	680	606	0	163
		369	803	369	0	122
		640	746	640	0	152
Espagne Lefoncour, 1968	1952 1950 1951 1967	470	886	422	48	117
		752	858	588	164	244
		1 167	795	642	525	599
		740	754	429	311	257
France (Somme) Beun, 1973	1971-1972	526	529	460	66	152
France (Rhône) Guégan, 1972	1947-1969	774	776	638	136	245
France (Hautes-Alpes) Duluc, 1973	1971-1972	1 090	576	576	514	633
France (Haute-Savoie) Blavoux, 1966	1946-1962	984	667	667	317	371
France (Haute-Savoie) Sivertz, 1973	1966 1967 1968 1969 1970	992	632	632	380	496
		963	595	595	368	453
		1 201	555	555	646	657
		837	594	594	243	390
		1 083	624	624	459	617
France (Haute-Savoie) Ardestani, 1965	1936-1960	1 561	569	569	992	992
France (Isère) Michel, 1971	1968	1 635	562	562	1 073	1 111
France (Massif Central) Buëno Romero, 1969	1914-1968	1 684	599	599	1 085	1 085

TABLEAU IV.3.1. - Paramètres liés à l'évapotranspiration et à l'écoulement sur divers bassins

De telles liaisons, très significatives, entre l'écoulement global annuel, c'est-à-dire, l'infiltration et/ou le ruissellement, et les précipitations annuelles sont des encouragements à la recherche d'un modèle de relation Précipitations - Ecoulements qui tiendrait compte de chacune des phases du cycle hydrologique, en particulier, de la dynamique de l'eau dans le sol et surtout dans la nappe superficielle.

IV.4. - LES COUPLES AVERSES-CRUES DU MARAVANT.

Les réactions du ruisseau du Maravant aux épisodes pluvieux dépendent, de par la morphologie et les caractéristiques pédologiques du bassin, d'un grand nombre de paramètres qui rendent difficile l'étude des mécanismes de formation de l'écoulement à partir des pluies.

Dans la suite, nous n'étudierons que les averses suffisamment importantes pour avoir provoqué un gonflement sensible sur le limnigramme ; nous ne considérerons que des précipitations sous forme de pluies et pendant des périodes où l'absence de stock neigeux sur le bassin est certaine. On appellera *crue* toute réaction du ruisseau à une averse de durée et d'intensité telles que l'on puisse observer, de façon distincte sur l'hydrogramme résultant, les trois caractéristiques essentielles suivantes :

- Une courbe de concentration.
- Un débit de pointe.
- Une courbe de décrue (voir définitions au chapitre IV.4.2.).

Les crues étudiées sont donc toutes des crues d'averses.

IV.4.1. - Conditions d'apparition des crues.

Les crues sur le bassin correspondent à une partie de la pluie qui a ruisselé en surface, à un volume d'eau subissant un ruissellement retardé (ou hypodermique) et enfin à la restitution par la nappe superficielle d'une certaine quantité d'eau non nécessairement issue directement de la pluie responsable. Ces écoulements mettent en jeu deux types de fonctions :

- Une fonction de rendement permettant de passer de la hauteur de pluie à la lame d'eau écoulée.

- Une fonction de transfert qui module dans le temps la hauteur d'eau écoulée et mène aux hydrogrammes relevés à l'exutoire du bassin.

L'occurrence des crues dépend de la durée et de l'intensité des averses qui les provoquent ainsi que de l'état d'humidité des sols et de l'évapotranspiration potentielle au début de l'épisode pluvieux ; la recherche pour le bassin du Maravant de la précipitation limite au-dessous de laquelle on n'observe aucun écoulement n'a pas donné de résultats satisfaisants, les valeurs observées, très variables, ne présentent aucun groupement saisonnier ; ces valeurs sont comprises entre 1 et 8 mm.

Cette variabilité est à mettre en partie en parallèle avec celle du taux d'interception des faibles précipitations (cf. § III.4.4.) ; en effet, les pourcentages d'interception observés pour des hauteurs de pluies brutes inférieures à 10 mm sont compris entre 3 % et 100 %. Les mécanismes d'interception d'une partie des averses jouent donc un rôle important dans la définition des limites de la fonction de rendement définie précédemment.

La fonction de transfert sera influencée principalement par la morphologie du bassin et la présence des sols marécageux à grand pouvoir de rétention ; les zones à faible pente et les parties relativement basses du bassin, plus ou moins marécageuses, seront des zones de rétention privilégiées et des réservoirs de stockage importants permettant un transit plus ou moins long de l'eau issue des averses.

Dans tous les cas, la question du *degré d'humidification* du bassin à chaque instant, est essentielle. Nous verrons que pour le bassin du Maravant, l'indice idéal pour l'estimation de ce degré d'humidité, en absence de toute mesure d'humidité, est le débit de base précédant la crue. Toutefois, aucune relation entre l'apparition d'une crue et le débit de base qui la précède n'a pu être mise en évidence, ni même esquissée.

En définitive, il apparaît que les différents facteurs qui conditionnent l'occurrence d'une crue sur le bassin agissent simultanément et ne peuvent rendre compte, s'ils sont considérés de façon isolée, des conditions limites d'apparition d'une crue.

Compte tenu de ces résultats, nous avons retenu pour l'étude un certain nombre d'événements bien individualisés et pour lesquels les données fournies par les appareils sont sûres. Les pluies responsables des réactions étudiées ont des hauteurs qui varient entre 3 mm et 100 mm environ.

IV.4.2. - *L'hydrogramme caractéristique du Maravant.*

L'hydrogramme de crue théorique est une figure bien établie à laquelle sont associées un certain nombre de caractéristiques se rapportant soit à l'hydrogramme lui-même, soit à l'ensemble hydrogramme-hydrogramme de l'événement averse-crue.

Nous présentons ci-après (figure 70) le schéma classique tel qu'il est décrit dans tous les ouvrages théoriques de base ainsi que les significations des paramètres qui lui sont liés.

Les bases des recherches sur l'hydrogramme caractéristique d'un bassin sont fondées sur l'utilisation d'un opérateur de transfert à des fins prévisionnelles et qui peut être mis en route sans tenir compte des mécanismes qui président ce transfert.

La méthode de l'hydrogramme unitaire (SHERMAN, 1932, 1941) suppose un opérateur linéaire et admet le concept de superposition ; Or, les caractéristiques morphologiques et pédologiques du bassin du Maravant excluent a priori la linéarité de la fonction de transfert ; de plus, les principes sur lesquels est fondée la méthode s'appliquent exclusivement à la fraction du débit global à l'exutoire apportée par le seul ruissellement de surface qui est considéré comme prépondérant ; or, comme l'a souligné OLIVE (1970), la participation de l'écoulement souterrain à l'écoulement global relevé à l'exutoire est importante dans la région, en général, et pour le bassin du Maravant en particulier.

Les autres méthodes, méthode rationnelle (REMENIERAS, 1960), méthode synthétique (LARRIEU, 1957), permettent la détermination de l'hydrogramme de crue à partir des précipitations ; elles intéressent surtout les prévisionnistes.

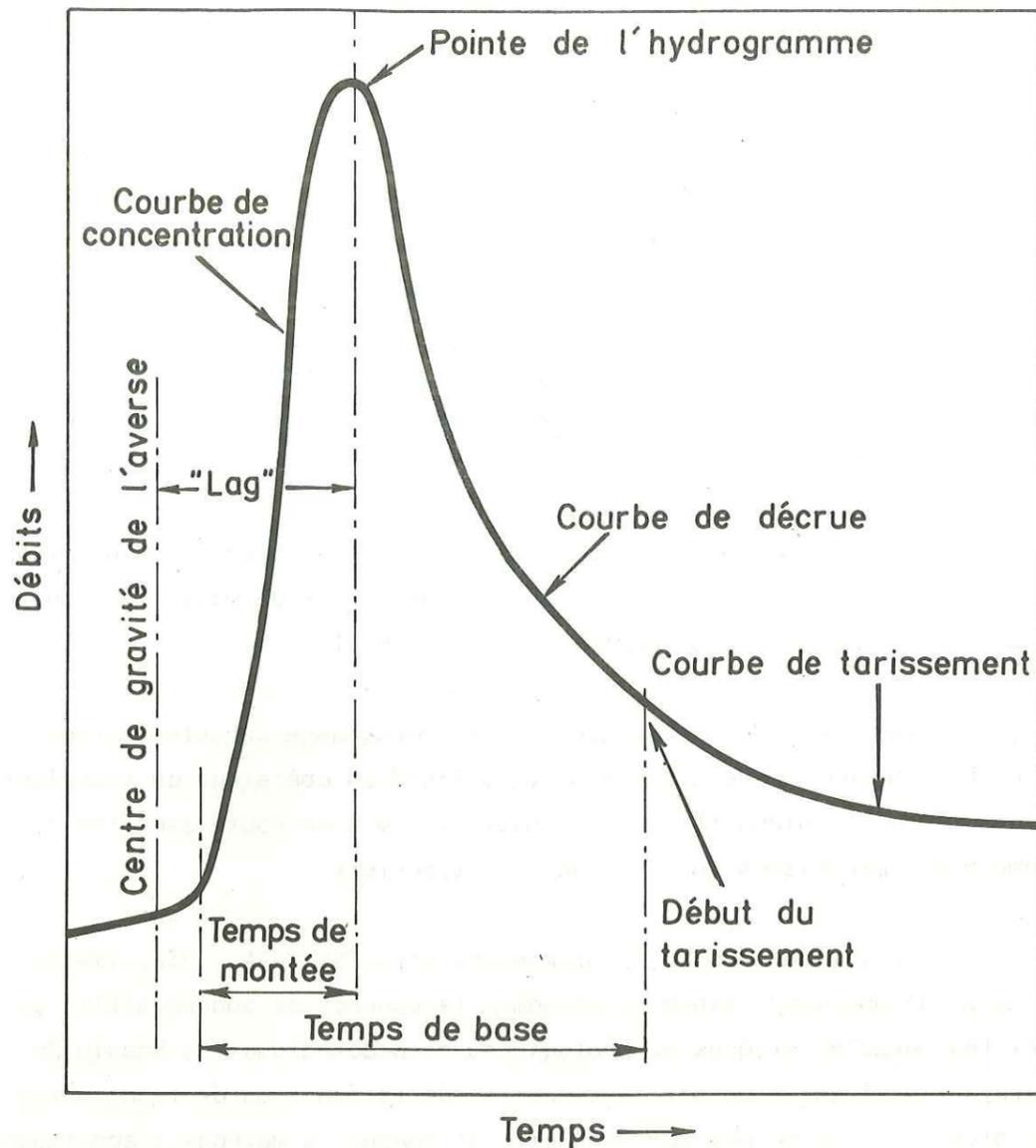


Fig: 70 - LES DIVERSES CARACTERISTIQUES DE L'HYDROGRAMME THEORIQUE

Pour notre part et compte tenu des données à disposition, nous caractériserons les crues sur le bassin du Maravant essentiellement par les paramètres suivants :

- Le temps de montée.
- Le débit de pointe.
- La courbe de décroissance.

La fonction de rendement sera approchée par le biais des coefficients de ruissellement observés.

Les résultats présentés concernent les événements répertoriés au tableau IV.4.1. présenté en annexe.

1) Les temps de montée.

Les seuls temps de montée considérés concernent les crues simples ayant pu être bien individualisées (on distinguera les crues simples dont les hydrogrammes présentent chacun une pointe unique et les crues complexes à plusieurs pointes de crue).

Ce paramètre est fonction de la lame d'eau précipitée ayant donné naissance à la crue et possède une valeur limite inférieure égale à 2 h environ pour les pluies de courte durée et de forte intensité.

La figure 71 présente une esquisse de liaison entre les temps de montée, les hauteurs d'averses responsables des crues et l'intensité maximale, en mm/h, observée au cours de l'averse considérée.

Pour une averse d'intensité maximale donnée, le temps de montée croît linéairement avec la hauteur de pluie.

Pour une lame d'eau précipitée donnée, le temps de montée est d'autant plus grand que l'intensité maximale de l'averse est plus faible.

2) Les débits de pointe.

Les débits de pointe ont été étudiés autant pour les crues simples que pour les crues complexes ; en effet, la plupart des réactions complexes ont présenté plusieurs pointes de crue bien individualisées ; on admettra, en outre, que tout minimum de débit compris entre deux pointes successives d'un même événement complexe correspond à la période d'accalmie maximale de l'épisode pluvieux à cause de la forme du bassin ; on peut ainsi rattacher chaque pointe de crue à la précipitation, ou la partie de la précipitation, qui l'a engendrée.

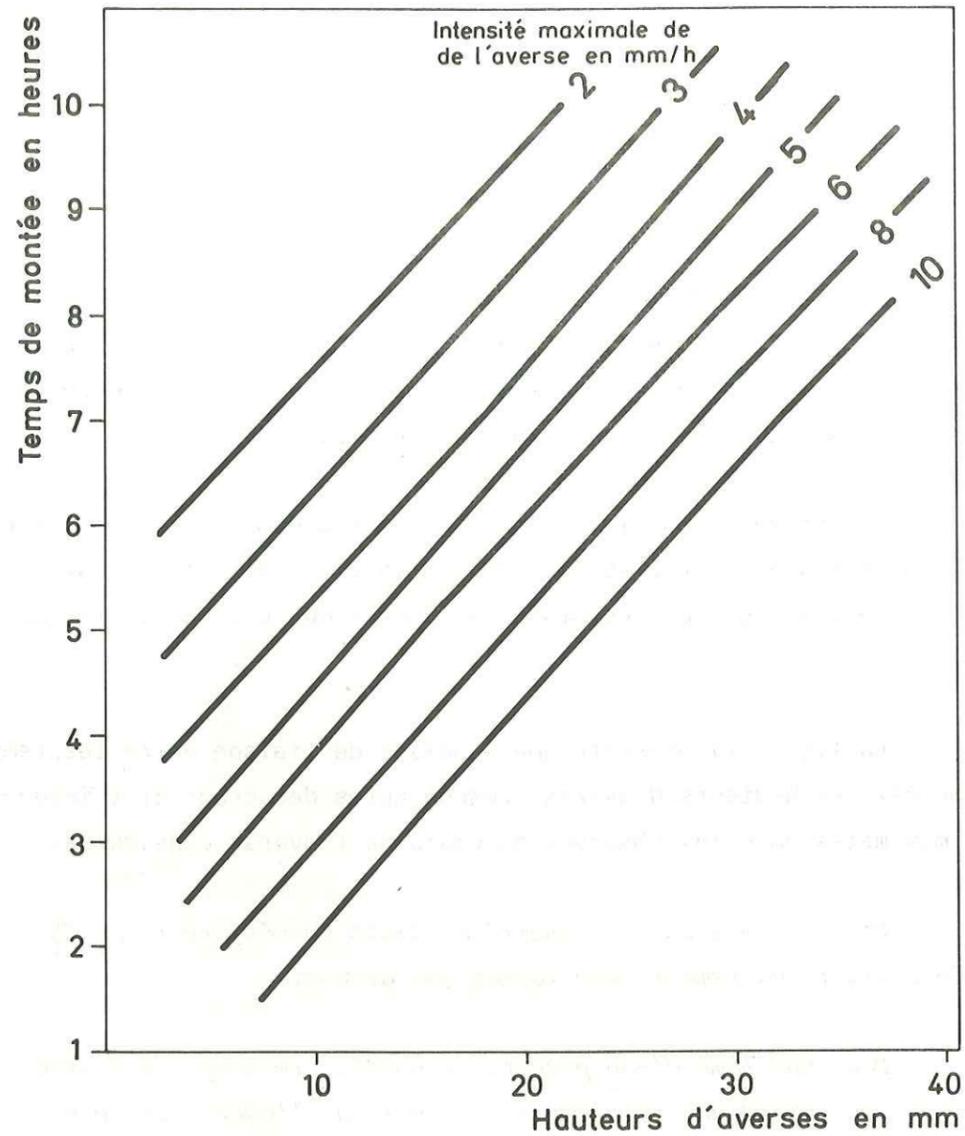


Fig. 71 - ESQUISSE DE REGRESSION ENTRE LES TEMPS DE MONTEE, LES HAUTEURS D'AVERSES ET LES INTENSITES MAXIMALES DE CES AVERSES

La relation entre les débits de pointe et les hauteurs d'averses ou de parties d'averses est présentée à la figure 72 ; le paramétrage du plan étant réalisé avec le débit de base en début de crue ou le débit qui précède la remontée. Ces débits initiaux caractérisent le degré d'humidité des sols et le stock d'eau disponible dans le réseau de surface. On note les faits suivants :

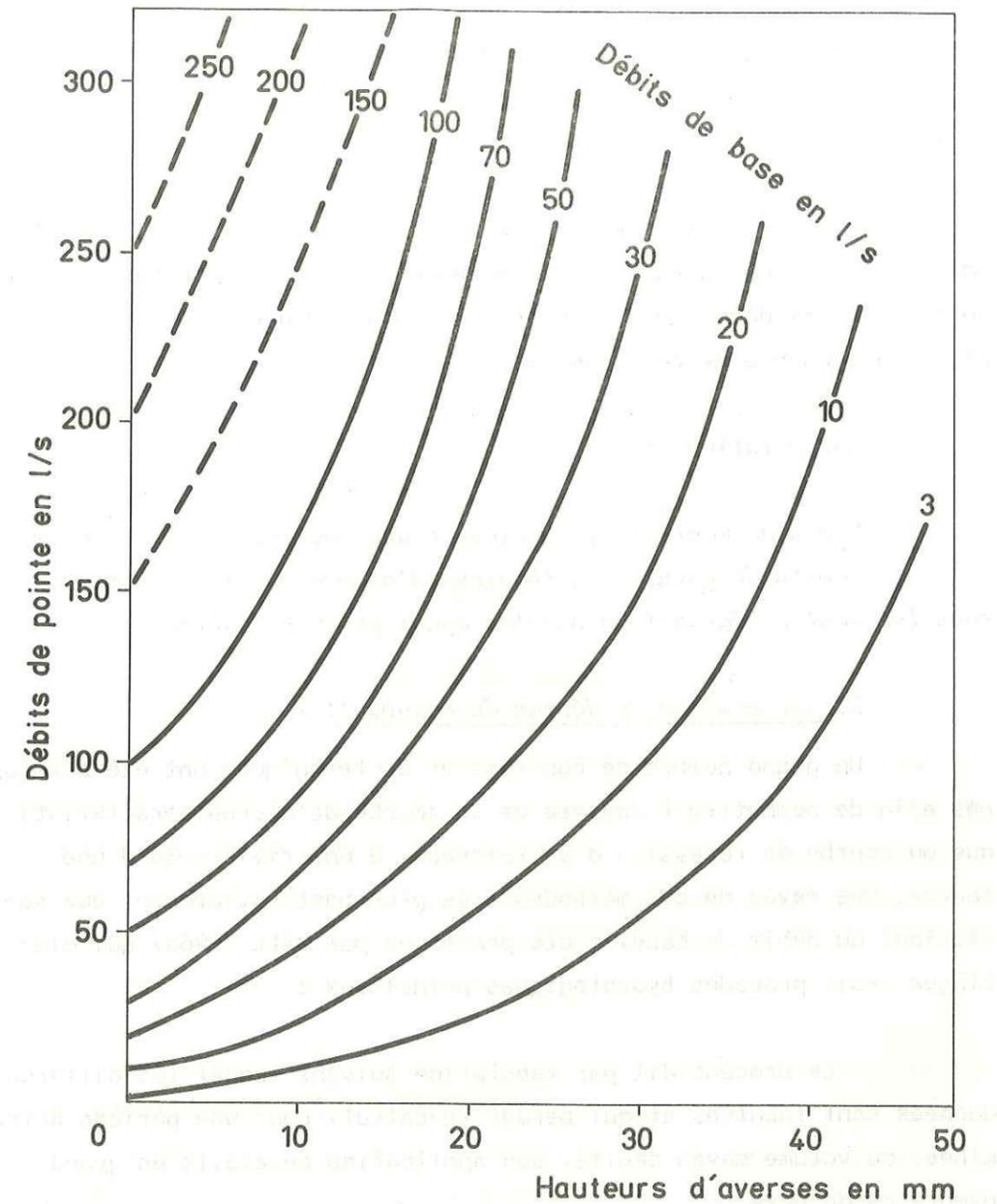


Fig. 72 - ESQUISSE DE REGRESSION ENTRE LES DEBITS DE POINTE, LES HAUTEURS D'AVERSES ET LES DEBITS DE BASE.

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
 MAISON DES GEOSCIENCES
 DOCUMENTATION
 B.P. 53
 F. 38041 GRENOBLE CEDEX
 Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
 Mail: plalour@ujf-grenoble.fr

18 AOÛT 2003

Pour un même débit de base, le débit de pointe croît avec la hauteur d'averse ; cette croissance est de type exponentiel pour les débits de base inférieurs à 100 l/s et peut être considéré comme une croissance linéaire pour les débits initiaux de remontée supérieurs à 100 l/s ; dans ce dernier cas, on pourra admettre de façon grossière qu'un millimètre de pluie provoque une croissance du débit de pointe de 10 l/s environ, à débit initial de remontée égal.

On peut donc, à partir de ces relations, estimer le débit de pointe d'une crue du ruisseau du Maravant en fonction du débit observé juste avant le début de la montée (ou de la remontée) et du total de pluie responsable de cette pointe.

Les relations :

Temps de montée = f (hauteur d'averse, intensité maximale)
et Débits de pointe = g (hauteur d'averse, débit de base)
 sont les seules régressions simples ayant pu être établies.

3) Les courbes de décrue du Maravant.

Un grand nombre de concepts et de techniques ont été développés afin de permettre l'analyse de la courbe de décrue caractéristique ou courbe de récession d'un ruisseau, d'une rivière ou d'une source. Une revue de ces méthodes liée plus particulièrement aux variations du débit de base, a été présentée par HALL (1968) qui distingue trois procédés hydrologiques principaux :

- Le procédé dit par tabulation suivant lequel les différentes données sont tabulées et qui permet le calcul, pour une période déterminée, du volume moyen débité, son application nécessite un grand nombre de données.

- La méthode de superposition des différentes courbes observées peut conduire à une courbe de récession globale ; c'est ce principe que nous avons utilisé plus haut à propos des courbes de tarissement ; dans les cas de décrue, la dispersion est trop grande et conduit à des corrélations médiocres.

- La méthode analytique et statistique consiste à comparer les différents débits observés à des intervalles de temps données ; BARNES (1939) a proposé une équation de la forme suivante :

$$Q_2 = Q_1 K^{-\Delta t}$$

où : Q_1 = débit instantané à l'instant t_1

Q_2 = débit instantané à l'instant t_2

K = constante de récession

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

La constante K pouvant varier lors de la décrue ($K = f(t)$).

D'autres méthodes récentes basées sur la convolution (SNYDER et ASMUSSEN, 1972 ; YATES et SNYDER, 1975) s'appliquent surtout au débit de base et nécessitent d'importants moyens de calculs.

L'allure de la courbe de décrue étant généralement indépendante de l'intensité de la pluie et du taux d'infiltration (REMENIERAS, 1972), mais uniquement fonction des caractéristiques physiques du réseau hydrologique et du volume d'eau disponible sur le bassin à l'instant pris pour origine (eau de surface, eau "hypodermique", eau stockée dans les dépressions), nous avons axé la recherche de la décrue caractéristique du Maravant sur l'analyse statistique des diverses récessions observées.

Nous avons choisi de repérer, à partir de l'instant t_p (pris pour origine) d'apparition de la pointe de crue et toutes les six heures, les débits de décrue des différents hydrogrammes considérés. Chaque décrue a fourni un certain nombre de débits distants dans le temps de six heures et observés aux temps $t = 0, t = 6, \dots$; les diverses valeurs relevées figurent dans le tableau IV.4.2. et fournissent un ensemble de couples (Q_t, Q_{t+6}) .

DATE	Q ₀	Q ₆	Q ₁₂	Q ₁₈	Q ₂₄	Q ₃₀	Q ₃₆	Q ₄₂	Q ₄₈	Q ₅₄	Q ₆₀	Q ₆₆	Q ₇₂
20-07-66	28,5	24	21	15,5	12	-	-	-	-	-	-	-	-
19-10-66	82	50	39	32	29	-	-	-	-	-	-	-	-
27-05-67	300	220	176	144	128	122	112	102	-	-	-	-	-
08-06-67	260	174	138	122	107	100	94	91	89	87	84	-	-
14-07-67	102	50	33	24	22	-	-	-	-	-	-	-	-
30-09-67	80	42	34	32	28	-	-	-	-	-	-	-	-
12-05-68	445	310	240	205	185	155	145	140	130	122	120	-	-
17-06-68	58	37	28	22	18	-	-	-	-	-	-	-	-
26-06-68	55	36	33	30	27	23	-	-	-	-	-	-	-
11-07-68	114	48	38	36	16	-	-	-	-	-	-	-	-
03-08-68	520	405	285	205	160	140	125	104	100	-	-	-	-
16-09-68	855	490	345	255	205	180	165	145	135	130	125	120	-
08-10-68	860	385	255	194	157	135	125	117	110	105	-	-	-
16-06-69	59	37	29	25	24	-	-	-	-	-	-	-	-
05-09-69	486	281	200	128	108	97	90	84	80	77	-	-	-
17-09-69	76	55	46	44	42	41	40	40	39	38	-	-	-
25-10-69	5	3,5	2,5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24-07-70	92	50	24	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15-09-70	21	15	13	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17-04-71	36	24	20	19	18	-	-	-	-	-	-	-	-
23-04-71	32	24	18	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26-04-71	190	106	72	54	48	46	39	36	-	-	-	-	-
08-08-71	2,8	1,8	0,9	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	-	-	-	-	-
20-08-71	19	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22-08-71	10	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12-05-72	26	14	12	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16-07-72	354	236	166	112	100	92	78	60	-	-	-	-	-
22-07-72	680	280	150	105	92	74	50	45	-	-	-	-	-
29-08-72	13	7	5	3	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-
10-09-72	9,5	4,5	3	2,5	1	-	-	-	-	-	-	-	-
28-10-72	15	12	9	6	5,6	4,9	4,1	3,5	2,9	2,4	2,1	-	-
18-11-72	336	185	125	97	75	57	-	-	-	-	-	-	-
20-11-72	1 268	550	265	200	170	157	148	140	127	120	-	-	-
24-11-72	600	425	230	170	135	120	110	105	95	90	85	80	75
21-06-73	990	625	410	340	260	182	145	120	100	85	80	75	69
21-09-73	232	120	72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29-09-73	83	29	22	20	18	-	-	-	-	-	-	-	-
26-04-74	20	10	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02-06-74	840	490	345	235	170	135	115	100	93	90	80	-	-
18-06-74	495	255	160	122	108	90	78	-	-	-	-	-	-
13-07-74	132	70	38	32	26	-	-	-	-	-	-	-	-
24-07-74	96	48	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
04-08-74	28	18	14	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22-08-74	12	9	8	7,5	6,7	5	-	-	-	-	-	-	-
27-08-74	20	11	9	8	7	5	-	-	-	-	-	-	-
06-09-74	35	17	14	12	11	-	-	-	-	-	-	-	-
09-09-74	33	18	13	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-

TABLEAU IV.4.2. - Valeurs des débits Q₀, Q₆, ..., Q₇₂ du ruisseau du Maravant en période de décrue.

L'étude a été menée séparément pour les deux séries de cas suivants :

$$Q_p < 150 \text{ l/s}$$

$$Q_p > 150 \text{ l/s}$$

Le report graphique des couples (Q_t, Q_{t+6}) fait apparaître une organisation très nette des images de ces couples : lorsque t croît, ces images se rapprochent de la droite limite d'équation : Q_{t+6} = Q_t + 6.

Nous avons recherché, pour chaque valeur de t (t = 0, t = 6, ...) les courbes de régression liant Q_{t+6} à Q_t.

Il s'est avéré que la fonction linéaire et la fonction puissance conduisent toutes deux à des résultats très satisfaisants (pour le passage de Q₀ à Q₆, la fonction puissance est plus proche de la réalité).

On a donc distingué deux modèles distincts fondés sur le schéma suivant :

	MODELE I (LINEAIRE)	MODELE II (LOGARITHMIQUE)
Q ₆ = f (Q ₀)		Q ₆ = a ₆ · Q ₀ ^{b₆}
Q ₁₂ = g (Q ₆)	Q ₁₂ = α ₁₂ · Q ₆ + β ₁₂	Q ₁₂ = a ₁₂ · Q ₆ ^{b₁₂}
Q ₁₈ = h (Q ₁₂)	Q ₁₈ = α ₁₈ · Q ₁₂ + β ₁₈	Q ₁₈ = a ₁₈ · Q ₁₂ ^{b₁₈}
⋮	⋮	⋮
Q _{t+6} = ψ (Q _t)	Q _{t+6} = α _{t+6} · Q _t + β _{t+6}	Q _{t+6} = a _{t+6} · Q _t ^{b_{t+6}}

La figure 73 illustre le modèle linéaire (I) et le tableau IV.4.3. donne les valeurs des paramètres α_t , β_t , a et b pour chacun des modèles et suivant que les débits de pointe sont inférieurs ou supérieurs à 150 l/s.

t	$Q_p < 150 \text{ l/s}$				$Q_p > 150 \text{ l/s}$			
	MODELE I		MODELE II		MODELE I		MODELE II	
	α	β	a	b	α	β	a	b
0	0,50	2,72	0,64	0,96	0,46	63,17	1,50	0,85
6	0,67	1,77	0,65	1,04	0,59	20,73	0,97	0,93
12	0,89	- 0,59	0,69	1,07	0,66	19,61	1,00	0,95
18	0,83	0,29	0,71	1,05	0,74	14,16	1,26	0,92
24	0,95	- 0,80	0,86	1,00	0,69	21,00	1,40	0,90
30	0,98	- 0,37	0,88	1,02	0,84	4,04	0,72	1,04
36	0,98	- 0,29	0,85	1,03	0,91	- 0,74	0,88	1,01
42	1,00	- 0,32	0,83	1,04	0,82	11,12	1,67	0,87
48	-	-	-	-	0,94	0,68	1,07	0,97
54	-	-	-	-	1,04	- 8,71	0,64	1,09

TABLEAU IV.4.3. - Modèles de décrue du ruisseau du Maravant.

On peut donc, à partir des seuls débits de pointe d'une crue du ruisseau du Maravant, estimer de façon valable les débits de décrue à des instants donnés, donc la courbe de récession.

Les graphiques présentés aux figures 74 et 75 fournissent, pour des débits de pointe donnés, les allures des décrues correspondantes ; les deux modèles utilisés conduisent à des résultats quasi-similaires avec une légère tendance à une surestimation relative des débits de décrue par le modèle II (logarithmique). On aperçoit un gonflement retardé dû à l'écoulement hypodermique et aux marais.

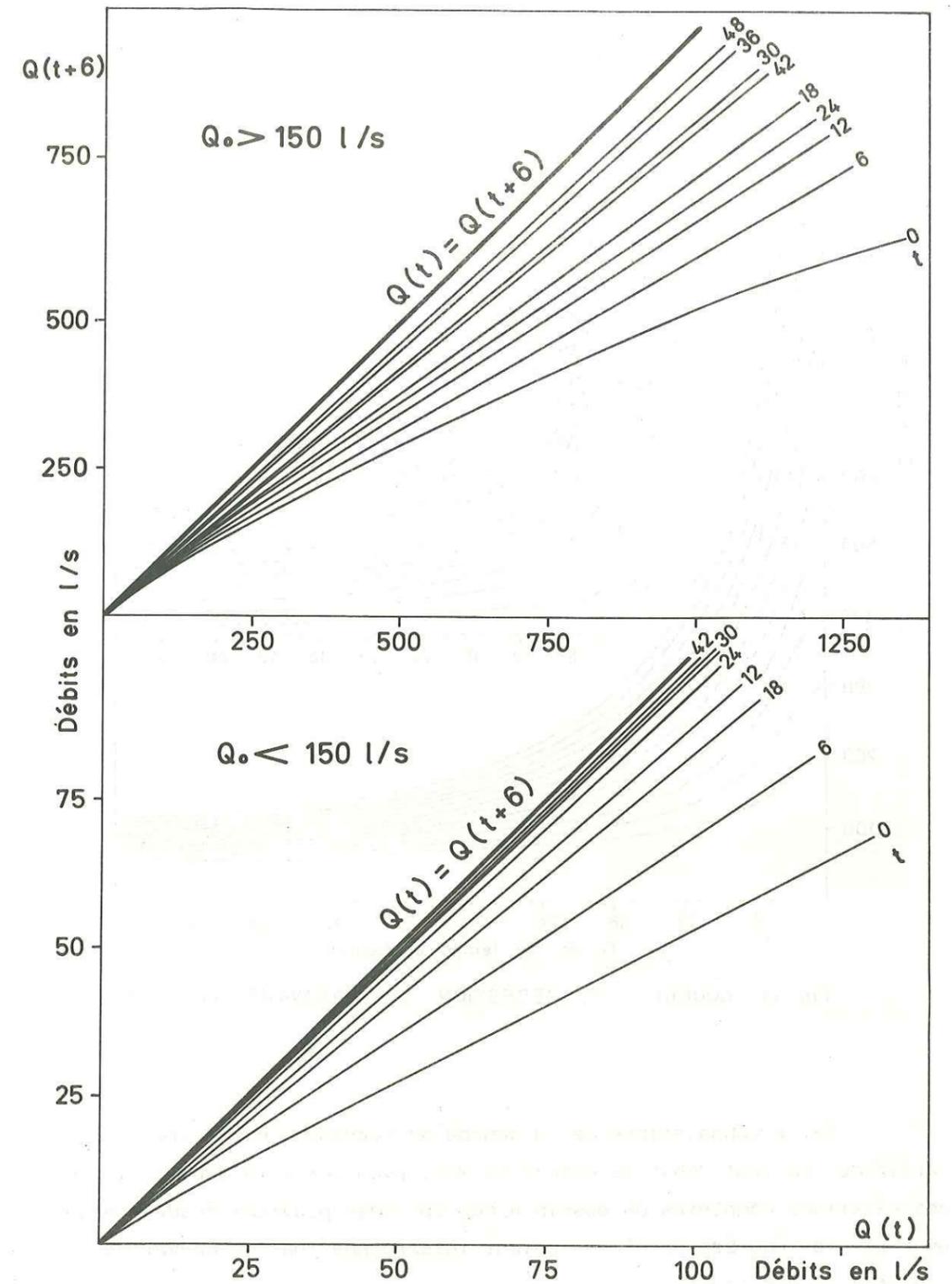


Fig. 73 - RELATIONS ENTRE LES DEBITS AUX INSTANTS t ET t+6 POUR LES DECRUES DU MARAVANT (Modèle I)

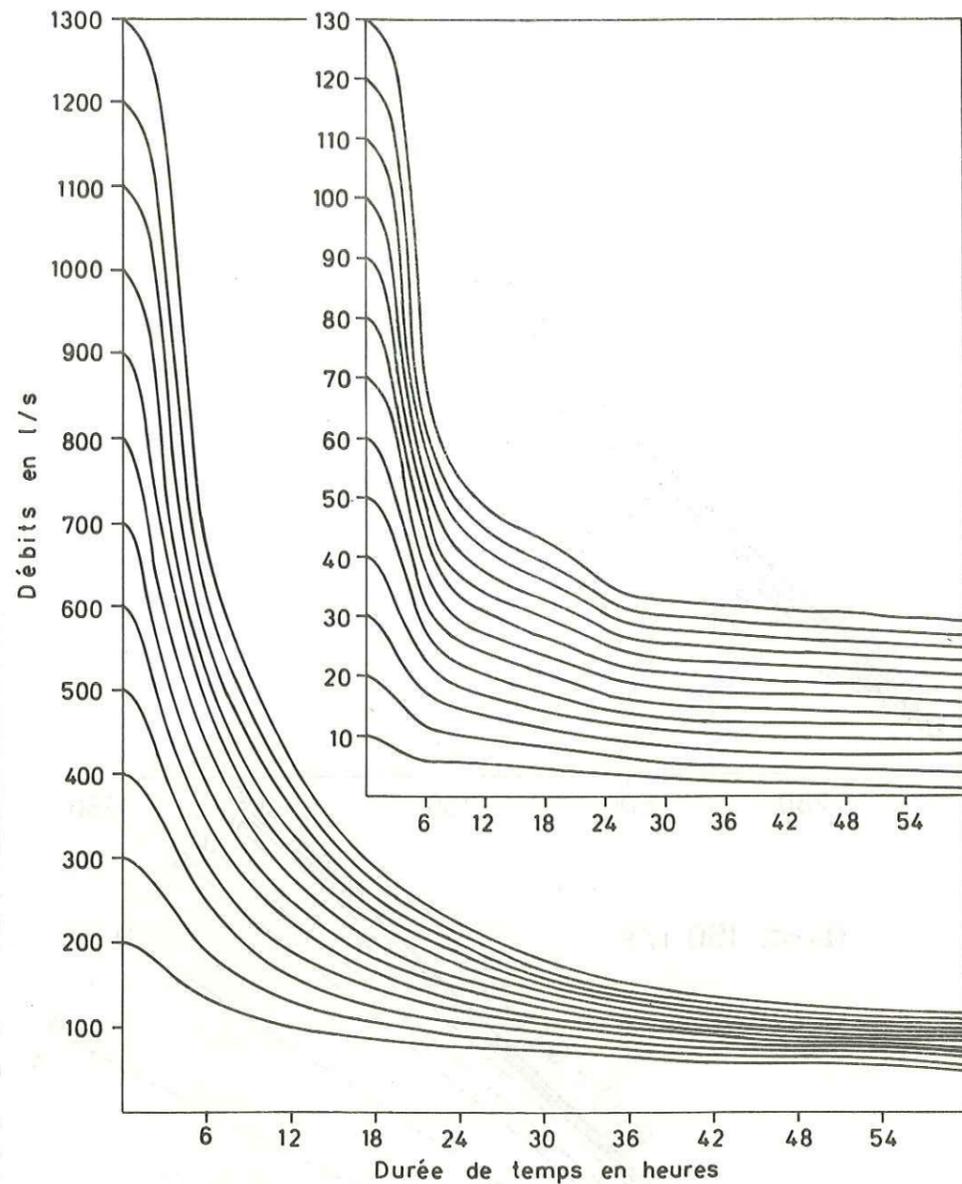


Fig. 74 - COURBES DE RECESSION DU MARAVANT (Modèle I)

Cette connaissance de la courbe de récession d'une crue à partir de son seul débit de pointe permettra en outre la décomposition des réactions complexes du bassin à des épisodes pluvieux assez proches pour que les courbes de décrue soient interrompues par de nouvelles croissances des débits.

Nous avons présenté aux figures 76 des exemples de récessions successives attribuables à de telles averses.

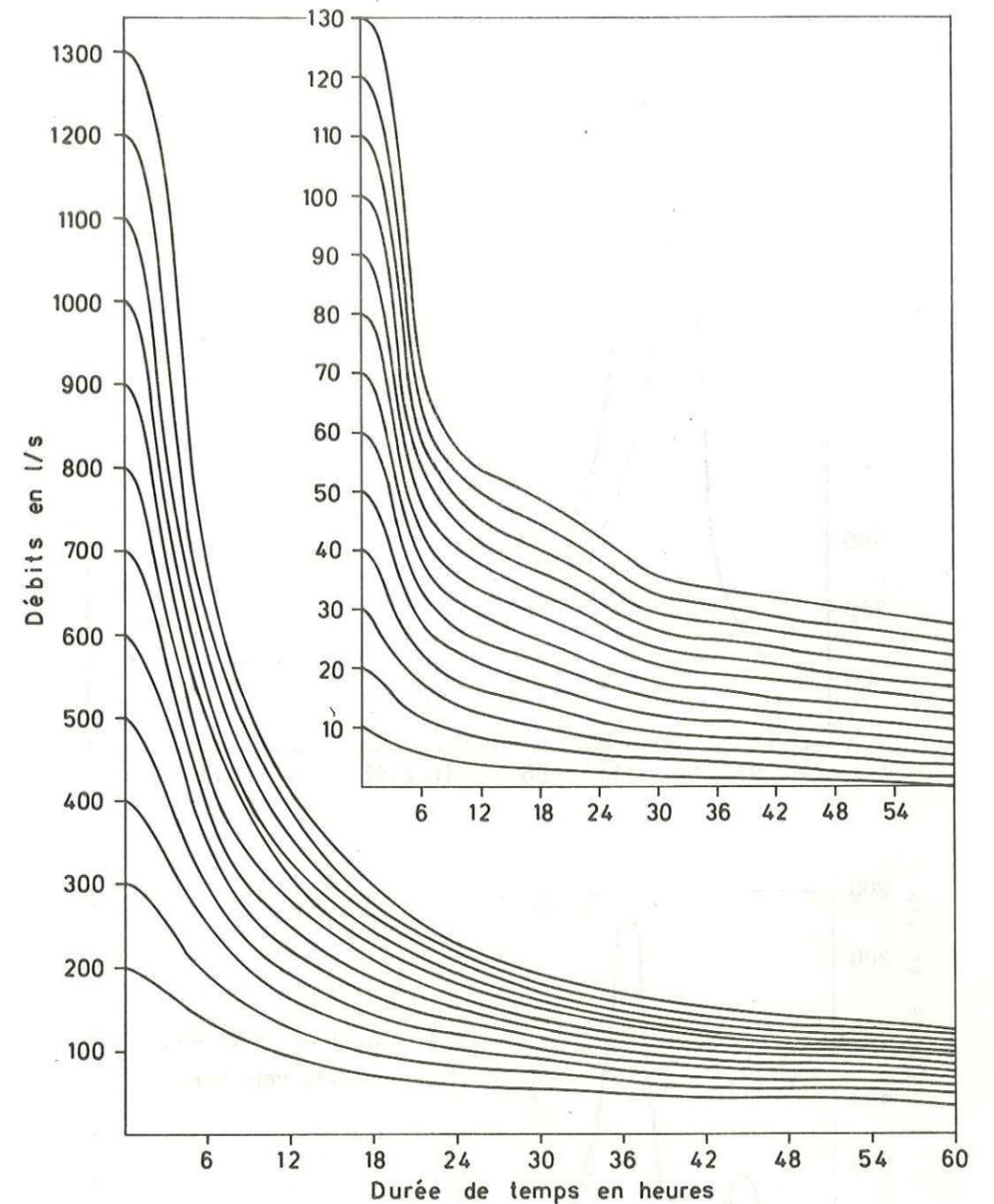


Fig. 75 - COURBES DE RECESSION DU MARAVANT (Modèle II)

Comme nous l'avons précisé plus haut, les résultats obtenus à partir de chacune des deux méthodes sont pratiquement identiques ; le modèle II a servi de base à l'illustration de la méthode pour la seule homogénéité des équations de récurrence qui le définissent.

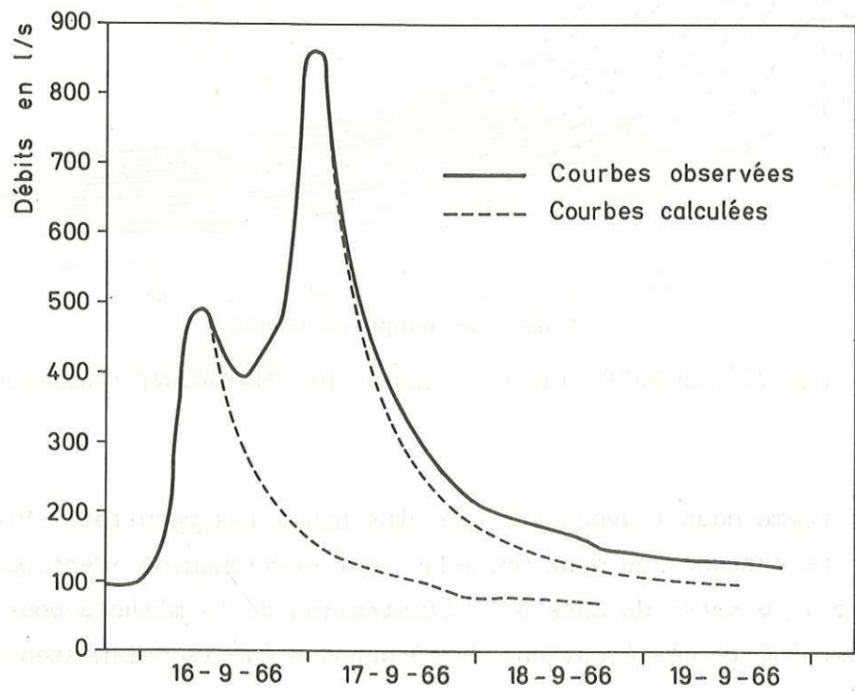
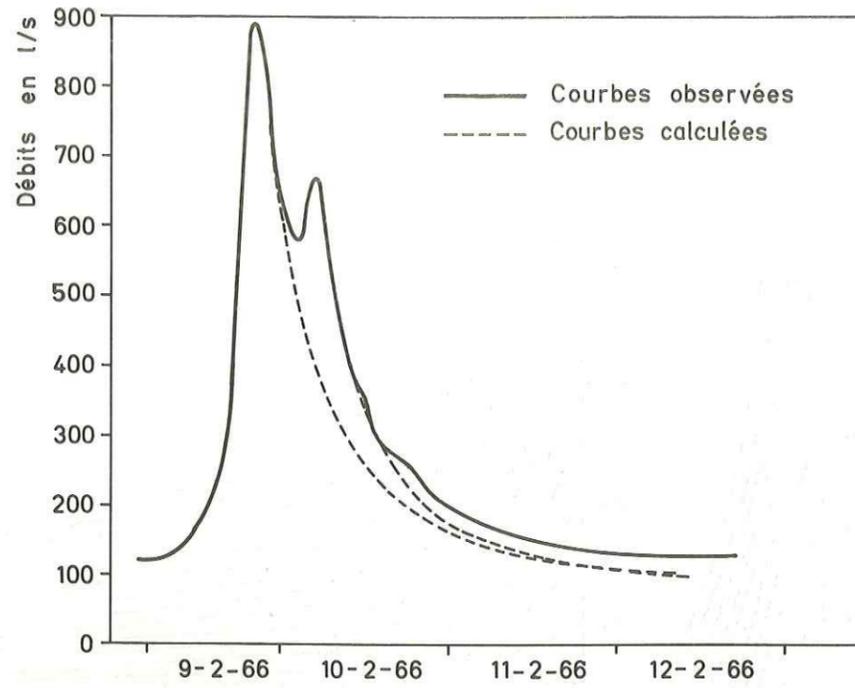


FIGURE 76

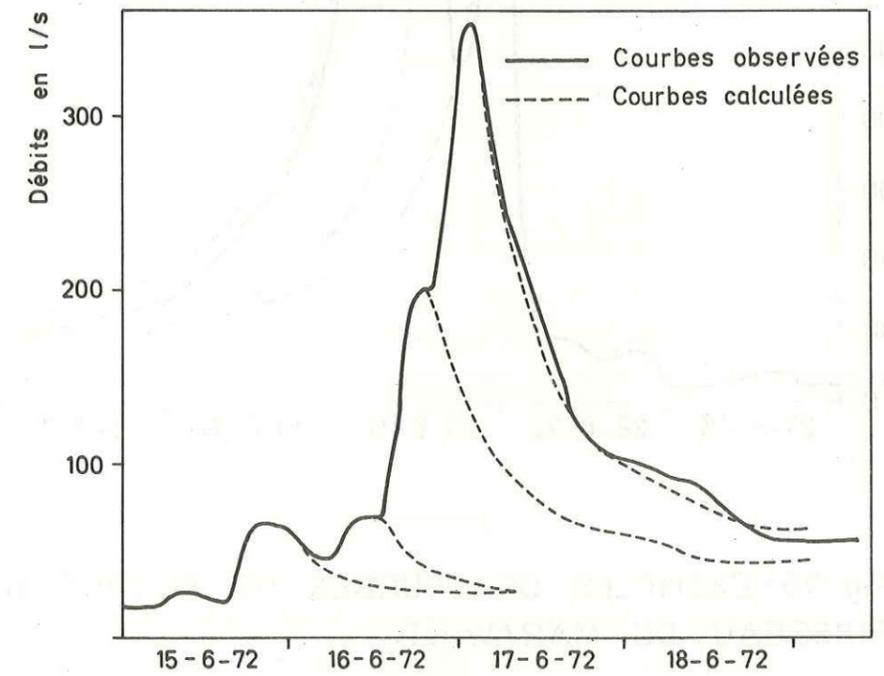
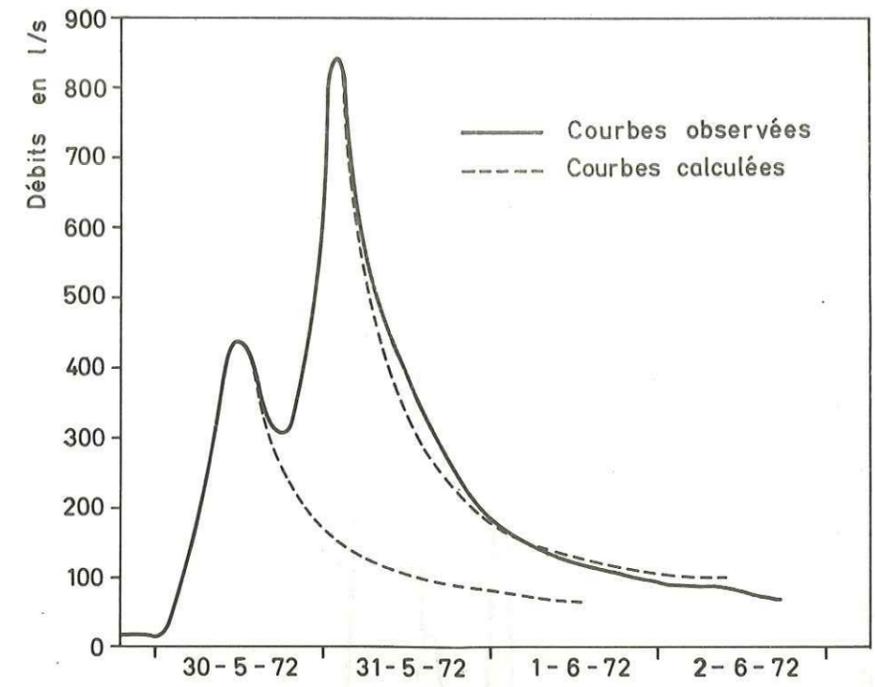


FIGURE 76

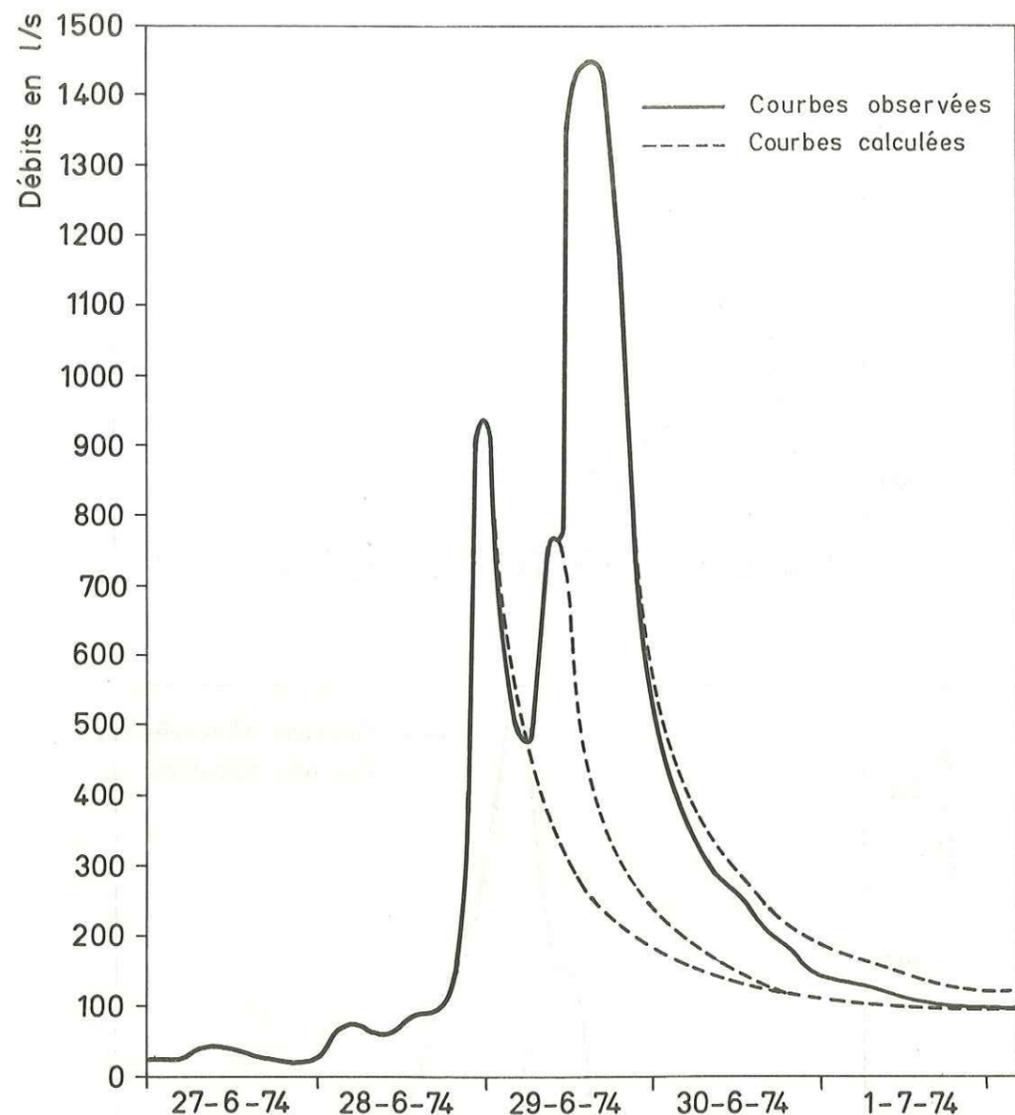


Fig. 76 - EXEMPLES DE COURBES DE DECRUE DU RUISSEAU DU MARAVANT

Les écarts relevés entre les courbes de décrue observées et celles calculées peuvent être liés aux variations dans l'espace des épisodes pluvieux ; de fortes pluies vers l'exutoire provoquant une décrue rapide alors que, localisées vers l'amont du bassin, elles entraînent une décrue lente.

La décomposition de l'hydrogramme de la crue exceptionnelle des 27-28 et 29 juin 1974 a été effectuée (figure 77) sur la base d'un débit de pointe égal à 1 450 l/s le 29 juin.

On aboutit aux valeurs caractéristiques consignées dans le tableau suivant :

DATES	HAUTEURS D'AVERSES (en mm)	LAMES ECOULEES (en mm)	COEFFICIENTS D'ÉCOULEMENT (en %)
27	6	0,5	8,3
27-28	9,4	1	10,6
28 (a)	8,4	1	11,9
28 (b)	32,2	14	43,4
29 (a)	12	5	41,6
29 (b)	39	16,5	42,3

On verra dans le paragraphe suivant que cet événement complexe et exceptionnel est l'un des rares qui a conduit à des rendements aussi élevés.

4) La fonction de rendement.

Cette fonction a été approchée par l'étude des coefficients d'écoulement k , associés à chacun des événements averse-crue considérés. Les valeurs de k ($k = \frac{L}{P} \frac{(mm)}{(mm)}$ en %) ont été reportées sur le tableau IV.4.1. (voir annexe).

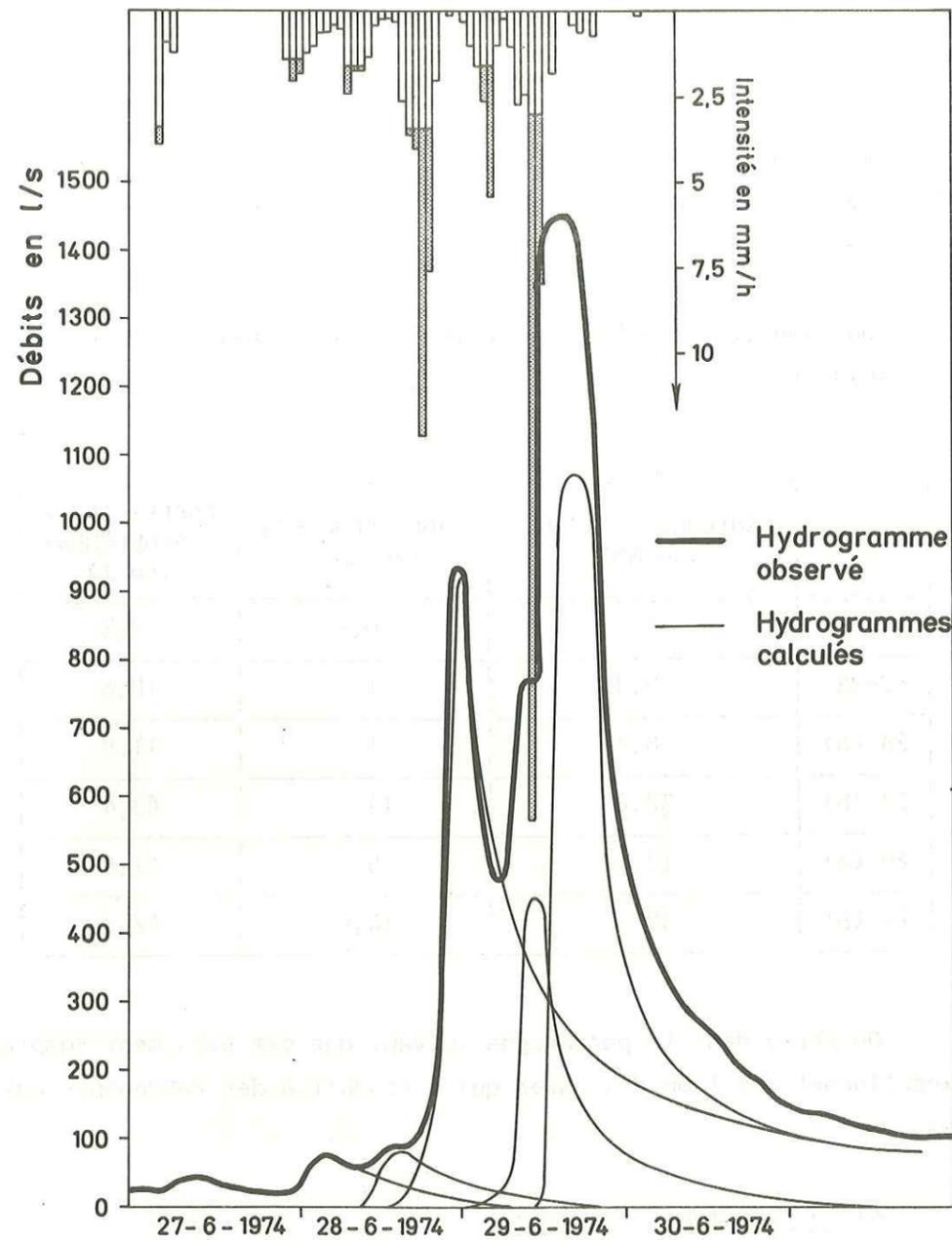


Fig. 77 DECOMPOSITION DE L'HYDROGRAMME DE CRUE DU 27 AU 30 JUIN 1974

Ces valeurs varient en gros de 0 % à 50 % avec, cependant, un net regroupement vers les faibles valeurs ; en effet, comme l'indique le graphique A de la figure 78, environ 75 % des estimations de k sont inférieures à 10 %.

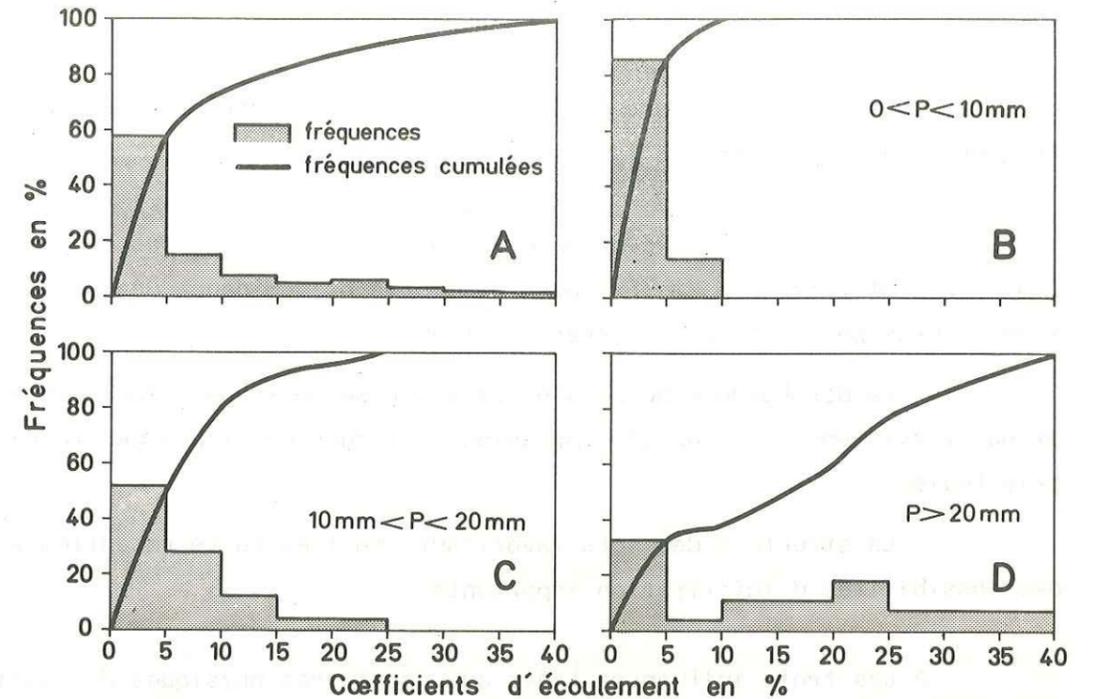


Fig. 78-DISTRIBUTION DES COEFFICIENTS D'ÉCOULEMENT DU BASSIN DU MARAVANT A L'ÉCHELLE DE L'AVERSE

Nous avons, dans les graphiques B, C, D, de la figure 78, reporté les fréquences obtenues pour diverses classes d'épisodes pluvieux P (en mm) ayant engendré les crues retenues ; les effectifs de ces classes sont pratiquement égaux. Si l'on observe globalement une augmentation des valeurs de k avec P, on note aussi une large dispersion de ces valeurs pour les averses supérieures à 20 mm et la persistance, qui va en s'atténuant avec l'augmentation de P, d'une fréquence importante des faibles valeurs de k ; en effet :

- 100 % des coefficients d'écoulement ont des valeurs inférieures à 10 % pour des averses inférieures à 10 mm.

- 80 % des coefficients d'écoulement ont des valeurs inférieures à 10 % pour des averses comprises entre 10 mm et 20 mm.

- 37 % des coefficients d'écoulement ont des valeurs inférieures à 10 % pour des averses supérieures à 20 mm.

De faibles rendements et une dispersion importante des valeurs de k pour les fortes précipitations caractérisent donc le passage quantitatif de l'averse à la lame d'eau écoulée sur le bassin du Maravant.

Trois causes d'ordre distinct et déjà mentionnées peuvent être évoquées pour expliquer ces faits :

- Les taux d'interception d'averses qui, nous l'avons vu plus haut, varient entre 0 % et 75 % avec une forte prédominance des pourcentages élevés pour les faibles précipitations.

- La morphologie du bassin, caractérisée par une faible pente et par l'existence de légères dépressions qui sont des zones de stockage privilégiées.

- La structure des sols favorisant une très forte rétention et des possibilités d'infiltration importantes.

A ces trois influences liées aux paramètres physiques du bassin versant s'ajoutent l'évapotranspiration potentielle et l'état d'humidité des sols pendant les averses considérées.

L'action simultanée de ces différents facteurs rend impossible, vu les moyens et données à disposition, la définition analytique de la fonction de rendement ; d'autant que les mécanismes de transfert mis en jeu sur le bassin agissent de façon continue à trois niveaux différents qui correspondent, en réponse aux épisodes pluvieux, à trois types d'écoulement distincts plus ou moins synchrones :

- L'écoulement de surface ou ruissellement.
- L'écoulement hypodermique.
- L'écoulement souterrain latéral (débit de base).

5) Estimation de la part de l'écoulement souterrain dans l'écoulement global à l'exutoire, en période de crue.

On appellera écoulement souterrain, lors des crues, tout volume d'eau ayant transité dans le sol et passant à l'exutoire du bassin avant que ne survienne exclusivement le débit de base.

La décomposition graphique classique des hydrogrammes de crues du Maravant fait le plus souvent apparaître une succession de segments de droites disposés suivant deux directions privilégiées. Ceci laisse supposer que les décrues sur le bassin du Maravant correspondent à la vidange de réservoirs successifs et de nature différente ; chacun des types de réservoirs se vidant suivant sa loi propre et possédant un "lag" et un temps de base déterminés pour une averse donnée. De telles hypothèses rejoignent les opinions de NASH (1960) et de PORTER (1975) qui suggèrent un découpage des bassins conduisant, non plus à des lignes isochrones d'écoulement dans un système en série (LAURENSEN, 1964), mais à un *système de réservoirs en série et en parallèle* basé sur des possibilités de stockage de l'eau sur le bassin.

Le synchronisme des divers types d'écoulement et l'importance de l'écoulement souterrain sur le bassin du Maravant ont été démontrés par HEYDARPOUR (1974) dans son étude sur l'estimation de la composante souterraine de l'hydrogramme par des méthodes physico-chimiques et à partir des crues présentées à la figure 79.

Nous avons utilisé les résultats obtenus par cet auteur afin d'essayer de les généraliser à l'ensemble des événements averse-crue simples retenus pour notre étude.

Trois assertions fondamentales ont guidé nos recherches :

1) Il existe une corrélation très étroite entre les débits de pointe de crue, Q_{PS} et Q_{PG} , respectivement de l'écoulement souterrain et de l'écoulement global à l'exutoire ; cette relation, définie par l'équation suivante :

$$Q_{PS} = 0,92 \cdot Q_{PG}^{0,89} \quad (r = 0,998 ; 6 \text{ couples})$$

est illustrée par le graphique de la figure 80.

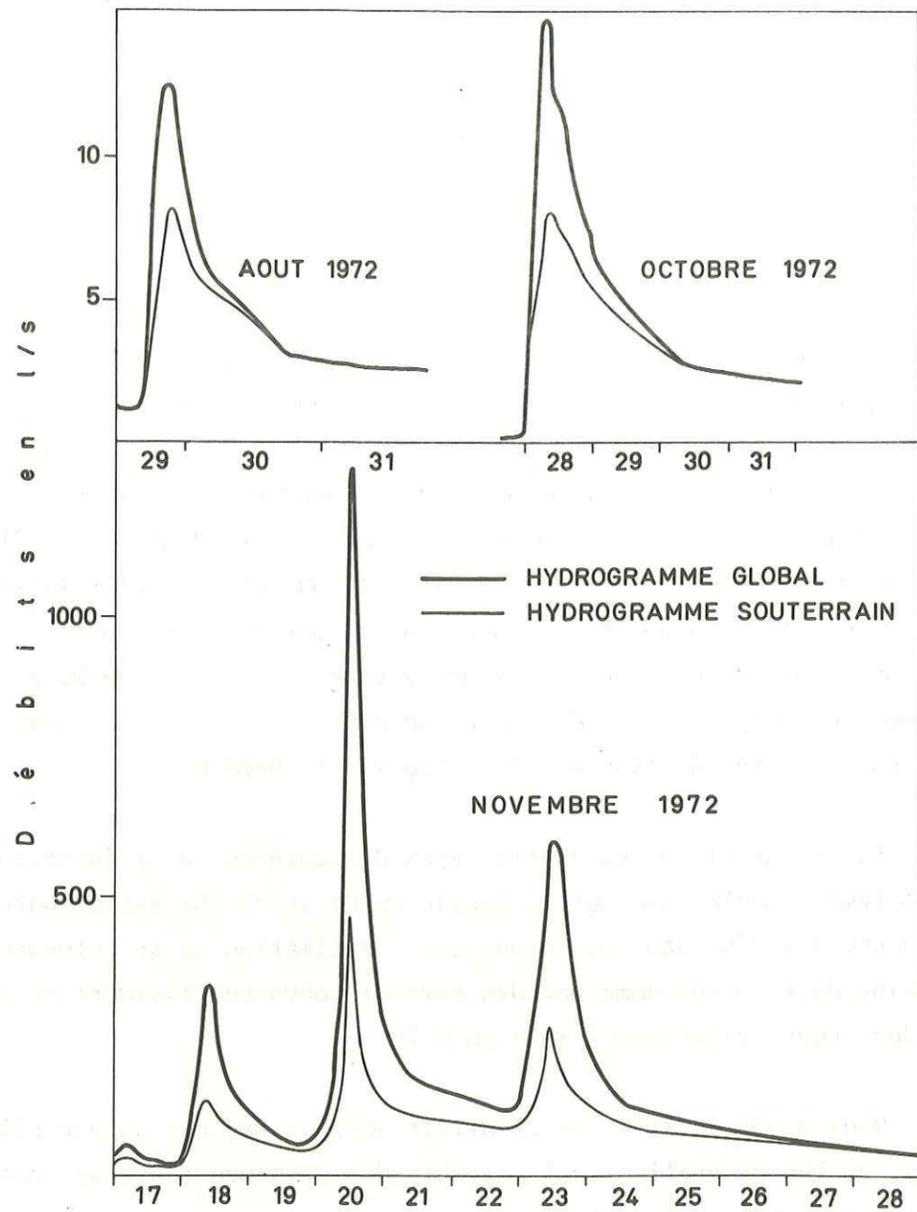


Fig. 79-HYDROGRAMMES DU MARAVANT
(D'après HEYDARPOUR 1974)

2) La décrue souterraine suit une courbe caractéristique dont l'équation a été calculée suivant le même principe que celui employé pour les récessions globales (cf. chapitre IV.4.2.) et basé sur la recherche du débit à l'instant $t + 6$, connaissant le débit à l'instant t ; les six décrues souterraines ont conduit à la régression

linéaire globale suivante :

$$Q_s(t+6) = 0,84 \cdot Q_s(t) + 2,4 \quad (r = 0,995, 44 \text{ couples})$$

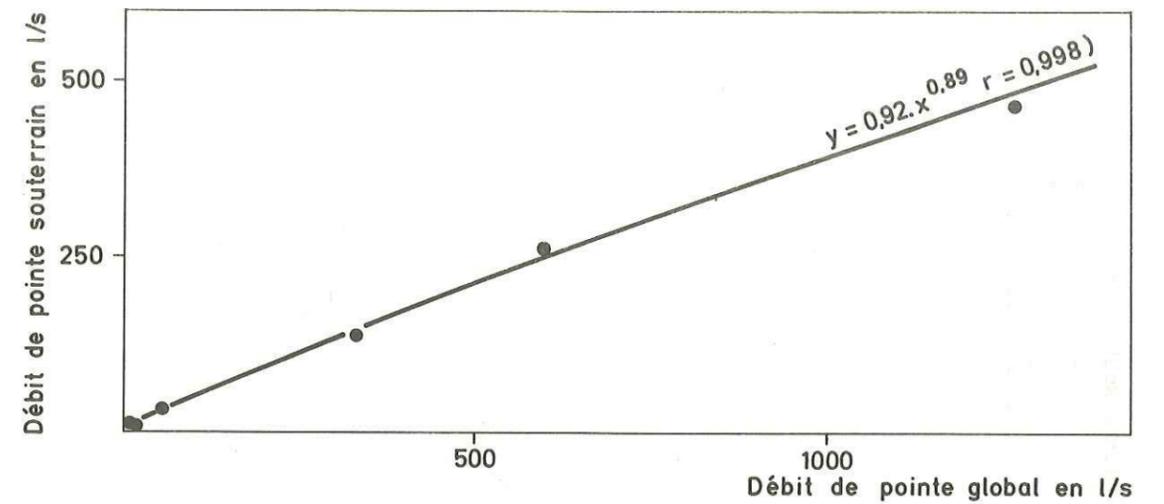


Fig. 80 - CORRELATION ENTRE LES DEBITS DE POINTE DE L'ÉCOULEMENT GLOBAL (Q_{PG}) ET DE L'ÉCOULEMENT SOUTERRAIN (Q_{PS})

3) La participation importante, lors des crues, de l'écoulement souterrain à l'écoulement global (OLIVE, 1970 ; HEYDARPOUR, 1974) fait de l'hydrogramme observé une image de l'écoulement souterrain ; nous admettrons donc une similitude des deux types d'hydrogrammes et pour le bassin du Maravant la concordance temporelle des pointes de crues globales et souterraines.

Ces trois assertions, considérées vraies, ont permis d'estimer pour chacune des crues simples étudiées, le débit de pointe et la récession de chaque hydrogramme souterrain correspondant à ces crues simples. La similitude, pour chaque crue, des hydrogrammes globaux et souterrains a permis, en outre, de styliser les courbes de concentrations des hydrogrammes souterrains.

Ceci nous a conduit à la construction de 29 des hydrogrammes souterrains des crues considérées et à l'estimation, pour chacune de ces crues, des volumes d'eau issus respectivement de l'écoulement

global, V_G , et de l'écoulement souterrain, V_S , jusqu'à l'apparition du seul débit de base. Les valeurs obtenues, conduisent à la droite de régression présentée à la figure 81 et d'équation :

$$V_S = 0,85 \cdot V_G - 117 \quad (r = 0,997, 29 \text{ couples})$$

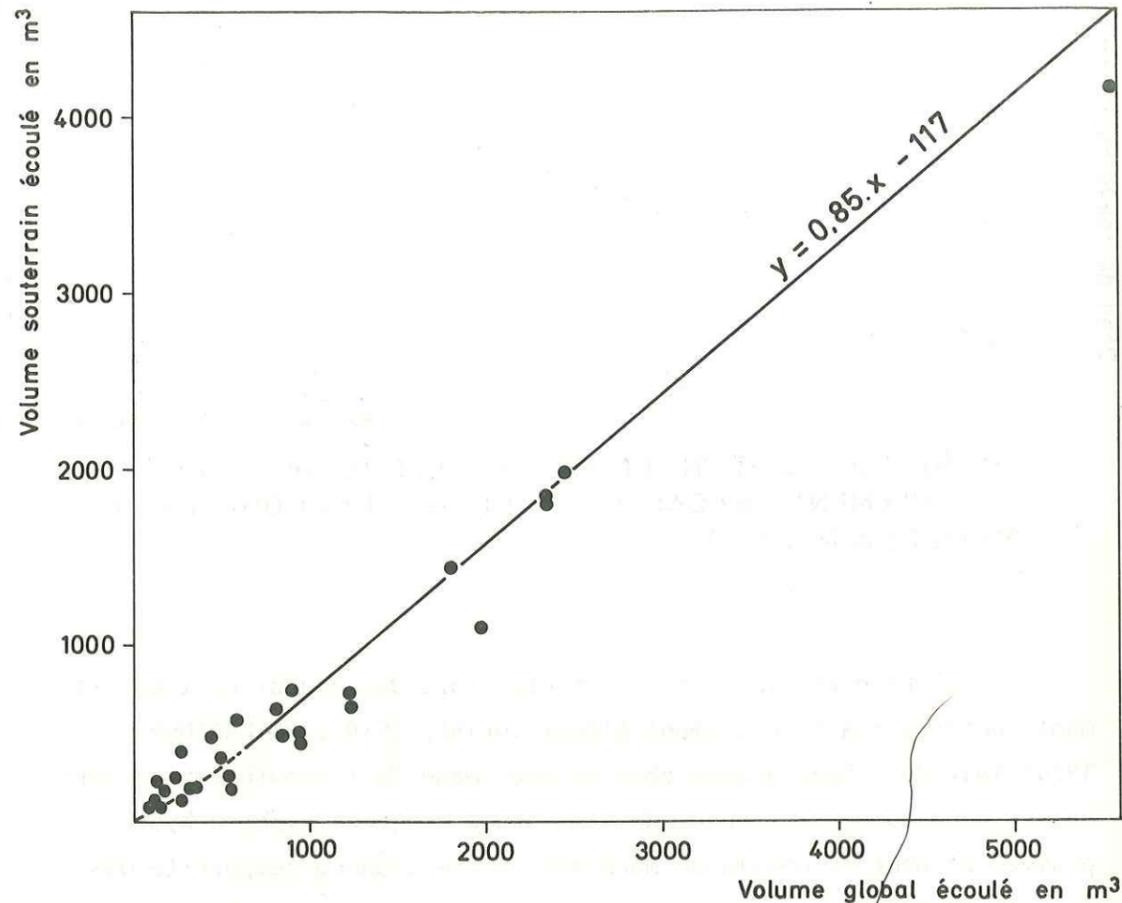


Fig. 81 - CORRELATION ENTRE LES VOLUMES D'EAU LIES A L'ÉCOULEMENT GLOBAL ET A L'ÉCOULEMENT SOUTERRAIN LORS DES CRUES SUR LE BASSIN DU MARAVANT

Ce résultat est important car il tient compte des notions de continuité et de simultanéité des divers types d'écoulement, ainsi que de l'importance relative de l'écoulement souterrain ; ce sont ces caractères fondamentaux qui rendent difficile, voire impossible, toute décomposition graphique classique des hydrogrammes de crues du Maravant.

CONCLUSION A L'ETUDE DE L'ÉCOULEMENT SUR LE BASSIN DU MARAVANT.

La démarche déterministe adoptée tout au long de ce chapitre a eu essentiellement pour objectif de cerner les mécanismes physiques qui règlent les relations Précipitations-Écoulement sur le bassin. Ces relations sont multiples dans la mesure où l'angle sous lequel elles sont étudiées détermine la prise en compte de paramètres spécifiques. Certains de ces paramètres, et surtout ceux qui ont trait à la morphologie et aux types de sols qui caractérisent le bassin du Maravant, jouent un rôle capital et permanent dans l'évolution globale ou instantanée des phénomènes étudiés.

Il reste qu'un certain nombre de paramètres, en particulier ceux liés à l'humidité des sols ou encore aux variations de niveau de la nappe superficielle, qui interviennent de façon certaine dans l'évolution de l'écoulement sur le bassin n'ont pas été mesurés pendant la période considérée ; l'explication de certains mécanismes importants souffre d'une telle absence.

Les résultats présentés essayent de respecter le mieux possible la notion de continuité qui régit l'ensemble des phénomènes hydrologiques et plus particulièrement ceux qui sont liés à l'écoulement global et à chacune de ses composantes.

Les relations et les mécanismes proposés demandent, pour la plupart, à être confirmés, d'où la nécessité de poursuivre l'exploitation du bassin et d'envisager la mesure d'un certain nombre de paramètres-clés indispensables pour une définition plus rigoureuse des relations de cause à effet entre les phénomènes hydrologiques.



[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.]

CONCLUSIONS GENERALES

[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.]

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

La contribution apportée à la connaissance du système hydrologique de la région du Léman a été concentrée, à l'échelle du lac, sur l'analyse des processus qui règlent deux des éléments fondamentaux de ce système : les précipitations et l'évapotranspiration.

Il est apparu que les variations dans l'espace de ces deux paramètres ont corroboré, sur l'angle hydrométéorologique, la notion de système lacustre déjà définie pour le Léman dans d'autres domaines ; l'homogénéité de la région lémanique quant au régime des précipitations et l'influence de la masse d'eau sur le climat régional et les phénomènes énergétiques dont il dépend caractérisent fortement ce système dynamique.

Les séries chronologiques étudiées, à diverses échelles, ont fait apparaître une certaine évolution globale de la pluviométrie et ont souligné la faible variabilité temporelle de l'évapotranspiration sur le pourtour lémanique.

L'état du sous-système hydrologique représenté par le bassin représentatif du Maravant a été suivi pendant dix années (1965 à 1974) et les informations recueillies, traitées tout au long de cette étude, ont conduit aux estimations suivantes :

- Précipitations annuelles moyennes $\bar{P} = 1\ 164$ mm
- Evapotranspiration annuelle moyenne $\bar{ETR} = 430$ mm
- Ecoulement annuel moyen à l'exutoire $\bar{L} = 575$ mm

L'état moyen de ce sous-système s'exprimera par son équation de bilan et l'exploitation de cette équation conduira à la synthèse hydrologique envisagée ici pour le bassin étudié. Tout bilan établi sur une période quelconque s'écrit :

$$\text{Avoir initial} + \text{Entrées} = \text{Sorties} + \text{Avoir final}$$

Cependant, les notions de continuité qui sont associées à tout bilan d'eau d'un bassin versant rendent difficiles, voire impossibles, les estimations des avoirs initiaux et finaux de l'équation générale précédente.

Ceci est particulièrement vrai pour les bassins soumis à un enneigement saisonnier notable, à un transit souterrain plus ou moins long et important de l'eau issue des précipitations ou à une variabilité de la durée des "cycles" hydrologiques ; dans ces cas, l'établissement de bilans saisonniers ou annuels conduisent parfois à de dangereuses interprétations.

L'équation du bilan d'eau sur un bassin versant entre les instants t_1 et t_2 est :

$$R_1 + P + Q_E = ETR + Q + Q_S + R_2 + C$$

égalité dans laquelle :

R_1 = réserves en eau du bassin à l'instant t_1

R_2 = réserves en eau du bassin à l'instant t_2

P = précipitations sur le bassin entre t_1 et t_2

Q_E = débit souterrain entrant (nul pour le Maravant) entre t_1 et t_2

ETR = évapotranspiration réelle (estimé suivant la méthode exposée en annexe 3) entre t_1 et t_2

Q = écoulement à l'exutoire entre t_1 et t_2

Q_S = débit souterrain sortant entre t_1 et t_2

C = lame d'eau prélevée par les captages sur le bassin entre t_1 et t_2

L'égalité devient donc, pour le bassin du Maravant :

$$R_1 + P = ETR + Q + Q_S + C + R_2$$

On voit ainsi la difficulté de tenir compte de R_1 et R_2 , non mesurés, sur de courtes périodes.

Par contre, le bilan de la série décennale du Maravant peut admettre une variation de réserve nulle. Pour l'établir, nous avons effectué le cumul des valeurs mensuelles de chacun des termes connus du bilan (P , ETR , Q) et nous en avons déduit par différence le résidu correspondant à la lame d'eau qui échappe aux mesures et qui représente, d'autant mieux que la période est plus longue, essentiellement le terme Q_S ; nous affecterons à ce résidu le vocable "Pertes non mesurées". Notons que, bien que ce résidu soit souvent de l'ordre de grandeur des erreurs relatives, l'hypothèse précédente est tout à fait vraisemblable pour le bassin étudié.

La transcription graphique du cumul des quatre termes du bilan : Précipitations, Evapotranspiration, Ecoulement à l'exutoire, Pertes non mesurées, est faite à la figure 82.

L'évolution globale qui se dégage résume les résultats obtenus le long de cette étude, à savoir principalement :

- Le parallélisme de l'évolution globale respective des précipitations et de l'écoulement à l'exutoire.

- La faible variabilité de l'évapotranspiration à l'échelle annuelle.

De plus, les pertes non mesurées (essentiellement l'écoulement souterrain vers l'extérieur du bassin) évoluent en sens inverse des précipitations et de l'écoulement à l'exutoire ; ce résultat fondamental confirme le rôle important joué par les variations de degré d'humidité du bassin.

Les évaluations des diverses composantes du bilan du bassin représentatif du Maravant pour la période 1965-1974 ont mené aux résultats suivants :

TERMES DU BILAN	TOTAL SUR LES 10 ANNEES		% P
	mm	m ³	
Précipitations	11 640	34 920 000	100
Ecoulement à l'exutoire	5 750	17 250 000	49
Evapotranspiration	4 270	12 810 000	37
Pertes non mesurées	1 620	4 860 000	14

Ce sont donc en moyenne 14 % des précipitations sur le bassin représentatif du Maravant qui sont susceptibles de contribuer à l'alimentation des nappes d'Evian.

En définitive, l'étude sur le bassin du Maravant nous a permis en premier lieu d'approcher ses principales caractéristiques hydrologiques ; des travaux identiques pourraient s'appliquer à d'autres bassins en vue d'établir au niveau de la région lémanique une typologie de l'écoulement régional en fonction des caractéristiques des bassins retenus.

Pour le bassin du Maravant, les résultats obtenus montrent la complexité des mécanismes physiques entrant en jeu au cours des processus hydrologiques ; cette complexité rend nécessaire l'étude quantitative de l'infiltration, de l'évolution de l'humidité globale du bassin et la connaissance des paramètres caractéristiques (perméabilité, porosité, piézométrie) des aquifères en présence.

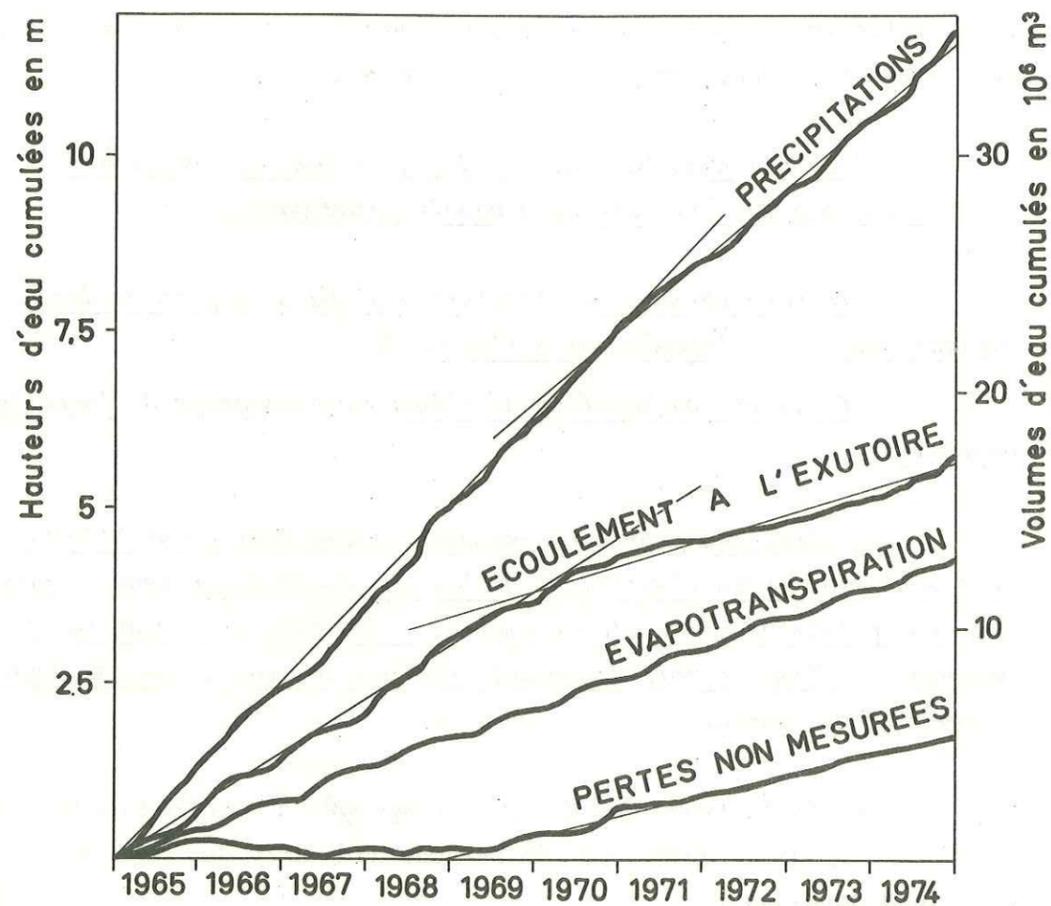


Fig. 82 - EVOLUTION DES DIFFERENTS TERMES DU BILAN HYDROLOGIQUE DU BASSIN DU MARAVANT

BIBLIOGRAPHIE

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

- ARDESTANI H., 1965. Monographie hydrologique du bassin de la Dranse d'Abondance. Thèse d'Ingénieur Docteur, Paris.
- BARNES B.S., 1939. The structure of discharge recession curves. Trans. Am. Geophys. Union, 20, p. 721-725.
- BEUN N., 1973. Contribution à l'étude hydrogéologique des Bas-Champs de Cayeux (Somme). Thèse 3ème cycle, Lille.
- BLAVOUX B., 1965. Les sources minérales d'Evian. Etude climatologique, hydrogéologique et hydrochimique des formations fluvio-glaciaires quaternaires du Bas-Chablais. Thèse 3ème cycle, Paris.
- BLAVOUX B., DRAY M., 1971. Les sondages dans le contexte quaternaire du Bas-Chablais et leurs enseignements stratigraphiques. Leur intérêt pour l'hydrogéologie et l'hydrochimie régionales. Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn., 13, 1, p. 17-34.
- BLAVOUX B., DUSSART B., MANEGLIER H., SALVETTI C., 1962. La région du Léman du point de vue hydrométéorologique. Le Globe, 102, p. 49-68.
- BOUCHET R.J., 1963. Evapotranspiration réelle, évapotranspiration potentielle et production agricole. Ann. Agron., 14, 5, p. 744-824.
- BUENO ROMERO E., 1969. Le bassin du Mont-Dore : Etude hydrogéochimique et isotopique des sources thermominérales. Thèse 3ème cycle, Paris.
- BULTOT F., DUPRIEZ G.L., BODEUX A., 1972. Interception de la pluie par la végétation forestière. Estimation de l'interception à l'aide d'un modèle mathématique. J. of Hydrology, 17, p. 193-223.

- CASTANY G., 1963. *Traité pratique des eaux souterraines*. Dunod ed., Paris.
- CASTANY G., 1967. Introduction à l'étude des courbes de tarissement. *Chronique d'Hydrogéologie, B.R.G.M., n° 10*, p. 23-30.
- CROFT A.R., 1948. Water loss by stream surface evaporation and transpiration by riparian vegetation. *Trans. Am. Geophys. Union*, 29, p. 238-239.
- DALTON J., 1802. Experimental essays on the constitution of mixed gases ; on the force of steam or vapor and others liquids in different temperatures, both in a Torricellian vacuum and in the air ; on evaporation ; and on the expansion of gases by heat. *Manchester Lit. Phil. Soc. Mem. Proc.*, 5, p. 536-602.
- DAUTY J., 1967. Estimation des débits d'étiage à partir des précipitations et des caractéristiques physiques du bassin versant. *Groupe Hydrologie du Laboratoire National, note 56-67*, Montpellier.
- DE PARCEVAUX S., 1963. Transpiration végétale et production de matière sèche. Essai d'interprétation en fonction des facteurs du milieu. *Ann. Agron.*, 14, 5, p. 655-742.
- DOSSEUR H., 1964. Contribution à la distribution de caractéristiques d'état du bassin expérimental d'Alrance (Aveyron) pour la prévision hydrologique. Thèse 3ème cycle, Montpellier.
- DRAY M., 1970. Etude hydrogéologique du Quaternaire de la région de Thonon (Haute-Savoie). Thèse 3ème cycle, Paris.
- DUBREUIL P., 1974. Initiation à l'analyse hydrologique. Masson et Cie, O.R.S.T.O.M., Paris.
- ELBATTI D., 1974. Hydrogéologie de la plaine d'Enfidaville. Thèse 3ème cycle, Grenoble.

- EMSALEM R., 1972. Nature et principaux facteurs de l'évapotranspiration (1ère partie). *La Météorologie*, V, 22, p. 1-53.
- FOREL F.A., 1892. *Le Léman. Monographie limnologique. Tome I*, Edition Rouge, Lausanne.
- GUEGAN B., 1972. Tritium et bilan hydrogéologique en cas de pollution de la nappe alluviale de Pierrelatte (Drôme). Thèse 3ème cycle, Paris.
- HALL F.R., 1968. Base-Flow Recessions ; A Review. *Water Resources Research*, 4, 5, p. 973-983.
- HARBECH G.E., KOHLER M.A., KOBERG G.E., 1958. Water-Loss investigations, Lake Mead Studies, U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 298.
- HAUBERT M., 1975. Bilan hydrochimique d'un bassin versant de moyenne montagne : La Dranse de Bellevaux (Brévon), Haute-Savoie. Thèse 3ème cycle, Paris.
- HEYDARPOUR D., 1974. Estimation de la composante souterraine de l'hydrogramme, par les méthodes physico-chimiques. Thèse 3ème cycle, Paris.
- HLAVEK R., BAKALOWICZ M., OBERLIN G., GALEA G., ANDRE R., NORMAND M., OBERLIN S., 1974. Essai d'estimation de l'évapotranspiration réelle à l'échelle du bassin versant : considérations théoriques et applications pratiques. *B.S.H.*, XIX, 4, 12, p. 449-483.
- HORTON R.E., 1917. A new evaporation formula developed. *Eng. News-Rec.*, 78, 4, p. 196-199.
- HORTON R.E., 1919. Rainfall interception. *Monthly Weather Review*, 47, p. 603-623.
- JACQUET J., 1960. Répartition spatiale des précipitations à l'échelle fine et précision des mesures pluviométriques. *Assemblée d'Helsinki, A.I.H.S.*, 53.

- JACQUET J., 1963. Comparaison des procédés de mesure directe de l'évaporation sur des bassins versants expérimentaux. Assemblée de Berkeley. A.I.H.S., 54.
- JEREMIE J.J., OLIVE Ph., 1976. Les précipitations sur le pourtour du Léman de 1901 à 1974 ; Mise en évidence d'un rythme de 50 ans. A paraître dans Arch. Sc., Genève.
- KING J.W., 1973. Solar radiation changes and the weather. *Nature*, 245, p. 443-446.
- KITTREDGE J., 1948. Forest influences. McGraw-Hill, New-York.
- KREITH F., SELLERS W.D., 1975. General principles of natural evaporation. Heat and mass transfer in the biosphere, part I : Transfer processes in plant environment. De Vries et Afgan ed.. Publication of the I.C.H.M.T., Belgrade.
- LAKSHMAN G., 1972. An aerodynamic formula to compute evaporation from open water surfaces. *J. of Hydrology*, XV, 3, p. 209-225.
- LAMB H.H., 1968. The changing climate. Methuen, Londres.
- LAMB H.H., 1972. Climate : present, past and future. Methuen, Londres.
- LANGBEIN W.B., 1942. Monthly evapotranspiration losses from natural drainage basins. *Trans. Am. Geophys. Union*, 23, p. 604-612.
- LARRIEU J., 1957. Evaluation des crues catastrophiques par la méthode des hydrogrammes synthétiques. *Ass. Int. Hydr. Sc.*, Toronto, III, p. 160-173.
- LAURENSEN E.M., 1964. A catchment storage model for runoff routing. *J. Hydrol.*, 2, p. 141-163.
- LEE C.H., 1942. Transpiration and total evaporation. *Hydrology*, IX, *Physics of the Earth*, McGraw-Hill, New-York.

- LEJONCOUR M., 1968. Premières données sur l'hydrogéologie du cours supérieur et du delta du Rio Tordera (Espagne). Thèse 3ème cycle, Paris.
- LULL H.W., 1964. Ecological and Silvicultural aspects. *Handbook of Hydrology*. VEN TE CHOW ed., McGraw-Hill, section 6, p. 1-30.
- MARTINEZ GIL F.J., 1968. Etude hydrogéologique de la partie Sud du Bas-Ampurdan (Gerone-Espagne). Thèse 3ème cycle, Paris.
- MEADOWS A.J., 1975. A hundred years of controversy over sunspots and weather. *Nature*, 256, p. 95-97.
- MERTZ J., 1957. Essai de classification des types de temps sur les Alpes d'après la disposition des isohyptes à 500 mb. *La Météorologie*, IV, 45-46, p. 305-315.
- MERTZ J., STRIFFLING M., 1957. Sur le mécanisme des pluies dans la vallée du Rhône et les Préalpes les 8 et 9 Décembre 1954. *La Météorologie*, IV, 45-46, p. 237-244.
- MEYER A.F., 1915. Computing run-off from rainfall and other physical data. *Trans. Am. Soc. Civil Engrs.*, 79, p. 1056-1155.
- MICHEL M., 1971. Hydrogéologie du bassin versant de Theys (Isère). Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- MILLER E.G., 1965. Effect of great swamp, New Jersey, on streamflow during base-flow periods. *U.S. Geol. Survey Prof. Paper*, 525-B, p. 177-179.
- MUTIN P., 1969. Etude des mouvements de l'eau dans un sol argileux (bassin versant représentatif de Miellan). *Bull. B.R.G.M.*, 2ème série, Sec. III, 4, p. 47-60.
- NASH J.E., 1960. A unit hydrograph study, with particular reference to British catchments. *Proc. Inst. Civ. Eng.*, 17, p. 249-282.

- OLIVE Ph., 1970. Contribution à l'étude géodynamique du cycle de l'eau dans l'hémisphère nord par la méthode du tritium. Thèse d'Etat, Paris.
- PARDE M., 1947. Fleuves et rivières. A. Colin ed., Paris.
- PEMANN H.L., 1956. Evaporation. An introductory story. Netherlands J. Agric. Sc., 4, p. 87-97.
- PLOTE H., 1974. L'Afrique sahélienne se dessèche-t-elle ? Essai sur la détérioration des conditions climatiques au Sahel tropical. B.R.G.M., 74 SGN 261, AME, Orléans.
- POIREE M., OLLIER Ch., 1971. Irrigation. Les réseaux d'irrigation ; Théorie, technique et économie des arrosages. Biblio. de l'Inst. de Topométrie. Eyrolles ed.
- PORTER J.W., 1975. A comparaison of Hydrologic and Hydrolic catchment routing procedures. J. of Hydrology, 24, p. 333-349.
- PRIMAULT B., 1963. Du calcul de l'évapotranspiration. Archiv. für Meteo., Geophys. und Bioklimatologie, série B, 11, 2, p. 251-268.
- PRUITT W.O., 1960. Relation of consumptive use of water to climate. Trans. Am. Soc. Agr. Engrs., 3, p. 9-17.
- REIGNER I.C., 1966. A method of estimating steam-flow loss by evapotranspiration from the riparian zone. Forest Sci., 12, p. 130-139.
- REMIERAS G., 1972. L'hydrologie de l'ingénieur. Centre de Recherches et d'Essais de Chatou. Eyrolles.
- REYNOLDS E.R.C., LEYTON L., 1963. Measurement and significance of throughfall in forest stands. The water relations of plants, p. 127-141. Dorking, Blackwell Sci. Publ.

- ROCHE M., 1963. Hydrologie de surface. Paris, O.R.S.T.O.M.
- ROBERTSON G.W., HOLMES R.M., 1959. A modulated soil moisture budget. Monthly Weather Review, 87, p. 101-106.
- ROHWER C., 1933. Evaporation from salt solutions and from oil-covered water surfaces. J. Agr. Res., 46, p. 715-729.
- ROULLEAU M., 1958. Variations récentes du climat. La Météorologie, IV, 49, p. 1-14.
- SHERMAN L.H., 1932. Steamflow from rainfall by the unit-graph method. Engineering News Records, 108, 401, 505.
- SHERMAN L.K., 1941. The unit hydrograph and its application. Bull. Ass. State Eng. Soc., 17, p. 4-22.
- SINGH K.P., 1968. Some factors affecting base flow (résumé). Trans. Am. Geophys. Union, 49, p. 169.
- SIWERTZ E., 1973. Etude expérimentale par le tritium et l'oxygène-18 de l'infiltration sur les lysimètres et le bassin de Thonon. Thèse 3ème cycle, Paris.
- SIWERTZ E., CHASSAING B., HAUBERT M., OLIVE Ph., 1974. Bilan hydrologique du Lac Léman pour la période 1963-1972. Arch. Sci. Genève, 27, 1, p. 49-66.
- SNYDER W.M., ASMUSSEN L.E., 1972. Subsurface hydrograph analysis by convolution. J. Irrig. Drain. Div. Amer. Soc. Civil Eng. IR 3, p. 405-418.
- THORNTWHAITE C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geograph. Rev., 38, p. 55-94.
- THORNTWHAITE C.W., MATHER T.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publ. in Climatology 10, 3, New Jersey, Drexel Inst. of Technology.

- TRIPET J.P., 1972. Etude hydrogéologique du bassin de la source de l'Areuse (Jura Neuchâtelois). Thèse, Neuchâtel.
- TROXELL H.C., 1936. The diurnal fluctuation in ground-water and flow of the Santa Ana River and its meaning. *Trans. Am. Geophys. Union*, 17, p. 496-504.
- TSCHINKEL H.M., 1963. Short-term fluctuations in steam flow as related to evaporation and transpiration. *J. Geophys. Res.*, 68, p. 6459-6469.
- TURC L., 1953. Le bilan de l'eau des sols et relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. Institut National de la Recherche Agronomique, Université de Paris.
- UTTINGER H., 1965. *Klimatologie der Schweiz, Niederschlag*, Herausgegeben von der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, Zürich.
- VEIHMEYER J.F., 1938. Evaporation from soil and transpiration. *Trans. Am. Geophys. Union*, 19, 612-619.
- VEIHMEYER J.F., 1964. Evapotranspiration. *Handbook of applied Hydrology*. VEN TE CHOW ed., McGraw-Hill, section 11, p. 1-38.
- VEIHMEYER J.F., BROOKS F.A., 1954. Measurements of cumulative evaporation from bare soil. *Trans. Am. Geophys. Union*, 33, p. 601-607.
- VIAL R., Thèse 3ème cycle, Grenoble, à paraître.
- VIAL R., JAMIER D., OLIVE Ph., 1976. Adaptation de la morphologie quaternaire à la structure tectonique dans la région du Bas-Chablais (Haute-Savoie). *Rev. Géogr. Alp.*, LXIV, 1, p. 79-92.
- WHELAN D.E., 1950. A method of evaluating the hydrologic effects of land use on large water sheds. *Trans. Am. Geophys. Union*, 31, p. 253-261.

- WINSTANLEY D., 1973. Rainfall patterns and general atmospheric circulation. *Nature*, 245, p. 190-194.
- WISLER C.O., BRATER E.F., 1959. *Hydrology*. John Wiley Sons. Inc. New-York.
- YATES P., SNYDER W.M., 1975. Predicting Recessions Through Convolution. *Water Resources Research*, 11, 3, p. 418-422.

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1 - Représentation schématique du cycle de l'eau.....	1
Figure 2 - Cadre géographique général de la région étudiée..	3
Figure 3 - Les vents principaux de la région lémanique.....	6
Figure 4 - Esquisse géologique dans la région de Thonon- Evian.....	7
Figure 5 - Bassin versant du Maravant.....	8
Figure 6 - Fréquences altimétriques et courbe hypsométrique du bassin versant représentatif du Maravant.....	10
Figure 7 - Rectangle équivalent du Maravant.....	12
Figure 8 - Coupe géologique schématique du versant d'Evian..	14
Figure 9 - Coupe géologique au niveau des puits de Chez Portay et Pigny.....	15
Figure 10 - Séquence pédologique du Maravant.....	16
Figure 11 - Types particuliers de sols sur le bassin du Maravant.....	17
Figure 12 - Schéma phytosociologique du bassin du Maravant...	19
Figure 13 - Application du test de la double masse aux sta- tions pluviométriques de Genève, Lausanne, Montreux, Thonon-Rives (1901-1974).....	22
Figure 14 - Distribution normale des totaux annuels de pré- cipitations à Genève, Thonon, Lausanne, Montreux (1901-1974).....	25
Figure 15 - Mécanisme et progression des pluies sur le Léman.	28
Figure 16 - Répartition des totaux mensuels de précipitations à Genève, Thonon, Lausanne et Montreux.....	30
Figure 17 - Evolution des coefficients pluviométriques men- suels à Genève, Thonon, Lausanne et Montreux.....	31
Figure 18 - Variations des précipitations annuelles à Genève, Thonon, Lausanne et Montreux.....	32
Figure 19 - Moyennes mobiles sur 5 ans (—) et sur 20 ans (...) des totaux annuels de précipitations à Genève, Thonon, Lausanne et Montreux (1901-1974).	34

Figure 20 - Courbes isohyètes de la région du Léman pour les périodes 1911-1930, 1931-1950, 1951-1970..... 37

Figure 21 - Schéma de l'évolution des précipitations autour du Léman..... 38

Figure 22 - Variations du module pluviométrique annuel avec la durée de la période d'observation..... 41

Figure 23 - Postes pluviométriques du versant d'Evian..... 43

Figure 24 - Isohyètes du versant d'Evian (1963-1974)..... 44

Figure 25 - Relations entre les précipitations annuelles moyennes, leurs écarts-type et coefficients de variation aux postes pluviométriques du versant d'Evian..... 50

Figure 26 - Régime moyen des précipitations mensuelles sur le versant d'Evian..... 51

Figure 27 - Corrélation entre les précipitations annuelles à la station du Maravant (Px) et aux stations de référence (Py) (1965-1974)..... 58

Figure 28 - Application du test de la double masse aux stations pluviométriques du Maravant, de Lausanne et de Montreux..... 59

Figure 29 - Evolution des précipitations mensuelles à la station du Maravant (1965-1974)..... 63

Figure 30 - Distribution moyenne des précipitations journalières à la station du Maravant (1965-1974)..... 66

Figure 31 - Régime moyen des précipitations journalières à la station du Maravant (1965-1974)..... 68

Figure 32 - Précipitations neigeuses à Vinzier (920 m)..... 71

Figure 33 - Corrélation entre l'évaporation Piche et l'évaporation Bac mensuelles à Thonon-C.R.G. (385 m), Les Blaves (600 m) et Larringes (800 m)..... 82

Figure 34 - Evolution globale de l'évaporation à Thonon-C.R.G. aux Blaves et à Larringes..... 83

Figure 35 - Variations annuelles de l'évaporation Bac à Thonon, aux Blaves et à Larringes..... 85

Figure 36 - Evolution de l'évaporation potentielle et de l'évapotranspiration potentielle avec l'altitude sur les versants Thonon-Evian..... 87

Figure 37 - Evaporation au Bac Colorado de Larringes..... 93

Figure 38 - Evolution moyenne mensuelle de l'évaporation Bac, de la température et de la durée d'ensoleillement (1965-1974)..... 95

Figure 39 - Evolution du gradient altimétrique de température entre les Blaves (600 m) et Larringes (800 m) (1966-1974)..... 98

Figure 40 - Corrélation entre les températures mensuelles à Larringes (800 m) et aux Blaves (600 m) (1966-1974)..... 99

Figure 41 - Evolution mensuelle moyenne de l'ETP Turc et l'ETP Thornthwaite au Maravant (1965-1974)..... 103

Figure 42 - Evolution mensuelle de l'ETP moyenne calculée à partir de formules empiriques par rapport à l'évaporation moyenne dans le Bac Colorado à Larringes.. 105

Figure 43 - Corrélation entre l'évaporation Bac et l'évapotranspiration calculée à partir des formules empiriques des auteurs..... 105

Figure 44 - Corrélation entre l'évaporation Bac et l'évapotranspiration calculée à partir des formules empiriques corrigées..... 110

Figure 45 - Corrélation entre les données fournies par les pluviographes Px (fixe) et Py (destiné à la mesure de l'interception)..... 114

Figure 46 - Précipitations brutes, précipitations nettes et interception à l'échelle journalière..... 115

Figure 47 - Précipitations brutes et précipitations nettes cumulées..... 116

Figure 48 - Relation à l'échelle de l'averse entre l'interception et la lame d'eau brute précipitée..... 118

Figure 49 - Courbe de tarage du Maravant..... 121

Figure 50 - Courbe des débits cumulés du Maravant..... 125

Figure 51 - Ecart au module annuel des débits moyens annuels du Maravant..... 126

Figure 52 - Relation entre les valeurs annuelles des précipitations et de l'écoulement de surface..... 128

Figure 53 - Evolution des débits mensuels à la station du Maravant (1965-1974)..... 129

Figure 54 - Evolution moyenne des débits mensuels du Maravant.. 130

Figure 55 - Courbes de fonctionnement du ruisseau du Maravant.. 131

	Pages
Figure 56 - Evolution mensuelle des coefficients d'écoulement superficiel (1965-1974).....	134
Figure 57 - Courbes des débits classés du Maravant.....	136
Figure 58 - Débits moyens du Maravant sur 5, 10, 20 et 30 jours consécutifs.....	138
Figure 59 - Schéma de la vidange de l'aquifère libre dans le ruisseau du Maravant suivant les saisons.....	144
Figure 60 - Courbes de tarissement saisonnières du Maravant.....	147
Figure 61 - Courbes moyennes de tarissement du ruisseau du Maravant (1965-1974).....	149
Figure 62 - Variations comparées des réserves superficielles et de l'écoulement global.....	151
Figure 63 - Hydrogramme de tarissement du ruisseau du Maravant du 28-7 au 9-8-1975.....	153
Figure 64 - Relations entre les fluctuations de débit et les variations de la température de l'air sous abri.....	154
Figure 65 - Fluctuations du niveau de l'eau en régime de tarissement.....	155
Figure 66 - Schéma des rapports entre l'évapotranspiration et le tarissement en régime non influencé.....	156
Figure 67 - Estimation des prélèvements aux réserves souterraines à partir des courbes de tarissement saisonnières.....	159
Figure 68a - Prélèvements par évapotranspiration aux réserves souterraines du Maravant pour 15 jours de tarissement.....	162
Figure 68b - Prélèvements maxima par évapotranspiration aux réserves souterraines du Maravant en période de tarissement.....	163
Figure 69 - Relation entre les valeurs annuelles des précipitations et l'écoulement global.....	166
Figure 70 - Les diverses caractéristiques de l'hydrogramme théorique.....	171
Figure 71 - Esquisse de régression entre les temps de montée, les hauteurs d'averses et les intensités maximales de ces averses.....	173
Figure 72 - Esquisse de régression entre les débits de pointe, les hauteurs d'averses et les débits de base.....	174
Figure 73 - Relations entre les débits aux instants t et t + 6 pour les décrues du Maravant (Modèle I).....	180

	Pages
Figure 74 - Courbes de recession du Maravant (Modèle I).....	181
Figure 75 - Courbes de recession du Maravant (Modèle II).....	182
Figure 76 - Exemples de courbes de décrue du ruisseau du Maravant.....	183
Figure 77 - Décomposition de l'hydrogramme de crue du 27 au 30 juin 1974.....	187
Figure 78 - Distribution des coefficients d'écoulement du bassin du Maravant à l'échelle de l'averse.....	188
Figure 79 - Exemples d'hydrogrammes du Maravant.....	191
Figure 80 - Corrélation entre les débits de pointe de l'écoulement global (Q_{PG}) et de l'écoulement souterrain (Q_{PS}).....	192
Figure 81 - Corrélation entre les volumes d'eau liés à l'écoulement global et à l'écoulement souterrain lors des crues sur le bassin du Maravant.....	193
Figure 82 - Evolution des différents termes du bilan hydrologique du bassin du Maravant.....	198

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau I.1.1. - Valeurs des moyennes mensuelles et annuelles des températures à Thonon, Genève et Lausanne.....	4
Tableau I.2.1. - Caractéristiques hypsométriques du bassin versant représentatif du Maravant.....	10
Tableau II.1.1. - Précipitations annuelles à Genève, Thonon, Lausanne et Montreux.....	23
Tableau II.1.2. - Paramètres empiriques des chroniques de précipitations annuelles à Genève, Thonon, Lausanne et Montreux.....	24
Tableau II.1.3. - Récurrence théorique des lames d'eau extrêmes précipitées en 1 an à Genève, Thonon, Lausanne et Montreux.....	26
Tableau II.1.4. - Les précipitations annuelles extrêmes à Genève, Lausanne, Montreux et Thonon ; quantiles caractéristiques.....	27
Tableau II.1.5. - Les précipitations mensuelles à Genève, Lausanne, Montreux et Thonon.....	29
Tableau II.1.6. - Coefficients pluviométriques mensuels à Genève, Thonon, Lausanne et Montreux.....	29
Tableau II.1.7. - Estimations des modules pluviométriques annuels pour les périodes 1911-1930, 1931-1950, 1951-1970 et variations relatives de ces estimations.....	35
Tableau II.2.1. - Caractéristiques des stations pluviométriques du versant d'Evian.....	42
Tableau II.2.2. - Précipitations annuelles aux postes pluviométriques du versant d'Evian.....	43
Tableau II.2.3. - Lames d'eau moyennes sur le versant d'Evian....	47
Tableau II.2.4. - Caractéristiques des hauteurs de précipitations annuelles sur le versant d'Evian.....	48
Tableau II.2.5. - Précipitations moyennes mensuelles sur le versant d'Evian.....	52
Tableau II.3.1. - Précipitations annuelles à la station du Maravant.....	55
Tableau II.3.2. - Série étendue des totaux annuels de précipitations à la ferme du Maravant.....	60

	Pages
Tableau II.3. 3. - Principaux paramètres issus de l'extension de la chronique des précipitations annuelles à la station du Maravant.....	62
Tableau II.3. 4. - Précipitations mensuelles à la ferme du Maravant.....	64
Tableau II.3. 5. - Répartition mensuelle des lames d'eau moyennes précipitées à la station du Maravant.....	65
Tableau II.3. 6. - Coefficients pluviométriques mensuels à la station du Maravant.....	65
Tableau II.3.17. - Fréquence des précipitations journalières (en nombre de jours sur 10 ans) à la ferme du Maravant (1965-1974).....	67
Tableau II.3.18. - Régime moyen des précipitations journalières à la station du Maravant.....	69
Tableau II.3.19. - Précipitations neigeuses à Vinzier (920 m)....	70
Tableau II.3.20. - Coefficients nivométriques à Vinzier.....	72
Tableau III.1. 1. - Exemples d'équations proposées pour le calcul de l'évaporation E.....	75
Tableau III.2. 1. - Evaporation bac et évaporation piche à Thonon, Les Blaves et Larringes.....	80
Tableau III.2. 2. - Estimations de l'ETP annuelle à Thonon.....	90
Tableau III.3. 1. - Evaporation bac à Larringes.....	92
Tableau III.3. 2. - Estimations des températures moyennes sous abri à 900 m (B.V. du Maravant).....	100
Tableau III.3. 3. - Estimations de l'ETP à partir de la formule de Thornthwaite (B.V. du Maravant).....	101
Tableau III.3. 4. - Estimations de l'ETP à partir de la formule de Turc (B.V. du Maravant).....	102
Tableau III.3. 5. - Estimations de l'ETP à partir de la formule de Thornthwaite corrigée (B.V. du Maravant).....	108
Tableau III.3. 6. - Estimations de l'ETP à partir de la formule de Turc corrigée (B.V. du Maravant).....	109
Tableau IV.2.11. - Débits moyens annuels du Maravant.....	123
Tableau IV.2.12. - Précipitations, lames d'eau écoulées et coefficients d'écoulement annuels : B.V. du Maravant.....	126
Tableau IV.2.14. - Débits moyens mensuels du Maravant (1965-1974).....	129

	Pages
Tableau IV.2.15. - Précipitations, lames d'eau écoulées et coefficients d'écoulement du Maravant.....	132
Tableau IV.2.16. - Débits caractéristiques du ruisseau du Maravant.....	135
Tableau IV.2.17. - Débits moyens caractéristiques de crue (DMCC) et d'étiage (DMCE) sur 1, 5, 10, 20, 30 jours consécutifs du ruisseau du Maravant.....	142
Tableau IV.2.18. - Estimations des paramètres saisonniers de l'équation de tarissement ($Q(t) = Q_0 e^{-\alpha t}$) du ruisseau du Maravant.....	148
Tableau IV.2.19. - Estimations saisonnières des réserves du ruisseau du Maravant en début de tarissement.....	150
Tableau IV.3. 1. - ETP, ETR et écoulement global.....	167
TABLEAU IV.4. 2. - Valeurs des débits Q_0, Q_6, \dots, Q_{72} du ruisseau du Maravant en période de décrue..	177
Tableau IV.4. 3. - Modèles de décrue du ruisseau du Maravant..	179

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

ANNEXES

APPLICATION DU PROCÉDE DES MOYENNES MOBILES
AUX SERIES DE TOTAUX ANNUELS DE PRECIPITATIONS EN UN LIEU DONNE

La série chronologique des totaux annuels de précipitations en un lieu étant donnée, celle-ci présente des variations qui peuvent masquer l'évolution générale de la variable "précipitations annuelles" dans le temps.

Le procédé des moyennes mobiles, généralement utilisé pour l'analyse des séries chronologiques, appliqué aux séries chronologiques des totaux annuels de précipitations $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_k$ en un lieu donné aux dates $t = 1, 2, \dots, i, \dots, k$, consiste à substituer à chaque total annuel P_i de la série considérée la moyenne arithmétique d'un nombre quelconque p de totaux annuels consécutifs.

Si p est impair ($p = 2r + 1$), on convient d'affecter la moyenne des termes $P_{i-r}, P_{i-r+1}, \dots, P_i, \dots, P_{i+r-1}, P_{i+r}$ à l'année milieu i .

Si p est pair ($p = 2r$), on affecte la moyenne des termes $P_{i-r+1}, \dots, P_i, P_{i+1}, \dots, P_{i+r}$ à l'année fictive représentant les 2 années milieu i et $i+1$.

On appellera p le pas choisi.

On notera pP_i la moyenne relative à un nombre impair de totaux annuels de précipitations, i représentant la date milieu dans la série de totaux correspondant au pas p considéré, et ${}^pP_{i, i+1}$ la moyenne relative à un nombre pair de totaux annuels de précipitations, i et $i+1$ représentant les 2 dates milieu dans la série de totaux correspondant au pas p considéré.

On a donc :

$$pP_i = \frac{1}{p} \sum_{k=i-r}^{i+r} P_k \quad \text{si } p = 2r+1$$

$$pP_i, 1+1 = \frac{1}{p} \sum_{k=i-r+1}^{i+r} P_k \quad \text{si } p = 2r$$

Pour un pas choisi, on obtient une nouvelle série $pP_{r+1}, pP_{r+2}, \dots, pP_{k-r+1}$ (ou $pP_r, pP_{r+1}, pP_{r+2}, \dots, pP_{k-r}$, $k-r+1$) qui exprime la tendance de l'évolution débarrassée des variations observées dans les séries chronologiques des totaux annuels de précipitations : ces variations sont rattachées à 3 composantes essentielles :

- Le mouvement de longue durée.
- Les variations cycliques.
- Les variations accidentelles.

Suivant le pas choisi, les fluctuations sont, soit atténuées, soit éliminées, soit renversées.

Un pas trop court ne supprime pas les variations cycliques ou accidentelles.

Un pas trop long renverse les phases des variations cycliques.

Les variations régulières sont complètement éliminées lorsque le pas utilisé coïncide avec la période de ces variations ; les variations accidentelles sont atténuées proportionnellement au pas.

En représentation graphique, si le graphique des moyennes mobiles se rapproche d'une droite, il représente le mouvement de longue durée débarrassé de toute variation.

ANNEXE 2

Par définition, le coefficient de corrélation linéaire est la racine carrée arithmétique du produit des pentes des droites de régression de x en y et de y en x.

Le coefficient de corrélation R est calculé à partir de la formule :

$$R = \frac{1}{n} \frac{\sum xy - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

\bar{x} = moyenne des x (écart type σ_x)
 \bar{y} = moyenne des y (écart type σ_y)
n = nombre de couples de valeurs

Le tableau suivant donne la valeur de R ayant la probabilité P d'être dépassée en module, pour différentes valeurs du nombre de degrés de liberté, (v), égal au nombre de paires d'échantillons diminué de 2. Pour une corrélation liée, il faut en outre retrancher le nombre des variables de liaison.

v \ P	0,10	0,05	0,02	0,01
1	0,9877	0,9969	0,9995	0,9999
2	0,9000	0,9500	0,9800	0,9900
3	0,8054	0,8783	0,9343	0,9587
4	0,7293	0,8114	0,8822	0,9172
5	0,6694	0,7545	0,8329	0,8745
6	0,6215	0,7067	0,7887	0,8343
7	0,5822	0,6664	0,7498	0,7977
8	0,5494	0,6319	0,7155	0,7646
9	0,5214	0,6021	0,6851	0,7348
10	0,4973	0,5760	0,6581	0,7079
11	0,4762	0,5529	0,6339	0,6835
12	0,4575	0,5324	0,6120	0,6614
13	0,4409	0,5139	0,5923	0,6411
14	0,4259	0,4973	0,5742	0,6226
15	0,4124	0,4821	0,5577	0,6055
16	0,4000	0,4683	0,5425	0,5897
17	0,3887	0,4555	0,5285	0,5751
18	0,3783	0,4438	0,5155	0,5614
19	0,3687	0,4329	0,5034	0,5487
20	0,3598	0,4227	0,4921	0,5368
25	0,3233	0,3809	0,4451	0,4869
30	0,2960	0,3494	0,4093	0,4487
35	0,2746	0,3246	0,3810	0,4182
40	0,2573	0,3044	0,3578	0,3932
45	0,2428	0,2875	0,3384	0,3721
50	0,2306	0,2732	0,3218	0,3541
60	0,2108	0,2500	0,2948	0,3248
70	0,1954	0,2319	0,2737	0,3017
80	0,1829	0,2172	0,2565	0,2830
90	0,1726	0,2050	0,2422	0,2673
100	0,1638	0,1946	0,2301	0,2540

A N N E X E 3

METHODES DE CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE, ETR

Nous avons vu que l'évapotranspiration potentielle représente la quantité d'eau pouvant être utilisée par les phénomènes d'évaporation et de transpiration lorsque le stock d'eau disponible existe en quantité suffisante à la surface et dans le sol ; l'eau est donc le facteur limitant.

Si l'eau est présente en quantité suffisante sur le bassin, l'évapotranspiration a lieu au taux potentiel et $ETR = ETP$.

Dans les cas où l'ETP est supérieure à la disponibilité en eau issue des précipitations, les réserves du sol sont sollicitées et $ETR < ETP$ car une partie de l'énergie disponible sera nécessairement utilisée par les phénomènes de succion et d'extraction de l'eau du sol.

Afin d'exprimer l'évapotranspiration réelle dans les cas de déficits pluviométriques et en tenant compte de l'état des réserves du sol, nous avons retenu le principe fondamental suivant :

Plus les réserves du sol seront entamées, plus l'énergie nécessaire à l'extraction d'une lame d'eau donnée sera importante, donc, pour une valeur d'ETP donnée sollicitant les réserves du sol, l'ETR correspondante sera d'autant plus faible que ces réserves seront plus entamées. Ce principe conduit à l'équation différentielle suivante :

$$\frac{d ETR}{d ETP} = f \frac{R_f}{R_i} \quad (1)$$

R_i et R_f étant respectivement les réserves initiales et finales du sol avant et après leur sollicitation.

Une relation du même type semble avoir été utilisée par THORNTHWAITE pour la construction des tables publiées en 1957 :

R désignant la réserve ou stock, à un instant quelconque, il est admis que toute variation ΔR de la réserve est proportionnelle à la variation instantanée du déficit $\Delta D = ETP - P$ et au rapport de la réserve R à sa valeur initiale R_i (cité par EMSALEM, 1972).

La relation (1) a été envisagée sous les 2 formes suivantes :

$$\frac{d ETR}{d ETP} = \frac{R_f}{R_i} \quad (2)$$

et
$$\frac{d ETR}{d ETP} = \frac{R_f^2}{R_i} \quad (3)$$

ETR représentant ici la part des réserves pouvant être utilisées à partir du déficit $D = ETP - P$.

Dans les 2 cas $R_f = R_i - ETR$ (4)

Résolution de l'équation (2) :

D'après (4), (2) devient :

$$\frac{d ETR}{R_i - ETR} = \frac{d D}{R_i} \quad \text{avec } d ETR = - d (R_i - ETR)$$

d'où,
$$- \frac{d (R_i - ETR)}{R_i - ETR} = \frac{d D}{R_i}$$

soit,
$$- \ln (R_i - ETR) = \frac{D}{R_i} + k$$

or, si $D = 0 \quad ETR = 0 \rightarrow k = - \ln R_i$

donc,
$$- \ln (R_i - ETR) = \frac{D}{R_i} - \ln R_i$$

ou bien
$$\ln \frac{R_i - ETR}{R_i} = - \frac{D}{R_i}$$

et
$$1 - \frac{ETR}{R_i} = e^{-\frac{D}{R_i}}$$

d'où
$$ETR = R_i (1 - e^{-\frac{D}{R_i}}) \quad (5)$$

Un calcul identique conduirait, pour l'équation (3), à la relation suivante :

$$ETR = \frac{R_i D}{D + R_i} \quad (6)$$

Cette dernière équation a été appliquée au bassin du Maravant sur la base d'une réserve du sol égale à 200 mm en début de toute chronique de calcul.

Il reste cependant à préciser un mode de détermination de la réserve utilisable et à adapter les relations de récurrence de base aux différents types de sols.

TABLEAUX HORS - TEXTE

L I S T E D E S T A B L E A U X H O R S - T E X T E

	Pages
Tableau II.1.8. - Variations relatives du module pluviométrique annuel avec la durée d'observation.....	224
Tableau II.3.7. - Précipitations journalières à la Ferme du Maravant (année 1965).....	225
:	:
:	:
:	:
Tableau II.3.16. - Précipitations journalières à la Ferme du Maravant (année 1974).....	234
Tableau IV.1.1. - Correspondance hauteurs d'échelle - débits mesurés pour le ruisseau du Maravant.....	235
Tableau IV.2.1. - Débits moyens journaliers du ruisseau du Maravant (année 1965).....	236
:	:
:	:
:	:
Tableau IV.2.10. - Débits moyens journaliers du ruisseau du Maravant (année 1974).....	245
Tableau IV.2.13. - Débits moyens mensuels du ruisseau du Maravant.....	246
Tableau IV.4.1. - Principales caractéristiques des crues étudiées.....	247

Nombre d'années	GENEVE		THONON		LAUSANNE		MONTREUX	
	Ecart maxima (%)	Ecart moyens (%)						
2	38	11	30	10	34	11	40	8,6
3	22	9	24	8,3	23	9	25	7
4	22	8	22	6,6	18	7,4	19	6
5	18	7	18	6,0	16	6,3	14	5,3
6	17	6,5	15	5,4	16	5,7	13	5,3
7	15	5,9	13	4,6	15	5,1	12	4,8
8	14	5,7	11	4,1	15	4,7	12	4,1
9	15	5,4	11	3,9	14	4,3	11	3,9
10	13	5,3	9,7	3,6	12	4,0	9,2	3,6
11	12	5,1	8,1	3,1	9,7	3,6	7,9	3,3
12	10	5,0	7,5	3,0	9,2	3,6	7,5	3,0
13	11	4,8	7,9	2,7	9,1	3,3	7,4	2,7
15	9	4,5	5,6	2,3	6,6	2,9	6,0	2,5
17	10	4,2	6,1	2,1	6,7	2,7	6,5	2,3
19	9	4,1	5,4	1,8	6,7	2,6	6,4	2,2
20	8,6	4,0	4,6	1,7	6,1	2,5	5,5	2,1
25	7,1	3,5	4,2	1,5	4,6	2,0	4,6	1,6
30	5,7	3,2	4,1	1,2	4,4	1,8	4,1	1,1
40	3,8	1,8	1,7	0,7	1,5	0,7	1,9	0,8
50	2,5	1,0	1,4	0,5	1,2	0,5	2,0	0,6
60	1,7	1,1	1,5	0,7	1,6	0,7	1,1	0,8
70	1,0	0,5	0,5	0,3	0,6	0,3	0,3	0,2

TABLEAU II.1.8. - Variations relatives du module pluviométrique annuel avec la durée d'observation (écarts à la moyenne calculée sur 74 ans)

TABLEAUX II.3.7 à II.3.16

PRECIPITATIONS JOURNALIERES A LA FERME DU MARAVANT
(1965 - 1974)

BASSIN DU MARAVANT

PRECIPITATIONS JOURNALIERES EN mm

Année 1965

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	3	6,2	4	0,1	-	0,3	16,2	3,4	32,6	14,1	2,4	0,3
2	7,3	0,1	5,1	-	2,1	4,1	-	1	11,6	0,5	-	0,9
3	-	0,1	2,7	-	4,5	14	-	5,6	0,4	-	2,4	5,8
4	0,4	-	6	-	26,8	3,4	17,4	0,1	0,3	-	4,4	2,1
5	0,4	0,1	4,9	-	19,5	6,8	-	-	8,3	0,1	2	8,2
6	-	0,5	1,1	-	5,7	0,3	-	-	11	0,1	0,1	15
7	-	-	0,4	5,2	-	7	21	0,3	1	0,1	0,6	4,1
8	2,5	0,2	-	8	-	8,7	51,8	0,2	2,6	0,1	-	5,9
9	9,8	-	-	7	-	2,6	9,4	-	29,1	0,2	2,2	1,1
10	-	-	0,1	0,2	-	10,3	-	0,1	2,8	0,1	0,2	15,7
11	-	-	0,1	7,6	-	1	-	-	1,3	-	0,1	1
12	0,4	-	-	4,7	0,1	-	-	-	5,6	0,5	6,8	4,2
13	3,1	-	-	1	0,1	0,4	-	-	7,7	-	0,6	2
14	1,8	1,7	-	-	-	0,6	-	28	0,1	0,1	4,3	-
15	0,1	3,3	0,3	3	0,5	-	11,3	0,4	-	0,1	4	0,1
16	2,4	4,5	3,5	13,3	-	8	0,1	-	0,1	6,2	-	3
17	18,2	-	-	0,4	11,2	1,1	-	0,1	-	4,9	10	6,2
18	1,3	0,1	5,7	11,2	10,1	-	0,1	-	22,3	0,1	1,3	-
19	0,6	-	4,7	1,5	20,9	-	-	0,1	0,1	0,4	15,2	-
20	0,4	-	-	4	-	1,3	22,6	0,1	0,2	0,3	14	0,2
21	1,8	-	11,8	5,8	0,1	1,2	-	7,8	0,2	0,2	16,4	5,4
22	0,6	0,1	18,3	1,4	0,1	-	2,6	32,6	0,1	0,2	6	3,9
23	-	-	15,1	1,3	0,2	-	4,6	6,4	-	-	0,2	5,3
24	-	-	14	-	0,2	-	5	3,6	-	0,2	-	1
25	-	-	2,8	0,7	1,5	-	28,6	1,2	-	-	10,1	8,1
26	0,1	0,2	7,6	14,4	-	-	0,6	-	14,7	-	5,9	4
27	0,4	-	2,8	7,2	6,1	7,8	2,2	2,4	13,4	3,6	16,4	-
28	0,4	-	0,2	6,2	10,5	-	0,1	-	2,2	0,1	3,8	9,2
29	-	-	0,1	2,6	1,7	0,1	0,5	0,3	0,8	19,7	5,3	21,7
30	0,7	-	-	-	4	6,1	2,2	-	3,3	-	12,4	9,1
31	6,5	-	0,1	-	3	-	15,6	6,5	-	-	-	-
	61,8	17,1	111,2	107,8	128,8	85,1	211,8	100,2	172	52	147,1	152,8
TOTAL ANNUEL : 1 348 mm												

BASSIN DU MARAVANT
 PRECIPITATIONS JOURNALIERES EN mm
 Année 1966

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	3	-	2,1	-	-	-	0,3	0,1	-	5,2	0,2	1,6
2	7,8	1,7	0,1	-	-	-	-	9,8	-	1,1	0,5	12
3	3,2	9,3	-	-	-	-	-	0,1	-	-	4	1,5
4	5,4	1,4	1,5	-	-	-	-	29,6	-	-	3,2	0,7
5	1,6	-	-	-	-	-	0,1	-	1,3	-	10,1	4,1
6	0,2	-	-	-	-	9	17,3	-	-	-	2,8	1,8
7	0,1	13,4	-	2,1	47	-	4,1	0,1	-	-	-	0,3
8	-	22,1	-	11,6	12	-	0,9	17,6	-	-	-	-
9	0,1	6,3	-	1,1	6	-	-	0,2	-	6,5	-	1,8
10	-	-	-	22	-	18	-	-	-	0,9	4,7	4,6
11	3,1	4,5	-	-	-	-	12,1	-	0,1	0,1	-	2,6
12	20	3,4	7,6	-	-	4	0,1	-	-	0,9	-	2,2
13	0,2	1,4	7,4	-	-	-	-	-	39,2	-	-	0,4
14	-	3,5	0,6	-	-	-	1,6	-	-	-	-	3,4
15	0,2	0,1	-	24	-	-	0,4	-	11,8	1,2	-	6,8
16	0,9	0,1	2	-	-	-	5,2	-	4,7	0,1	4,9	0,8
17	0,6	6,2	-	14	10	-	7,8	-	-	0,1	4,1	-
18	0,1	0,3	0,1	5,6	7	-	16,4	0,1	-	0,1	-	-
19	0,1	-	0,5	24	8	12	2,2	-	-	19,6	-	-
20	1,2	-	-	49	-	-	3,1	-	-	1,3	-	1,6
21	0,7	11,8	-	-	-	-	0,6	7,7	0,3	1,3	-	0,7
22	16,7	1,9	-	-	-	1,6	-	8,6	-	-	0,1	0,9
23	8,7	2,6	-	-	-	4,5	-	0,4	0,1	-	0,1	2
24	3,9	0,1	1,6	1	21	2,2	-	-	-	-	3,5	0,9
25	0,4	-	1,6	1,4	-	8,8	0,1	0,1	0,2	23	3,4	2,9
26	2,9	7,4	0,8	23,3	4	12,4	-	-	0,1	-	0,2	-
27	1,5	1,3	5,3	-	-	2	-	0,2	-	43	-	-
28	-	5,3	14,7	7	-	-	0,5	-	-	-	1,5	7,4
29	-	6,5	3	3	0,1	0,1	3,1	0,4	0,4	-	2,3	7,3
30	0,1	-	6,9	-	-	0,3	-	9	9,4	-	6,9	0,9
31	0,2	-	-	-	-	-	-	9,1	-	-	-	-
82,9	104,1	55,8	189,1	115	72,9	72,9	95,8	67,8	104,4	52,5	68,2	
TOTAL ANNUEL : 1 084 mm												

BASSIN DU MARAVANT
 PRECIPITATIONS JOURNALIERES EN mm
 Année 1967

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	6	-	2,7	-	4,1	6,3	11,5	-	-	0,2	12,2	-
2	12	-	-	-	8,6	-	2,1	8	-	0,2	-	-
3	-	-	-	0,3	10,3	-	11,3	2,4	2	2,1	41,2	-
4	-	-	-	0,3	0,3	-	0,9	4,8	22,2	23,7	-	-
5	-	0,3	1	0,1	0,1	-	0,1	2,2	-	3,4	20,4	-
6	-	0,1	0,1	1,6	3	-	2,5	0,1	11,8	4,2	-	-
7	-	0,1	0,1	7,2	0,1	10,3	17,8	-	-	0,2	0,5	-
8	-	-	-	0,4	0,7	41,3	1,5	-	18,6	0,1	0,1	-
9	-	0,1	0,2	-	0,1	-	6,6	-	11,9	-	0,2	-
10	-	-	17,8	6,6	-	-	-	32,6	0,8	-	0,1	-
11	-	0,1	2,7	3,5	-	0,1	-	6,6	0,1	-	0,1	-
12	-	-	1,2	-	19,7	-	-	0,8	0,9	-	0,1	-
13	-	-	1,2	0,1	0,1	0,1	-	11,5	-	-	-	-
14	-	-	2,5	-	3,1	-	36,6	9,4	9	-	-	-
15	-	-	-	-	16,5	3,5	-	-	19,8	1,8	14,3	-
16	-	-	-	-	2,9	0,9	0,1	8,8	10,1	-	19	15,0
17	-	0,7	-	0,1	13,3	-	-	4,7	0,1	-	50	-
18	-	1,4	2	-	4	7,1	-	-	1,3	24,5	-	-
19	-	4,8	1	-	0,1	3,3	-	-	12	-	-	20,0
20	-	13,6	4,3	-	-	0,4	-	0,4	5,9	-	-	-
21	-	0,8	2,7	2,7	0,1	-	-	-	0,7	-	-	-
22	22,5	-	-	5,6	0,6	-	0,1	0,2	6	-	-	-
23	-	0,3	-	3,2	20,8	-	2	-	0,2	-	-	-
24	10	-	-	2,2	4,7	-	0,4	10,2	-	-	-	-
25	-	-	-	0,1	32,7	-	7,4	0,1	-	-	-	17,3
26	-	2,2	4,1	-	0,7	9,7	0,1	-	0,1	-	-	15
27	-	8,7	0,7	0,1	-	14,8	0,1	0,1	-	-	30	-
28	-	7,1	15,6	0,1	-	0,1	-	0,1	0,1	8,9	-	-
29	-	-	2,9	0,1	4,9	-	-	0,1	-	14,1	-	-
30	-	-	0,1	-	3,6	-	-	0,4	11,8	-	-	15
31	-	-	0,1	-	-	-	15,8	0,1	-	-	-	20
50,5	40,2	63	34,3	155	98	110,5	103,5	145,4	83,4	188,2	102,3	
TOTAL ANNUEL : 1 174 mm												

BASSIN DU MARAVANT
 PRECIPITATIONS JOURNALIERES EN mm
 Année 1968

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	7,8	0,1	0,1	-	-	0,1	-	3,2	-	-	-	0,4
2	14	5,8	0,1	-	12	0,1	-	59,6	6,9	-	7	0,3
3	-	4,1	-	-	0,1	6,3	2,9	8,5	7,1	0,1	21	0,4
4	-	6,4	-	-	-	10,5	0,3	18,6	5,8	0,1	25,6	0,3
5	10,7	0,9	0,2	20,1	-	3,3	18,6	0,2	0,2	0,2	-	0,1
6	4	10	2	8,0	4,2	-	13	10,6	0,2	0,2	0,2	1,2
7	9,5	5,3	5,6	-	0,6	-	-	23	0,2	26,2	-	0,3
8	-	0,2	-	-	-	-	-	20	0,2	21,2	0,9	0,3
9	-	15,8	-	-	-	-	-	5,5	0,1	1,2	0,2	-
10	-	1,4	-	12,1	6,6	-	-	0,1	0,2	-	-	-
11	-	0,3	1,7	-	14,6	0,1	28	-	21,1	-	-	-
12	-	6,5	3,5	7,3	25,3	0,3	-	-	0,2	-	-	-
13	10,1	0,2	0,1	-	-	0,2	0,4	5,1	0,1	-	-	-
14	21,1	14,4	0,3	-	0,1	1,6	34	24	1,6	4,8	2,7	0,6
15	-	0,1	0,7	-	0,1	1,2	8,1	5,1	57,8	4,5	0,9	0,9
16	-	1,1	8,1	-	-	2,3	0,3	-	0,2	1,1	-	0,8
17	-	0,1	0,1	0,1	-	12,6	13,2	27,2	1,8	0,3	0,6	5,6
18	7	-	0,7	-	-	0,1	2,7	16,4	-	3,4	-	11,7
19	12	-	-	-	-	2,8	0,1	1,8	-	0,2	5,5	2,7
20	-	18,5	4,5	-	5,6	16	-	0,1	-	0,2	7,3	2,8
21	-	2,2	5,9	-	2,8	7,6	0,6	-	20,5	0,2	1,3	10,7
22	-	1,9	14,6	-	22,5	0,1	0,1	-	13	-	1,8	3,4
23	14,4	4,1	1,4	0,1	0,1	4	3	0,1	7,2	2	0,2	27
24	9	3,1	-	-	-	3,6	0,6	0,1	-	0,1	5,8	6,3
25	-	-	-	-	11,1	-	0,3	0,2	-	6,5	-	37,4
26	-	-	-	24	1	9,3	0,1	0,1	-	0,1	-	-
27	-	-	-	1,4	-	-	0,7	0,7	0,3	0,1	0,1	0,1
28	-	-	-	20,5	-	-	-	8,8	3,7	0,4	-	-
29	-	0,1	-	10	1,5	0,1	-	10,4	22,6	5	0,2	10
30	0,2	-	-	1,4	4,8	-	-	19,5	16	22,6	0,2	-
31	0,2	-	-	-	-	-	0,2	20,6	-	0,1	-	-
120	102,5	49,6	105	113	82,2	138,5	289,6	187,0	78,1	81,5	114,3	
TOTAL ANNUEL : 1 462 mm												

BASSIN DU MARAVANT
 PRECIPITATIONS JOURNALIERES EN mm
 Année 1969

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	-	-	-	3,3	4,4	0,2	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3
2	0,1	2,1	-	4,9	-	0,7	-	4,2	0,5	0,1	-	0,1
3	1	9,4	-	0,1	2,3	7,8	-	1	16,7	0,1	0,2	-
4	-	-	0,1	0,1	32,8	28,7	-	-	25,9	0,3	-	11,3
5	0,2	-	-	-	2,4	8,3	1	-	2,1	0,2	4,3	-
6	-	-	-	-	-	4,7	0,1	-	0,1	0,4	0,1	0,3
7	0,1	0,1	0,2	-	-	0,2	23,4	-	2,8	0,1	14,6	0,5
8	5,1	0,1	0,1	-	-	-	9,8	-	1,5	0,3	8,3	-
9	2,8	0,2	-	-	-	0,1	4,7	-	0,1	0,3	4,7	-
10	1,2	-	-	-	-	-	9	4,7	0,1	0,2	17,0	-
11	1,3	-	3,8	1,5	4,1	1,3	10,7	-	0,1	0,1	-	-
12	2,1	2,2	2,8	17,2	12	1,3	0,2	17,1	0,1	0,2	28	0,1
13	3,1	-	7,2	1,6	-	3,8	-	8,6	0,1	-	29	1,6
14	1,9	0,1	17,9	-	-	0,1	0,4	46,7	5,3	-	17,2	0,6
15	1,2	0,5	0,1	5,4	5,8	-	-	16	8,3	0,1	-	6,1
16	1,2	0,1	0,2	2,6	-	12,9	-	4,8	2,6	0,2	8,9	2
17	8,8	1,6	-	0,8	-	23	-	1	12,9	0,2	6,7	4,6
18	1,9	7,5	-	-	-	13,4	-	0,1	0,1	-	-	1,1
19	0,1	6,5	2,1	0,4	-	1,5	-	0,2	0,1	-	-	0,2
20	1,8	-	8,6	0,5	2,2	0,4	-	16,8	0,2	0,2	-	-
21	-	0,1	1,1	5,4	10,5	2	0,1	10	0,2	-	2,6	0,6
22	0,1	-	10,2	26,8	11,5	-	-	-	0,1	-	0,1	0,2
23	1,4	-	1,1	5,7	1,9	18,9	-	6,5	0,1	1,8	0,2	1,2
24	0,2	1,5	13,2	-	1,6	22,6	3,8	9,7	0,2	3,8	11,1	7,8
25	0,2	12,2	7,7	-	0,1	7,9	1,2	5,2	-	0,1	1,1	1,6
26	0,1	7,4	4,4	3	2,4	0,2	2,8	5,6	0,1	-	1,2	0,4
27	0,1	-	-	28	-	0,1	-	9,5	0,1	0,3	10	-
28	2,8	-	0,2	1,8	1,1	14,8	-	2,9	0,3	0,1	1,8	-
29	12,8	0,1	0,2	1,6	8,6	0,1	7	0,1	1	0,1	3,8	-
30	5,5	-	-	0,2	8,4	-	17,8	0,1	2	0,1	-	-
31	0,1	-	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57,2	51,7	84,0	110,9	112,1	175	92	170,9	83,8	9,4	171	40,6	
TOTAL ANNUEL : 1 159 mm												

BASSIN DU MARAVANT

PRECIPITATIONS JOURNALIERES EN mm

Année 1970

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0,6	1,2	-	9,6	3,4	-	2,5	-	0,1	12,3	-	3,6
2	1,6	6,3	-	4,4	3,4	0,1	-	-	0,1	4,8	-	0,6
3	2,9	7,4	5,9	0,5	-	-	1,4	-	2	6,7	-	6,1
4	-	4	0,2	1,7	0,2	0,8	0,1	-	-	-	-	0,2
5	19,5	17,8	3,8	5,1	8	9	-	-	-	0,1	1,3	1,4
6	3,8	5	2,4	2,8	3,6	0,1	-	-	0,1	0,2	0,1	0,1
7	0,8	1,1	-	10,4	0,1	0,3	0,1	0,9	0,2	-	0,6	7,6
8	-	3,3	5	16,7	6,1	11,4	2,8	0,1	0,3	4,3	3,8	8,6
9	5,6	6	-	15,1	0,2	8,4	0,9	0,1	-	8,4	0,4	3,7
10	2	15,3	-	6,6	8	0,2	0,1	-	0,1	0,4	2,3	-
11	0,1	5,7	-	-	2,7	-	-	0,9	20,6	0,1	-	0,3
12	-	-	0,1	5	0,9	-	-	-	2	0,1	0,1	-
13	0,1	-	-	19,3	2,7	-	-	0,1	0,1	-	32,4	-
14	-	-	-	3	-	48,8	0,1	17,1	0,1	-	17,1	-
15	12,7	16	0,2	0,1	1	-	16	-	8,3	-	2	-
16	3,7	-	-	-	4,1	0,3	20,9	25,1	0,5	0,1	0,1	-
17	0,2	3,2	-	-	1,6	20,3	-	28,1	0,2	-	9,1	0,8
18	0,1	4,5	6,2	-	-	7,5	-	-	0,2	0,2	3,3	1,2
19	0,1	3,8	3,8	26,2	-	3,8	4,1	-	0,2	0,1	36,6	-
20	-	6	0,2	20,5	-	1	9,3	36,7	0,2	29,2	1,8	-
21	0,1	6,4	-	0,1	1,6	0,1	0,7	39,7	0,3	5,1	28,4	-
22	0,1	6,4	3,1	-	5,4	2	-	-	0,2	2,3	3,9	-
23	1,8	1,9	24,5	0,6	0,1	-	-	6,4	-	2,4	0,2	-
24	0,8	7	3,6	3	0,1	-	17,5	-	0,2	0,1	0,3	-
25	-	3	0,4	3,7	-	-	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	2,7
26	-	0,2	4,7	15,8	0,7	-	-	0,2	0,2	-	0,2	3,8
27	12,1	-	11,7	7	-	8,3	-	-	-	-	0,4	1,3
28	0,1	-	-	3,7	0,1	19	-	0,5	0,3	0,3	0,3	-
29	0,1	-	-	1,9	7,4	7	-	10,6	0,2	0,1	5	-
30	13,5	-	-	0,9	4,4	2,5	-	3,2	20,8	-	17,9	-
31	5,1	-	10,6	-	0,1	-	-	0,1	-	-	-	-

87,5 | 131,5 | 86,3 | 183,7 | 57,9 | 150,9 | 76,7 | 170 | 57,9 | 77,4 | 167,7 | 42,0

TOTAL ANNUEL : 1 291 mm

BASSIN DU MARAVANT

PRECIPITATIONS JOURNALIERES EN mm

Année 1971

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	-	0,1	-	-	6,7	-	6,8	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	5,7	0,1	-	0,2	0,1	-	-	0,6
3	-	0,4	2,5	-	0,3	0,1	-	4,3	0,2	-	0,2	-
4	-	0,1	0,2	-	-	1,8	-	-	0,1	-	0,2	-
5	-	-	-	0,4	0,9	2,3	-	0,4	0,1	0,2	-	0,2
6	-	0,2	-	2,7	0,1	3	-	-	0,2	2,7	1,2	-
7	0,1	0,2	-	-	-	10,4	-	3,7	-	0,2	1,5	0,2
8	-	0,1	-	-	11,5	5,5	-	13,2	0,4	0,1	24,5	-
9	-	0,2	-	0,1	11,5	-	-	0,1	0,2	0,2	27	0,1
10	-	0,1	0,1	-	8,9	1,8	-	6,5	2,4	-	-	11,4
11	-	0,1	-	-	2,7	0,9	-	13,8	3,7	0,2	-	-
12	-	-	-	0,1	7	5,5	12,5	1	20,6	-	0,6	-
13	0,2	-	-	-	0,2	0,1	-	-	0,2	13,2	-	0,1
14	0,2	2	0,2	-	0,4	14,5	0,1	-	0,2	30,3	-	-
15	-	-	17,1	-	-	16,7	-	1,4	0,1	0,2	0,2	-
16	0,1	5,3	10,4	-	-	7,7	-	-	0,1	-	0,2	-
17	0,1	4,3	-	11,8	-	-	3,5	0,2	0,2	0,1	0,9	-
18	-	6,7	8	0,1	3	2	3,0	-	0,1	0,6	2,3	-
19	2,3	8,8	19,5	-	-	2,3	-	-	-	-	13,9	0,3
20	15,7	1,3	3,5	-	14	0,4	3,2	19,6	0,1	-	4,9	1
21	0,6	0,1	21,2	0,3	9	-	-	18,6	-	-	19,8	0,3
22	5,8	1,9	1,7	0,1	6	-	-	9,2	12,7	0,1	7,9	0,2
23	0,3	-	0,8	2,8	0,8	-	0,1	-	4,9	-	3,5	0,2
24	12,5	1,4	-	11,5	2,3	18	-	0,1	0,2	-	-	0,1
25	3,3	-	6,3	1,2	8	7	-	2	0,2	0,1	0,5	-
26	4,1	-	4,9	0,8	0,1	5	-	20,1	0,1	-	-	0,2
27	19,5	-	4,3	32,2	3,5	8	-	3,3	-	-	0,2	-
28	3,1	-	-	5,9	5,4	4	1,7	-	-	0,1	3	0,1
29	0,1	-	0,1	0,2	-	2,9	0,1	-	-	0,1	4,5	1,6
30	-	-	0,2	3,9	-	-	-	-	-	0,1	1,1	0,1
31	-	-	0,1	-	-	-	-	0,7	-	-	-	-

67,9 | 33,4 | 101,2 | 74,1 | 108 | 120 | 31 | 119 | 47,1 | 48,5 | 113,5 | 16,7

TOTAL ANNUEL : 881 mm

BASSIN DU MARAVANT
 PRECIPITATIONS JOURNALIERES EN mm
 Année 1972

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	0,1	-	-	2,4	-	0,2	-	0,1	0,1	1,3	-	0,4
2	0,2	-	0,1	3,2	-	5	9	0,8	-	0,1	0,2	0,2
3	-	-	-	1	-	0,1	0,5	7,8	0,1	0,2	0,2	8,2
4	0,2	-	7,8	12,6	6	4,2	-	0,1	0,1	-	-	4,1
5	0,1	9,6	9,8	16,3	8	2,1	4,4	-	0,1	0,2	-	3
6	0,1	5	2	4,6	0,1	13,1	-	-	5,3	0,1	0,1	-
7	-	-	15,8	9,4	8	6,6	0,1	-	2	0,2	0,2	1,5
8	-	-	1,7	31,5	-	12,7	-	-	0,1	-	-	25
9	-	3,6	4,1	0,1	2,5	0,2	8,1	-	-	-	0,2	18,6
10	0,5	9,4	0,6	5	5,5	1,9	15,6	-	14,9	0,1	1,4	0,2
11	-	18,4	0,7	5,9	1,2	12,4	0,4	-	-	-	15,8	0,2
12	-	2,8	0,2	2,7	10,8	7,8	-	-	-	-	4,4	-
13	1,3	4,4	0,1	-	-	0,2	0,1	0,6	-	0,1	4,3	0,2
14	0,1	6,4	-	0,1	0,8	2,4	-	0,6	6,6	0,5	8,2	0,1
15	0,1	6,6	-	4,9	5,7	12,6	0,1	10,8	-	0,4	12,2	0,2
16	0,1	0,1	-	2,7	5,8	32,6	-	8,4	0,1	-	10,4	0,3
17	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,3	1	0,1
18	0,2	-	-	-	0,1	0,1	-	4,1	4,6	0,3	25,6	-
19	0,1	-	-	3	-	4,4	11,9	5,4	5,3	-	7,6	-
20	0,1	0,1	-	0,1	1,2	0,1	8,1	-	0,1	-	29,3	-
21	0,3	-	0,4	-	0,1	-	6	0,1	0,1	-	8,2	-
22	-	-	0,1	-	1,1	-	47,8	-	0,2	6,7	2,5	-
23	-	-	-	0,1	3,4	-	0,1	-	0,1	14,3	22,1	0,2
24	1,4	0,1	-	1,5	0,1	-	4,6	0,1	-	-	1,8	-
25	2,3	-	0,1	-	-	-	7,5	-	-	0,1	5	0,1
26	0,7	-	3,8	-	4,3	-	0,5	-	-	1,8	-	0,1
27	0,7	0,1	1	2,5	6,5	22,4	-	0,5	0,2	7,8	-	-
28	0,8	-	4,2	0,5	1,6	5,9	-	0,1	0,1	17,4	0,1	-
29	-	-	1,3	0,1	-	14,9	-	19,2	0,2	1,2	-	-
30	0,2	-	0,1	-	2,1	4,5	-	0,1	0,1	0,2	-	0,1
31	-	-	0,2	-	-	-	-	0,1	-	0,2	-	0,1
	9,4	66,9	53,8	110,2	74,9	167,8	124,6	59	41,3	53,5	160,9	61,5
TOTAL ANNUEL : 985 mm												

BASSIN DU MARAVANT
 PRECIPITATIONS JOURNALIERE EN mm
 Année 1973

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	-	3,6	-	-	1,7	13,3	-	29,2	-	0,2	-	3
2	-	0,4	1,3	3,6	12,8	3	-	6,6	-	-	0,1	-
3	0,3	-	1,4	5,3	2,6	-	-	12,3	-	0,1	0,1	2
4	-	-	-	0,1	0,3	-	-	0,1	-	-	0,1	-
5	-	0,9	-	-	0,7	0,1	2,4	-	-	0,2	4,9	-
6	-	-	1	-	10,4	5,6	4,5	-	-	10,4	16	1
7	0,1	0,1	1,8	0,4	18,6	0,3	-	7,6	-	15,8	3,2	14,2
8	-	0,1	0,2	-	7,3	6	0,1	-	-	1,5	0,2	23,8
9	-	0,3	-	3,2	0,9	-	-	0,1	1,8	-	0,1	6
10	-	8,5	-	6,4	5,1	-	7,8	-	1,7	0,3	0,1	-
11	-	2,0	-	24,9	9,1	-	0,1	1,2	0,1	-	-	0,2
12	0,1	-	-	9	-	0,4	-	0,1	0,1	-	-	-
13	0,1	13	2,6	0,7	-	1,6	-	0,1	0,1	0,6	0,5	0,8
14	-	3	0,1	-	-	0,1	-	-	1	4,7	8,5	11,9
15	2,9	-	-	-	-	-	7,4	1,7	0,2	11	4,3	0,1
16	8,8	-	-	3,2	-	0,1	20,5	-	1,2	15	0,5	-
17	0,4	-	0,1	2,5	-	-	30,6	-	0,8	1	0,1	0,2
18	1,3	-	-	-	3,2	-	9,8	-	73,6	1,5	-	-
19	2	0,5	1,8	3,8	0,6	-	2,6	-	0,2	-	-	0,1
20	1,4	0,5	-	7,3	1,6	7,3	0,8	-	-	-	-	-
21	2,2	-	-	1,5	0,8	0,1	0,1	-	22,6	7,1	0,1	2
22	1	4,6	-	5,2	0,3	0,2	-	0,8	0,2	28	25,4	-
23	0,1	1,8	-	0,1	0,2	52,7	7,4	0,1	3	0,4	-	-
24	-	4,1	-	-	-	7,8	4,6	2,4	2,1	-	0,1	-
25	-	2,4	0,2	2,6	0,1	1,6	17,4	15,6	0,1	-	-	9
26	0,1	0,7	1,1	-	0,1	-	12,5	-	0,1	6	0,1	2,8
27	4,3	0,1	-	0,2	-	0,1	7,7	-	-	0,1	-	-
28	7,2	0,1	-	26,7	3,6	1,6	0,1	12	-	0,1	-	0,2
29	0,1	-	0,1	10,7	9	-	-	4	14,2	-	2,2	0,2
30	0,2	-	0,2	0,1	-	-	-	0,6	0,3	0,1	-	0,4
31	6,0	-	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-
	42,2	47,2	12,0	112,0	93,4	130,4	161,6	108,6	129,5	71,5	47,3	75,2
TOTAL ANNUEL : 1 032 mm												

BASSIN DU MARAVANT

PRECIPITATIONS JOURNALIERES EN mm

Année 1974

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	-	3,6	1,6	-	12,6	6,2	1,7	3,6	1	0,6	5,6	4
2	-	5,3	7,4	-	1,4	0,1	0,2	8,1	5	2,5	0,1	-
3	-	-	9,6	-	0,1	-	16,2	0,1	26,7	29,9	7,6	0,2
4	0,1	1,8	-	-	4,6	-	-	10,7	1,5	0,9	5,5	0,1
5	0,1	2,2	6,2	-	0,5	15,5	-	-	-	0,1	0,6	0,2
6	7,8	13	0,4	0,2	0,4	11	2,6	-	13	18	-	0,4
7	6,5	0,4	-	-	9,8	-	0,9	0,1	-	0,2	-	0,2
8	0,6	7,2	-	0,1	-	0,1	-	5	-	9,6	7,7	0,2
9	8,5	0,5	0,1	-	-	3	-	6,9	13	2,2	0,1	-
10	2,7	-	-	-	7,4	13	-	7,2	2,4	5,6	-	1,5
11	2,4	-	-	-	21,3	1	-	8,8	0,2	1	-	0,6
12	-	10,2	-	-	0,1	-	-	0,1	-	-	5,6	2,2
13	0,4	4	-	4	0,7	-	8	-	-	-	1,1	4,1
14	-	13,3	7,3	-	3,8	0,1	21,3	-	0,1	4,3	-	5,2
15	0,1	0,2	4,8	0,1	-	-	-	-	0,1	2	-	2,2
16	2,8	0,2	11,4	0,1	-	0,1	-	-	0,4	0,5	10,8	-
17	0,6	0,1	3,1	0,1	9,2	19,3	-	-	-	0,1	-	12,0
18	2,7	-	-	-	-	34,5	-	-	0,1	9,4	17,3	1,3
19	-	0,6	0,3	-	-	0,1	5,8	-	-	13,2	9,2	0,1
20	0,2	1,8	0,1	-	-	-	3	0,1	0,9	8,9	1,6	0,1
21	-	3,5	-	-	-	-	0,3	2,9	-	7,3	3,2	-
22	0,3	4,7	-	-	0,2	0,1	0,1	13,6	-	4,9	7,4	-
23	0,1	0,1	0,2	0,4	3,5	10,7	0,8	0,2	2,8	-	1,7	-
24	5,4	-	0,1	1,7	5,6	-	6	0,3	11,2	0,2	0,5	3,3
25	0,4	-	-	4,4	-	-	11	-	5,6	0,7	7,6	1,8
26	0,2	3,4	-	10	-	0,8	-	-	-	0,1	21	1,1
27	6,9	-	-	3,4	6,6	9,4	-	17,4	-	9,8	11,4	9,5
28	-	-	1,1	0,1	2,5	46,7	-	0,1	6,6	2,8	7,2	6,4
29	9	-	-	3,8	0,2	53,6	-	0,1	0,5	8	2,8	0,9
30	-	-	-	12	4,4	-	-	-	0,8	0,4	9,2	8,7
31	1	-	-	-	64,2	-	3,2	5,2	-	-	-	0,2
59	76	54	40	159	225	78	80	92	144	145	72	
TOTAL ANNUEL : 1 225 mm												

HAUTEURS D'ECHELLE	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1				0,0	0,2	0,6	1,0	1,8	2,6	3,6
2	4,8	6,2	8,0	9,2	11,4	13,8	16,6	19,6	23,1	27,1
3	32,1	38,1	46	54	62	71	79	88	95	101
4	106	111	117	123	131	139	148	160	175	185
5	195	207	219	231	243	255	268	281	294	307
6	320	333	346	359	372	385	398	411	424	437
7	450	465	480	495	510	525	540	555	570	585
8	600	620	640	660	680	700	720	740	760	780
9	800	820	840	860	880	900	920	940	960	980
10	1 000	1 020	1 040	1 060	1 080	1 100	1 125	1 150	1 175	1 200
11	1 225	1 250	1 275	1 300	1 325	1 350	-	-	-	-

TABLEAU IV.1.1. - Correspondance Hauteurs d'echelle-débits mesurés pour le ruisseau du Maravant

Année	Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
1965	Jan													
1965	Fév													
1965	Mars													
1965	Avr													
1965	Mai													
1965	Jun													
1965	Juil													
1965	Août													
1965	Sept													
1965	Oct													
1965	Nov													
1965	Déc													
1965	Total													
1966	Jan													
1966	Fév													
1966	Mars													
1966	Avr													
1966	Mai													
1966	Jun													
1966	Juil													
1966	Août													
1966	Sept													
1966	Oct													
1966	Nov													
1966	Déc													
1966	Total													

TABLEAUX IV.2.1 à IV.2.10

DEBITS MOYENS JOURNALIERS DU RUISSEAU DU MARAVANT
(1965 - 1974)

BASSIN DU MARAVANT

DEBITS JOURNALIERS EN l/s

Année 1965

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	34	165	8	32	39	5	7	25	71	103	25	141
2	30	167	9	27	38	4	2	22	56	87	27	126
3	28	105	8	21	47	13	1	21	28	70	26	361
4	23	86	9	16	155	16	14	16	16	61	28	154
5	19	77	9	13	258	16	2	12	31	55	29	187
6	19	72	9	13	225	30	1	9	104	49	27	394
7	19	67	10	15	158	30	3	6	90	45	25	242
8	22	62	10	15	111	46	185	5	67	42	25	169
9	27	63	12	12	85	46	166	4	109	40	25	140
10	34	72	12	11	65	65	76	4	279	39	24	396
11	39	49	12	19	55	57	46	2	144	25	22	206
12	40	36	12	17	51	40	34	1	112	32	27	148
13	40	34	13	16	43	33	28	1	104	30	26	154
14	40	32	13	15	34	28	22	23	104	28	25	132
15	40	31	29	13	27	23	18	11	81	27	25	112
16	41	30	95	20	22	21	26	5	70	27	25	98
17	117	29	132	26	24	25	16	4	59	31	35	103
18	236	27	253	43	17	15	12	3	75	27	61	100
19	134	23	370	41	45	11	9	2	125	25	76	81
20	98	20	252	44	28	9	16	1	74	24	131	71
21	85	17	338	40	18	7	15	4	65	23	371	112
22	78	14	568	49	15	3	8	200	59	21	218	106
23	70	14	379	50	12	2	6	43	53	19	153	101
24	65	13	332	38	8	1	10	20	49	18	113	112
25	58	13	276	30	7	1	61	18	46	16	104	147
26	56	13	197	33	6	1	47	16	56	15	124	149
27	56	12	218	69	6	2	33	12	70	19	510	172
28	56	11	159	81	16	1	28	10	81	15	237	186
29	57		101	58	7	1	22	9	67	47	180	153
30	57		51	44	9	1	19	7	62	38	440	130
31	62		40		6		40	7		26		142
56	48	127	31	53	19	32	16	80	36	105	152	
DEBIT MOYEN ANNUEL : 63 l/s												

BASSIN DU MARAVANT
DEBITS JOURNALIERS EN L/s
Année 1966

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	228	71	110	102	67	32	10	0	23	24	80	137
2	264	68	90	84	66	30	9	0	20	26	76	294
3	277	129	79	77	60	30	7	1	19	18	77	213
4	177	132	81	74	48	30	3	18	17	14	92	152
5	155	104	83	72	60	31	4	8	15	13	88	128
6	142	94	70	73	191	31	24	4	14	11	93	116
7	135	195	65	71	172	27	32	2	13	11	109	106
8	121	340	64	92	181	25	14	40	11	11	111	96
9	107	436	61	79	167	33	10	30	11	15	104	92
10	88	191	56	165	156	38	7	14	11	15	126	102
11	77	143	54	105	132	29	11	10	11	13	111	186
12	71	135	64	107	108	34	20	9	11	12	100	189
13	67	125	59	93	94	26	6	6	61	11	92	200
14	64	116	58	84	80	21	4	5	35	10	86	149
15	59	108	57	147	69	19	3	20	25	10	82	127
16	55	104	71	125	57	20	2	16	73	9	88	118
17	55	125	73	128	58	20	9	13	47	9	82	206
18	58	126	74	116	61	23	22	10	42	33	78	94
19	33	104	73	229	82	26	19	9	37	22	75	94
20	28	98	68	455	57	26	11	7	35	19	73	98
21	27	97	61	414	46	28	10	6	30	15	70	92
22	197	149	63	171	39	21	8	83	29	13	68	88
23	454	132	59	125	52	17	7	32	27	22	66	107
24	322	108	62	104	50	19	6	27	26	43	65	169
25	168	92	63	164	42	23	5	23	24	80	63	140
26	126	105	61	148	35	16	5	18	21	292	62	114
27	110	102	81	120	29	14	3	14	19	127	60	110
28	98	87	210	126	27	13	2	13	18	92	64	119
29	90		122	90	25	11	1	14	17	80	92	215
30	86		101	71	31	10	1	37	22	80	87	164
31	79		103		33		0	29		9		100
130	136	78	134	77	24	9	17	26	37	84	139	

DEBIT MOYEN ANNUEL : 74 L/s

BASSIN DU MARAVANT
DEBITS JOURNALIERS EN L/s
Année 1967

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	148	90	152	104	29	98	26	2	0	25	36	96
2	171	86	151	98	39	81	45	1	0	16	104	96
3	194	82	121	90	66	72	23	3	0	15	210	95
4	155	80	112	87	50	64	23	3	0	38	113	92
5	132	77	106	82	45	51	12	2	0	44	229	89
6	119	70	102	83	49	45	10	2	0	34	116	85
7	108	64	92	84	48	42	20	1	0	35	121	85
8	98	59	86	84	43	175	16	1	0	30	106	77
9	86	56	79	84	41	126	11	9	8	26	96	71
10	77	55	88	86	36	87	9	9	3	24	90	67
11	71	52	189	85	34	77	8	3	2	22	84	64
12	68	50	140	96	30	68	7	3	2	20	77	61
13	68	50	119	83	37	61	6	6	1	18	72	58
14	67	49	114	79	47	55	17	3	3	17	70	55
15	64	48	106	76	50	50	27	6	11	15	122	52
16	62	46	100	73	74	48	11	2	26	13	455	48
17	62	48	92	68	81	42	8	8	18	13	488	45
18	61	49	88	64	98	40	6	2	15	67	228	44
19	58	64	86	62	83	41	5	1	18	30	171	43
20	56	108	81	60	70	35	4	1	32	30	135	40
21	57	105	91	66	64	32	4	1	32	28	114	39
22	86	94	90	71	55	28	3	1	38	26	104	45
23	71	89	82	64	93	24	3	0	32	25	96	107
24	92	85	78	50	72	23	3	0	28	25	90	282
25	116	81	76	40	168	22	3	1	24	25	84	224
26	120	83	81	32	230	19	3	0	21	25	80	179
27	151	126	90	30	131	41	2	0	19	24	100	143
28	137	114	162	30	97	32	1	0	17	28	90	123
29	114		131	28	92	28	1	0	15	28	91	209
30	100		123	26	79	21	1	0	25	34	96	176
31	98		116		128		1	0		36		98
99	73	107	69	69	54	10	2	13	27	137	98	

DEBIT MOYEN ANNUEL : 63 L/s

BASSIN DU MARAVANT
DEBITS JOURNALIERS EN L/s
Année 1968

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	125	66	110	69	72	27	8	26	169	119	30	62
2	113	70	105	66	67	22	8	111	117	90	30	58
3	106	74	102	72	83	26	8	381	129	81	70	53
4	100	74	96	66	70	30	8	163	136	74	243	50
5	113	71	90	62	66	23	8	126	113	69	192	48
6	207	72	88	61	73	17	63	270	93	63	117	46
7	194	74	87	71	97	14	19	316	88	55	98	45
8	163	73	84	103	117	12	11	379	81	200	89	45
9	140	100	81	81	90	11	8	515	70	337	82	43
10	120	193	78	75	89	11	7	239	61	151	76	40
11	116	156	75	73	85	11	38	180	104	104	71	39
12	116	148	74	68	340	10	20	135	97	84	65	38
13	116	209	70	66	220	9	14	112	72	73	61	36
14	137	260	68	64	153	9	62	237	67	67	60	35
15	160	369	65	60	125	9	128	245	399	77	59	35
16	129	259	72	56	103	9	85	157	445	71	57	35
17	114	200	72	53	90	15	92	270	202	63	56	38
18	111	163	76	50	81	16	136	342	147	58	56	40
19	115	126	90	49	72	10	98	286	126	57	56	41
20	121	214	95	47	76	35	85	178	104	50	56	41
21	112	275	118	45	78	51	76	132	139	41	56	59
22	105	262	131	43	75	19	68	112	348	36	56	69
23	103	187	154	42	64	23	60	99	173	35	59	303
24	97	300	171	69	56	33	57	87	160	34	78	290
25	92	275	132	71	54	17	48	82	129	38	76	511
26	85	218	112	61	58	22	41	68	99	35	74	392
27	80	161	102	50	44	18	36	61	84	31	72	166
28	79	132	94	48	39	11	34	63	157	30	70	126
29	74	119	86	107	38	9	28	75	180	35	68	104
30	69		79	74	33	7	25	98	161	34	65	84
31	68		74		30		31	267		31		75

	116	169	95	64	88	18	46	188	148	75	77	98
DEBIT MOYEN ANNUEL : 98 L/s												

BASSIN DU MARAVANT
DEBITS JOURNALIERS EN L/s
Année 1969

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	70	90	84	84	84	14	49	10	29	11	0	40
2	65	84	87	89	79	12	43	10	26	10	0	36
3	62	80	91	80	68	10	40	8	32	9	0	34
4	59	74	90	73	253	49	33	6	106	8	0	65
5	53	65	82	70	171	39	29	4	248	8	2	60
6	50	59	77	65	129	29	27	3	92	7	2	53
7	46	55	75	61	202	27	79	3	69	7	4	42
8	45	50	78	55	131	23	47	2	59	6	19	40
9	45	50	86	50	112	20	41	2	51	6	16	38
10	44	49	90	49	100	19	61	2	47	5	19	37
11	43	47	106	45	76	18	52	1	40	5	6	34
12	42	43	176	51	63	18	82	8	35	4	33	30
13	48	40	191	68	51	18	53	11	32	4	148	29
14	47	40	247	51	45	17	41	40	28	3	106	26
15	45	40	220	50	40	14	36	125	34	3	62	25
16	45	40	140	52	36	13	34	106	32	3	49	25
17	45	40	118	49	35	25	28	185	26	2	88	25
18	50	40	111	46	32	25	26	80	41	2	93	77
19	53	39	95	45	29	94	24	55	33	2	62	121
20	50	57	85	44	26	48	21	46	28	2	59	73
21	50	55	82	47	23	42	18	62	24	1	53	63
22	50	56	74	96	20	37	14	41	21	1	49	43
23	50	56	91	131	18	44	12	38	20	1	43	46
24	50	81	120	94	15	192	11	47	19	1	62	43
25	50	91	112	77	16	149	11	44	17	3	60	39
26	50	88	116	68	15	116	11	43	15	2	56	36
27	51	87	140	125	15	83	11	63	14	1	52	33
28	53	85	131	194	15	111	10	50	13	1	49	30
29	137		106	118	20	80	9	47	12	1	47	27
30	128		95	94	22	59	28	40	11	1	45	27
31	100		86		18		15	35		0		24

	57	60	112	74	63	48	32	39	42	4	43	43
DEBIT MOYEN ANNUEL : 52 L/s												

BASSIN DU MARAVANT

DEBITS JOURNALIERS EN l/s

Année 1970

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	23	102	67	98	77	10	79	10	23	30	15	98
2	23	102	60	93	68	9	57	9	20	17	14	84
3	21	337	54	85	65	8	46	8	18	19	13	79
4	19	255	49	80	50	8	34	7	16	20	13	76
5	102	244	43	73	45	11	24	6	15	14	12	67
6	140	180	38	64	44	10	21	5	14	10	12	62
7	55	122	34	78	42	8	20	7	14	9	11	62
8	45	110	29	85	41	9	17	7	13	9	12	53
9	43	143	25	80	37	16	15	14	11	16	11	44
10	54	152	23	72	41	11	15	12	10	13	11	39
11	50	112	21	72	38	9	13	9	28	12	10	36
12	47	120	20	93	32	7	12	6	16	10	9	34
13	43	147	19	730	28	6	11	5	13	9	51	32
14	40	94	18	399	25	31	11	5	12	8	186	32
15	44	82	17	279	24	23	24	23	10	8	107	30
16	79	72	16	302	27	12	41	17	15	8	77	28
17	74	66	16	189	25	29	19	255	11	7	66	26
18	66	62	27	138	22	18	15	77	10	7	97	23
19	56	56	32	203	21	22	14	62	9	6	284	20
20	50	67	29	519	20	18	21	204	7	57	338	20
21	46	137	47	206	19	16	24	247	6	44	311	19
22	41	171	67	119	21	14	15	140	5	42	263	19
23	38	337	46	97	17	13	13	114	5	39	136	19
24	42	208	305	88	15	12	13	97	5	34	102	17
25	46	149	162	79	14	10	43	69	4	28	84	16
26	41	109	110	111	14	9	15	52	4	24	68	15
27	97	90	180	110	14	22	14	38	3	22	58	15
28	143	76	116	103	13	249	13	30	3	20	46	14
29	94		88	97	12	148	12	48	3	19	38	13
30	94		74	79	14	106	11	36	22	17	169	13
31	236		80		12		11	28		16		13
64	139	75	161	30	29	22	53	11	19	87	36	
DEBIT MOYEN ANNUEL : 61 l/s												

BASSIN DU MARAVANT

DEBITS JOURNALIERS EN l/s

Année 1971

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	12	47	9	103	37	32	28	1	0	0	0	25
2	11	39	9	89	55	29	22	1	0	0	0	23
3	10	33	9	72	48	27	18	1	0	0	0	20
4	10	31	9	62	42	23	15	1	0	0	0	17
5	10	27	9	51	37	20	13	0	0	0	0	16
6	9	23	8	44	32	25	12	0	0	0	0	14
7	9	21	8	40	28	35	11	1	0	0	0	13
8	8	20	8	36	24	21	11	0	0	0	1	12
9	8	18	8	31	21	18	11	0	0	0	25	12
10	7	16	8	27	19	17	10	2	0	0	11	13
11	7	16	7	24	20	18	9	1	0	0	8	18
12	7	15	7	21	29	20	9	0	2	0	7	16
13	6	14	10	20	29	16	9	0	1	0	6	14
14	6	14	12	19	31	18	8	0	0	11	5	14
15	6	14	14	18	26	71	6	0	0	4	4	13
16	5	13	14	17	22	96	7	0	0	2	4	12
17	5	13	17	24	20	64	6	0	0	1	3	12
18	5	16	23	19	19	46	14	0	0	1	3	11
19	6	15	142	17	18	38	12	0	0	1	10	10
20	14	13	133	16	15	33	8	0	0	1	8	17
21	11	12	156	15	33	24	4	5	0	1	38	18
22	9	12	170	14	84	21	2	3	0	0	89	18
23	9	11	144	13	50	17	2	2	0	0	45	18
24	58	11	121	18	99	55	2	1	1	0	38	17
25	47	10	154	16	101	37	2	1	0	0	32	17
26	79	10	258	14	88	25	1	4	0	0	29	17
27	323	10	130	29	67	47	1	10	0	0	27	16
28	160	9	103	113	68	29	1	2	0	0	25	16
29	100		99	44	60	29	1	1	0	0	31	16
30	72		103	35	43	31	1	1	0	0	28	15
31	56		109		37		1	1		0		13
35	18	65	36	42	33	8	1	10,210,69	16	16		
DEBIT MOYEN ANNUEL : 23 l/s												

BASSIN DU MARAVANT

DEBITS JOURNALIERS EN l/s

Année 1972

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	13	2	59	16	10	5	27	12	2	0	2	25
2	12	2	58	17	9	5	35	11	1	0	2	21
3	11	2	55	13	9	5	24	11	1	0	1	19
4	11	6	63	13	9	4	23	10	1	0	1	33
5	10	10	69	62	12	5	20	8	1	0	1	28
6	9	9	65	31	9	9	19	7	1	0	1	25
7	9	9	96	32	9	8	16	6	1	0	1	24
8	9	12	87	281	11	15	14	5	1	0	1	73
9	8	15	79	137	9	7	13	5	1	0	1	299
10	8	20	89	88	9	5	34	4	3	0	0	137
11	8	22	98	95	9	24	18	4	3	0	6	89
12	7	54	98	91	14	54	15	4	1	0	5	66
13	6	42	90	74	10	27	13	3	1	0	5	49
14	6	42	88	58	9	22	12	3	1	0	6	40
15	6	39	81	50	8	34	11	3	2	0	16	34
16	6	34	71	48	12	110	10	6	1	0	13	27
17	6	32	59	36	10	207	9	5	1	0	34	23
18	5	31	50	31	9	81	9	4	1	0	174	20
19	5	29	42	27	8	55	9	4	4	0	76	19
20	5	27	35	25	8	59	12	4	2	0	496	17
21	5	26	33	23	7	37	25	3	1	0	185	15
22	5	23	29	20	7	29	303	2	1	0	134	14
23	5	22	26	18	5	23	77	2	0	3	312	13
24	4	20	24	17	5	20	52	1	0	1	149	12
25	4	19	22	17	5	18	80	1	0	1	100	11
26	4	17	21	15	4	14	34	1	0	0	73	10
27	4	16	20	14	5	31	26	1	0	0	54	9
28	4	37	19	13	7	44	22	1	0	10	43	9
29	4	50	23	12	5	22	19	4	0	5	34	9
30	3		18	10	5	69	16	5	0	3	30	8
31	3		16		5		14	3		2		7
	6,5	23	54	46	8	35	33	4,6	1,03	0,82	65	38
DEBIT MOYEN ANNUEL : 26 l/s												

BASSIN DU MARAVANT

DEBITS JOURNALIERS EN l/s

Année 1973

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	6	2	4	40	75	10	19	53	7	17	13	11
2	6	2	4	34	90	14	16	92	5	16	13	10
3	5	2	4	38	88	9	14	138	5	14	12	10
4	5	2	3	34	63	8	13	84	4	13	11	10
5	5	2	3	31	53	8	12	50	3	12	10	9
6	5	2	4	27	70	9	12	37	3	15	32	9
7	5	2	5	24	76	8	11	38	3	31	21	33
8	5	1	5	22	112	8	9	38	3	24	19	222
9	5	1	5	20	98	8	9	26	2	23	18	200
10	5	1	6	20	70	7	9	21	3	23	18	98
11	5	1	6	19	114	6	8	19	3	21	17	70
12	5	6	6	19	83	5	7	18	2	19	16	59
13	4	76	6	21	58	5	7	16	2	18	16	54
14	4	40	6	27	46	4	7	14	2	17	17	77
15	4	10	5	44	41	4	13	14	2	32	20	108
16	5	7	5	105	34	4	26	13	2	85	19	73
17	5	6	5	122	30	3	53	12	2	55	19	73
18	4	5	7	104	32	3	29	11	108	40	18	61
19	4	5	15	85	27	2	19	10	42	32	17	47
20	4	5	20	85	25	11	16	9	22	29	16	41
21	4	4	24	81	24	7	36	8	113	29	16	36
22	4	5	34	64	20	24	75	8	64	30	15	41
23	4	5	49	52	16	508	53	7	44	25	15	36
24	3	5	78	45	15	415	111	7	43	22	14	29
25	3	5	114	39	13	135	111	8	31	19	14	26
26	3	5	139	36	11	74	181	8	26	17	14	57
27	4	5	160	30	11	50	94	7	23	16	13	49
28	4	5	155	52	9	37	64	11	20	15	12	38
29	3		114	128	15	28	48	9	28	14	11	33
30	3		80	110	10	25	34	7	27	14	11	29
31	2		54		9		28	12		14		26
	4,2	7,6	36	52	46	48	37	26	21	24	16	54
DEBIT MOYEN ANNUEL : 31 l/s												

BASSIN DU MARAVANT
DEBITS JOURNALIERS EN l/s
Année 1974

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	22	31	33	13	23	425	122	16	4	79	94	231
2	21	59	31	8	12	148	86	13	2	63	104	157
3	19	43	28	8	9	91	114	14	27	110	95	133
4	17	38	22	8	12	50	104	13	11	269	78	121
5	15	37	22	7	10	63	54	15	8	105	80	97
6	21	91	21	7	10	122	46	11	16	84	72	81
7	19	99	20	6	14	63	40	10	11	130	65	68
8	24	78	20	6	15	45	32	11	9	185	57	57
9	30	87	23	8	12	38	27	13	9	212	53	51
10	60	125	32	8	13	60	25	10	19	169	78	47
11	46	114	45	7	85	42	21	17	11	131	76	42
12	45	125	56	7	70	26	21	8	9	126	140	39
13	38	109	74	7	34	22	21	7	7	98	98	36
14	34	135	92	6	35	19	65	5	5	70	78	31
15	31	139	108	8	28	17	34	5	5	81	102	27
16	28	129	126	8	24	15	22	4	4	77	104	26
17	29	101	134	8	33	41	26	4	3	61	78	89
18	26	76	118	7	23	221	44	4	3	50	86	153
19	26	74	83	7	16	119	48	4	3	49	264	94
20	23	63	67	7	15	68	38	3	5	113	156	65
21	22	49	54	6	15	49	29	3	5	135	128	56
22	22	44	47	5	14	36	24	6	4	125	159	47
23	21	54	41	5	13	47	21	9	4	119	155	32
24	22	49	35	5	15	48	20	5	9	141	141	33
25	24	45	32	7	14	29	47	3	9	129	132	38
26	21	39	30	14	11	26	21	3	22	123	161	38
27	22	36	28	7	10	31	19	9	11	113	383	62
28	19	36	26	6	41	166	16	7	133	134	263	83
29	29		25	5	20	918	15	5	156	140	192	72
30	37		23	12	17	280	14	3	95	121	146	109
31	37		18		349		16	4		105		80
27	76	49	7	33	111	40	8	21	117	127	74	

DEBIT MOYEN ANNUEL : 57 l/s

ANNEES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1965	57	48	127	31	53	18	31	17	80	36	105	162
1966	130	136	77	134	76	24	9	17	25	37	84	139
1967	99	74	107	70	73	54	10	2	13	27	137	96
1968	116	169	95	64	88	18	46	188	148	75	77	98
1969	57	60	112	74	63	48	32	39	42	4	43	43
1970	64	139	75	160	30	29	22	53	12	19	87	36
1971	35	18	65	35	42	33	8	1	0	1	16	16
1972	7	23	54	46	8	35	33	5	1	1	65	38
1973	4	8	36	52	46	48	37	26	21	24	16	54
1974	27	75	49	7	33	111	40	8	21	117	127	74

TABLEAU IV.2.13. - Débits moyens mensuels (en l/s) du ruisseau du Maravant.

DATES	LAMES D'EAU PRECIPITEES (en mm)	VOLUMES D'EAU PRECIPITES (en m ³)	INTENSITES MAXIMALES (en mm/h)	VOLUMES RUISSELES (en m ³)	PLUIES NETTES (en mm)	COEFFICIENTS D'ECOULEMENT (en %)	TEMPS DE MONTEE (en h)	DEBITS DE POINTE (en l/s)	DEBITS DE BASE (en l/s)
20.07.1966	3,0	9 000	2,0	720	0,2	8,0	5,0	28,5	14,0
16.09.1966	16,0	48 000	6,6	3 960	1,3	8,3	4,5	111,0	30,0
30.09.1966	9,6	28 800	2,2	900	0,3	3,1	6,0	47,0	20,8
02.10.1966	6,0	18 000	2,5	684	0,2	3,7	6,0	47,0	30,0
19.10.1966	22,3	66 900	6,5	4 140	1,4	6,3	7,5	82,0	13,5
23.05.1967	23,0	69 000	4,6	2 880	1,0	4,2	7,5	116,0	60,0
08.06.1967	49,4	148 200	13,0	15 840	5,3	10,7	14,0	260,0	50,0
04.07.1967	12,0	36 000	9,8	1 260	0,4	3,5	3,0	62,0	24,0
14.07.1967	36,6	109 800	11,2	4 680	1,6	4,3	6,0	102,0	8,0
30.09.1967	12,0	36 000	10,0	1 710	0,6	4,8	4,0	80,0	20,4
17.06.1968	12,5	37 500	5,2	1 620	0,5	4,3	4,0	58,0	13,5
26.06.1968	8,9	26 700	8,9	1 260	0,4	4,7	3,5	55,0	22,0
11.07.1968	28,0	84 000	8,0	3 780	1,3	4,5	6,5	114,0	10,0
03.09.1968	6,9	20 700	2,8	1 035	0,4	5,1	6,5	128,0	102,0
09.10.1968	47,6	142 800	8,8	34 200	11,4	24,0	9,0	860,0	65,0
01.05.1969	4,6	13 800	3,2	1 035	0,4	7,6	4,0	89,0	70,0
29.05.1969	8,5	25 500	3,6	450	0,2	1,8	5,0	41,0	24,5
30.05.1969	8,3	24 900	2,3	765	0,3	3,0	5,5	45,0	24,5
17.06.1969	13,2	48 600	6,5	1 170	0,4	3,0	5,5	59,0	20,0
21.08.1969	10,3	30 900	6,7	2 160	0,7	7,0	7,0	90,0	50,0
17.09.1969	13,0	39 000	3,3	1 755	0,6	4,5	7,5	78,0	34,0
24.10.1969	3,8	14 400	2,7	252	0,1	1,9	4,0	5,0	0,5
24.07.1970	17,5	52 500	12,0	2 880	1,0	5,5	5,5	92,0	9,0
15.09.1970	8,3	24 900	7,1	405	0,1	1,7	4,5	20,5	8,5
17.04.1971	11,8	35 400	3,0	720	0,2	2,0	8,0	36,0	16,5
23.04.1971	15,7	47 100	2,8	720	0,2	1,5	7,0	32,0	12,0
20.04.1971	38,7	116 100	4,6	10 080	3,4	8,7	12,0	190,0	12,0
13.05.1971	8,8	25 400	4,2	990	0,3	3,8	3,0	51,0	20,0
15.05.1971	8,6	24 800	3,2	405	0,1	1,6	7,0	32,0	20,5
08.08.1971	16,7	50 100	7,4	126	0,0	0,2	2,0	2,6	0,1
21.08.1971	19,9	59 700	10,6	300	0,1	0,5	2,5	18,5	0,0
22.08.1971	8,2	24 600	5,4	195	0,1	0,9	3,0	9,5	1,5
12.05.1972	11,1	33 300	2,9	540	0,2	1,6	5,0	25,5	8,0
29.08.1972	19,3	57 900	11,4	4 860	1,6	8,4	6,0	140,0	30,0
10.09.1972	14,6	43 800	4,0	270	0,1	0,6	8,0	9,5	0,0
29.09.1973	14,0	42 000	4,9	1 530	0,5	3,6	5,0	82,5	16,5
26.04.1974	9,9	29 700	4,0	270	0,1	0,9	4,5	19,5	7,0
13.07.1974	29,2	87 600	16,1	4 680	1,6	5,5	6,0	132,0	20,0
24.07.1974	16,3	48 900	3,4	1 800	0,6	3,7	5,0	96,0	23,0
02.08.1974	8,0	24 000	24,0	180	0,1	0,8	3,0	17,0	12,0
04.08.1974	10,6	31 800	31,8	450	0,2	1,4	2,5	27,5	11,5
22.08.1974	13,4	40 200	4,6	450	0,2	1,1	6,0	12,0	3,8
27.08.1974	16,7	50 100	13,1	720	0,2	1,4	4,0	19,5	3,5
06.09.1974	12,8	38 400	4,1	990	0,3	2,6	7,0	35,0	7,0
09.09.1974	15,4	46 200	4,0	1 170	0,4	2,5	6,5	32,5	6,0

TABLEAU IV.4.1. - Principales caractéristiques des crues étudiées