HAL
open science

Infiltration et écoulement en milieu karstique : étude statistique des données climatologiques et hydrologiques ; hydrogéologie du bassin versant du Furon, Vercors (France)- Alpes françaises

Nabil Al Anbar

To cite this version:

Nabil Al Anbar. Infiltration et écoulement en milieu karstique : étude statistique des données climatologiques et hydrologiques ; hydrogéologie du bassin versant du Furon, Vercors (France)- Alpes françaises. Hydrologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1979. Français. NNT : . tel-00605116

HAL Id: tel-00605116

https://theses.hal.science/tel-00605116

Submitted on 30 Jun 2011

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.

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
ET MÉDICALE DE GRENOBLE

THESE DE DOCTORAT DE SPÉCIALITÉ
Spécialité : Géologie appliquée
Option : Hydrogéologie

Infiltration et écoulement en milieu karstique
Étude statistique des données climatologiques et hydrologiques
Hydrogéologie du bassin versant du Furon — Vercors (FRANCE)

Par Nabil AL-ANBAR

Soutenue le 21 Décembre 1979 devant la Commission d'Examen

R. MICHEL	Professeur à l'U.S.M.G.	Président
J. SARROT-REYNAULD	Professeur à l'U.S.M.G.	Rapporteur
L. LEMOINE	Directeur départemental de l'Agriculture de l'Isère	Examinateur
Ph. BOIS	Professeur à l'E.N.S.H.G.	Examinateur
J.C. FOURNEAUX	Maître Assistant à l'U.S.M.G.	Examinateur

إلى أهلي ---
إلى من فقدتهم وإلى الأبد في غربتي ---

A mes Parents,
A la mémoire de mes Grands-Parents.

AVANT - PROPOS

Au moment où s'achève cette étude, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance aux personnes qui m'ont aidé dans sa réalisation, par leur enseignement et leur soutien permanent, en m'accordant une part de leur temps et en me donnant avis et conseils, en particulier à :

- Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAULD qui a bien voulu me confier et diriger ce travail, grâce à ses conseils, ses critiques et ses encouragements, cette étude a pu voir le jour.

- Monsieur le Professeur R. MICHEL pour l'honneur qu'il me fait en présidant ce jury et pour l'intérêt qu'il a porté à mon mémoire.

- Monsieur L. LEMOINE, Directeur Départemental de l'Agriculture de l'Isère pour avoir aimablement accepté de faire partie du jury.

- Monsieur le Professeur Ph. BOIS pour avoir bien voulu juger ce travail en participant au jury et pour les entretiens qu'il m'a accordés et qui ont été très fructueux.

- Monsieur J.Cl. FOURNEAUX Maître Assistant pour sa participation au jury.

- Monsieur C. DURAFOUR de la Direction Départementale de l'Agriculture de l'Isère qui m'a fait profiter de son expérience, m'a consacré une grande part de son temps soit par des visites sur le terrain soit en me fournissant une documentation abondante.

- Monsieur le Professeur F.O. FRANCISS de l'Université Catholique de Rio de Janeiro qui m'a utilement et amicalement conseillé lors de son séjour à Grenoble.

- Monsieur J. ROCHAT, qui m'a permis d'analyser les prélèvements des expériences de traçage.

- Monsieur B. LISMONDE pour la communication de quelques résultats de traçage.

- Mon ami J. KIROUSSIS qui m'a encouragé tout au long de cette étude.

- Pascale qui m'a amicalement facilité la tache dans les recherches bibliographiques.

- Claudine pour la patience dont elle a fait preuve lors de la frappe de ce mémoire.

- Tous les membres de l'Institut Dolomieu qui ont rendu mon séjour en France agréable.

- Tous les amis qui n'ont cessé de m'apporter leurs encouragements et leur soutien.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I

Pages

I - INTRODUCTION 7
1.1.- But de l'étude 7
1.2. - Historique 7
1.3. - Situation géographique 8
1.4. - Les paramètres topographiques 10

CHAPITRE II

II - PRESENTATION GEOLOGIQUE DE LA REGION 14
2.1. - Introduction 14
2.2. - Stratigraphie et lithologie 16
2.2.1. L'Hauterivien 16
2.2.2. Les calcaires urgoniens 16
2.2.3. L'Aptien supérieur (Lumachelle des géologues Dauphinois) 19
2.2.4. Albien 19
2.2.5. Sénonien 20
2.2.5.1. Les calcaires à silex 20
2.2.5.2. Les Lauzes 20
2.2.6. L'Eocène 21
2.2.7. Le Miocène 21
2.2.8. Le Quaternaire 22
2.2.8.1. Les moraines (dépôts des glaciers) 22
2.2.8.2. Les éboulis 23
2.3. - Présentation structurale dela région étudiée 23
2.3.1. Introduction 23
2.3.2. Les grandes unités tectoniques 24
2.3.2.1. Plateau de Sornin 24
2.3.2.2. Anticlinal de la forêt de Guiney 24
2.3.2.3. Synclinal d'Engins ou de Lans 25
2.3.2.4. L'anticlinal de Sassenage 25
2.3.2.5. Plateau de Saint-Nizier 26
2.3.2.6. Pli couché du Moucherotte 26
2.3.2.7. Résumé du style tectonique 27
2.3.3. La fracturation 27
2.3.3.1. Les fractures anciennes 27
2.3.3.2. Les fractures récentes 27

CHAPITRE III

III - CLIMATOLOGIE 31
3.1.- Les précipitations 31
3.1.1. Introduction 31
3.1.2. Les précipitations aux stations de mesures 31
3.1.3. Analyse statistique des séries de données 34
3.1.3.1. Valeurs caractéristiques aux trois stations 34
3.1.3.2. Ajustement des précipitations annuelles aux trois stations 34
3.1.3.3. Récurrence théorique des valeurs extrêmes des précipitations 34
3.1.3.4. Quantiles caractéristiques 36
3.1.3.5. Régression linéaire 37

3.1.4. Les précipitations annuelles 37
3.1.5. Répartitions saisonnières des précipitations 40
3.1.6. Les précipitations mensuelles 42
3.1.6.1. Le coefficient pluviométrique mensuel relatif 43
3.1.6.2. Régression linéaire 44
3.1.7. Les précipitations à la station d'Engins 44
3.1.7.1. Les précipitations mensuelles 44
3.1.7.2. Les précipitations journalières 48
3.1.8. Calcul de la lame d'eau moyenne tombée sur le bassin du Furon .. 49
3.1.8.1. Méthode des isohyètes 51
3.1.8.2. Méthode de Thiessen 56
3.1.8.3. Moyenne arithmétique des précipitations 56
3.1.8.4. Comparaison entre les trois méthodes 58
3.1.9. Calcul du gradient altimétrique de précipitations 58
3.2. - Les températures 59
3.2.1. Introduction 59
3.2.2. Relation précipitations températures 64
3.2.2.1. Les courbes ombrothermiques 65
3.2.2.2. Les climogrammes 65
3.2.3. Calcul du gradient thermique..... 68
3.2.4. Relation entre les trois stations de mesure..... 70
3.2.5. La température moyenne mensuelle sur le bassin..... 71
3.2.6. Le gel 72
3.3. - Les vents 72
3.4. - La neige 73
3.5. - L'insolation..... 75
3.6 - L'évapotranspiration 76
3.6.1. Formule de Turc 76
3.6.2. Formule de Coutagne 77
3.6.3. Formule de C.W. Thornthwaite 78
3.6.3.1. Signification des paramètres 79
3.6.4. Discussion des résultats 80
3.6.5. Calcul de l'évapotranspiration réelle à l'aide du bilan..... 81
3.7. - Conclusion 87

CHAPITRE IV

IV - HYDROLOGIE 93
4.1. - Les stations de jaugeages 93
4.1.1. Station d'Engins 93
4.1.2. Station du Bruyant 93
4.1.3. Station du Germe (Cuves de Sassenage) 98
4.2. - Les débits de surface 98
4.2.1. Les débits instantanés 100
4.2.2. Les débits journaliers 100
4.2.3. Les débits mensuels 105
4.2.3.1. Coefficients mensuels de débits 105
4.2.4. Les débits annuels..... 106
4.2.5. Les débits caractéristiques 106
4.2.6. Calcul du débit du Furon à partir de l'énergie produite à l'usine hydroélectrique de Sassenage 109
4.2.6.1. Les caractéristiques du barrage d'Engins 109
4.2.6.2. Calcul du volume d'eau turbiné à l'usine de Sassenage. 109
4.2.6.3. Relation entre les volumes d'eau entrant et sortant de la retenue 111
4.2.6.4. Calcul des débits moyens mensuels et annuels du Furon. 113
4.3.- Débits des émergences 113
4.3.1. Introduction 113
4.3.2. Exsurgence du Bruyant..... 114
4.3.2.1. Les débits instantanés 114

4.3.2.2. Les débits journaliers 115
4.3.2.3. Les débits mensuels 117
4.3.2.4. Les débits annuels 120
4.3.2.5. Les débits caractéristiques 120
4.3.3. Résurgence des cuves de Sassenage (Le Germe) 121
4.3.3.1. Les débits instantanés 121
4.3.3.2. Les débits journaliers 124
4.3.3.3. Les débits mensuels 128
4.3.3.3.1. Coefficients mensuels de débits 128
4.3.3.4. Les débits moyens annuels ou modules..... 130
4.3.3.5. Les débits caractéristiques 130
4.3.3.6. Estimation des débits manquants 132
4.3.4. Relations entre les débits mesurés aux trois stations 135
4.4.- Etude des crues 137
4.4.1. Les crues pluviales 137
4.4.1.1. Les crues annuelles..... 137
4.4.1.2. Les crues mensuelles 139
4.4.1.3. Etude des pointes des crues 141
4.4.2. Les crues de fonte des neiges 146
4.4.2.1. Les glacières et les puits à neige 149
4.5. Conclusion 152

CHAPITRE V

V - HYDROGEOLOGIE 157
5.1.- Les expériences de traçages 158
5.1.1. Généralités 158
5.1.1.1. Introduction 158
5.1.1.2. Qualités d'un traceur 158
5.1.1.3. La courbe de restitution 158
5.1.1.4. Bilan de restitution 159
5.1.1.5. L'analyse des traceurs 160
5.1.2. Les colorations antérieures 160
5.1.2.1. Coloration du Gouffre Berger 160
5.1.2.2. Coloration au trou d'Ira 161
5.1.2.3. Coloration de la Grotte du Mas 161
5.1.2.4. Coloration du scialet de Saint-Nizier 161
5.1.3. La coloration récente 161
5.1.3.1. Le but de l'expérience 162
5.1.3.2. Choix des traceurs 162
5.1.3.3. Déroulement de l'expérience 162
5.1.3.4. Résultats des analyses 163
5.1.3.5. Bilan de restitution 164
5.1.3.6. Conclusion 164
5-2 - Etude des courbes de tarissement 168
5.2.1. Formule de Maillet 168
5.2.1.1. Représentation graphique 168
5.2.1.2. Calcul du volume d'eau emmagasiné 168
5.2.2. Formule de Tison 169
5.2.2.1. Représentation graphique 169
5.2.2.2. Calcul du volume d'eau emmagasiné 170
5.2.3. Les caractéristiques du coefficient de tarissement 170
5.2.4. Méthode proposée par Mangin pour l'analyse des décrues et tarissements 170
5.2.5. Etude de l'infiltration 172
5.2.6. Détermination des paramètres 173
5.3. - Estimation de la distribution de la conductivité hydraulique anisotrope du plateau de Sornin 186
5.3.1. Hypothèses simplificatives 186
5.3.2. Mode de calcul de la conductivité hydraulique de chaque fracture.188
5.3.3. Représentation de la conductivité hydraulique de chaque fracture dans le même système de référence 188

5.3.4. Effet simultané de toutes les fractures 190
5.3.5. Calcul de K max, K min, $\frac{Kmax+Kmin}{2}$ 190
5.3.6. Démarche suivie pour les calculs..... 190
5.3.7. Estimation empirique du facteur de porportionnalité C..... 191
5.4. Conclusion 195

CHAPITRE VI

VI - RELATION PLUIE-DEBIT 197
6.1. Méthode de la régression linéaire 199
6.1.1. Introduction 199
6.1.1.1. Les facteurs physiques 199
6.1.1.2. Les facteurs climatiques 199
6.1.2. Relations entre deux caractères 200
6.1.3. Régression linéaire multiple 200
6.1.4. Mesure de l'association de corrélation multiple 201
6.1.4.1. Le coefficient de corrélation multiple 201
6.1.4.2. Le coefficient de détermination 201
6.1.4.3. L'écart-type résiduel 202
6.1.4.4. Coefficient de corrélation partiel 202
6.1.4.5. Coefficient Béta 203
6.1.4.6. Test de Fischer Snedecor F 203
6.1.5. Choix des variables explicatives 204
6.1.6. Description du premier programme 205
6.1.7. Description du deuxième programme 206
6.1.8. Présentation des résultats 208
6.1.8.1. Discussion des résultats (station d'Engins)..... 208
6.1.8.1.1. L'étape des mois 212
6.1.8.2. Discussion des résultats (station du Germe)..... 217
6.2. Etude du transfert Précipitations-Débits d'un réseau karstique 220
6.2.1. Introduction 220
6.2.2. L'hydrogramme type 220
6.2.3. Les techniques de séparation de l'écoulement de base 221
6.2.3.1. Séparation par la ligne droite 221
6.2.3.2. Séparation par la longueur de base fixe 221
6.2.3.3. Séparation par la pente variable 222
6.2.4. Généralités sur l'événement 222
6.2.4.1. Réponse nulle 223
6.2.4.2. Réponse positive 225
6.2.4.2.1. Le cas d'une averse isolée 225
6.2.4.2.2. Le cas de plusieurs averses 225
6.2.4.2.3. Autres cas 229
6.2.5. Conclusion 229
6.3. Essai de détermination du coefficient d'infiltration 232
6.3.1. Introduction..... 232
6.3.2. Quelques facteurs influents l'infiltration..... 232
6.3.3. Délimitation du bassin versant 233
6.3.3.1. Première estimation de la surface des bassins versants 233
6.3.4. Première estimation de l'infiltration..... 235
6.3.4.1. Discussion des résultats 235
6.3.5. Deuxième estimation de l'infiltration 238
6.3.5.1. Discussion des résultats..... 238
6.4. Conclusion 240

CONCLUSION GÉNÉRALE 242

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1. INTRODUCTION

1.1. BUT DE L'ÉTUDE

Malgré les recherches très avancées dans le domaine du karst, le phénomène de l'infiltration reste toujours l'un des éléments les plus délicats à déterminer étant donné la diversité des facteurs qui le conditionnent et qui ne sont malheureusement pas bien connus.

Notons aussi que la circulation de l'eau dans ce milieu a été le sujet de plusieurs recherches qui ont abouti à des hypothèses et des lois expliquant ce phénomène, mais chaque karst reste avant tout un cas spécial.

Nous allons essayer dans notre étude de déterminer le coefficient d'infiltration et de donner une explication sur la circulation superficielle et profonde en nous limitant à un bassin versant,celui du Furon et aux sous-bassins du Bruyant et des cuves de Sassenage , en nous basant sur des données climatiques et l'étude du régime des émergences qui permet une grande connaissance du milieu étudié.

Les données disponibles seront donc étudiées en détail et durant une période relativement longue(1969-1976). Différentes méthodes seront employées et surtout les méthodes statistiques.

Nous essaierons enfin de déterminer une relation pluie-débit pour le secteur étudié.

1.2. HISTORIQUE

Le mot karst est la transcription germanique du terme slovène krass et du terme italien Carzo. Il a probablement une origine pré-indo-européenne et signifiait "région de pierres". Il désignait la région entre le golfe de Trieste à l'ouest , la vallée de Vipava au nord, le bassin de Pivka à l'est et la vallée de Notranjska Reka au sud est.

L'utilisation extensive du terme karst, date des études systématiques entreprises en Istrie et Carniola par les autrichiens en 1840. Le terme avait à cette époque un sens purement régional. Plus tard, il désignait des régions de calcaires et de grottes.

En 1893, CIVIJIC, le géographe Serbe a écrit " Das karstphänomen " qui est le coup d'envoi des études karstiques proprement dites.

Les français ont contribué grandement aux études karstiques, la France ayant 1/5 de sa surface couverte par des roches calcaires. Cet intérêt français pour les études karstiques date en partie des travaux de MARTEL (1859-1938) dans le nouveau traité des eaux souterraines " Les Abîmes " et " Irlande et cavernes anglaises; et de FOURNIER pour ses études sur l'hydrologie et les grottes du Jura.

Le terme karstification décrit le processus de dissolution du calcaire, et le drainage vertical et souterrain qui en résulte.

L'abondance du vocabulaire karstique a fait dire à LEHMANN que " la terminologie karstique s'est développée suivant les formes des paysages du karst et de ses régions voisines ".

L'intérêt des études des régions karstiques se vérifie encore aujourd'hui par la tenue de nombreux colloques, congrès et réunions,

par l'importance considérable qu'ont les réserves d'eaux dans ces régions et par leur grand potentiel touristique et spéléologique .

Le Vercors a été un terrain de prédilection pour de nombreux géologues et spéléologues ;les plus célèbres sont Ch. LORY, André BOURGIN, G. MARTEL, M.GIGNOUX, L. MORET...

Leurs études ont contribué à la connaissance du karst du Vercors, connaissance rendue encore plus urgente par l'évident intérêt touristique de la région et l'accroissement de la population qui implique entre autres une réponse appropriée aux besoins en eau.

Le Vercors, paradis des spéléologues, doit sa réputation internationale à son karst très développé et à l'un des plus profonds gouffres du monde : le Gouffre Berger.

1.3. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le Vercors fait partie des chaînes sédimentaires, couverture décollée des massifs cristallins qui forment les cinq massifs préalpins des Alpes françaises du Nord (Chablais-Giffre, Bornes, Bauges, Chartreuse, Vercors).(Fig.n°1).

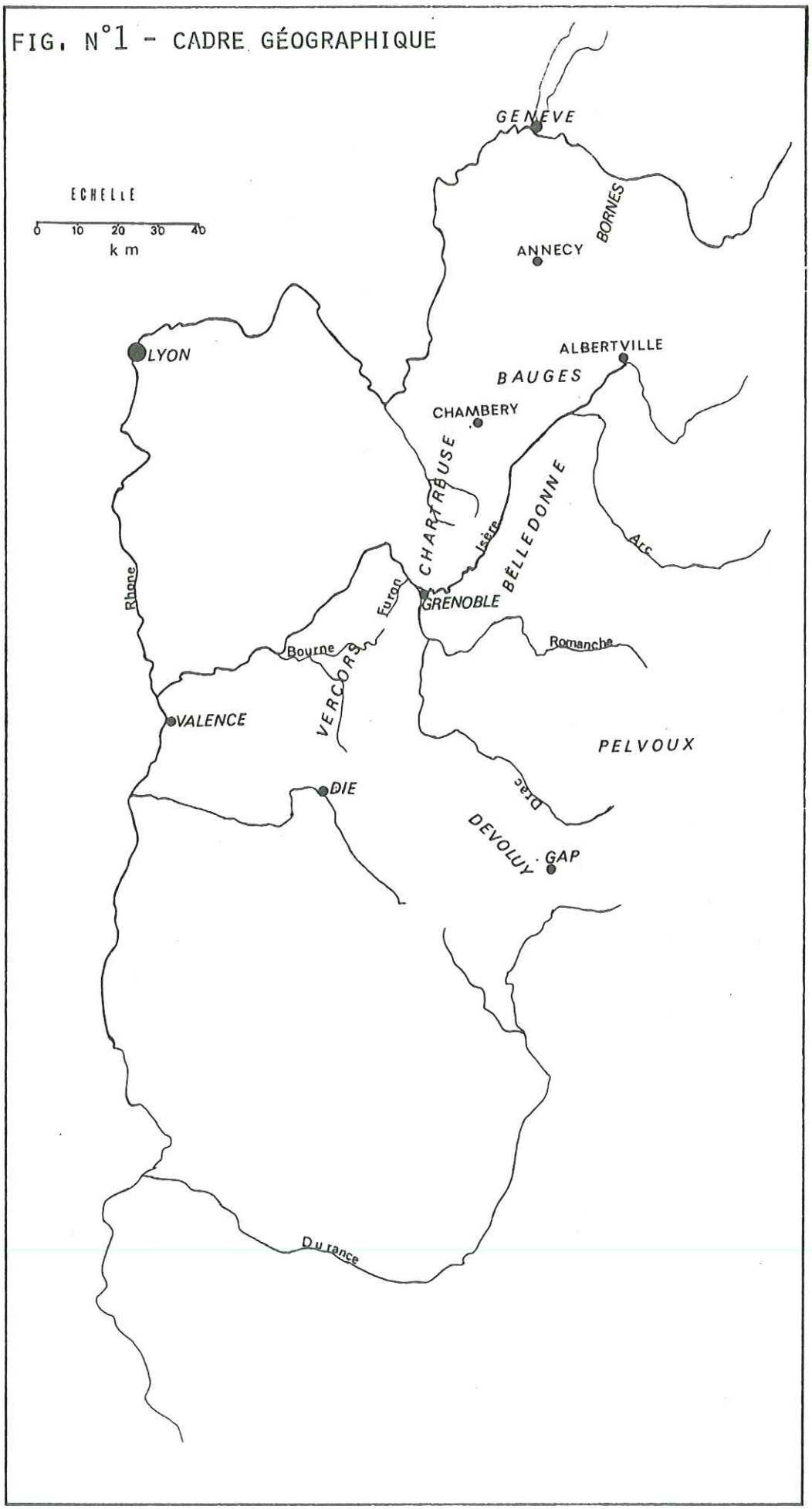
Il est orienté N.E.- S.O. et s'étend de l'Isère à la Drôme et du Drac aux plaines du Bas-Dauphiné.

Sa surface est d'environ 1000 km^2, son altitude moyenne 1200 m et il culmine au Grand-Veymont (2341 m).

Il est un des plus grands massifs calcaires en France, où domine l'Urgonien.

Contrairement au massif de la Chartreuse, ses reliefs sont conformes à la structure (les vallées correspondent à des synclinaux, les plateaux et les crêtes à des anticlinaux); et il est nettement moins plissé.

FIG. N°1 - CADRE GÉOGRAPHIQUE



Ses plateaux à surface relativement horizontale dominent fortement les vallées où les rivières ont entaillé des gorges célèbres (gorges de la Bourne, Grands Goulets, Gorges d'Engins...).

Son climat humide et frais a favorisé le développement des forêts (Epiceas et Hêtres).

Notre bassin d'études (bassin du Furon) se situe dans la partie nord est du massif. Il se situe entre les latitudes N 45° et 45°16' et les longitudes E 5°37' et 5°43'.

Il est limité par le plateau de Sornin au nord, au sud par Combe Claire, à l'est par le plateau de Saint-Nizier et le Moucherotte, et à l'ouest par la forêt de Guiney.

1.4. LES PARAMÈTRES TOPOGRAPHIQUES

Le bassin versant du Furon présente dans son ensemble une superficie de 50,4 km^2 environ, répartie entre 600 et 1900 m. Les fonds des vallées ne sont pas très larges. La distribution altitudinale de la surface par tranche de 100 mètres est présentée dans le tableau suivant, et par la courbe hypsométrique. (fig. n°2).

Tranches d'altitudes	Moyennes	Surface en km^2	Pourcentage	Cumul
600-700	650	1.038	2.06	2.06
700-800	750	1.144	2.27	4.33
800-900	850	2.150	4.27	8.60
900-1000	950	4.356	8.64	17.24
1000-1100	1050	8.906	17.67	34.91
1100-1200	1150	6.313	12.53	47.44
1200-1300	1250	4.288	8.51	55.95
1300-1400	1350	4.100	8.13	64.09
1400-1500	1450	4.725	9.37	73.45
1500-1600	1550	7.875	15.63	89.08
1600-1700	1650	3.556	7.05	96.13
1700-1800	1750	1.456	2.89	99.02
1800-1900	1850	0.531	1.05	100 %

Tableau n° 1-1 . Répartition altimétrique et fréquences altimétriques des surfaces.

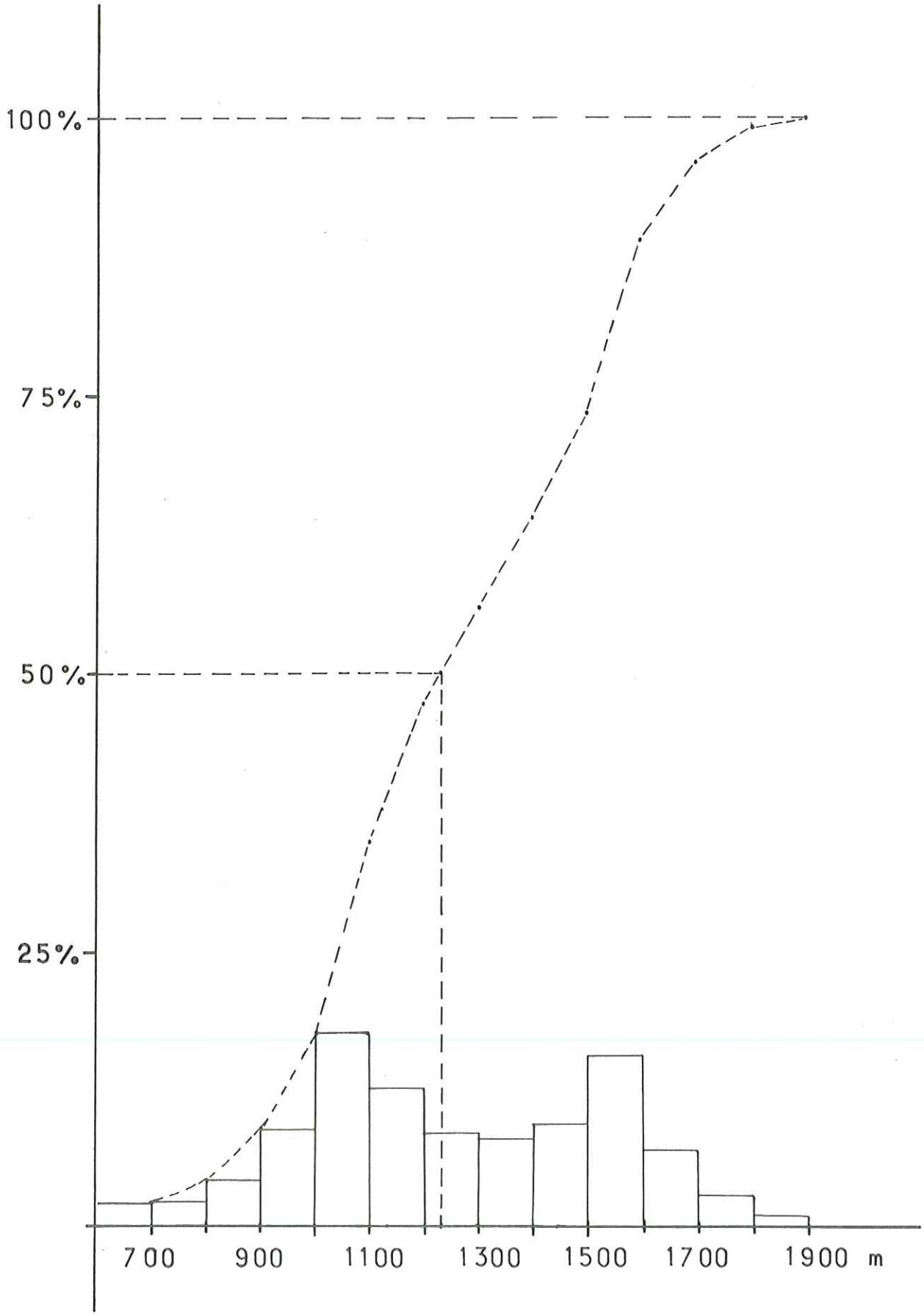
Altitude moyenne : 1259 m

Altitude de fréquence 0,5 : 1230 m

Altitude la plus fréquente : 1000-1100 m

Classe médiane : 1200-1300 m.

FIG.N°2 COURBE HYPSOMETRIQUE DU BASSIN VERSANT DU FURON.



CHAPITRE II

PRESENTATION GEOLOGIQUE DE LA REGION

2. PRÉSENTATION GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION

2.1. INTRODUCTION

La région étudiée fait partie des chaînes subalpines septentrionales. Les massifs qui forment ces chaînes représentent la série sédimentaire décollée du socle des massifs cristallins externes. Ces chaînes sont caractérisées par deux épisodes calcaires bien marqués : les calcaires tithoniques (Kimméridjien-Portlandien) qui forment la première corniche subalpine et les calcaires urgoniens (Barrémien sup.-Aptien inférieur) qui forment la deuxième corniche subalpine. Ces deux niveaux constituent les formations karstifiables les plus importantes parmi les nombreux faciès calcaires de la région. Leur rôle morphologique est donc considérable. En réagissant aux sollicitations tectoniques, cette série sédimentaire a été fortement plissée et faillée donnant naissance à de nombreux plis-failles et chevauchements.

Le Vercors présente un style tectonique plus simple que les autres massifs des chaînes subalpines. Les plis sont de formes simples sans renversement ou étirement des flancs ouest aussi importants qu'en Chartreuse. Ceci semble dû à la position du Vercors dans une zone tectonique calme entre la Chartreuse, fortement comprimée au Nord, et le Diois, vivement basculé au Sud, c'est-à-dire dans une sorte d'angle mort de plissement (R. Blanchard, 1911) , d'où l'existence en Vercors d'un ensemble régulier de monts et de vaux.

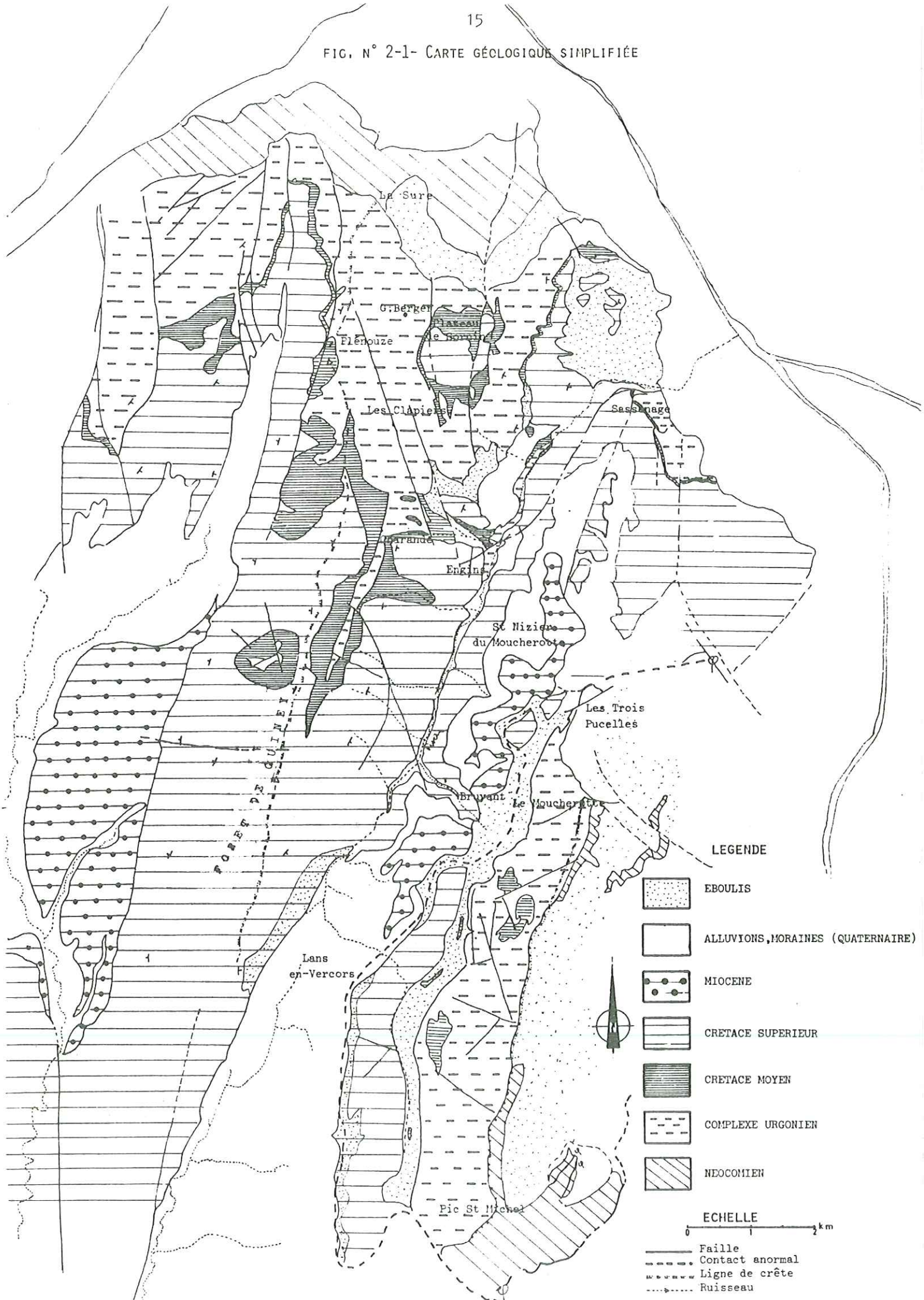
Dans le Vercors, on remarque que l'urgonien affleure très largement ainsi que le Sénonien mais sur des surfaces plus vastes que celui-ci dont l'épaisseur diminue du sud vers le nord.

Le relief du Vercors est conditionné par la présence des calcaires urgoniens. Le Vercors septentrional présente un relief conforme à la structure, qui n'est encore qu'ébauchée, c'est-à-dire que les anticlinaux urgoniens sont en règle générale mal dégagés de leur gangue sénonienne et les synclinaux contiennent même un épais matelas de molasse (J.BLACHE 1925). Si comme l'indique R.Blanchard (1911), le relief n'est encore que très faiblement évolué en Vercors, par contre la morphologie karstique montre une évolution très poussée.

En résumé, le Vercors présente une tectonique assez simple caractérisée par une structure ondulée et l'importance des affleurements continus de calcaires.

Le Vercors a fait l'objet de nombreuses études géologiques depuis plus d'un siècle et d'études hydrogéologiques plus récentes; nombreuses sont les hypothèses et même les théories émises à partir des observations faites dans ce secteur. Nous considérons donc que la géologie de cette région est assez bien connue mais qu'il en est pas de même de l'hydrogéologie étant donné les problèmes que pose la délimitation du bassin versant dans le karst.

FIG. N° 2-1- CARTE GÉOLOGIQUE SIMPLIFIÉE



Notre région d'étude constitue l'extrémité nord-est du massif du Vercors. Dans ce chapitre, nous nous limitons à un résumé des études géologiques antérieures en y ajoutant nos observations personnelles et en mettant en relief l'aspect hydrogéologique et morphologique des formations rencontrées.

Cette étude géologique sera consacrée à une étude stratigraphique et lithologique des formations qui affleurent dans notre bassin et à une définition des éléments structuraux majeurs. Au fur et à mesure du développement de cette étude nous essaierons de délimiter notre bassin du point de vue géologique.

2.2. STRATIGRAPHIE ET LITHOLOGIE

Les terrains affleurant dans notre bassin vont du Crétacé au Quaternaire ou plus exactement de l'Urgonien au Quaternaire. Les étages représentant les surfaces d'affleurement les plus étendues sont l'Urgonien et le Sénonien.

2.2.1. L'HAUTERIVIEN (100 à 200 m environ)

Bien que cet étage n'affleure pas dans notre bassin,nous allons le décrire en raison de son importance du point de vue hydrogéologique.

Il est représenté par une alternance de marnes et des calcaires marneux, peu fossilifères à miches calcaires. Le sommet de ces formations constitue les calcaires argileux à Spatangues . Cet étage tendre est encadré par les couches dures du Valanginien supérieur et de l'Urgonien. La nature argileuse de cet étage, donc sa faible perméabilité ,fait de lui un niveau de base des circulations karstiques (un mur imperméable).

Ses formations lorsqu'elles affleurent donnent naissance à de grosses résurgences ou exsurgences karstiques (exemple la Goule Blanche, la Goule Noire)

Il arrive dans certains cas que l'Hauterivien soit recoupé par des circulations très importantes. C'est ce qui a été observé dans le réseau souterrain du Gouffre Berger (J.L.Barbier, L.Potié) situé dans notre bassin où la rivière souterraine entaille profondément les calcaires marneux. Il apparaît qu'il s'agit là d'une érosion mécanique plus que d'un phénomène de dissolution.

2.2.2. LES CALCAIRES URGONIENS

Le terme urgonien provient du petit village d'Orgon sur la rive gauche de la Durance près de son confluent avec le Rhône.

Les calcaires urgoniens proviennent de la solidification de vases calcaires à milioles ,orbitolines,algues calcaires et fragments de polypiers.

Dans notre bassin l'urgonien affleure largement et en surface structurale. Il constitue d'importantes falaises qui forment l'essentiel du relief du massif du Vercors.

C'est une puissante masse de calcaires zoogènes compacts épaisse d'environ 300 m. L'épaisseur et l'allure spéciale de ces calcaires sont défavorables à l'érosion subaérienne. Par contre elles sont favorables au développement des réseaux de galeries et à une circulation verticale souterraine qui est très développée dans notre bassin.

Ces calcaires se caractérisent aussi par une faible porosité mais ils présentent une perméabilité secondaire en très grand ,en raison de l'existence des zones fracturées. L'eau s'écoule surtout dans les fractures et non suivant les joints de stratification qui sont très rares et en général colmaté . En surface on observe des zones d'absorption caractéristiques : les zones de lapiaz très diaclasées favorisent particulièrement l'enfouissement des eaux de surfaces, comme c'est le cas dans notre bassin sur le Plateau de Sornin.

"L'Urgonien est en effet la couche karstique par excellence " (J.Corbel 1956).

Du point de vue stratigraphique, le complexe urgonien est un faciès englobant une très grande variété de roches essentiellement calcaires dont l'âge est compris entre la base du Barrémien et le sommet de l'Aptien inférieur (Bédoulien).

La disposition actuelle de ces roches est commandée par la paléogéographie du secteur marin correspondant à l'époque de dépôt de ces sédiments (H.Arnaud (1978)

Ces calcaires sont bien connus stratigraphiquement et paléogéographiquement grâce aux travaux de plusieurs chercheurs. L'étude la plus récente concernant l'Urgonien est celle de .A. Vanneau et H. Arnaud(1976)que nous allons essayer de résumer dans ce paragraphe sans entrer dans les détails.

Les assises barrémo-bédouliennes du Vercors sont divisées en treize membres grâce à l'étude des faunes d'ammonites. Ces assises sont regroupés dans le tableau n°2-1 élaboré par A et H. Arnaud et J.P. Thieuloy (1976).

L'âge des assises urgoniennes du Vercors septentrional va du Barrémien supérieur à l'Aptien inférieur Bédoulien; cela correspond à l'ensemble paléogéographique de la plate-forme urgonienne qui s'est formée pendant la transgression du Barrémien supérieur et développée jusqu'à la limite Barrémien-Aptien avec une interruption presque entière de la sédimentarion des sables et des vases calcaires à Rudistes tandis que se déposent des couches inférieures à Orbitolines.

Dans la première édition de la carte géologique Grenoble au 1/50 000, les faciès de l'Urgonien ne sont pas différenciés de la même façon que dans la 2ème édition.

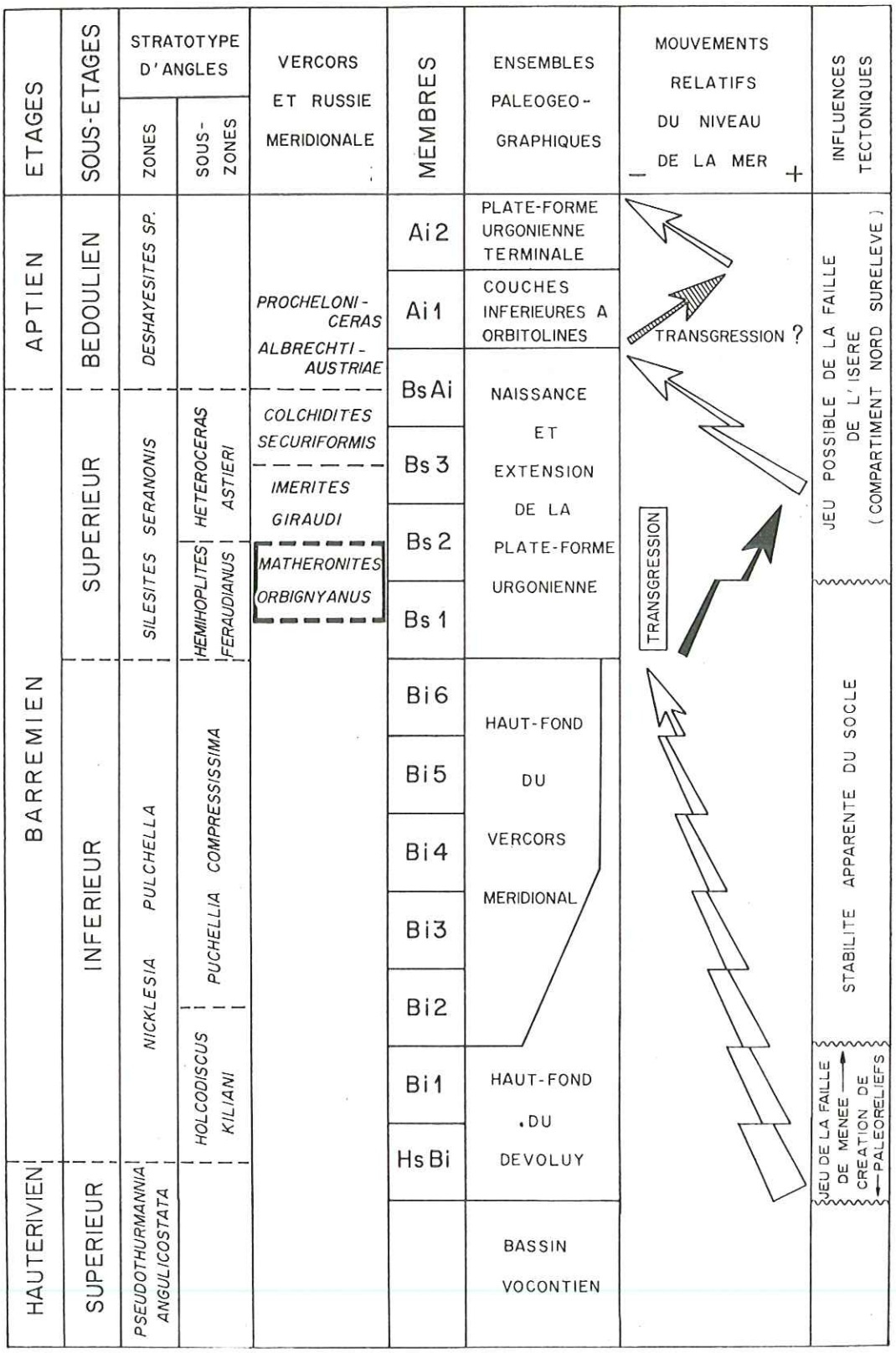


Tableau n° 2-1 – synoptique des assises barrémo-bédouliennes du Vercors montrant la position des treize membres qui les constituent.

Haut-fond : ce terme est utilisé pour désigner une morphologie sous-marine en relief, isolée en pleine mer

Plate-forme : ce terme est utilisé pour désigner une morphologie sous-marine d'une superficie généralement supérieure à celle d'un haut-fond, caractérisé par une partie sommitale sub-horizontale et à fleur d'eau.

En résumé, l'Urgonien du Vercors septentrional se divise donc en masse inférieure urgonienne (Barrémien); couches inférieures à Orbitolines (Bédoulien inférieur), masse supérieure Urgonienne (Bédoulien inférieur).

Sur les calcaires jaunes à Panopées du Barrémien inférieur la masse inférieure urgonienne (Barrémien) forme une puissante falaise de 200 à 250 m de calcaires blancs ou un peu rosés à pâte fine ou cristalline contenant principalement des Rudistes.

Les couches inférieures à Orbitolines (Bédoulien inférieur) sont des faciès marneux constituant un niveau puissant de 20 à 50 m.

La masse supérieure Urgonienne (Bédoulien inférieur) est constituée en totalité de calcaires blancs à Rudistes. La puissance de cette masse est variable entre 30 et 50 m seulement. Des érosions anté-sénoniennes ont pu la supprimer totalement ou partiellement.

2.2.3. APTIEN SUPERIEUR (OU LUMACHELLE DES GEOLOGUES DAUPHINOIS)

Il constitue un excellent repère à la limite du Crétacé inférieur et du Crétacé supérieur. Epais de 12 à20 m, il affleure en plusieurs points de notre bassin (Sierre, plateau de Sornin, Sassenage).

Il s'agit d'un calcaire roux, compact, grossièrement cristallin, riche en glauconite dont témoignent les nombreuses taches noires. Les débris d'Echinodermes et de Bryozoaires forment la plus grande partie de la roche. L'âge de ce niveau serait Gargasien à Clansayésien.

L'épaisseur très faible de cet étage ne permet pas un développement karstique important, d'autant plus qu'il est stratifié en bancs minces de 10 à 30 cm d'épaisseur.

2.2.4. ALBIEN

Il est presque toujours représenté à sa base par un conglomérat de nodules et de fossiles phosphatés glauconieux riche en petites dragées de quartz; son épaisseur est de 0.20 à 0.40 m. Ce conglomérat est recouvert par des sables et des grès verts glauconieux .

En Vercors, l'Albien est connu sous la forme de minuscules lentilles.

Les sables de l'Albien sont des formations perméables en petit susceptibles de contenir des nappes phréatiques et d'alimenter des sources de débit assez faible mais régulier.

2.2.5. SENONIEN

Le Crétacé supérieur est réduit au Sénonien épais de 200 m environ dont les faciès varient sensiblement mais qui occupe une superficie importante.

Les calcaires sénoniens sont transgressifs après une importante lacune de sédimentation. Le milieu de genèse est celui d'une mer certainement profonde,aérée et agitée par des courants. Ces calcaires constituent deux ensembles stratigraphiquement et mophologiquement bien accusés. :

- au sommet les calcaires à silex
- à la base les " lauzes "

2.2.5.1. Les calcaires à silex . Ce sont des calcaires massifs caractérisés par la présence de nombreux nodules de silex irrégulièrement répartis L'âge est Sénonien supérieur (Maestrichtien).

Ces calcaires présentent une perméabilité secondaire très grande par suite de l'existence des zones fracturées. Ils constituent un niveau karstifiable moins important que celui de l'Urgonien. Dans notre bassin,les Cuves de Sassenage s'ouvrent et se développent dans cet étage comme en témoignent les nodules de silex et de nombreuses Belemmitella mucronata.

Il faut noter l'indépendance très fréquente des circulations d'eau entre le Sénonien et l'Urgonien, chaque niveau possédant ses propres circulations. Cela peut s'expliquer par la présence entre ces deux niveaux des Lauzes qui jouent le rôle d'un mur quasi imperméable mais,à la faveur de fractures très importantes,il peut y avoir des communications entre ces deux niveaux (exemple pli-faille de Sassenage, ou faille La Fauge - Goule Blanche).

2.2.5.2. Les " Lauzes ". Ce sont des calcaires gréseux qui se présentent en petits bancs bien stratifiés se débitant facilement en grandes dalles (d'où leur nom). Cette caractéristique facilite leur exploitation comme matériaux de construction. Les carrières de Lauzes ont été exploitées depuis longtemps pour la fabrication de la chaux hydraulique et du ciment artificiel (exemple la carrière des Côtes de Sassenage). Elles montrent une alternance de boues calcaires tantôt à grain fin, tantôt gréseux. Les éléments détritiques sont assez abondants mais par contre les silex sont rares. La glauconite détritique est assez fréquente.

Du point de vue circulation des eaux, les " Lauzes " présentent des caractéristiques différentes des calcaires à silex. Dans les lauzes, les circulations ne se font que suivant les joints de strates et les diaclases. Dans ces formations,on peut introduire la notion de deux perméabilités; l'une parallèle aux joints

des strates qui n'est pas négligeable, l'autre perpendiculaire aux strates, qui est pratiquement nulle.

Les " Lauzes " présentent donc une perméabilité faible par rapport aux calcaires à silex fortement karstifiés. Ceci explique qu'au contact de ces deux formations à perméabilité différente , on peut observer des résurgences le long des gorges du Furon entre l'Olette et Engins.

2.2.6. L'ECOENE

L'Eocène du Vercors est continental, en raison de l'émersion du Vercors à la fin du Crétacé. La phase d'émersion s'est accompagnéed'une érosion qui a décapé une partie des assises du Sénonien . On trouve l'Eocène tantôt sur le Sénonien, tantôt sur l'Urgonien.

Les affleurements d'Eocène dans notre bassin sont très peu développés. Ils sont généralement représentés par des sables et des argiles bigarrés, souvent rouges remplissant les cavités karstiques. Ces poches d'argiles et de sables ont été exploitées jadis. Signalons que les sables et les argiles sont pauvres en fossiles d'où la difficulté de datation précise de ces formations .

Du point de vue hydrogéologique ces formations ne jouent qu'un rôle très limité et leur perméabilité est très variable selon que le sédiment est plus ou moins riche en argile.

2.2.7. LE MIOCENE

L'émersion s'étant poursuivie à l'Oligocène explique l'absence de cet étage dans la région. Par contre ,le Miocène se caractérise par une transgression marine. Ses formations surmontent l'Eocène et le Crétacé.

On constate que le Miocène existe au fond des synclinaux seulement. Cela s'explique par le fait que la mer s'est avancée uniquement dans les synclinaux déjà ébauchés et que cette position a protégé de l'érosion les formations du Miocène qui ont cependant été impliquées dans les plissements postmiocènes de la région.

Dans notre bassin, le Miocène n'est pas subdivisé, contrairement à ce qui a pu être fait dans le synclinal d'Autrans-Méaudre. Il s'agit de grès calcaires tendres (molasse) accompagnés d'argiles ou de marnes, parfois de glauconite, de quartz ,renfermant des lentilles de conglomérats, dont les galets souvent impressionnés sont de nature variée (calcaire et silex du Crétacé supérieur subalpin , radiolarites et gabbros des zones internes, rares témoins des massifs cristallins externes).

La molasse s'altère rapidement en donnant des terres meubles et

légères démunies d'éléments calcaires et portant de gras pâturages et des cultures faciles.

Du point de vue hydrogéologique, la molasse peut être perméable en petit et elle est alors susceptible d'alimenter des sources de débit assez faible mais régulier, mais elle peut être également imperméable; tout dépend de la nature des éléments qui constituent cette molasse. La présence d'argile rend la formation imperméable, tandis que la prédominance des sables la rend perméable. Le Pliocène n'est pas représenté dans notre bassin en raison de la régression de la mer à la fin du Miocène.

2.2.8. LE QUATERNAIRE

Le Quaternaire est caractérisé par l'effet puissant de l'érosion dont témoignent les reliefs actuels. Parmi les formations très diverses du Quaternaire, nous traiterons les moraines et les éboulis dont l'étendue des affleurements est considérable.

2.2.8.1. Les moraines (dépôts des glaciers) . Les glaciers alpins n'ont pas envahi le Vercors qui était rempli par sa propre glace. Le Vercors présente en effet l'originalité d'avoir des glaciations autochtones.

Le glaciaire du Vercors, connu depuis longtemps grâce aux nombreuses études de Jacob (1911), A.ALLIX (1914), J. Blache (1931)etc., appartiendrait au cycle würmien mais a pu persister assez tardivement; le glacier a deposé des moraines locales qui sont uniquement calcaires (calcaire urgonien dominant).

Dans une étude récente sur les gisements du paléolithique inférieur du Val de Lans (Vercors, Isère) et leur cadre morphogéologique (M.Malenfant et G. Monjuvent, 1978) ont montré qu'en ce qui concerne la glaciation locale du Val de Lans et par conséquent du Vercors, existent les traces d'au moins deux avancées glaciaires au Riss et au Würm. Ce massif semblerait donc pour ces auteurs se présenter de ce point de vue exactement comme le piedmont des Alpes pour les glaciations générales.

"Il semble permis de conclure que contrairement à ce que l'on croyait, le Vercors et, par extension, les autres massifs périphériques des Alpes n'ont pas été le siège, au Würm, d'une glaciation locale importante".

Du point de vue hydrogéologique, l'abondance de l'argile dans les moraines et à un degré moindre dans les alluvions fluvio-glaciaires rend ces formations peu perméables. Mais l'absence de circulations superficielles sur ces formations montre toutefois que la perméabilité n'est pas nulle et peut même devenir importante à la suite du remaniement et du lessivage de ces formations, comme c'est le cas sur le plateau de Saint-Nizier.

2.2.8.2. Les éboulis. L'importance des éboulis dans notre bassin provient de la surface considérable des affleurements qu'ils occupent. La formation des éboulis est dûe au détachement successif des blocs rocheux. Cette formation est favorisée par certaines structures de roches (diaclases, plans de stratification) et par certaines conditions climatiques (gel). Dans ces éboulis la stratification est absente; par contre ils peuvent présenter une simple superposition d'ensembles différents. Ils sont parfois cimentés en brèches de pente.

Dans notre bassin, beaucoup d'émergences sortent non de la masse calcaire mais des éboulis qui sont accumulés au pied des falaises.

Le Bruyant sort d'un éboulis et, en période de crue, l'émergence s'étale sur 20 m de dénivelée. Les eaux qui sortent de ces éboulis sont chargées de carbonate de calcium dû à la dissolution des blocs calcaires.

2.3. PRÉSENTATION STRUCTURALE DE LA RÉGION ÉTUDIÉE

2.3.1. INTRODUCTION

D'une manière générale notre bassin se compose de plusieurs unités tectoniques qui sont les suivantes :

1) Le plateau de Sornin fait partie d'une vaste voûte anticlinale calcaire avec tendance au coffrage

2) L'anticlianl de la forêt de Guiney correspond au prolongement sud de l'anticlianl de Sornin.

3) Le synclinal d'Engins ou de Lans fait suite à cet anticlinal vers l'Est et se présente comme une gouttière assez étroite au Nord mais s'élargissant vers le Sud.

4) L'anticlinal de Sassenage limite au Nord-Ouest le synclinal d'Engins.

5) Le plateau de Saint-Nizier prolonge vers le Sud l'anticlinal de Sassenage mais interrompu au N des 3 Pucelles.

6) Le pli couché du Moucherotte représente une structure tectonique très complexe.

Plusieurs phases de déformation sont à l'origine de ces unités structurales. Nous verrons que tout d'abord dans la région se manifeste une tectonique souple suivie d'une tectonique cassante.

Dans ce paragraphe, nous étudions les conséquences de la tectonique souple et plus loin une étude sera consacrée à la tectonique cassante. En ce qui concerne l'âge des mouvements, de nombreux auteurs s'accordent à dire que le dernier plissement de la région est essentiellement post-Miocène puisque cet étage est impliqué dans la tectonique du massif. Cependant il est certain qu'une ou plusieurs étapes de déformations se sont développées avant le Miocène, particulièrement

après le Crétacé supérieur; mais elles sont difficiles à mettre en évidence dans notre secteur où les plis et les fractures les plus importants sont postérieurs au Miocène.

2.3.2. LES GRANDES UNITES TECTONIQUES

Nous allons détailler les unités tectoniques déjà exposées.

2.3.2.1. Plateau de Sornin. Le plateau de Sornin constitue la partie Nord de notre bassin. Il se présente comme une simple surface structurale où domine l'Urgonien qui a été décapé de sa couverture par l'érosion et où ne subsiste que quelques lambeaux de Sénonien formant les sommets de Plénouze et du Sornin. Les Lumachelles de l'Aptien affleurent pauvrement. Le plateau s'élargit du Sud vers le Nord. L'axe de l'anticlinal correspond localement à la ligne Charand-Plénouze - la Sure qui est en même temps la ligne, de partage des eaux. Cette ligne délimitera notre bassin à l'Ouest. Signalons que les directions des pendages sont opposées des deux côtés de cette ligne, ce qui renforce la validité de notre choix en prenant cette ligne comme limite de bassin versant. D'une façon générale, le pendage s'accentue du NW vers le SE. Dans ce plateau, les phénomènes karstiques sont très développés et atteignent une ampleur impressionnante, comme le prouve la présence du Gouffre Berger. Ce plateau est le bassin d'alimentation d'un immense réseau souterrain. Il ne présente pas d'accidents tectoniques importants mais par contre un réseau dense de fissures et de fractures secondaires. Cette allure particulière de la tectonique a des conséquences importantes ; elle a permis la conservation de la couche dure (l'Urgonien), ce qui n'est pas le cas en Chartreuse où l'Urgonien, fortement plissé et disloqué, était facilement emporté par l'érosion. D'autre part l'existence des fissures joue un rôle important dans l'orientation des réseaux souterrains. Cette idée sera confirmée ultérieurement par l'étude des fractures. Sur le plateau de Sornin, la circulation des eaux dans sa presque totalité se fait en profondeur, guidée par les pendages, les fractures et les litages dans les trois dimensions de l'espace. Le plateau se termine brusquement au Nord-Est par les falaises surplombant la vallée de l'Isère. Cette falaise constituera la limite Nord de notre bassin (bassin du Furon).

2.3.2.2. L'anticlinal de la Forêt de Guiney. L'anticlinal de la forêt de Guiney, composé de calcaires sénoniens, constitue la limite occidentale de notre bassin. Il constitue le prolongement du plateau de Sornin vers le Sud.

L'axe de cet anticlinal correspond à la ligne de crête où les pendages sont opposés de part et d'autre. Cette ligne de crête correspond donc à la ligne de partage des eaux et par conséquent à la limite de notre bassin. La ligne Charand-Plénouze-La Sure constitue le prolongement Nord de cette ligne. La limite occidentale de notre bassin est donc déterminée.

2.3.2.3. Le synclinal d'Engins (ou de Lans). Le synclinal d'Engins (ou de Lans) est un des éléments structuraux essentiels qui constituent notre bassin. Il est orienté N-S et chevauché à l'Est par le pli couché du Moucherotte.

Le fond du synclinal, qui est tapissé de molasse miocène et de dépôts glaciaires, s'incline légèrement vers la cluse de l'Isère . La partie sud du synclinal forme une cuvette fermée remplie de molasse. Les deux bassins molassiques celui de Villard-de-lans et celui d'Autrans-Méaudre sont séparés par la voûte anticlinale de calcaires sénoniens du col de la Croix Perrin.

En aval de Lans, le Furon ne suit pas l'axe de ce synclinal, mais entaille son lit dans les calcaires durs du Sénonien de son flanc W. Le tracé du Furon n'entaille donc pas les couches molassiques tendres. Son tracé est ici " surimposé " ou " épigénique ". Le Furon atteint l'Urgonien entre les Jaux et Engins. Près de Sassenage, les lauzes affleurent sur la rive gauche du Furon, jusqu'au fond du talweg; ceci prouve que le Sénonien est profondément entaillé.

Ce synclinal est drainé par le Furon qui coule vers le Nord et par la Bourne qui coule vers le Sud puis vers l'Ouest après avoir reçu le ruisseau de Corrençon.

Le faible débit du Furon entre sa source et Lans ne correspond pas à la surface drainée; cela consolide l'idée d'une fuite vers la Bourne qui est très possible du fait d'écoulements soit à travers les assises sénoniennes du substratum à l'amont des Gorges de Jailleux , soit à travers les formations superficielles à l'aval de ces gorges. Dans la région, un exemple de tels transferts souterrains est fourni par les écoulements de la Vernaison vers la Bourne, mis en évidence par Bourgin et Pardé 1941, 1952)

Le manque d'expériences de traçage dans notre secteur ne nous permet pas de préciser le sens d'écoulement, ni de chiffrer les volumes échangés. La délimitation des bassins versants propres du Furon et de la Bourne dans ce secteur est donc très compliquée. Pour que cela ne soit pas un obstacle pour la progression de l'étude nous avons adopté les limites géographiques comme limites du bassin dans ce secteur. La surface ainsi définie n'est donc pas très précise mais correspond à la valeur la plus probable.

2.3.2.4. L'anticlinal de Sassenage. L'anticlinal de Sassenage forme la limite Nord-Est de notre bassin.

Il s'agit d'un pli déversé vers l'W, aspect caractéristique des plis des chaînes subalpines. Cet anticlinal dont le noyau est hauterivien est formé par une grande falaise urgonienne couronnée par les corniches du Sénonien. Il s'agit d 'un " pli faillé " résultant du cisaillement d'une structure plissée existant antérieurement au dépôt de la molasse miocène.

2.3.2.5. Plateau de Saint-Nizier. Le plateau de Saint-Nizier est formé par la grande voûte sénonienne de l'anticlinal de Sassenage. Au Sud de Saint-Nizier, une grande faille subverticale sépare deux unités tectoniques : le Moucherotte-Trois Pucelles et l'anticlinal de Sassenage-Plateau de Saint-Nizier. Le Miocène subsiste encore au sommet du plateau ; ses dépôts reposent en discordance sur le Sénonien. Ce plateau est caractérisé par une altitude médiocre et par des dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires qui masquent la structure de détail des calcaires à silex du Sénonien. Ces calcaires massifs sont affectés de fractures et de failles importantes qui ont contribué au développement des réseaux karstiques et par conséquent à la circulation souterraine dans ces calcaires qui est ici très développée, étant donné l'absence de circulations superficielles ainsi que de zones marécageuses où l'eau pourrait s'accumuler. La quantité d'eau qui échappe à l'évapotranspiration s'infiltre dans les formations quaternaires relativement perméables, pour rejoindre ensuite le karst dont les lauzes forment le mur imperméable.

Les expériences de traçages faites sur ce plateau n'ont pas donné des résultats positifs; cela ne nous a pas permis de préciser le sens d'écoulement et de vérifier les hypothèses de drainage de ce plateau (voir chapitre V).

Le drainage d'une grande partie de ce plateau par les cuves de Sassenage reste l'hypothèse la plus probable. La limite de ce plateau à l'W est déterminée par la topographie

2.3.2.6. Pli couché du Moucherotte. Au Sud de Saint-Nizier commence un autre ensemble tectonique allant du Moucherotte au Pic Saint-Michel et qui représente la structure tectonique la plus complexe de notre région. Il s'agit d'un vaste pli couché chevauchant vers l'ouest sur les molasses du Miocène de Lans.

La charnière du pli couché se remarque très bien au niveau des Trois Pucelles, par un pendage de l'Urgonien redressé à la verticale, ainsi qu'au col de l'Arc, extrémité Sud de la région étudiée. En cet endroit le pli couché est plus accentué et montre un flanc inverse très étiré. Au niveau du rocher du Pré du Four le pli couché se raccorde à l'autochtone car en cet endroit on observe un redoublement de la série crétacée (Urgonien-Barrémien-Hauterivien). La dalle urgonienne se suit très bien du Nord au Sud; elle est inclinée vers l'Ouest car elle appartient au flanc normal du pli couché. L'Urgonien ressort en relief constituant une barre rocheuse avec d'importantes falaises, formant la ligne de crête, que nous avons choisie comme limite orientale de notre bassin.

Plusieurs arguments prouvent qu'il s'agit bien d'une ligne de partage des eaux.

En effet à l'Est de la falaise, d'importants éboulis et glissements

de terrains, témoignent de circulations d'eaux vers la plaine de Claix. Tandis qu'à l'Ouest de la ligne de crête, le pendage de l'Urgonien doit favoriser un drainage des eaux vers notre bassin. Rappelons que le pendage constitue un des éléments essentiels dans l'étude des circulations dans les karst et ceci indépendamment de la topographie de surface. Le manque de traçages ne nous permet pas non plus de préciser le sens des écoulements souterrains dans ce massif urgonien où les réseaux souterrains sont très développés.

Le pendage de l'Urgonien varie du Nord au Sud; de la verticale, il passe à 20° vers l'Ouest au niveau du Pic Saint Michel. Dans le détail, l'inclinaison générale ouest de l'Urgonien est perturbée sur deux petits accidents formant circonflexe au niveau des bois des Ramées. Mais de toute façon, cette limite orientale semble être l'une des plus évidentes de notre bassin versant.

2.3.2.7. Résumé du style tectonique. En résumé le style du plissement est du type jurassien; anticlinaux et synclinaux orientés N 20 °E alternent d'une manière conforme, cependant le caractère déjectif des plis est souligné par la forme très étroite des anticlinaux déversés vers l'Ouest.

2.3.3 . LA FRACTURATION

2.3.3.1. Introduction. Les grandes structures que nous venons de décrire sont très complexes dans le détail, car elles s'accompagnent d'une fracturation et d'une fissuration particulièrement intenses, en partie liées au plissement mais surtout postérieures au plissement.

2.3.3.2. Les fractures anciennes. On note tout d'abord dans la région, la présence de failles orientées N20°E affectant les flancs des anticlinaux et des synclinaux. Par exemple la retombée Ouest de l'anticlinal de Sornin est faillée dans la région de Plénouze. Cette faille a certainement pris naissance sous des contraintes élevées alors que l'anticlinal était déjà ébauché et elle s'est développée tout au long du flanc Est du pli. Un autre exemple est le pli faille de Sassenage orienté N.E-S.O(résultant du cisaillement d'une structure plissée).

2.3.3.3. Les fractures récentes. L'essentiel des fractures actuellement visibles appartient à une phase de tectonique cassante qui fait suite à la phase du plissement majeur.

Ces fractures peuvent être regroupées en plusieurs faisceaux de direction. On observe des failles N-S abondantes dans la région et qui ont été décrites comme des failles d'effondrement dans le Vercors méridional. L'ensemble de ces failles est recoupé par des failles sénestres N 160° qui décalent les axes

des anticlinaux et des synclinaux . Ces failles correspondent d'une part à des rejeux d'accidents et d'autre part elles constituent avec les fractures N 20°E un réseau d'accidents conjugués (voir le diagramme d'orientation des fractures).

Pour l'étude détaillée de la fissuration nous nous basons sur l'étude phototectonique de C.Arnaud. Cela dans le but de préciser le rôle des diaclases et des fractures secondaires dans la détermination de la perméabilité de ces roches fissurées. Cette étude sera abordée dans le chapitre N°V.

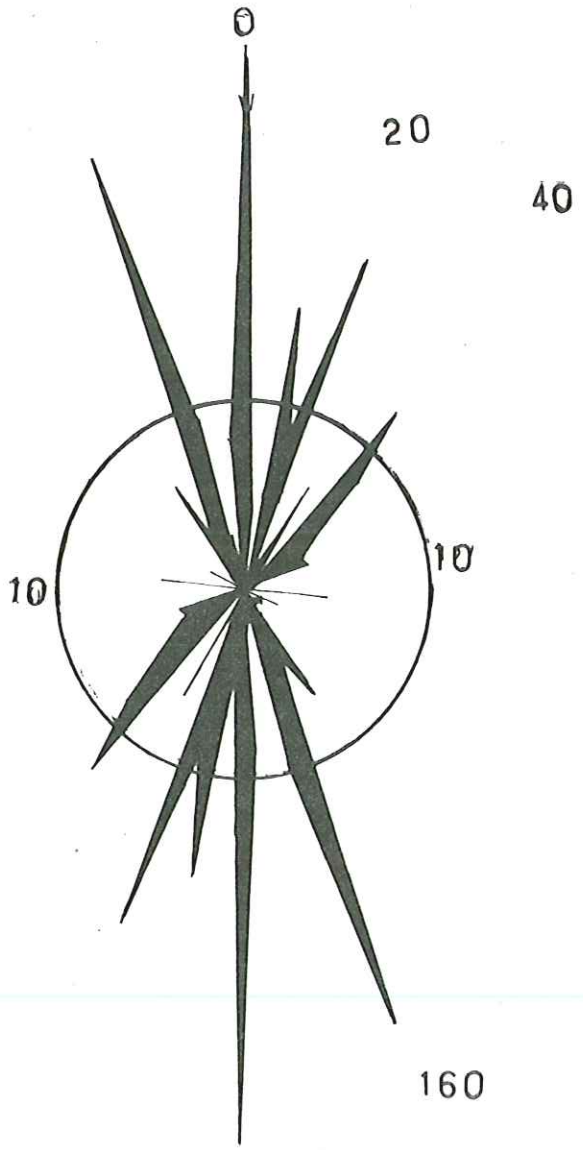


Fig. n° 2-2- Diagramme d'orientation des fractures,pourcentage en longueurs cumulées.

CHAPITRE III

CLIMATOLOGIE

3 - CLIMATOLOGIE

3.1. ETUDE DES PRÉCIPITATIONS

3.1.1. INTRODUCTION

La pluviométrie constitue un élément très important dans une étude hydrologique. Etant donné son importance, nous allons l'étudier en détail à l'échelle de l'année, du mois, du jour.

Notons d'abord que plusieurs facteurs conditionnent les mesures des précipitations, tels que le vent, le site, l'exposition de la station, la représentativité spatiale.

D'une façon générale, les stations pluviométriques sont implantées dans des endroits faciles d'accès, où l'observation et l'entretien sont assurés d'une façon régulière; ainsi dans les régions montagneuses les stations se trouvent dans les vallées et c'est le cas de nos stations d'études . Les données recueillies ignorent donc la part des précipitations propre aux montagnes.

On peut toutefois considérer que les mesures des précipitations sont acceptables avec une marge d'erreur de 10 %.

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.

Notre étude utilise les relevés pluviométriques de la Météorologie nationale.

Les stations de mesures des précipitations dans le Vercors sont les suivantes :

Stations	Altitudes
1) Montaud	800 m
2) Autrans	1050 m
3) Engins	838 m
4) Villard-de-Lans (Mairie).....	1050 m
5) Château-Bernard	800 m
6) Chatelus	310 m
7) Gresse-en-Vercors	1220 m

3.1.2. LES PRECIPITATIONS AUX STATIONS DE MESURES

Les stations les plus représentatives retenues et pour lesquelles on dispose d'une longue période de mesures sont les suivantes :

Stations	Altitudes
Engins	838 m
Autrans	1050 m
Villard-de-Lans	1050 m

Nous disposons pour ces trois stations des relevés pluviométriques pour la période 1920-1976 , notre étude s'appliquant surtout à la période 1969-1976.

On a eu recours à diverses méthodes statistiques pour caractériser chacune des trois stations , et déterminer les relations qui existent entre elles.

Les résultats obtenus sont figurés sur les tableaux suivants.

Le tableau n°3-1 représente les valeurs des précipitations aux trois stations pendant la période 1920-1976 pour les stations d'Engins et d'Autrans; et de 1920 à 1968 pour la station de Villard-de-Lans (Gendarmerie) complétée par la station de Villard-de-Lans Mairie 69-76.

Pour la station d'Autrans, les valeurs entre parenthèses ont été estimées à partir des valeurs observées aux stations d'Engins et Villard-de-Lans selon l'équation suivante :

$$Y = 217.61 + 0.5949 \quad X_{1\ (\text{Engins})} + 0.384 \quad X_{2\ (\text{Villard-de-Lans})}$$

Les résultats de la régression sont les suivants :

Y = B0 + B1X1 + B2X2

B(0) = 217.61

B(1) = 0.5949

B(2) = 0.384

TABLE DE REGRESSION

Source	Somme des carrés	Degrés de liberté	Moyenne
Régression	2196045.56	2	1098022.78
Résiduel	420961.91	35	12027.48
Total	2617007.47	37	

F = 91.29

Coefficient de détermination : 0.839

Coefficient de corrélation multiple : 0.916

Erreur standard de l'estimation : 109.67

ANNEES	ENGINS	AUTRANS	VILLARD-DE-LANS
1920	1044	1229	1009
1921	689	890	684
1922	1757	1999	1519
1923	1780	(1920)	1675
1924	1123	1288	1051
1925	1273	1500	1149
1926	1425	1659	1578
1927	1414	1677	1436
1928	1588	1902	1707
1929	931	1168	1089
1930	1597	2016	1585
1931	1449	1671	1416
1932	1074	1323	1083
1933	1248	1502	1283
1934	1216	1359	1220
1935	1739	1649	1555
1936	1199	1591	985
1937	1547	1627	1351
1938	937	1135	937
1939	1665	(1774)	1472
1940	1659	(1822)	1608
1941	1281	(1438)	1193
1942	1058	1102	861
1943	977	1186	1028
1944	1359	(1521)	1287
1945	976	(1205)	1059
1946	1255	(1466)	1306
1947	1074	(1296)	1144
1948	1235	(1456)	1310
1949	814	807	868
1950	1135	1404	1218
1951	1623	1706	1631
1952	1335	1593	1408
1953	753	1126	870
1954	1593	1582	1364
1955	1275	1370	1386
1956	1203	1456	1195
1957	1065	1187	1118
1958	1533	1700	1441
1959	1091	1365	1144
1960	1726	1796	1745
1961	1435	1387	1251
1962	1078	1208	1119
1963	1352	1569	1311
1964	1071	1230	1018
1965	1443	1707	1479
1966	1578	1669	1442
1967	1159	1328	1100
1968	1604	1734	1471
1969	1367	1397	1335
1970	1584	1714	1421
1971	1161	1237	1157
1972	1104	1312	1140
1973	1115	1442	1194
1974	1433	1543	1389
1975	1399	1558	1299
1976	1162	1156	1169

Tableau n° 3-1 Précipitations annuelles à Engins, Autrans, Villard-de-Lans 1920-1976

3.1.3. ANALYSE STATISTIQUE DES SERIES DE DONNEES

3.1.3.1. Valeurs caractéristiques aux trois stations

Le tableau suivant regroupe quelques caractéristiques des précipitations.

Stations	Médiane	Moyenne	Ecart-type	Coefficient de Variation	Estimation de la moyenne (IC-95%)	Estimation sur l'écart-type (IC-95%)
Engins	1273 mm	1294 mm	266	0.21	1294 ∓ 69	266 ∓ 49
Autrans	1461 mm	1468 mm	262	0.18	1468 ∓ 35	262 ∓ 25
Villard-de-Lans	1283 mm	1269 mm	248	0.20	1269 ∓ 70	248 ∓ 49

Tableau n° 3-2 - Quelques valeurs caractéristiques des précipitations

3.1.3.2. Ajustement des précipitations annuelles aux trois stations

Les valeurs des précipitations ont été ajustées à la loi de Gauss. La figure n° 3-1 représente sur papier gausso-arithmétique à une échelle des ordonnées gaussienne la fréquence expérimentale

$$f = \frac{n - 1/2}{N} \quad \text{où} \quad n = \text{le rang} \qquad N = \text{nombre des valeurs}$$

et à une échelle arithmétique les valeurs des précipitations annuelles.

On remarque que l'alignement des points est satisfaisant et permet un bon ajustement à une loi normale de ces valeurs.

De même on remarque que la droite de Henry d'ajustement se place bien au milieu des points, preuve d'un calcul exact des caractéristiques empiriques.

On a procédé ensuite au test d'adéquation de X^2.

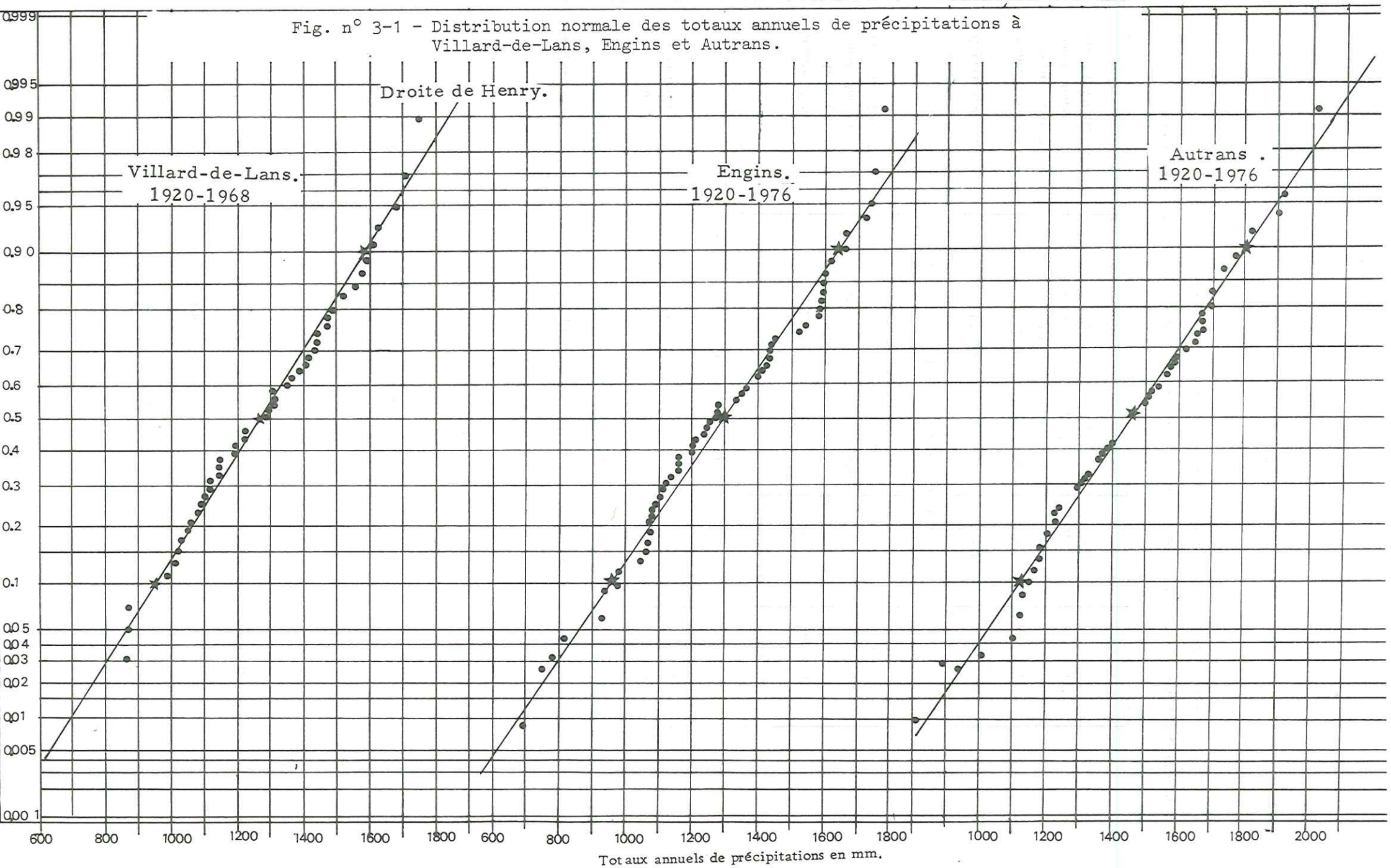
On remarque que l'adéquation est très satisfaisante.

La loi normale peut donc être adoptée sans réserves.

3.1.3.3. Récurrence théorique des valeurs extrêmes des précipitations

Le tableau n°3-3 montre la probabilité d'apparition et la période de retour des valeurs extrêmes (les plus faibles et les plus fortes) des précipitations observées dans les trois stations durant la période (1920-1976).

Fig. n° 3-1 - Distribution normale des totaux annuels de précipitations à Villard-de-Lans, Engins et Autrans.



Stations	Valeurs extrêmes	Probabilité d' d'apparition (P)	Période de retour T = 1/P
Engins	689 mm (1921)	0.0116	86 ans
	1780 mm (1923)	0.034	29 ans
Autrans	807 mm (1949)	0.0059	169 ans
	2016 mm (1930)	0.018	55 ans
Villard-de-Lans	684 mm (1921)	0.0094	106 ans
	1745 mm (1960)	0.0274	36 ans

Tableau n°3-3 - Récurrence théorique des valeurs extrêmes des précitations à Engins, Autrans et Villard-de-Lans.

3.1.3.4. Quantiles caractéristiques

De même nous avons étudié les quantiles caractéristiques des précipitations annuelles extrêmes à chacune des stations pour la période (1920-1976).

Quantiles caractéristiques à Engins

Recurrence	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Année sèche	953 ± 93	856 ± 106	745 ± 122	676 ± 133
Précision (IC 95 %)	9.77 %	12.3 %	16.2 %	19.6 %
Année humide	1635 ± 93	1732 ± 106	1840 ± 122	1912 ± 133
Précision (IC 95 %)	5.7 %	6.1 %	6.6 %	6.9 %

Quantiles caractéristiques à Autrans

Recurrence	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Année sèche	1133 ± 92	1037 ± 104	931 ± 120	860 ± 131
Précision (IC 95 %)	8.1 %	10 %	12.9 %	15.2 %
Année humide	1803 ± 92	1899 ± 104	2005 ± 120	2076 ± 131
Précision (IC 95 %)	5.1 %	5.5 %	6 %	6.3 %

Quantiles caractéristiques à Villard-de-Lans

Recurrence	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Année sèche	954 ± 94	860 ± 107	759 ± 122	692 ± 134
Précision (IC 95 %)	9.9 %	12.4 %	16.1 %	19.3 %
Année humide	1586 ± 94	1677 ± 107	1778 ± 122	1845 ± 134
Précision (IC 95 %)	5.9 %	6.4 %	6.9 %	7.2 %

Tableau n°3-4 - Les précipitations annuelles extrêmes à Engins, Autrans, Villard-de-Lans - Quantiles caractéristiques.

3.1.3.5. Régression linéaire

Cette méthode a été appliquée pour les trois stations considérées comme les plus représentatives (Engins, Autrans, Villard-de-Lans) et pour les précipitations annuelles de 1920-1976.

Sur les figures n° 3-2 3-3 sont représentées les équations des droites d'estimations de Y en fonction de X et de X en fonction de Y.

Les droites enserrant l'intervalle de confiance et comprenant 90 % des valeurs, on constate donc une dépendance statistique forte entre ces trois stations et l'on peut estimer les valeurs d'une station à partir des valeurs d'une autre station. L'erreur sur cette estimation est faible.

3.1.4. LES PRECIPITATIONS ANNUELLES

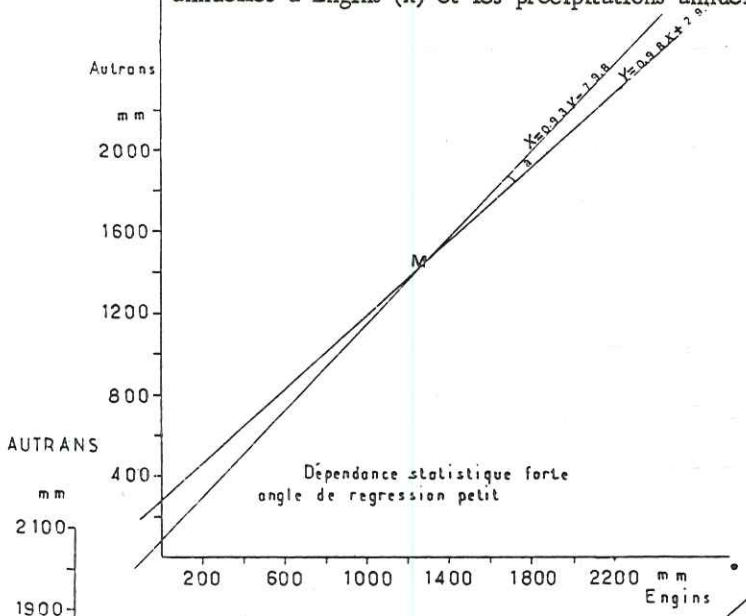
Nous représentons dans le tableau suivant les précipitations annuelles aux trois stations, avec leurs moyennes trentenaires(1936-1965) et l'écart par rapport à la moyenne.

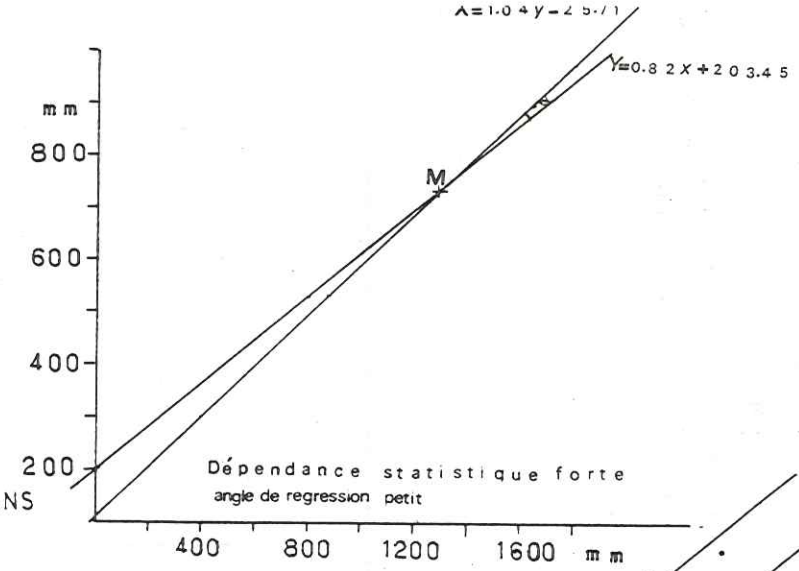
Stations	Moyenne trentenaire (36-65)	Précipitation annuelle en mm	Différence	en %	Année
Engins	1227	1367	140	+ 11	
Autrans	1427	1397	-30	- 2	1969
Villard-de-Lans	1181	1335	154	+ 13	
Engins	1227	1584	357	+ 29	
Autrans	1427	1714	287	+ 20	1970
Villard-de-Lans	1181	1421	240	+ 20	
Engins	1227	1161	- 66	- 5	
Autrans	1427	1237	-190	- 13	1971
Villard-de-Lans	1181	1157	-24	- 2	
Engins	1227	1104	-123	- 10	
Autrans	1427	1312	-115	- 8	1972
Villard-de-Lans	1181	1140	- 41	- 3	
Engins	1227	1115	-112	- 9	
Autrans	1427	1442	+ 15	+ 1	1973
Villard-de-Lans	1181	1194	+ 13	+ 1	
Engins	1227	1433	+206	+ 17	
Autrans	1427	1543	+116	+ 8	1974
Villard-de-Lans	1181	1389	+208	+ 18	
Engins	1227	1399	+172	+ 14	
Autrans	1427	1558	+131	+ 9	1975
Villard-de-Lans	1181	1299	+118	+ 10	
Engins	1227	1161	- 65	- 5	
Autrans	1427	1156	-271	- 19	1976
Villard-de-Lans	1181	1169	- 12	- 1	

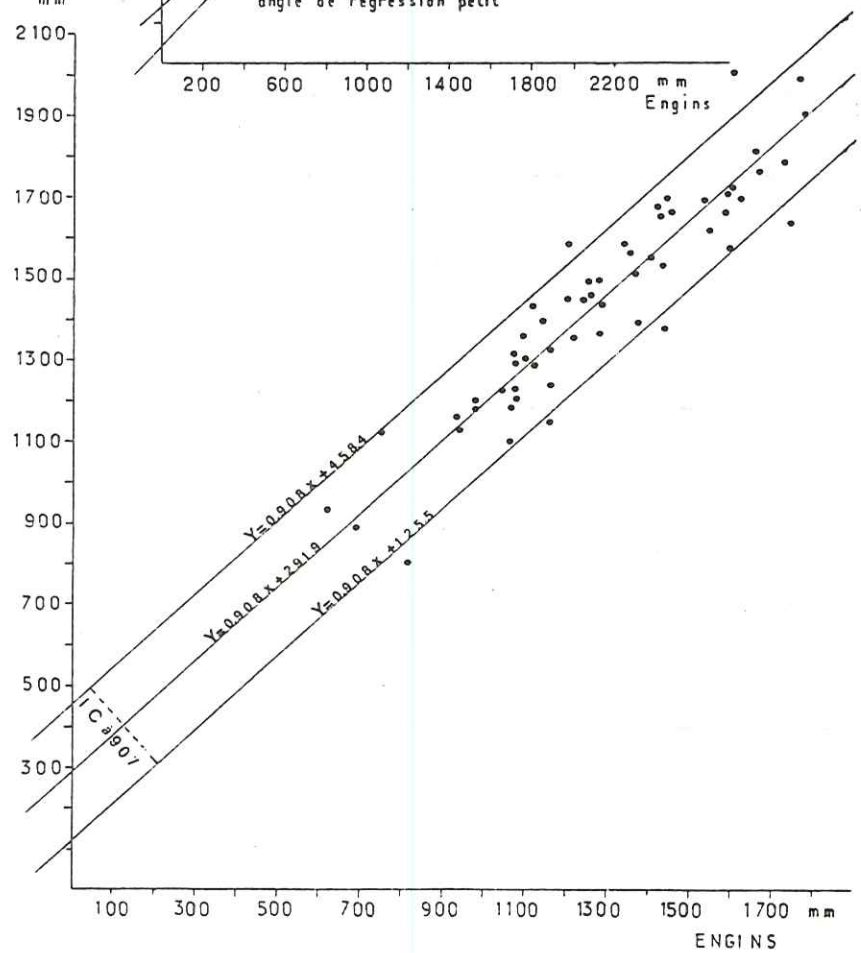
Tableau n°3-5 - Totaux annuels et moyenne trentenaire aux trois stations

La comparaison entre la moyenne trentenaire et les totaux annuels nous permet de dire que les années 1970, 1974, 1975 sont excédentaires dans les trois stations avec des pourcentages extrêmes variant de 8 à 29 %, et que les années 71,72,76

Fig. n° 3-3- Résultats de la régression linéaire entre les précipitations annuelles à Engins (x) et les précipitations annuelles à Autrans (y)







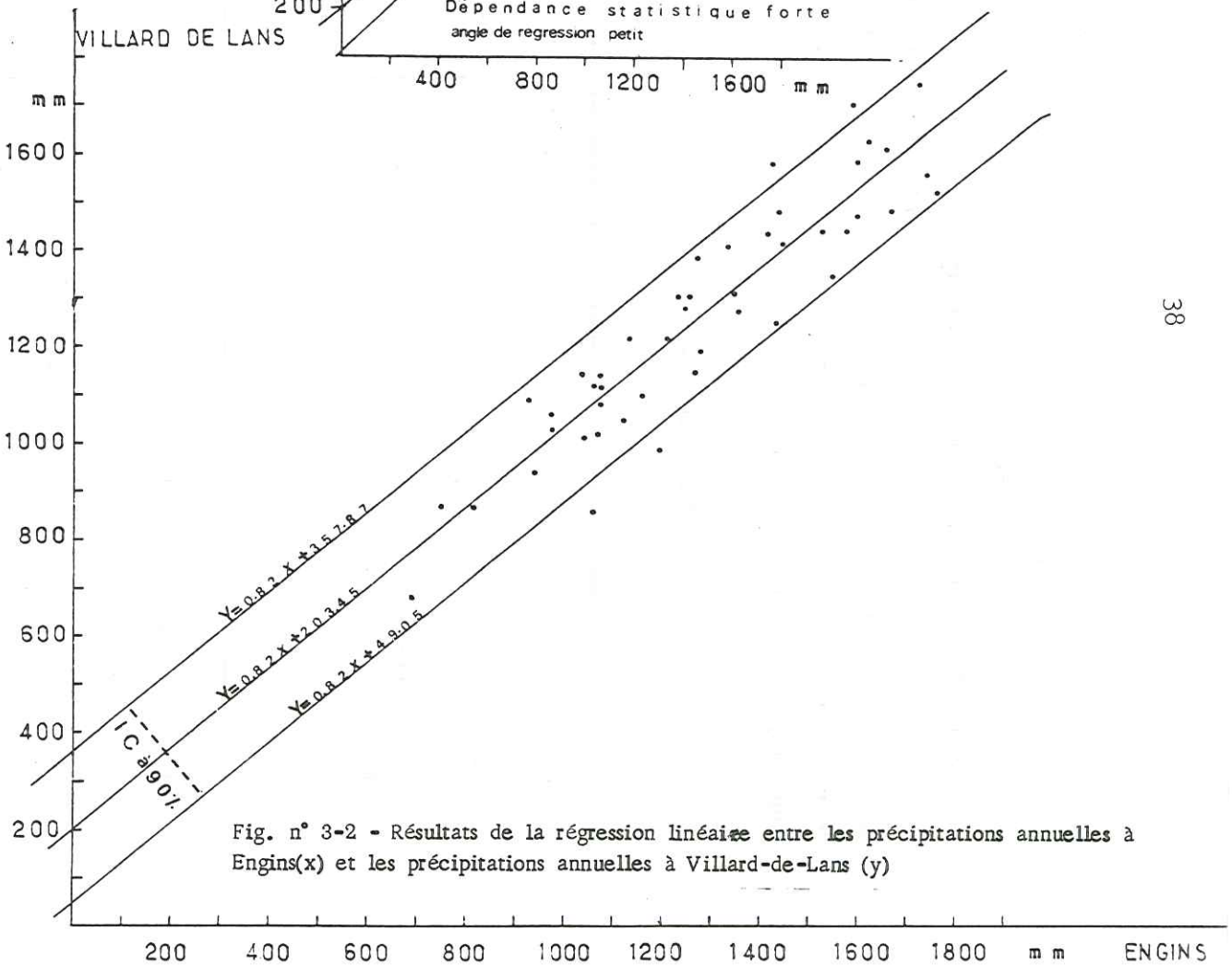
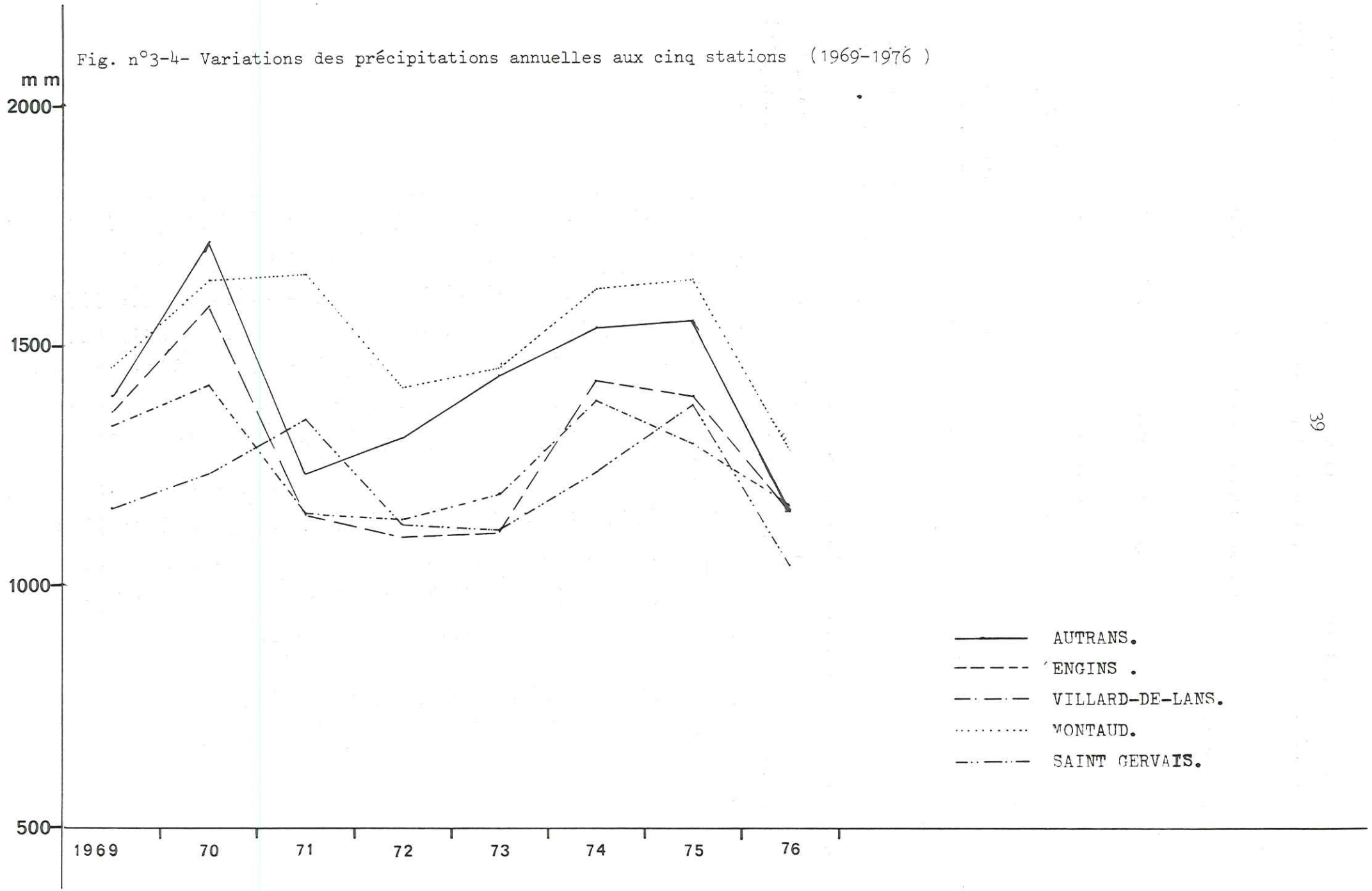


Fig. n° 3-2 - Résultats de la régression linéaire entre les précipitations annuelles à Engins(x) et les précipitations annuelles à Villard-de-Lans (y)

Fig. n°3-4- Variations des précipitations annuelles aux cinq stations (1969-1976)



sont déficitaires dans les trois stations avec des pourcentages extrêmes variant de 1% à 19%. Notons aussi que les totaux de 1970 dépassent largement la moyenne trentenaire.

De même l'année 1976 est bien marquée à la station d'Autrans avec un déficit de 271 mm soit 19 %.

3.1.5. REPARTITIONS SAISONNIERES DES PRECIPITATIONS

L'année astronomique débute au premier janvier et se termine au 31 décembre mais l'année météorologique débute au premier décembre et se termine au 31 novembre.

Le tableau n° 3-6 représente les répartitions saisonnières des précipitations aux trois stations pour la période 1969-1976 et leur pourcentage correspondant.

La figure n° 3-5 visualise le tableau précédent: le régime saisonnier n'est pas bien marqué; il est donc difficile de définir une saison sèche et une saison humide durant cette période.

L'automne 1974 se présente comme la saison astronomique la plus arrosée observée à Autrans et Engins avec 591 mm et 526 mm, alors que l'été 1971 est la saison astronomique la plus sèche observée à Engins avec 144 mm.

		AUTRANS				ENGINS				VILLARD-DE-LANS			
		Astr.	%	Météo	%	Astr.	%	Météo	%	Astr.	%	Météo	%
1969	Hiver	278	19.90	454	29.48	278	20.34	446	30.07	219	16.40	335	24.17
	Printemps	475	34.00	325	21.10	429	31.38	290	19.55	496	37.15	279	20.13
	Eté	348	24.91	493	32.01	339	24.80	455	30.68	333	24.94	518	37.37
	Automne	296	21.19	268	17.40	321	23.48	292	19.69	287	21.50	254	18.33
	ANNEE	1397	100	1540	99.99	1367	100	1483	99.99	1335	99.99	1386	100
1970	Hiver	575	33.55	493	28.11	570	35.98	517	32.03	529	37.23	465	32.43
	Printemps	539	31.45	573	32.67	477	30.11	529	32.78	401	28.22	451	31.45
	Eté	269	15.69	344	19.61	191	12.06	244	15.12	189	13.30	247	17.22
	Automne	331	19.31	344	19.61	346	21.84	324	20.07	302	21.25	271	18.90
	ANNEE	1714	100	1754	100	1584	99.99	1614	100	1421	100	1434	100
1971	Hiver	316	25.54	223	17.08	307	26.44	230	18.47	254	21.95	203	16.38
	Printemps	461	37.27	457	34.99	488	42.03	486	39.04	497	42.96	451	36.40
	Eté	226	18.27	342	26.19	144	12.40	273	21.93	209	18.06	365	29.46
	Automne	234	18.92	284	21.74	222	19.12	256	20.56	197	17.03	220	17.76
	ANNEE	1237	100	1306	100	1161	99.99	1245	100	1157	100	1239	100
1972	Hiver	304	23.17	255	20.14	351	31.79	287	27.18	327	28.68	284	25.72
	Printemps	403	30.72	304	24.01	306	27.72	245	23.20	303	26.58	249	22.55
	Eté	327	24.92	409	32.31	178	16.12	255	24.15	230	20.18	279	25.27
	Automne	278	21.19	298	23.54	269	24.37	269	25.47	280	24.56	292	26.45
	ANNEE	1312	100	1266	100	1104	100	1056	100	1140	100	1104	99.99
1973	Hiver	270	18.72	285	20.07	211	18.92	233	21.20	234	19.60	239	20.38
	Printemps	400	27.74	267	18.80	282	25.29	200	18.20	332	27.81	239	20.38
	Eté	519	35.99	562	39.58	404	36.23	440	40.04	366	30.65	394	33.59
	Automne	253	17.55	306	21.55	218	19.55	226	20.56	262	21.94	301	25.66
	ANNEE	1442	100	1420	100	1115	99.99	1099	100	1194	100	1173	100
1974	Hiver	265	17.17	278	18.31	287	20.03	276	19.57	305	21.96	277	20.15
	Printemps	275	17.82	236	15.55	235	16.40	207	14.68	230	16.56	204	14.84
	Eté	412	26.70	325	21.41	385	26.87	303	21.49	396	28.51	340	24.73
	Automne	591	38.30	679	44.73	526	36.71	624	44.26	458	32.97	554	40.29
	ANNEE	1543	99.99	1518	100	1433	100	1410	100	1389	100	1375	100
1975	Hiver	313	20.09	289	18.11	286	20.44	253	18.07	271	20.86	228	17.38
	Printemps	378	24.26	376	23.56	358	25.59	405	28.93	347	26.71	370	28.20
	Eté	470	30.17	376	23.56	411	29.38	275	19.64	397	30.56	293	22.33
	Automne	397	25.48	555	34.77	344	24.59	467	33.36	284	21.86	421	32.09
	ANNEE	1558	100	1596	100	1399	100	1400	100	1299	99.99	1312	100
1976	Hiver	221	19.12	211	18.67	198	17.04	212	18.32	185	15.83	183	16.00
	Printemps	180	15.57	218	19.29	178	15.32	174	15.04	157	13.43	179	15.65
	Eté	329	28.46	235	20.80	407	35.03	326	28.18	414	35.41	285	24.91
	Automne	426	36.85	466	41.24	379	32.62	445	38.46	413	35.33	497	43.44
	ANNEE	1156	100	1130	100	1162	100	1157	100	1169	100	1144	100

Tableau n° 3-6 - Répartitions saisonnières des précipitations (saisons astronomiques et météoriques) aux trois stations Autrans, Engins, Villard-de-Lans (Mairie)1969-1976 et pourcentages

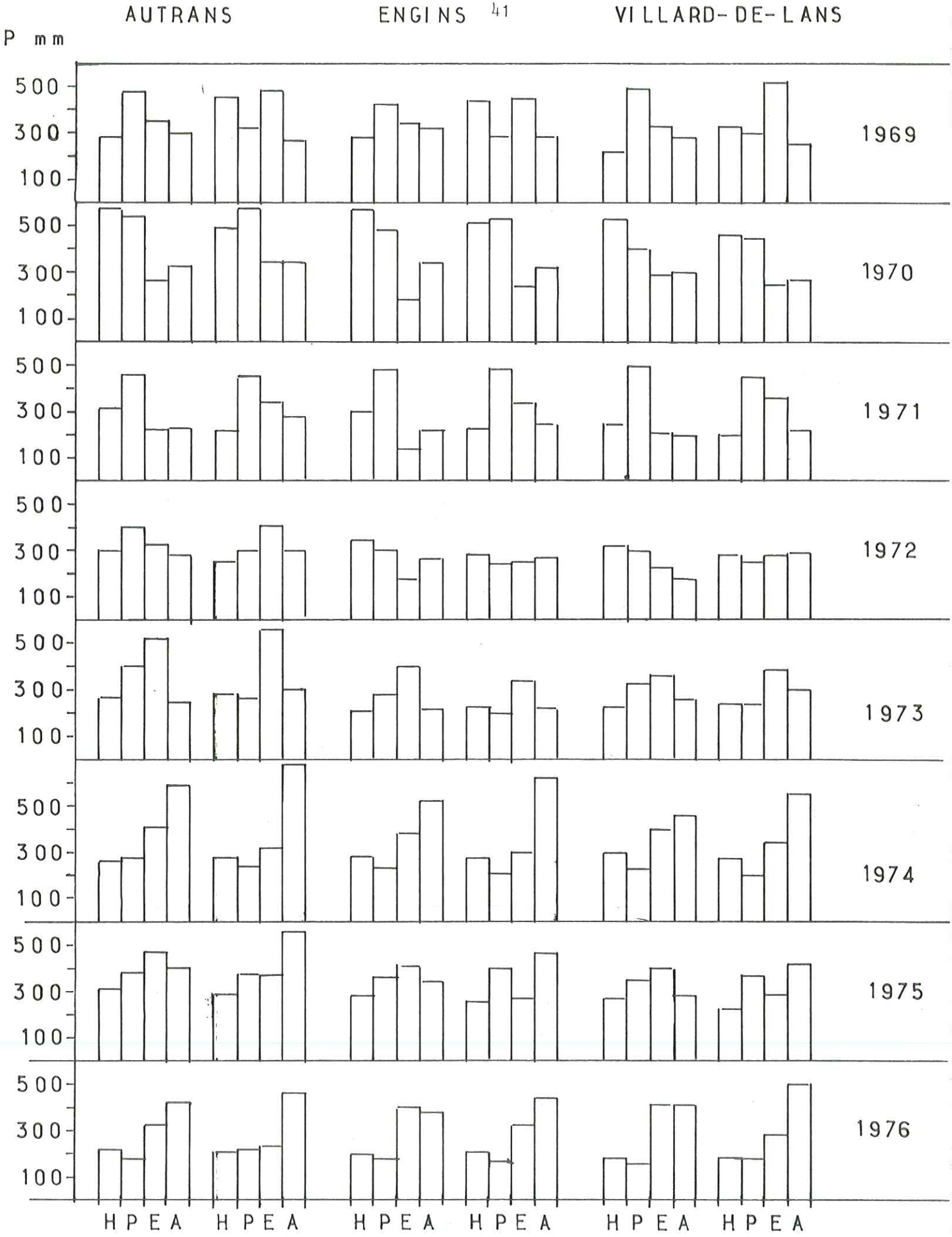


Fig. N° 3-5 Repartitions saisonnières des précipitations
Saisons astronomiques et météorologiques

3.1.6. LES PRECIPITATIONS MENSUELLES

A présent, nous présentons le régime mensuel des précipitations observées aux trois stations et le pourcentage équivalent.

		Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1969	AUTRANS	75	110	93	113	119	243	133	117	98	2	168	126	1397
	%	5.37	7.87	6.66	8.09	8.52	17.39	9.52	8.58	7.02	0.14	12.03	9.02	
	ENGINS	99	109	70	112	108	209	152	94	93	3	196	122	1367
	%	7.24	7.97	5.12	8.19	7.9	15.29	11.12	6.88	6.8	0.22	14.34	8.92	
	V. DE-LANS (Mairie)	87	90	42	128	109	259	139	120	74	2	178	107	1335
	%	6.52	6.74	3.15	9.59	8.16	19.40	10.41	8.99	5.54	0.15	13.33	8.01	
1970	AUTRANS	107	260	208	264	101	174	75	95	99	118	127	86	1714
	%	6.24	15.17	12.14	15.4	5.89	10.15	4.38	5.54	5.78	6.86	7.41	5.02	
	ENGINS	111	284	175	243	111	123	44	77	70	125	129	92	1584
	%	7.01	17.93	11.05	15.34	7.01	7.77	2.78	4.86	4.42	7.89	8.14	5.81	
	V-DE-LANS (Mairie)	108	250	171	192	88	121	61	65	63	98	110	94	1421
	%	7.60	17.59	12.03	13.51	6.19	8.52	4.29	4.57	4.43	6.9	7.74	6.62	
1971	AUTRANS	79	58	179	170	108	183	56	103	67	45	172	17	1237
	%	6.39	4.69	14.47	13.74	8.73	14.79	4.53	8.33	5.42	3.64	13.90	1.37	
	ENGINS	90	48	169	160	157	171	34	68	42	32	182	8	1161
	%	7.75	4.13	14.56	13.78	13.52	14.73	2.93	5.86	3.62	2.76	15.68	0.69	
	V-DE-LANS	69	40	145	161	145	191	108	66	35	34	151	12	1157
	%	5.96	3.46	12.53	13.92	12.53	16.51	9.33	5.70	3.03	2.94	13.05	1.04	
1972	AUTRANS	80	158	66	139	99	165	110	134	83	73	142	63	1312
	%	6.10	12.04	5.03	10.59	7.55	12.58	8.38	10.21	6.33	5.56	10.82	4.80	
	ENGINS	83	196	72	111	62	133	39	83	56	86	127	56	1104
	%	7.52	17.75	6.52	10.05	5.62	12.05	3.53	7.52	5.07	7.79	11.50	5.07	
	V-DE-LANS	82	190	55	98	96	109	68	102	60	120	112	48	1140
	%	7.19	16.67	4.82	8.60	8.42	9.56	5.96	8.95	5.26	10.53	9.82	4.21	
1973	AUTRANS	101	121	48	130	89	181	283	98	138	70	98	85	1442
	%	7.00	8.39	3.33	9.02	6.17	12.55	19.63	6.80	9.57	4.85	6.80	5.89	
	ENGINS	82	95	34	92	74	116	278	46	80	58	88	72	1115
	%	7.35	8.52	3.05	8.25	6.64	10.40	24.93	4.13	7.17	5.20	7.89	6.46	
	V-DE-LANS	81	110	43	127	69	136	220	38	108	102	91	69	1194
	%	6.78	9.21	3.60	10.64	5.78	11.39	18.43	3.18	9.05	8.54	7.62	5.78	
1974	AUTRANS	77	116	72	46	118	111	71	143	198	202	279	110	1543
	%	4.99	7.52	4.67	2.98	7.65	7.19	4.60	9.27	12.83	13.09	18.08	7.13	
	ENGINS	(75)	129	83	40	84	111	63	129	193	184	247	95	1433
	%	5.23	9.00	5.79	2.79	5.86	7.75	4.40	9.00	13.47	12.84	17.24	6.63	
	V-DE-LANS	73	135	97	43	64	123	54	163	179	170	205	83	1389
	%	5.26	9.72	6.98	3.10	4.61	8.86	3.89	11.74	12.89	12.24	14.76	5.98	
1975	AUTRANS	152	27	134	96	146	136	78	162	230	145	180	72	1558
	%	9.76	1.73	8.60	6.16	9.37	8.73	5.01	10.40	14.76	9.31	11.55	4.62	
	ENGINS	142	16	128	91	186	81	65	129	217	73	177	94	1399
	%	10.15	1.14	9.15	6.50	13.30	5.79	4.65	9.22	15.51	5.22	12.65	6.72	
	V-DE-LANS	126	19	126	94	150	103	70	120	207	68	146	70	1299
	%	9.70	1.46	9.70	7.24	11.55	7.93	5.39	9.24	15.94	5.23	11.24	5.39	
1976	AUTRANS	28	111	82	108	28	44	80	111	138	136	192	98	1156
	%	2.42	9.60	7.09	9.34	2.42	3.81	6.92	9.60	11.94	11.76	16.61	8.48	
	ENGINS	24	94	80	70	24	84	108	134	165	127	153	99	1162
	%	2.07	8.09	6.88	6.02	2.07	7.23	9.29	11.53	14.2	10.93	13.17	8.52	
	V-DE-LANS	31	82	72	71	36	50	118	117	179	163	155	95	1169
	%	2.65	7.01	6.16	6.07	3.08	4.28	10.09	10.01	15.31	13.94	13.26	8.13	

Tableau n° 3-7 - Totaux mensuels des précipitations aux trois stations et pourcentage correspondant

3.1.6.1. Le coefficient pluviométrique mensuel relatif

Il est égal au rapport de la hauteur des précipitations mensuelles mesurées (P) sur la hauteur des précipitations mensuelles fictives P/ 365.n ; P = Précipitations annuelles ; n = nombre de jours dans le mois.

Le calcul du coefficient a été fait pour la période 1969-1976 et pour les trois stations.

Les résultats obtenus figurent dans le tableau n° 3-8 .

On remarque que le plus faible coefficient revient au mois d'octobre 1969 tandis que le plus fort coefficient revient au moins de Juillet 1973 à la station d'Engins.

		Jan.	Fév.	Mar.	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1969	AUTRANS	0.63	1.03	0.78	0.98	1.00	2.11	1.12	0.99	0.85	0.02	1.46	1.06	
	ENGINS	0.85	1.04	0.60	1.00	0.93	1.86	1.31	0.81	0.83	0.03	1.74	1.05	
	V-DE-LANS	0.77	0.88	0.37	1.17	0.96	2.36	1.23	1.06	0.67	0.02	1.62	0.94	
1970	AUTRANS	0.73	1.98	1.43	1.87	0.69	1.23	0.51	0.65	0.70	0.81	0.90	0.59	
	ENGINS	0.83	2.34	1.30	1.87	.83	0.94	0.33	0.57	0.5	0.93	0.99	0.68	
	V-DE-LANS	0.90	2.30	1.42	1.65	0.73	1.04	0.51	0.54	0.54	0.81	0.94	0.78	
1971	AUTRANS	0.75	0.61	1.70	1.67	1.03	1.80	0.53	0.98	0.66	0.43	1.69	0.16	
	ENGINS	0.91	0.54	1.71	1.68	1.59	1.79	0.34	0.69	0.44	0.32	1.91	0.08	
	V-DE-LANS	0.70	0.45	1.48	1.69	1.48	2.01	1.10	0.67	0.37	0.35	1.59	0.12	
1972	AUTRANS	0.72	1.52	0.59	1.29	0.89	1.54	0.99	1.21	0.77	0.66	1.32	0.57	
	ENGINS	0.89	2.24	0.77	1.23	0.66	1.47	0.42	0.89	0.62	0.92	1.40	0.60	
	V-DE-LANS	0.85	2.11	0.57	1.05	1.00	1.17	0.71	1.06	0.64	1.24	1.20	0.50	
1973	AUTRANS	0.82	1.09	0.39	1.10	0.73	1.53	2.31	0.80	1.16	0.57	0.83	0.69	
	ENGINS	0.87	1.11	0.36	1.01	0.78	1.27	2.94	0.49	0.87	0.61	0.96	0.76	
	V-DE-LANS	0.80	1.20	0.42	1.29	0.68	1.39	2.17	0.37	1.10	1.01	0.93	0.68	
1974	AUTRANS	0.59	0.98	0.55	0.36	0.90	0.87	0.54	1.09	1.56	1.54	2.20	0.84	
	ENGINS	0.62	1.17	0.68	0.34	0.69	0.94	0.52	1.06	1.64	1.51	2.09	0.78	
	V-DE-LANS	0.62	1.27	0.82	0.38	0.54	1.08	0.46	1.38	1.57	1.44	1.79	0.70	
1975	AUTRANS	1.15	0.23	1.01	0.75	1.10	1.06	0.59	1.22	1.80	1.10	1.41	0.54	
	ENGINS	1.20	0.15	1.08	0.79	1.57	0.70	0.55	1.09	1.89	0.61	1.54	0.79	
	V-DE-LANS	1.14	0.19	1.14	0.88	1.36	0.96	0.63	1.09	1.94	0.62	1.37	0.63	
1976	AUTRANS	0.29	1.21	0.84	1.14	0.29	0.46	0.82	1.13	1.46	1.39	2.03	1.00	
	ENGINS	0.24	1.02	0.81	0.74	0.24	0.88	1.10	1.36	1.74	1.29	1.61	1.01	
	V-DE-LANS	0.31	0.89	0.73	0.74	0.36	0.52	1.19	1.18	1.87	1.65	1.62	0.96	

Tableau n° 3-8 - Les coefficients pluviométriques mensuels relatifs à Autrans, Engins, Villard-de-Lans (Mairie) 1969-1976.

3.1.6.2. Régression linéaire

Cette méthode appliquée aux valeurs des précipitations mensuelles des trois stations met en évidence une bonne corrélation entre les valeurs mesurées aux trois stations.

Ces constatations sont claires sur la figure n° 3-6 qui résume les résultats de l'étude statistique.

3.1.7. LES PRECIPITATIONS A LA STATION D'ENGINS

3.1.7.1. Les précipitations mensuelles

Etant donné que la station d'Engins est la seule qui se trouve dans le bassin, elle doit être considérée comme la plus représentative, et les études détaillées seront consacrées à cette station.

ENGINS (1920-1976)	Jan.	Fev.	Mars	Avril.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyenne	104	105.4	97.7	105.1	109	106.4	89.4	106.2	116.2	112.1	127.7	114.4
Ecart-type	5 .69	74.80	66.29	55.47	47.11	51.11	55.93	59.36	61.97	71.03	75.09	76.14

Distribution des totaux mensuels de précipitations de 1920 à 1976 - Tableau n° 3-9.

Sur la figure n° 3-7 , on constate de 1920 à 1976 que le mois le plus sec a une valeur de 1 mm et se rapporte au mois de février et à l'année 1959.

Le mois le plus humide durant cette période a une valeur de 342 mm et se rapporte au mois de décembre et à l'année 1955.

Les totaux mensuels des précipitations à la station d'Engins sont représentés dans le tableau n°3-10 et sur la figure n° 3-8 les minimums - les maximums et la moyenne pour la période 1969-1976.

On remarque alors que le mois le plus sec observé est le mois d'octobre 1969 avec seulement 3 mm de précipitation.

Le mois le plus humide observé est le mois de février 1970 avec 284 mm.

On remarque que la valeur relevée au mois de mai 1976 (24mm) est la plus faible valeur observée pour ce mois durant la période 1920-1976.

Fig. n° 3-6 - Résultats de la régression linéaire appliquée aux précipitations mensuelles des trois stations Engins, Autrans et Villard-de-Lans.

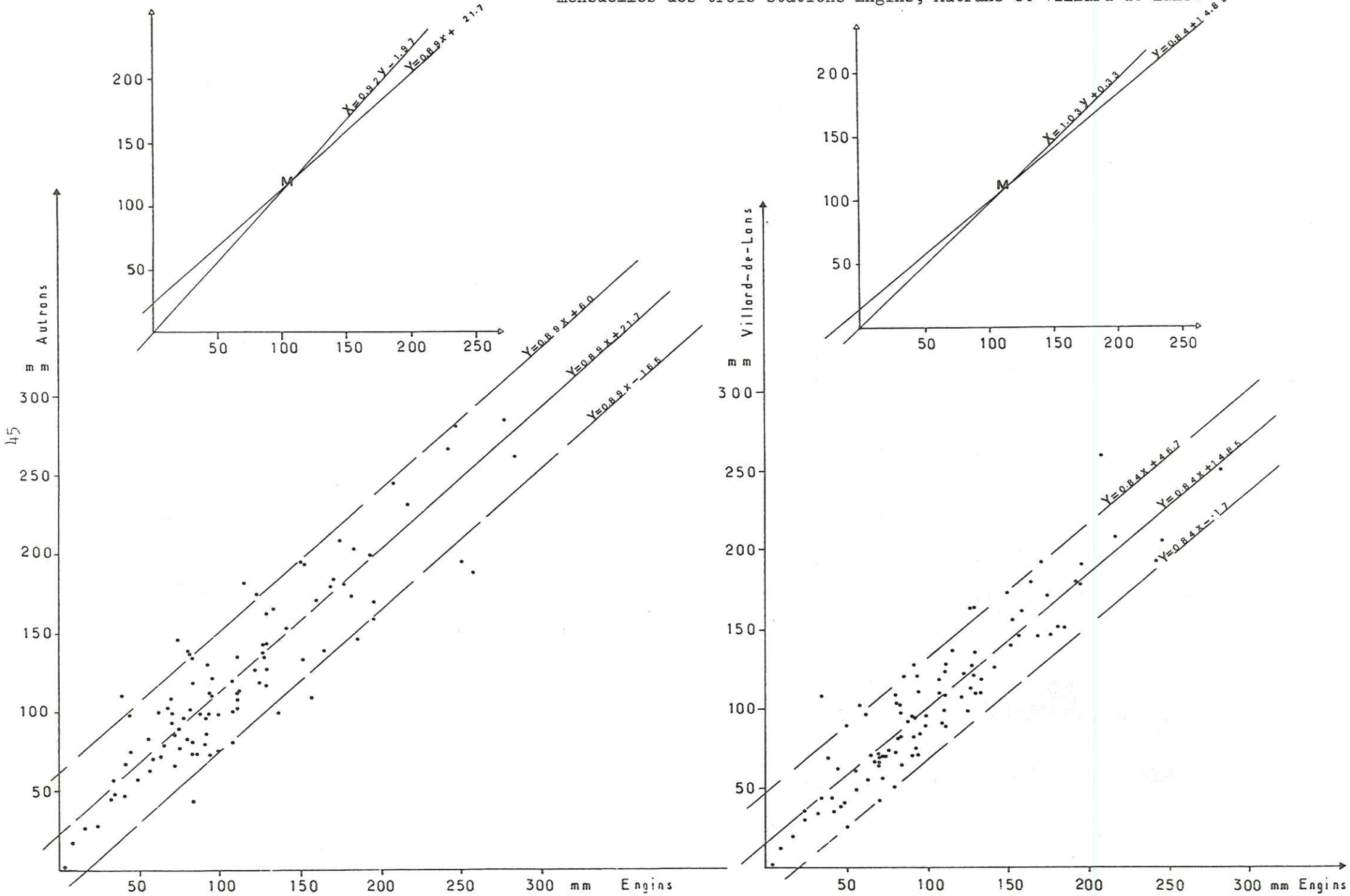


Fig. n° 3-7 - Répartition des totaux mensuels de précipitations à Engins ((1920-1976)

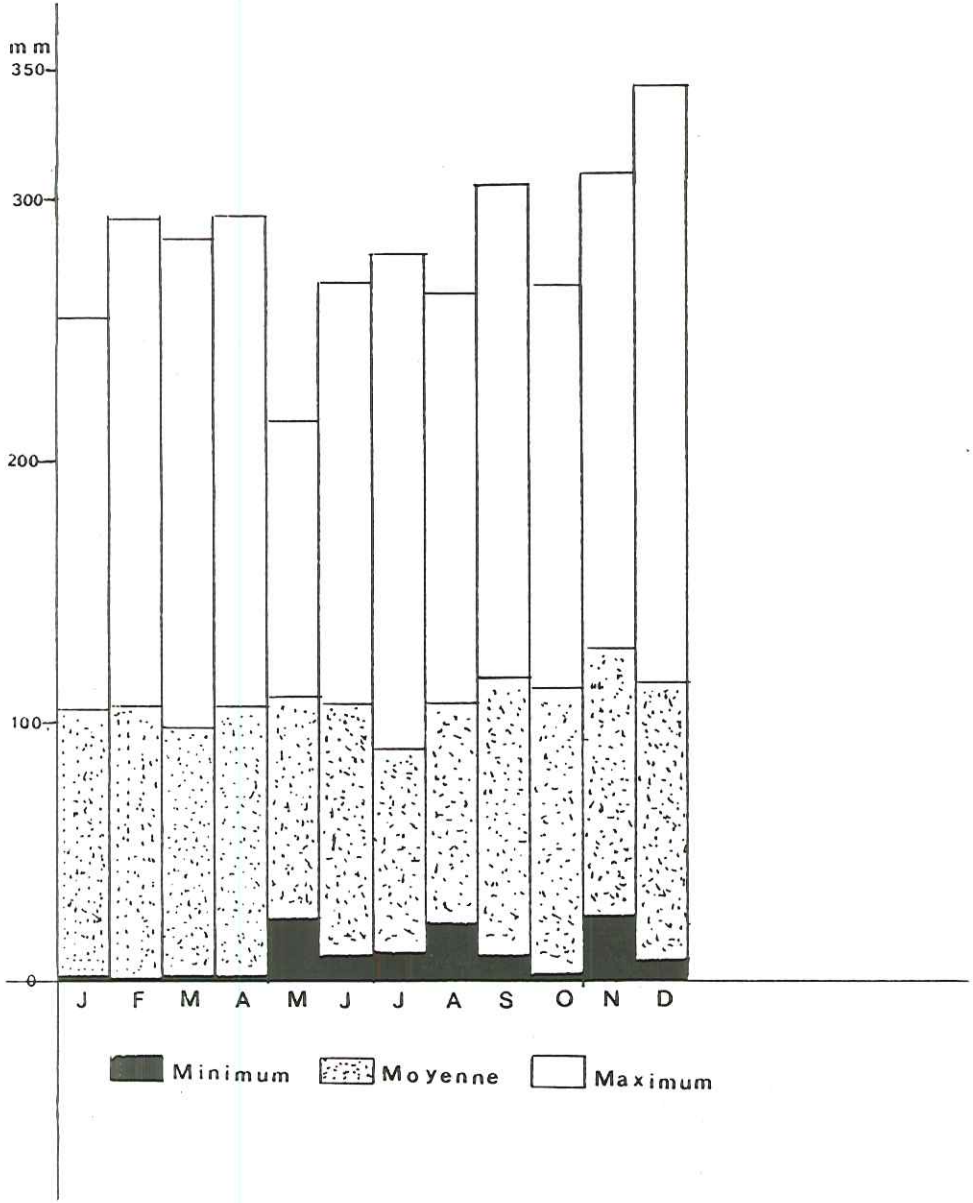


Fig. n° 3-8 - Evolution des précipitations mensuelles à la station d'Engins (1969-1976)

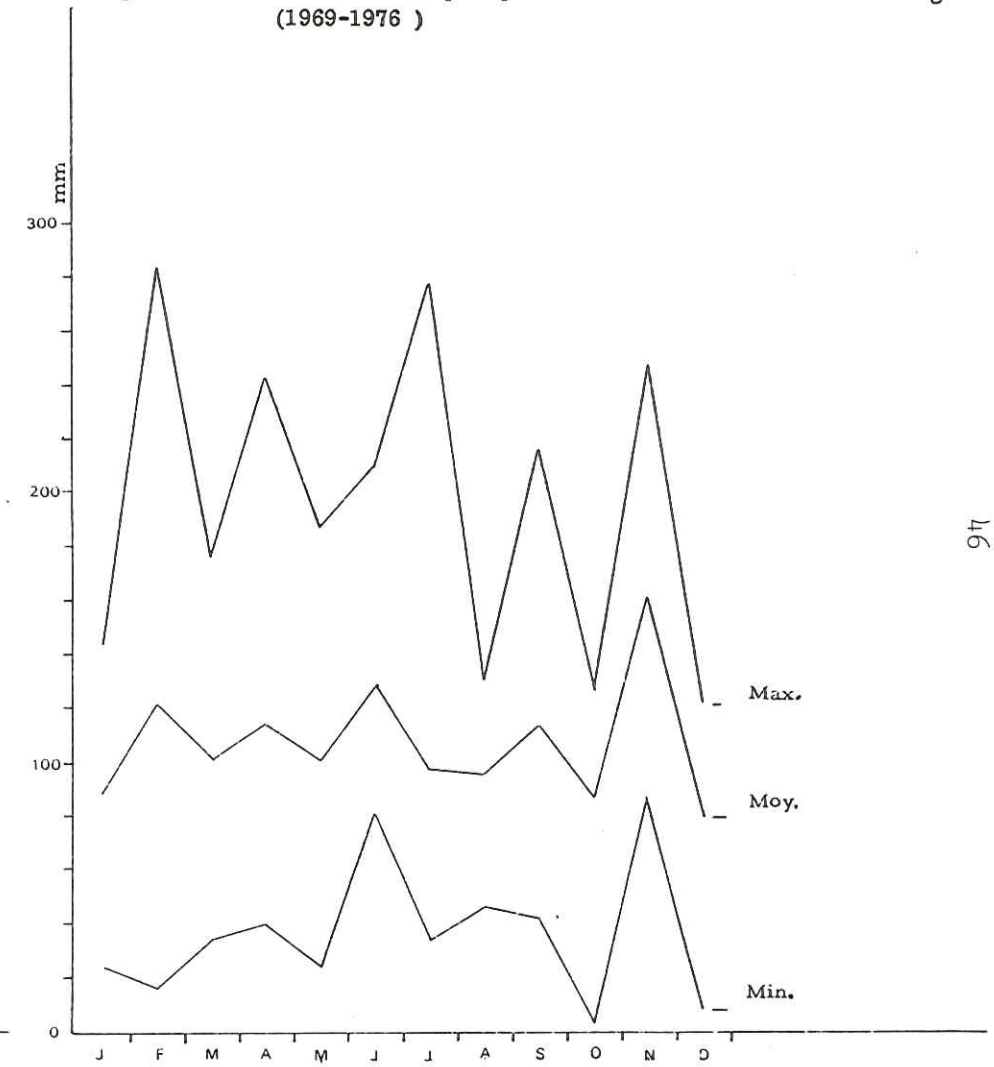
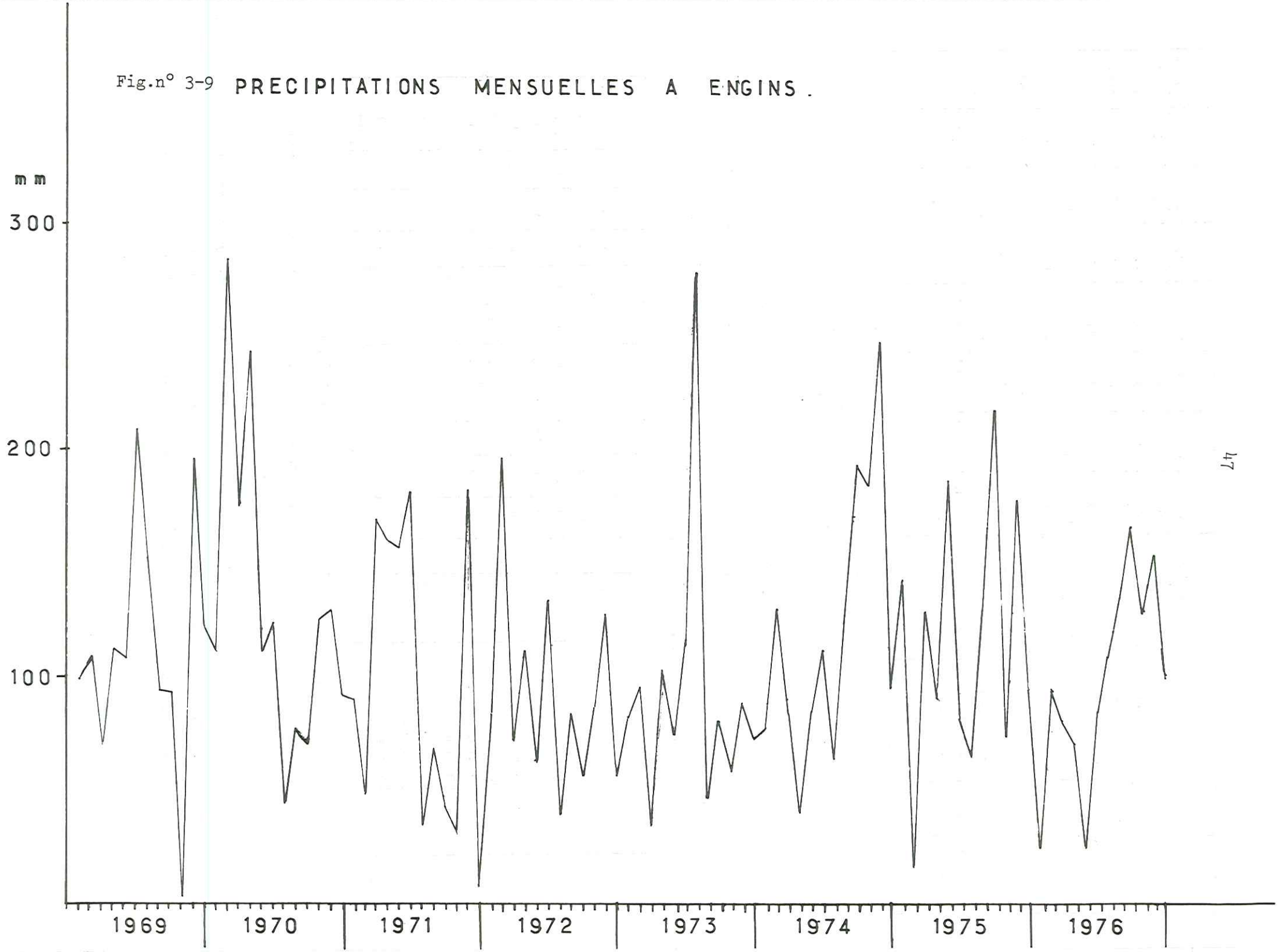


Fig.n° 3-9 PRECIPITATIONS MENSUELLES A ENGINS.



MOIS ANNEE	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1969	99	109	70	112	108	209	152	94	93	3	196	122	1367
1970	111	284	175	243	111	123	44	77	70	125	129	92	1584
1971	90	48	169	160	157	171	34	68	42	32	182	8	1161
1972	83	196	72	111	62	133	39	83	56	86	127	56	1104
1973	82	95	34	92	74	116	278	46	80	58	88	72	1115
1974	(75)	129	83	40	84	111	63	129	193	184	247	95	1433
1975	142	16	128	91	186	81	65	129	217	73	177	94	1399
1976	24	94	80	70	24	84	108	134	165	127	153	99	1162
Moy.	88	121	101	115	101	129	98	95	115	86	162	80	1291
E. Type	33.58	84.65	50.54	62.32	52.06	43.15	82.99	32.58	67.11	58.02	49.1	34.87	
Max	142	284	175	243	186	209	278	129	217	184	247	122	
Min.	24	16	34	40	24	81	34	46	42	3	88	8	

Tableau n°3-10 - Evolution des précipitations mensuelles à la station d'Engins (1969-1976).

3.1.7.2. Etude des précipitations journalières

L'analyse des précipitations journalières a été faite pour chaque année de la période (1969-1976) pour la station d'Engins; les résultats obtenus sont présentés dans le tableau n° 3-11.

Classes de précipitations journalières	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Totaux
0- 5 mm	42	39	41	52	52	43	25	41	29	35	43	31	473
6-10 mm	11	16	20	22	21	23	20	17	11	14	20	16	211
10-20 mm	19	23	20	21	19	16	8	15	13	9	19	16	198
20-30 mm	4	10	6	4	8	14	9	8	7	6	15	5	96
30-40 mm	3	5	2	1	1	3	2	1	4	1	4	2	29
40-50 mm	1	-	2	2	-	1	1	-	2	1	4	1	15
50-60 mm	-	1	-	1	1	1	1	1	1	-	-	-	8
60-70 mm	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
70-80 mm	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	1	-	4
80-90 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
													1036

Tableau n°3-11 - Fréquence des précipitations journalières (en nombre de jours sur 8 ans) à la station d'Engins.

Le tableau montre que 66 % des jours de précipitations ont des valeurs comprises entre 0 et 10 mm, et 34 % des jours de précipitations ont des valeurs dépassant 10 mm. La distribution moyenne est illustrée par la figure n° 3-10.

On remarque que les journées intéressées par les lames d'eau les plus importantes (> 30 mm) se rapportent aux mois de septembre et novembre.

Du point de vue quantitatif, le régime moyen des précipitations journalières a été défini et se caractérise par les résultats reportés sur le tableau n° 3-12 .

Classes de précipitations journalières	Précipitations (mm)	Fréquences (%)	Fréquences cumulées	Moyenne Annuelle
0 - 10	2540	25	25	317.5
10 - 20	2791	27	52	348.8
20 - 30	2416	23	75	302
30 - 40	989	10	85	123.6
40 - 50	741	7	92	92.62
50 - 60	385	3.7	95.7	48.125
60 - 70	62.1	0.6	96.3	7.76
70 - 80	302	2.9	99.2	37.75
80 - 90	87.1	0.8	100	10.88
Total	10 313			

Tableau n° 3-12 - Régime moyen des précipitations journalières à la station d'Engins.

Les résultats sont représentés graphiquement (Fig. n° 3-10,3-11)

Donc :

- 25 % de la hauteur d'eau annuelle moyenne précipitée se rapporte à des précipitations journalières de moins de 10 mm.
- 52 % de cette hauteur d'eau précipitée correspond à des précipitations journalières de moins de 20 mm.
- 75 % de cette lame d'eau précipitée correspond à des précipitations journalières de moins de 30 mm.

3.1.8. CALCUL DE LA LAME D'EAU MOYENNE TOMBEE SUR LE BASSIN DU FURON

Nous avons calculé la lame d'eau tombée sur le bassin par différentes méthodes.

- méthode des isohyètes
- méthode de Thiessen
- moyenne arithmétique des précipitations

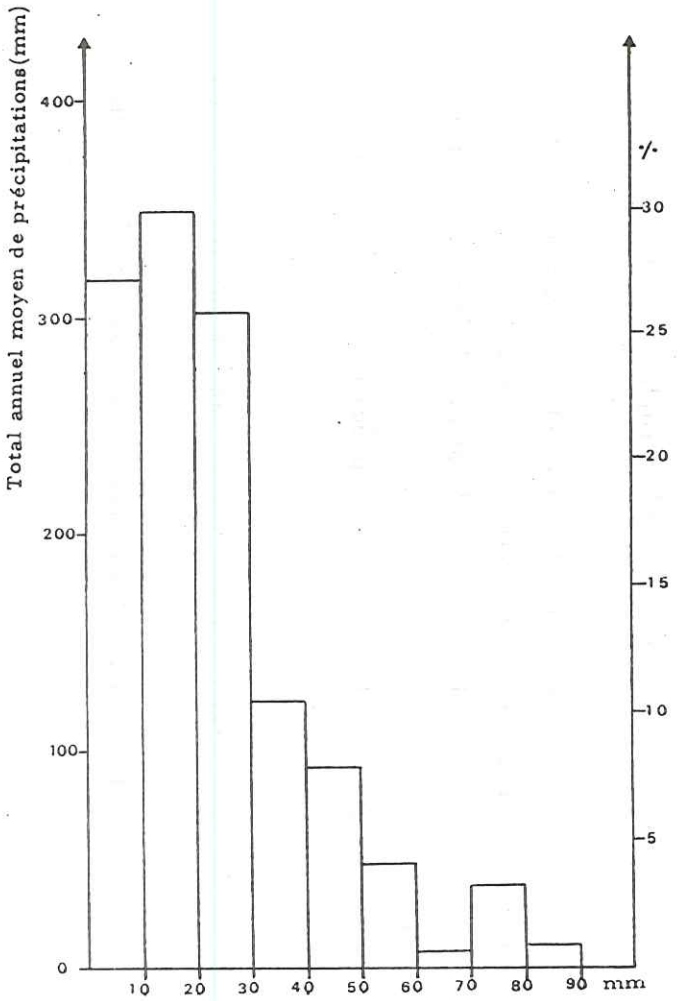


Fig. n° 3-11- Régime moyen des précipitations journalières à la station d'Engins (69-76).

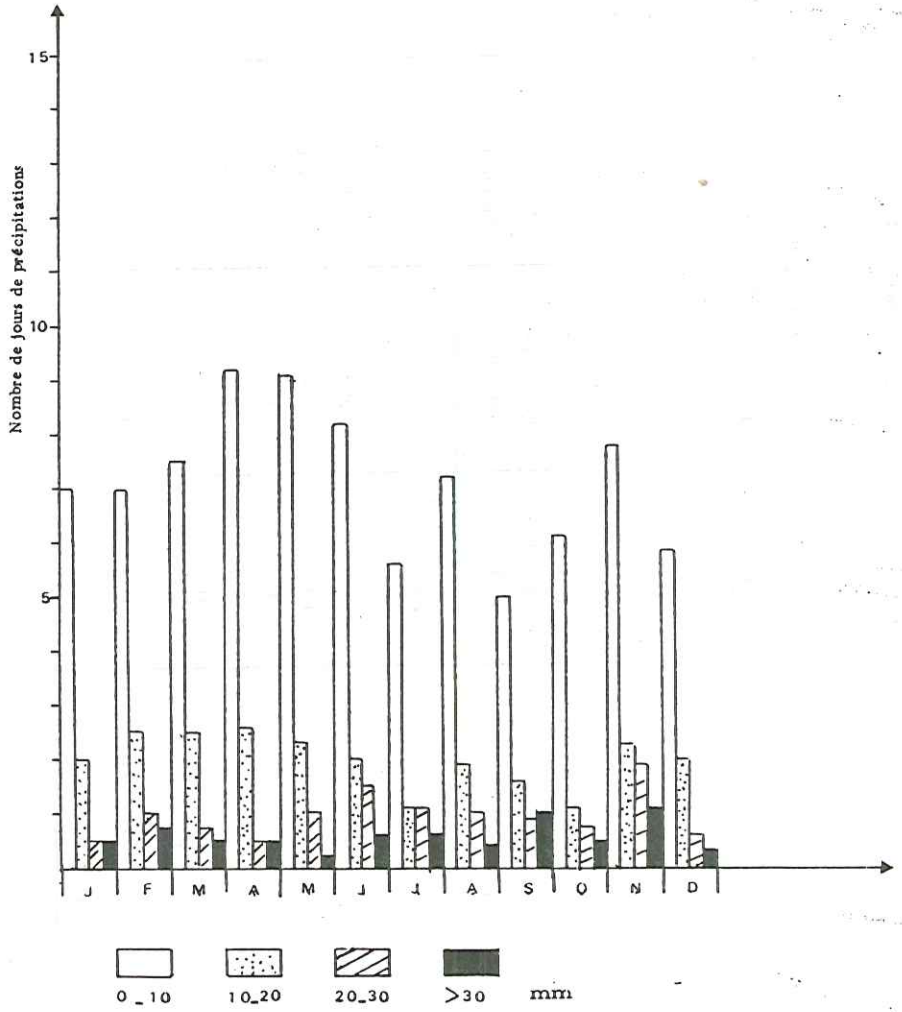


Fig. n° 3-10- Distribution moyenne des précipitations journalières à la station d'Engins (69-76)

3.1.8.1. Méthode des isohyètes

Ce procédé le plus rationnel est le plus précis, bien qu'il ait l'inconvénient d'être long.

Nous avons retenu 17 stations pour tracer les isohyètes; elles sont présentées sur la figure n° et dans le tableau n° 3-13.

Après avoir tracé les courbes d'égales précipitations, on calcule la surface comprise entre deux isohyètes , en admettant que la hauteur des précipitations sur cette surface est égale à la moyenne des deux isohyètes qui la limitent.

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

Les précipitations tombées sur cette section sont :

$$P = \frac{P_1 + P_2}{2} \cdot S$$

Le même calcul est répété pour les autres surfaces.

La lame d'eau moyenne tombée est égale au rapport de la somme des précipitations sur les surfaces élémentaires sur la superficie totale du bassin.

Cette méthode a été appliquée pour la période d'étude (1969-1976); les résultats sont figurés dans le tableau n° 3-14.

De même nous présentons 3 cartes d'isohyètes, pour une année humide (1970) une année sèche (1976) et une année moyenne.

Notons que l'altitude de toutes les stations retenues est toujours inférieure à l'altitude moyenne du bassin.

STATIONS	ALTITUDE
1) ENGINS	838 m
2) AUTRANS	1050 m
3) VILLARD-de-LANS	1050 m
4) MONTAUD	800 m
5) MOIRANS	196 m
6) CORENC	227 m
7) CHATEAU-BERNARD	800 m
8) CHATELUS	310 m
9) VAULNAVEY (La gorge)	1770 m
10) SAINT-GERVAIS	249 m
11) SAINT-MARCELLIN	280 m
12) TULLINS	201 m
13) SAINT-MARTIN-D'HERES	212 m
14) VARCES	250 m
15) AVEILLANS	937 m
16) FONTANIL-CORNILLON	204 m
17) PROVEYZIEUX	600 m

Tableau n° 3-13 - Stations retenues pour tracer les isohyètes

Limites des isohyètes	Moyenne	Superficie délimitées	En %	Hauteur précipitées
1969				
1050-1100	1075	1.05	2.08	22.40
1100-1150	1125	3	5.95	66.96
1150-1200	1175	4.75	9.42	110.73
1200-1250	1225	4.575	9.08	111.20
1250-1300	1275	7.025	13.94	177.72
1300-1350	1325	9.375	18.60	246.47
1350-1400	1375	20.25	40.18	552.46
1400-1450	1425	0.375	0.74	10.60
Total		50.4	99.99	1299
1971				
1050-1100	1075	8.825	17.51	188.23
1100-1150	1125	17.3	34.33	386.16
1150-1200	1175	15.05	29.86	350.87
1200-1250	1225	3.6	7.14	87.5
1250-1300	1275	2.425	4.81	61.35
1300-1350	1325	1.875	3.72	49.29
1350-1400	1375	1.325	2.63	36.15
Total		50.4	100	1160
1973				
950-1000	975	3.675	7.29	71.09
1000-1050	1025	7.95	15.77	161.68
1050-1100	1075	8.45	16.77	180.23
1100-1150	1125	12.15	24.11	271.21
1150-1200	1175	8.8	17.46	205.16
1200-1250	1225	7.55	14.98	183.51
1250-1300	1275	1.825	3.62	46.17
Total		50.4	100	1119
1975				
1150-1200	1175	0.65	1.29	15.15
1200-1250	1225	4.05	8.04	98.44
1250-1300	1275	6.825	13.54	172.66
1300-1350	1325	7.6	15.08	199.80
1350-1400	1375	13.35	26.49	364.21
1400-1450	1425	10.875	21.58	307.48
1450-1500	1475	5.85	11.61	171.21
1500-1550	1525	1.2	2.38	36.31
Total		50.4	100	1365.26

Limites des isohyètes	Moyenne	Superficie délimitées	En %	Hauteur précipitée
1970				
1200-1250	1225	0.25	0.50	6.08
1250-1300	1275	1.3	2.58	32.89
1300-1350	1325	2.95	5.85	77.55
1350-1400	1375	4.425	8.78	120.72
1400-1450	1425	6.7	13.29	189.43
1450-1500	1475	8.575	17.01	250.95
1500-1550	1525	9.5	18.85	287.45
1550-1600	1575	11.6	23.02	362.5
1600-1650	1625	5.1	10.12	164.43
Total		50.4	100	1492
1972				
900-950	925	1.45	2.88	26.61
950-1000	975	7.075	14.04	138.87
1000-1050	1025	7.975	15.82	162.19
1050-1100	1075	11.7	23.21	249.55
1100-1150	1125	10.575	20.98	236.05
1150-1200	1175	8.7	17.26	202.83
1200-1250	1225	2.925	5.80	71.09
Total		50.4	99.99	1085
1974				
1150-1200	1175	0.15	0.30	3.50
1200-1250	1225	2.175	4.32	52.86
1250-1300	1275	6.025	11.95	152.42
1300-1350	1325	6.3	12.5	165.63
1350-1400	1375	10.45	20.73	285.09
1400-1450	1425	14.05	27.88	397.25
1450-1500	1475	9.8	19.44	286.81
1500-1550	1525	1.45	2.88	43.87
Total		50.4	100	1387
1976				
950-1000	975	4.7	9.33	90.92
1000-1050	1025	7.8	15.48	158.63
1050-1100	1075	6.825	13.54	145.57
1100-1150	1125	11.875	23.56	265.07
1150-1200	1175	2.275	4.51	53.04
1150-1150	1150	14.3	28.37	326.29
1200-1200	1200	2.625	5.21	62.5
Total		50.4	100	1102

Tableau n° 3-14 - Valeurs des précipitations annuelles calculées selon la méthode des isohyètes.

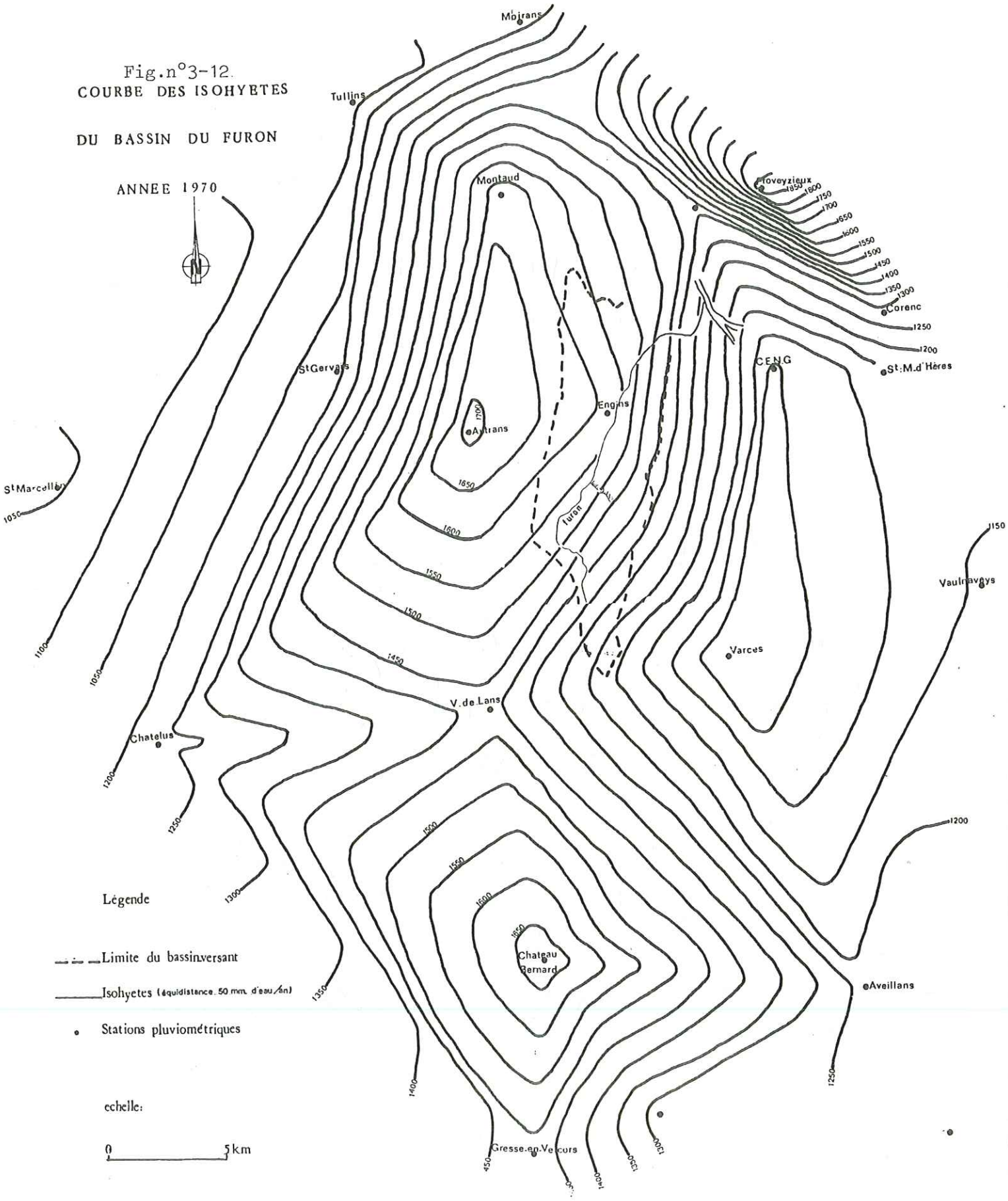


Fig.n°3-12.
COURBE DES ISOHYETES
DU BASSIN DU FURON
ANNEE 1970
Moirans
Tullins
Montaud
Proveyzieux
Corenc
St.M.d'Hères
C.E.N.G
St Gervais
Engins
Autrans
St Marcellin
Furon
Vaulnaveys
Varces
V.de Lans
Chatelus
Chateau Bernard
Aveillans
Gresse-en-Vercors
Légende
Limite du bassin versant
Isohyetes (équidistance 50 mm d'eau/an)
Stations pluviométriques
echelle:
0
5 km

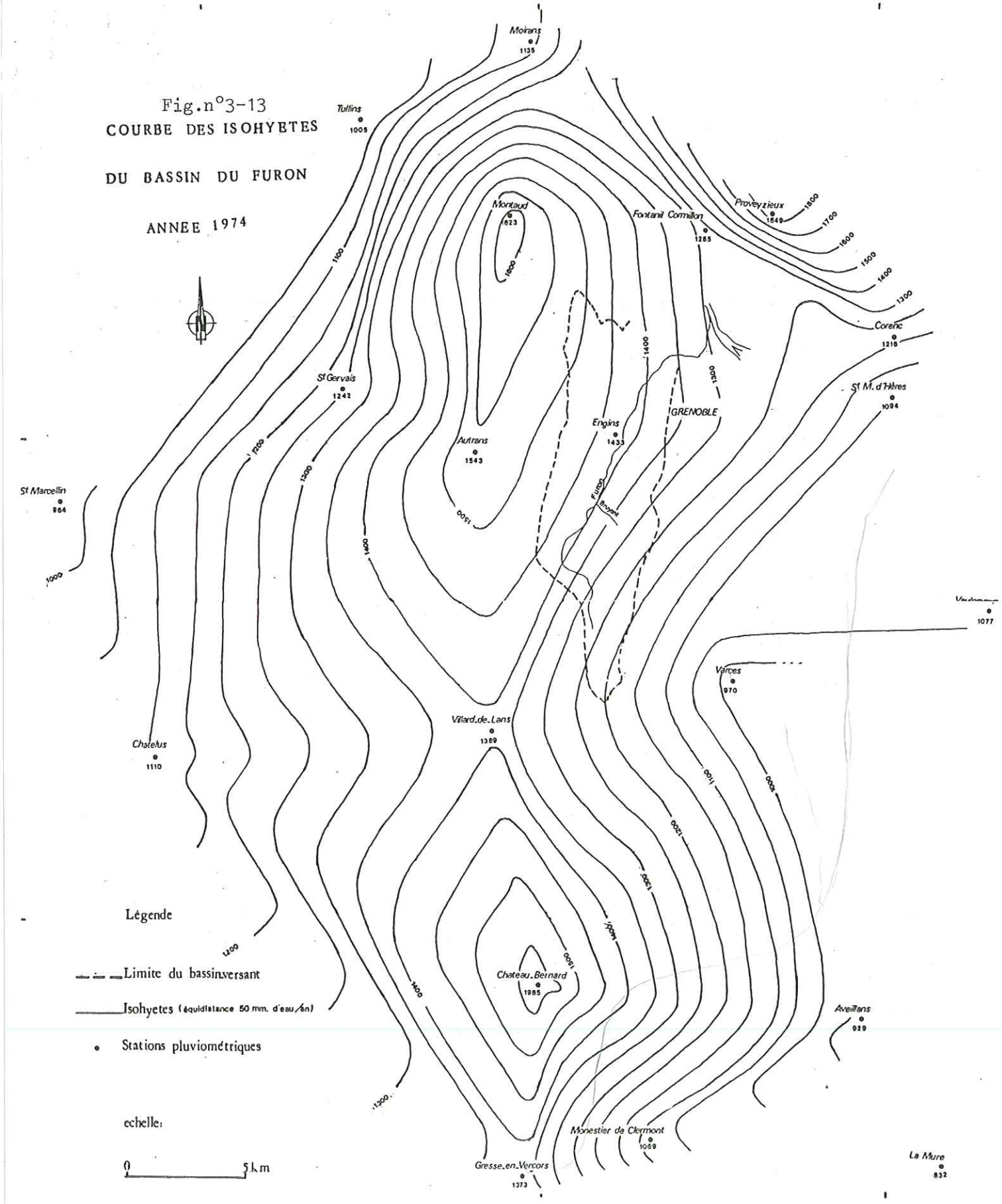


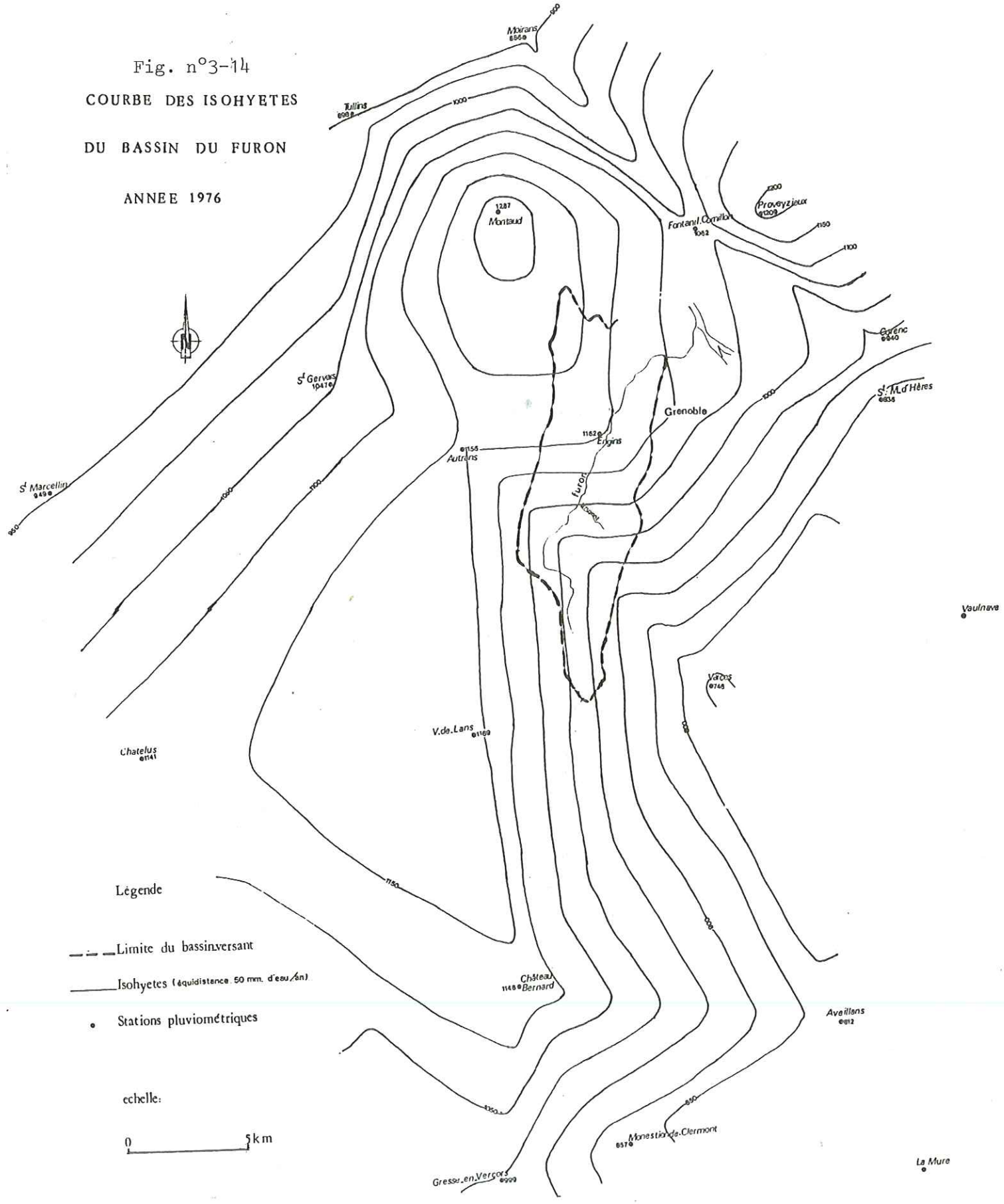
Fig.n°3-13
COURBE DES ISOHYETES
DU BASSIN DU FURON
ANNEE 1974

Fig. n°3-14

COURBE DES ISOHYETES

DU BASSIN DU FURON

ANNEE 1976



3.1.8.2. Méthode de Thiessen

C'est une méthode géométrique moins précise que celle des ioshyètes mais elle a l'avantage d'être plus rapide. Elle consiste à relier les stations adjacentes par des droites, au milieu de chacune de ces droites on élève une perpendiculaire; les intersections de ces perpendiculaires déterminent des polygones.

La hauteur des précipitations choisie est celle relevée à la station située à l'intérieur du polygone, en considérant que les précipitations sont uniformément réparties.

La hauteur des précipitations recherchée sur le bassin est égale à

$$P = \frac{A_1}{A} \cdot P_1 + \frac{A_2}{A} \cdot P_2 + \ldots\ldots \frac{A_n}{A} \cdot P_n.$$

où A : superficie du bassin

$A_1 \ldots A_n$: surfaces des polygones

$P_1 \ldots P_n$: précipitations sur les polygones.

La figure n°3-15 présente la construction des polygones et le tableau n°3-14 en donne les résultats.

STATIONS	ALTITUDE	SURFACE EN km^2	POURCENTAGE
VILLARD-DE-LANS	1050 m	2.425 km^2	4.81 %
VARCES (Allières-et-Risset)	250 m	4.375 km^2	8.68 %
AUTRANS	1050 m	2.125 km^2	4.22 %
MONTAUD	800 m	0.725 km^2	1.44 %
ENGINS	1050 m	40.75 km^2	80.85 %
		50.4 km^2	100 %

Tableau n° 3-15 - Résultats de la construction des polygones selon Thiessen

3.1.8.3. Moyenne arithmétique des précipitations

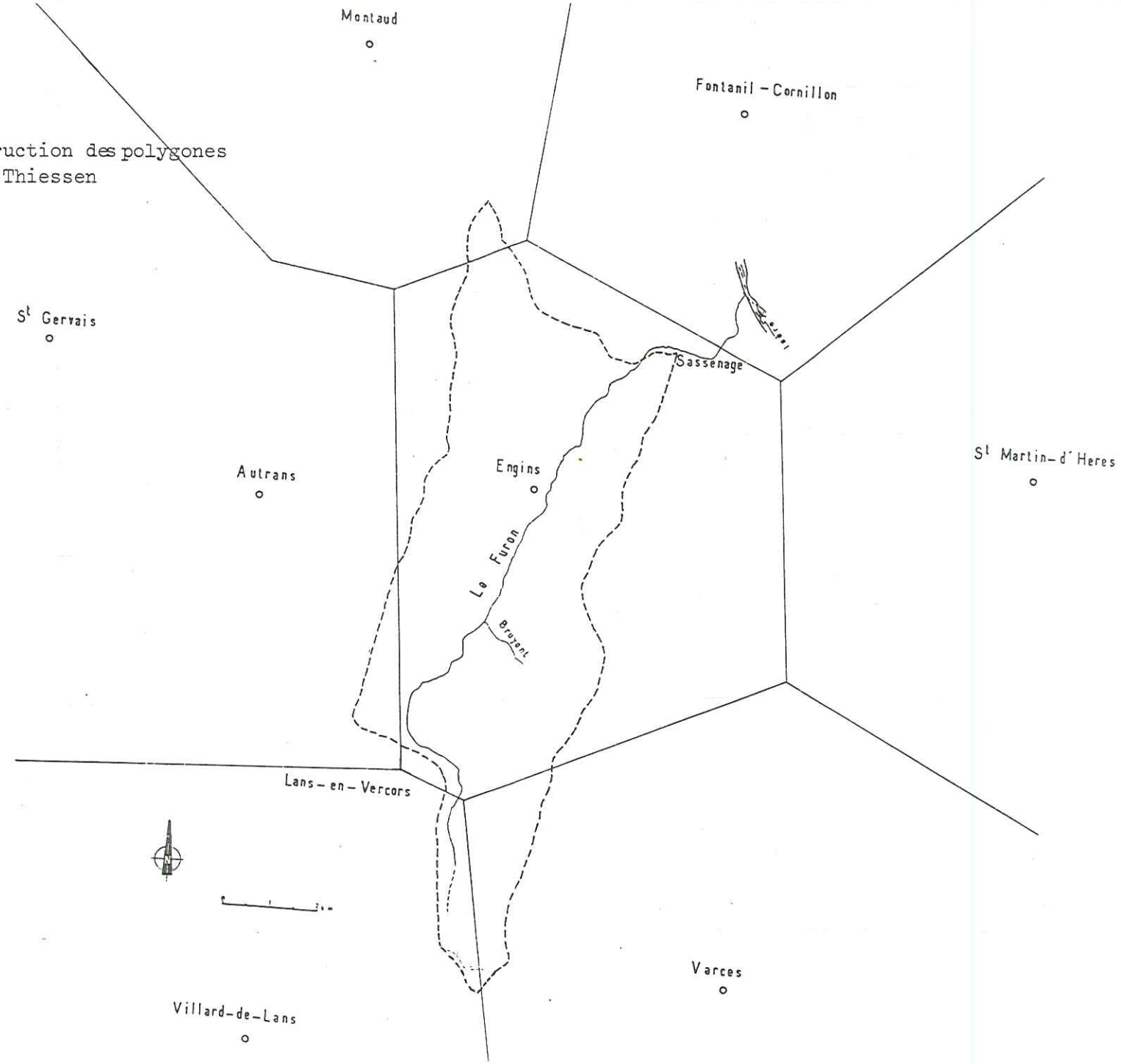
Nous avons retenu les trois stations les plus représentatives dont l'étude détaillée a été faite précédement. Ces stations sont les suivantes : Engins, Autrans, et Villard-de-Lans (Mairie).

La moyenne a été calculée à l'échelle de l'année; le tableau n° 3-16 en représente les résultats.

Année	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Moyenne annuelle	1366mm	1573mm	1185mm	1185mm	1250mm	1455 mm	1419 mm	1162 mm

Tableau n°3-16 - Les précipitations annuelles calculées selon la moyenne arithmétique

Fig. n°3-15 - Construction des polygones selon Thiessen



Comparaison entre les trois méthodes

Le tableau n° 3-17 regroupe les résultats obtenus par les différentes méthodes.

METHODES		1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Isohyètes	mm	1299	1492	1160	1085	1119	1387	1365	1102
Thiessen	mm	1314	1532	1150	1082	1104	1398	1372	1128
Moyenne arithmétique	mm	1366	1573	1185	1185	1250	1455	1419	1162

Tableau n° 3-17 Valeurs des précipitations annuelles selon les trois méthodes de calcul .

Nous constatons que les valeurs obtenues sont comparables et il est à noter que les valeurs de la moyenne arithmétique sont les plus élevées.

3.1.9. CALCUL DU GRADIENT ALTIMETRIQUE DE PRECIPITATION

On a l'habitude de définir un gradient pluviométrique de précipitation mais peut-on observer une augmentation systématique des précipitations avec l'altitude ?

Dans notre cas, la réponse est négative, car ce n'est pas l'altitude qui conditionne l'augmentation de précipitations mais d'autres facteurs. Le tableau n° 3-18 en fait la preuve :

STATIONS	ALTITUDE	PRECIPITATIONS
AUTRANS	1050 m	1397 mm
CHATEAU-BERNARD	800 m	1336 mm
CHATELUS	310 m	1057 mm
ENGINS	838 m	1227 mm
GRESSE-EN-VERCORS	1220 m	1134 mm
MONTAUD	800 m	1457 mm
VILLARD-DE-LANS	1050 m	1335 mm

Tableau n°3-18 - Valeurs des précipitations relevées dans quelques stations.

De même l'étude statistique (pluie-altitude) montre une indépendance quasi totale entre ces deux facteurs. La droite de régression est parallèle à l'axe des altitudes.

3.2. LES TEMPÉRATURES

3.2.1. INTRODUCTION

L'étude des températures sera consacrée aux stations d'Autrans et de Villard-de-Lans qui sont les plus représentatives de la région d'étude.

A) Station d'Autrans

La station d'Autrans, à l'altitude de 1050 m, est une des stations les plus froides de l'Isère; elle est la seule dont les températures minimales moyennes annuelles ont des valeurs négatives.

B) Station de Villard-de-Lans

Cette station, située à l'altitude de 1050 m, est une station " froide ". Cela est dû à son site abrité et à sa situation. Sa latitude est plus méridionale, que celle de la station d'Autrans.

Les tableaux n° 3-19 , 3-20 montrent les moyennes mensuelles et annuelles pour la période d'étude (1969-1976) et la moyenne (1959-1976) pour Autrans et Villard-de-Lans.

L'examen des moyennes mensuelles à Autrans prouve que quatre mois (décembre, janvier, février, mars) et rarement novembre connaissent des températures négatives.

Décembre	14 années sur 18
Janvier	12 années sur 18
Février	9 années sur 18
Mars	5 années sur 18

Le mois le plus froid de l'année est décembre, le plus chaud août.

Les températures extrêmes ne dépassent pas 32°C en été et s'abaissent en hiver jusqu'à - 19°C.

Année	Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1969	min.	-5.4	-10.1	-3.9	-0.8	2.4	3.8	6.8	6.4	4.1	1.4	-3.3	-11.5	-0.8
	max.	(3.5)	2.9	7.1	10.4	16.4	16.5	21.5	19.4	18.2	16.5	7.5	0.2	11.7
	moy.	-0.95	-3.6	1.6	4.8	9.4	10.1	14.2	12.9	11.1	8.9	2.1	- 5.6	5.4
1970	min.	-5.1	-4.7	-7.5	-3.5	1.1	6.0	6.3	6.3	3.8	-0.2	-2.3	- 6.8	-0.5
	max.	5.2	3.4	4.4	8.7	14.2	19.8	21.3	21.3	19.8	14.3	9.8	2.0	12.0
	moy.	-0.0	-0.6	-1.6	2.6	7.6	12.9	13.8	13.8	11.8	7.0	3.7	- 2.4	5.7
1971	min.	-8.9	-6.5	-9.1	-1.4	1.8	4.7	8.0	8.9	3.5	-0.4	+5.5	- 6.8	-1.0
	max.	4.7	4.9	4.1	13.8	16.1	18.1	23.5	24.2	17.6	15.9	4.7	5.9	12.8
	moy.	-2.1	-0.8	-2.5	6.2	9.0	11.4	15.8	16.5	10.6	7.7	-0.4	- 0.5	5.9
1972	min.	-6.5	-4.5	-4.3	-1.5	1.5	3.8	7.4	6.5	1.3	0.8	-1.7	- 3.9	-0.1
	max.	3.4	7.0	9.2	9.1	14.0	17.8	20.7	18.8	14.8	13.5	8.8	7.2	12.0
	moy.	-1.6	1.2	2.5	3.8	7.8	10.8	14.0	12.6	8.1	7.1	3.5	1.6	6.0
1973	min.	-5.8	-8.0	-6.9	-3.4	4.3	6.9	8.6	9.7	7.0	0.2	-2.7	-5.8	0.3
	max.	4.6	1.7	5.7	6.1	16.2	18.4	19.8	22.5	19.1	13.2	8.8	3.6	11.6
	moy.	-0.6	-3.2	-0.6	1.3	10.3	12.7	14.2	16.1	13.0	6.7	3.0	-1.1	6.0
1974	min.	-3.1	-2.7	-1.6	0.4	2.4	5.6	8.1	8.4	4.6	-2.4	-1.4	-3.8	1.2
	max.	6.9	4.0	8.3	10.0	13.4	16.8	20.9	22.1	15.9	5.4	6.2	5.4	11.3
	moy.	1.9	0.6	3.3	5.2	7.9	11.2	14.5	15.3	10.2	1.5	2.4	0.8	6.2
1975	min.	-3.2	-4.8	-4.2	-2.5	3.5	5.4	8.3	10.2	8.1	-0.3	-2.1	-5.7	1.1
	max.	7.4	7.5	3.8	10.0	13.5	16.4	21.7	21.0	18.9	12.8	5.9	2.9	11.8
	moy.	2.1	1.4	-0.2	3.7	8.5	10.9	15.0	15.6	13.5	6.3	1.9	-1.4	6.4
1976	min.	-4.9	-3.7	-4.8	-1.5	3.5	7.4	9.7	7.0	4.6	2.8	-2.7	-5.1	1.0
	max.	3.7	6.3	7.6	9.5	15.6	21.2	21.0	19.6	15.5	13.2	5.0	4.6	11.9
	moy.	-0.6	1.3	1.4	4.0	9.5	14.3	15.4	13.3	10.1	8.0	1.2	-0.2	6.5
1969 1976	min.	-5.4	-5.6	-5.3	-1.8	2.6	5.5	7.9	7.9	4.6	0.2	-2.7	-6.2	0.2
	max.	4.9	4.7	6.3	9.7	14.9	18.1	21.3	21.1	17.5	13.1	7.1	4	11.9
	moy.	0.2	-0.5	+0.5	4	8.8	11.8	14.6	14.5	11.1	6.7	2.2	-1.1	6
1959 1976	moy.	-0.8	+0.2	+1.6	5.2	9.2	12.6	14.9	14.4	11.6	7.4	2.7	-1.1	6.5

Tableau n° 3-19 - Moyennes mensuelles et annuelles des températures minimales et maximales quotidiennes à Autrans.

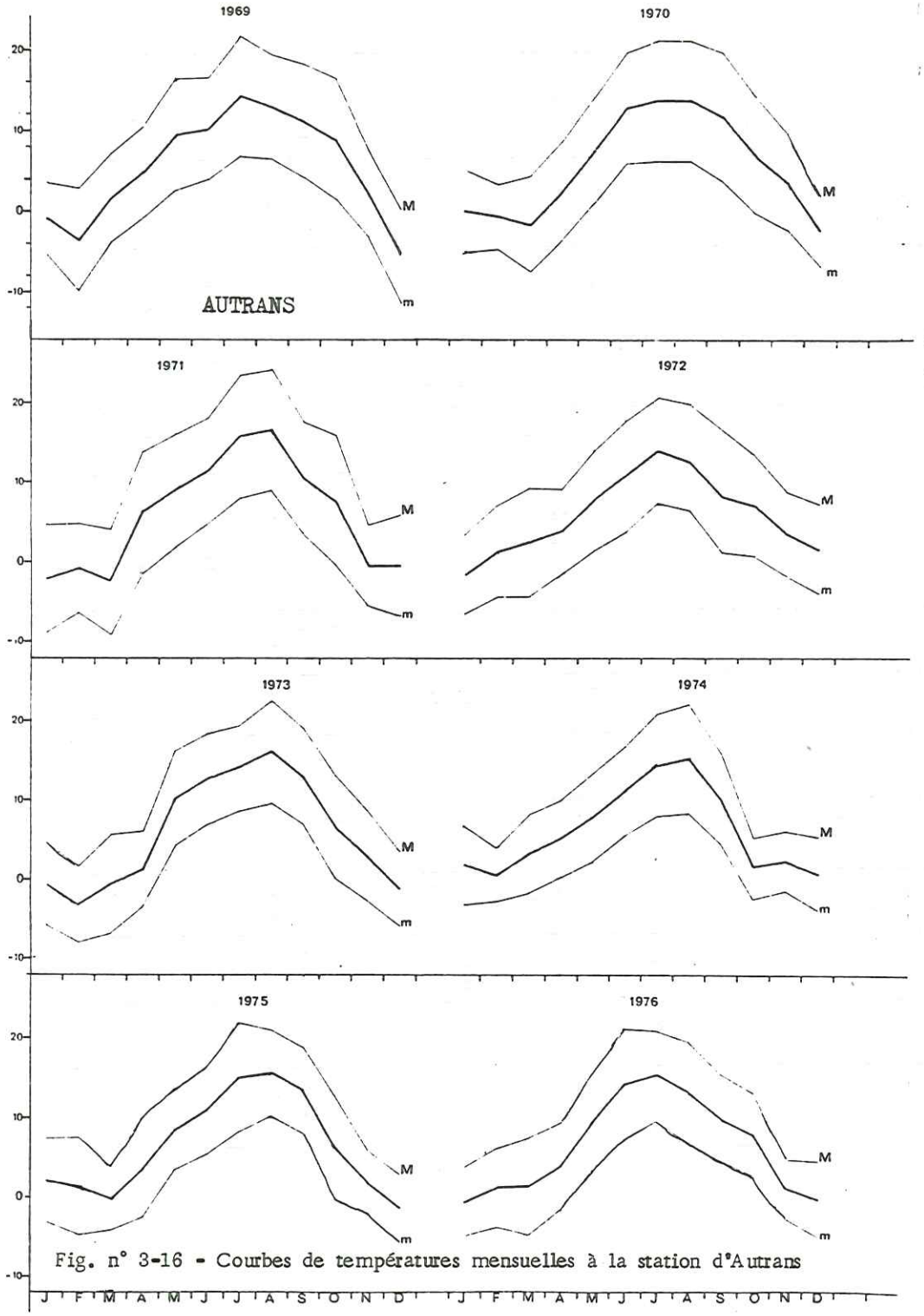


Fig. n° 3-16 - Courbes de températures mensuelles à la station d'Autrans

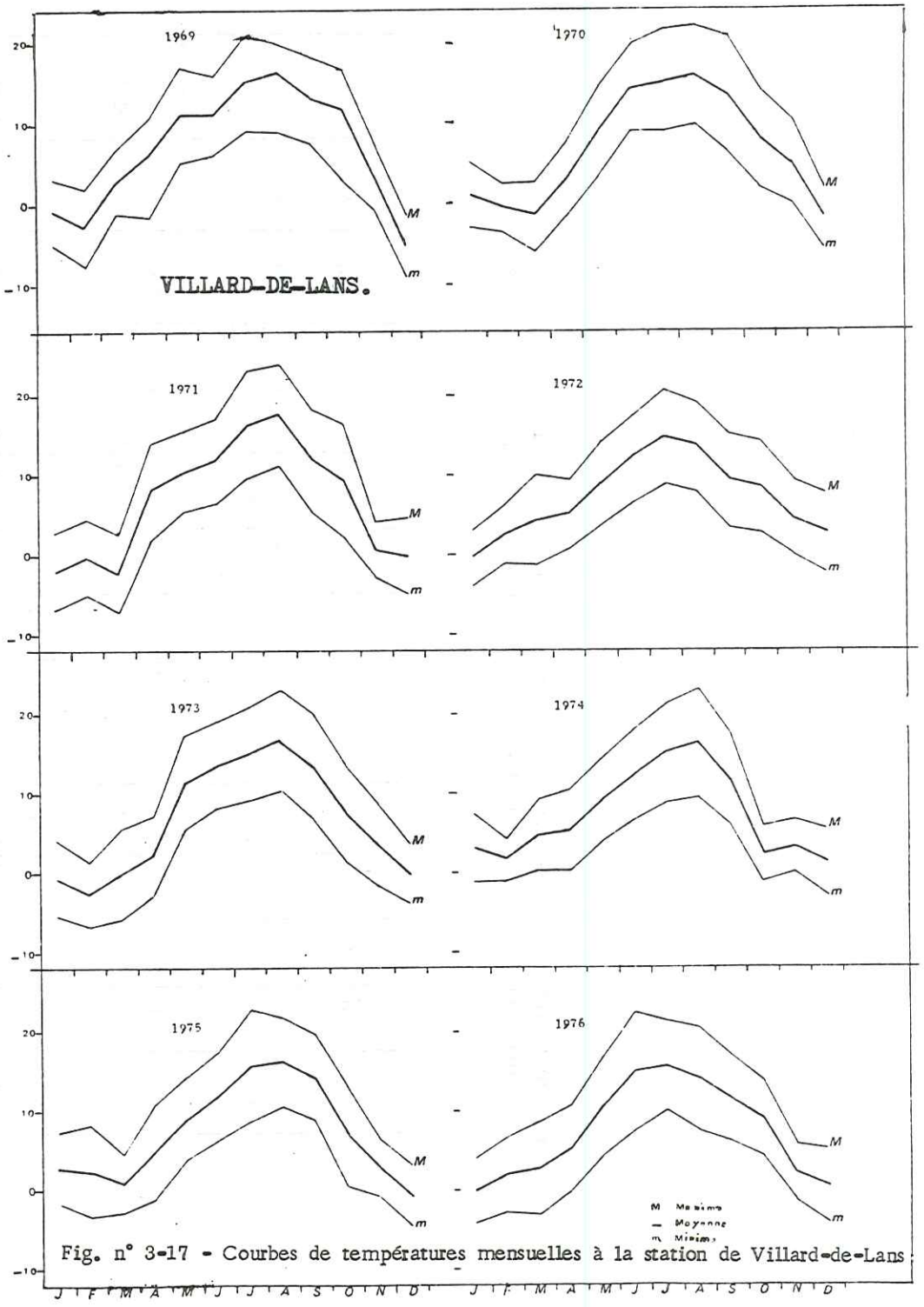


Fig. n° 3-17 - Courbes de températures mensuelles à la station de Villard-de-Lans

	Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Année 1969	min.	-4.9	-7.7	-1.2	1.7	5.3	6.2	9.2	9	7.7	3	-0.8	-9	1.5
	max.	3.3	2	6.9	10.7	17.1	16.1	21.5	20	18.5	16.8	7.9	-1.3	11.6
	moy.	-0.8	-2.9	2.9	6.2	11.2	11.1	15.3	14.5	13.1	9.9	3.6	-5.2	6.6
1970	min.	-3.0	-3.6	-6.0	-1.7	3.4	9.0	9.0	9.8	6.4	2.0	-0.0	-5.6	1.6
	max.	5.1	2.5	2.6	7.8	14.5	19.9	21.7	22.0	20.8	14.1	10.4	1.9	11.9
	moy.	1.1	-0.5	-1.7	3.0	9.0	14.5	15.3	15.9	13.6	8.1	5.2	-1.9	6.8
1971	min.	-6.9	-5.0	-7.3	1.9	5.4	6.5	9.7	11.3	5.4	2.3	-2.9	-5.0	1.3
	max.	2.8	4.4	2.6	14.0	15.7	17.3	23.3	24.1	18.3	16.4	4.1	4.7	12.3
	moy.	-2.1	-0.3	-2.3	8.0	10.5	11.9	16.5	17.7	11.9	9.4	0.6	-0.2	6.8
1972	min.	-4.0	-1.2	-1.4	0.6	3.6	6.3	8.7	7.8	3.3	2.6	-0.0	-2.5	2.0
	max.	3.0	6.2	10.0	9.2	14.0	17.8	20.5	19.1	15.0	14.0	9.3	7.6	12.1
	moy.	-0.5	2.5	4.3	4.9	8.8	12.1	14.6	13.5	9.2	8.3	4.6	2.6	7.1
1973	min.	-5.5	-6.9	-5.9	-2.8	5.7	8.2	9.3	10.5	6.8	1.5	-1.8	-3.9	1.3
	max.	4.1	1.4	5.6	7.1	17.4	19.2	20.9	23.0	20.0	13.6	8.8	3.5	12.1
	moy.	-0.7	-2.7	-0.1	2.2	11.6	13.7	15.1	16.8	13.4	7.6	3.5	-0.2	6.7
1974	min.	-1.1	-1.1	0.2	0.2	3.9	6.6	8.7	9.5	5.9	-1.2	-0.0	-2.9	2.4
	max.	7.4	4.2	9.2	10.5	14.5	17.9	21.5	23.0	17.3	5.8	6.6	5.4	11.9
	moy.	3.1	1.6	4.7	5.3	9.2	12.2	15.1	16.3	11.6	2.3	3.3	1.3	7.2
1975	min.	-1.7	-3.4	-2.8	-1.0	4.1	6.4	8.8	10.6	8.9	0.5	-0.9	-4.6	2.1
	max.	7.3	8.2	4.6	10.8	14.4	17.5	22.7	21.7	19.6	13.2	6.5	3.3	12.5
	moy.	2.8	2.4	0.9	4.9	9.3	11.9	15.8	16.2	14.3	6.9	2.8	-0.7	7.3
1976	min.	-4.3	-2.8	-3.2	-0.2	4.5	7.7	10.1	7.4	6.1	4.2	-1.3	-4.1	2.0
	max.	4.1	6.7	8.6	10.7	16.8	22.4	21.3	20.3	16.8	13.7	5.8	5.1	12.7
	moy.	-0.1	2.0	2.7	5.2	10.7	15.0	15.7	13.9	11.4	9.0	2.2	0.5	7.4
1969 1976	min.	3.9	-4	-3.5	-0.2	4.5	7.1	9.2	9.5	6.3	1.9	-1.0	-4.7	1.8
	max.	4.6	4.5	6.3	10.1	15.6	18.5	21.7	21.7	18.3	13.5	7.4	3.8	12.1
	moy.	0.4	0.3	1.4	5	10.	12.8	15.4	15.6	12.3	7.7	3.2	-0.5	7
1959 1976	moy.	-0.7	0.6	2.3	5.9	10	13.1	15.4	15.1	12.7	8.4	3.5	0.7	7.1

Tableau n° 3-20 - Moyennes mensuelles et annuelles des températures minimales et maximales quotidiennes à Villard-de-Lans

La température moyenne annuelle à Autrans durant 8 ans 1969-1976 présente de faibles écarts négatifs avec la moyenne de la période 1959-1976, sauf pour l'année 1969 dont l'écart négatif est de l'ordre de -1.1 ; cela est dû au fait que la moyenne annuelle de cette année 5.4°C prend le deuxième rang des températures basses observées durant la période 1959-1975.

ANNEE	TEMPERATURE ANNUELLE	TEMPERATURE ANNUELLE MOYENNE 1959 - 1976	ECART A LA MOYENNE	TEMPERATURE ANNUELLE PERIODE 1959-1976	
				La plus élevée	La plus basse
1969	5.4°C	6.5°C	-1.1	8.7°C(1961)	5.3°C(1965)
1970	5.7°	6.5°	-0.8		
1971	5.9°	6.5°	-0.6		
1972	6.0°	6.5°	-0.5		
1973	6.0°	6.5°	-0.5		
1974	6.2°	6.5°	-0.3		
1975	6.4°	6.5°	-0.1		
1976	6.5°	6.5°	-0.0		
1969/1976	6°	6.5°	-0.5		

Tableau n° 3-21 - Comparaison entre la température annuelle des années 1969-1976 et la température annuelle moyenne 1959-1976 .

L'étude des températures moyennes annuelles à Villard-de-Lans pour la période 1969-1976 montre une assez bonne régularité puisque l'écart entre la moyenne la plus basse 6.6°C en 1969 et la plus élevée 7.4°C en 1976 est de 0.8°C .

Les moyennes mensuelles varient entre -5,2°C pendant le mois le plus froid (décembre 1969) et 17,7°C pendant le mois le plus chaud (Août 1971)

Les températures extrêmes ne dépassent pas 31°C en été et s'abaissent en hiver jusqu'à -18,2°C

L'examen des moyennes mensuelles prouve que trois mois seulement (décembre, janvier, février) connaissent des températures négatives mais faibles. Le froid hivernal n'est donc pas très intense.

Les mois d'été ne sont pas chauds mais plutôt tièdes; les températures de Juin, Juillet, Août, varient entre 11,1°C et 17,7°C .

Valeurs extrêmes des températures.

Les valeurs extrêmes des températures observées durant la période d'étude 1969-1976 aux deux stations de mesure sont les suivantes :

		AUTRANS	VILLARD-DE-LANS
m	journalière	-19°C - 7 décembre 1969	-18.2° C - 7 décembre 1969
M		31.2° -18 aout 1971	+31.0° -18 août 1971
t	la plus basse	-12.5° - 7 décembre 1969	-13.2° - 7 décembre 1969
	la plus élevée	+20.7° -18 août 1971	+21.5° -18 août 1971
m	mensuelle	-11.5°C- Décembre 1969	- 9.° C - Décembre 1969
M		+24.2° - Août 1971	+24.1° - Août 1971
t	la plus basse	- 5.6° - Décembre 1969	- 5.2° - Décembre 1969
	la plus élevée	+16.5° - Août 1971	+17.7 - Août 1971
m	annuelle	- 1.° C- 1971	+ 1.3° C - 71-73
M		+12.8° - 1971	+12.7° - 76
t	la plus basse	+ 5.4° - 1969	+ 6.6° - 69
	la plus élevée	+ 6.5° - 1976	+ 7.4° - 76
	m = minimale	M = maximale	t = moyenne

Tableau n°3-22 - Valeurs extrêmes des températures

3.2.2. RELATION PRECIPITATIONS-TEMPERATURES

On a employé la régression linéaire simple, entre les données mensuelles des précipitations et des températures relevées aux stations d'Autrans et de Villard-de-Lans pour la période de 1969-1976; les droites de regression, et les coefficients de corrélations obtenus sont les suivants:

$$Y = 0.004 \quad X_p \text{ Autrans} + 5.5 \qquad r = 0.038$$

T. Autrans

$$Y = 0.003_p \text{ v.l.d.} + 6.57 \qquad r = 0.031$$

T.v.d.l

On remarque une indépendance statistique, les points sont groupés selon un nuage parallèle à l'axe des abscisses.

Il n'existe donc pas de relation linéaire entre précipitations et températures.

3.2.2.1. Les courbes ombrothermiques

Les courbes ombrothermiques permettent de définir les caractéristiques de chaque mois de l'année en fonction des précipitations mensuelles et de la température moyenne mensuelle.

La méthode utilisée consiste à porter les valeurs des précipitations et des températures sur les deux axes d'ordonnées en appliquant le rapport 2 mm pour 1°C énoncé par Gaussen.

La figure n° 3-18 est le résultat des données des deux stations (Autrans, Villard-de-Lans).

On constate que les courbes pluviométriques se situent au-dessus des courbes thermiques durant toute la période étudiée (1969-1976) sauf pour le mois d'octobre 1969 où les précipitations sont inférieures au double de la température ce qui correspond à la définition de Gaussen du mois sec.

Cette méthode nous permet de dire que le climat est humide.

3.2.2.2. Les climogrammes

Portons sur l'axe horizontal d'un graphique les températures moyennes mensuelles et sur son axe vertical les totaux pluviométriques mensuels; si l'on réunit par une ligne brisée les 12 points déterminés par les températures et les précipitations moyennes de chaque mois, on construit un climogramme (ou climatogramme). Sur la grille du climatogramme, on porte diverses lignes divisant le plan de la figure en " secteurs "; pour chacun de ceux-ci le couple des températures et des précipitations permet de reconnaître au mois considéré un caractère climatique déterminé.

Cette technique, préconisée par Péguy (Précis de climatologie) a été utilisée pour les stations d'Autrans et de Villard-de-Lans (voir figure n° 3-19).

On constate que les mois sont groupés dans deux secteurs (h) et(O) ; le secteur h regroupe les mois " froids et humides ", le secteur O regroupe les mois " tempérés ".

Dans le cas d'Autrans, le mois de juin est placé dans le secteur (h); cela s'explique par les précipitations moyennes élevées pendant cette période.

Dans le cas de Villard-de-Lans, le mois d'octobre se place sur la limite des deux secteurs ; cela est dû au mois sec de l'année 1969.

En moyenne, les mois froids et humides dans la région sont Janvier, Février, Mars, Avril, Octobre, Novembre, Décembre.

Les mois tempérés sont Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre.

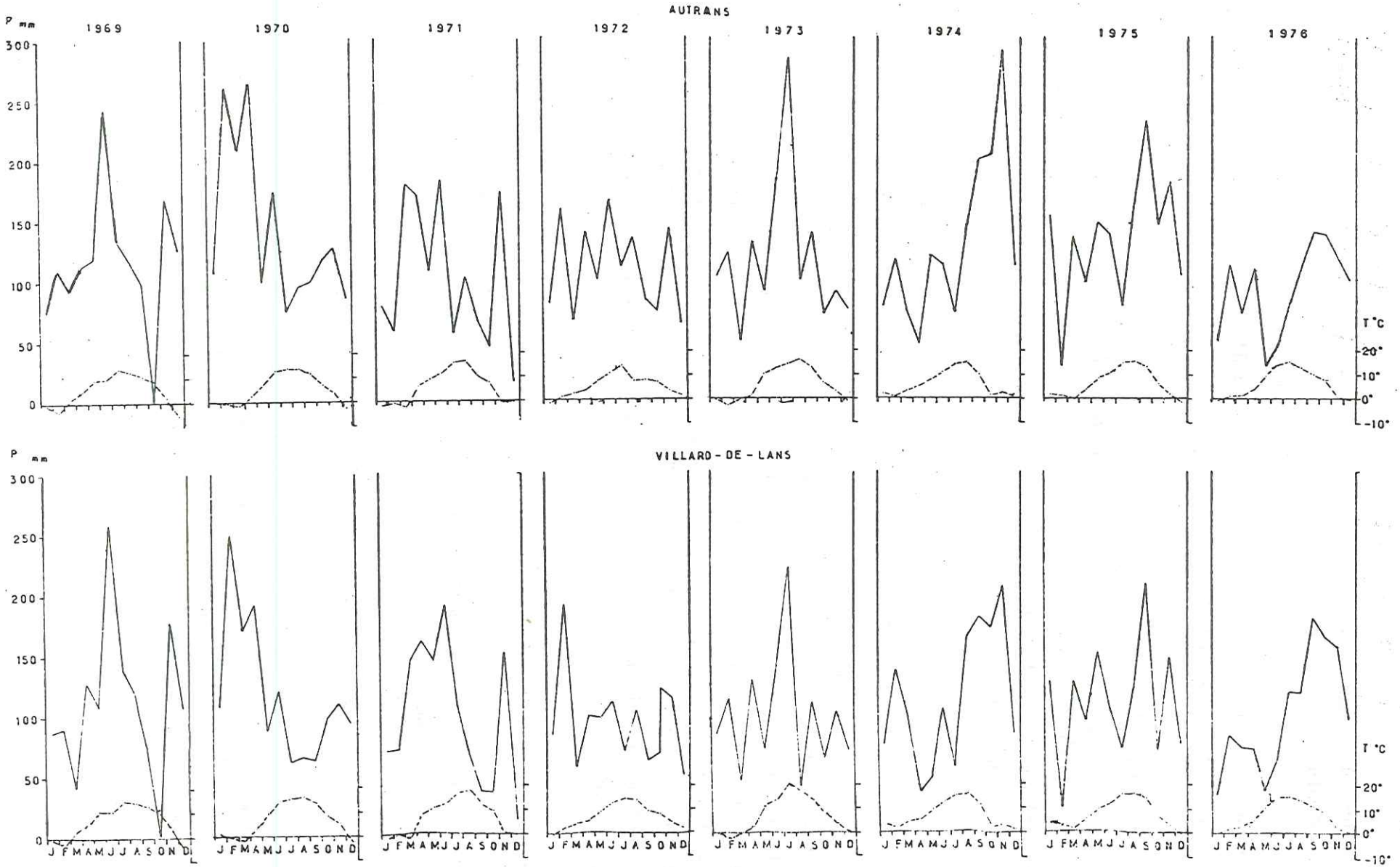
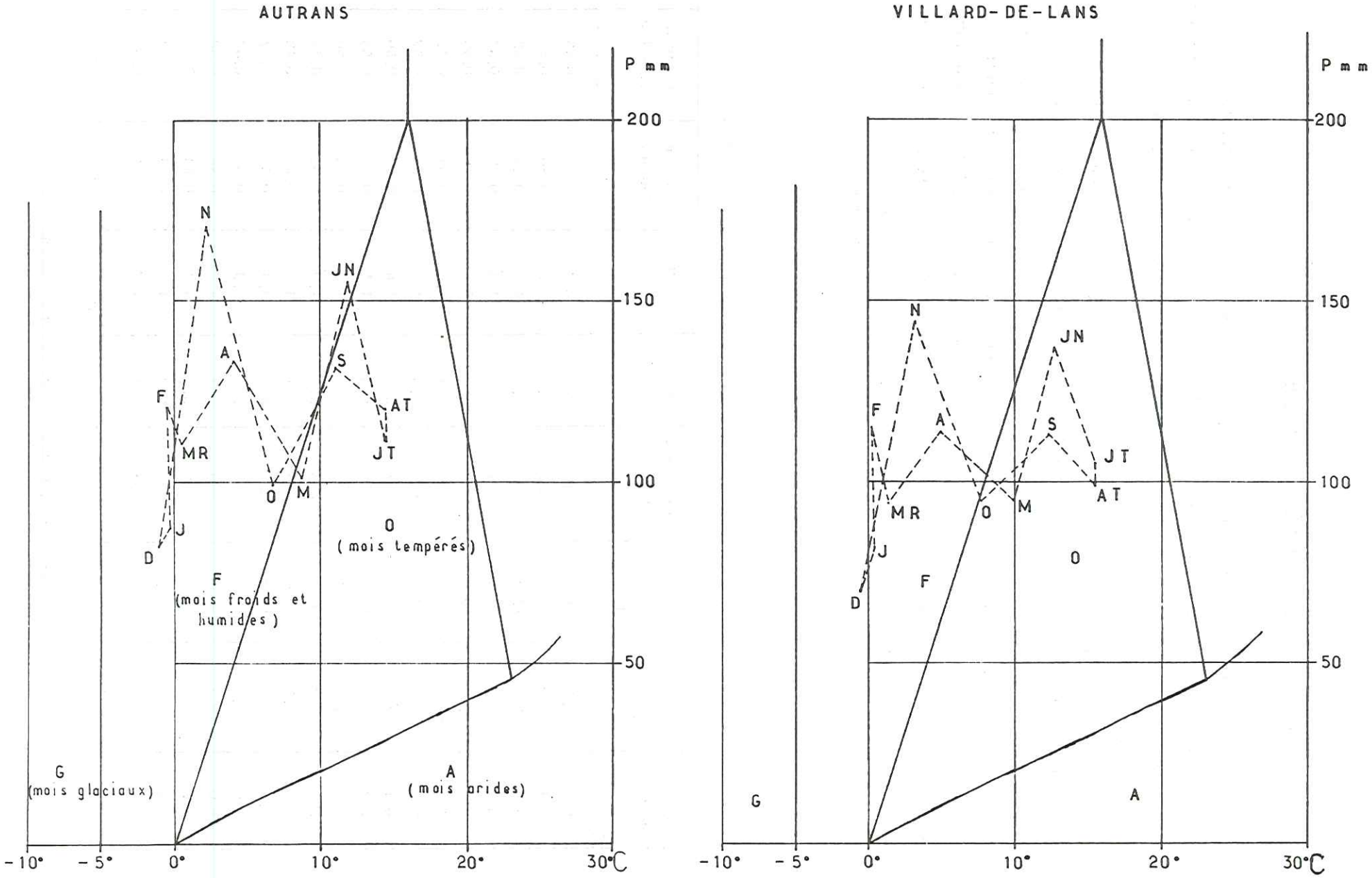


Fig. n° 3-18- Courbes Ombrothermiques selon Gaussen.

Fig. n° 3-19 CLIMOGRAMMES DE L' ANNEE MOYENNE (1969 - 1976)



3.2.3. CALCUL DU GRADIENT THERMIQUE

La relation-altitude température ou,plus clairement,la diminution de la température avec l'altitude a fait l'objet de plusieurs études dès le début de ce siècle, A. Angot (1892) donne 0.55°Ccomme valeur du gradient pour 100 mètres en Europe occidentale.

A.Donguedroit et M.C. Saintignon (Revue de Géographie alpine LVIII) trouvent un gradient de l'ordre de 0.60°C pour les températures moyennes annuelles dans les Alpes du Sud (1970) et montrent que le gradient est plus faible dans les Alpes du Nord

Dans notre cas, nous nous sommes basé sur trois stations:

Grenoble, Autrans et Villard-de-Lans pour la période 1959-1976. Après avoir trouvé une relation linéaire entre l'altitude et la température pour toutes les stations existantes dans le département de l'Isère.

Ex : année 1974 : cette équation est la suivante :

$Y = -0.04x_{alt} + 12.3$ coefficient de corrélation : $r = -0.96$

Les résultats obtenus sont donné par le tableau n° 3-23

	Autrans 1050m	V. de-Lans 1050 m	Grenoble 223 m 212 m	Différence d'altitude	Tgr-Ta	Tgr-TV.	Gradient Autrans	Gradient V. de-Lans	Gradient Moyen
1959	8.0	(8.1)	11.8	827	3.8	3.7	0.46	0.45	0.46
1960	7.3	7.2	11.4	827	4.1	4.2	0.50	0.51	0.51
1961	8.7	8.2	12.2	827	3.5	4	0.42	0.48	0.45
1962	6.8	6.5	10.8	827	4	4.3	0.48	0.52	0.50
1963	6.3	(6.6)	10.3	827	4	3.7	0.48	0.45	0.47
1964	6.7	(7.5)	11.4	827	4.7	3.9	0.57	0.47	0.52
1965	5.3	6.6	10.9	827	5.6	4.3	0.68	0.52	0.60
1966	6.4	7.2	11.8	827	5.4	4.6	0.65	0.56	0.61
1967	6.3	7.5	11.9	827	5.6	4.4	0.68	0.53	0.61
1968	6.0	7.1	11.3	838	5.3	4.2	0.63	0.50	0.57
1969	5.4	6.6	10.6	838	5.2	4.0	0.62	0.48	0.55
1970	5.7	6.8	10.8	838	5.1	4.0	0.61	0.48	0.55
1971	5.9	6.8	10.7	838	4.8	3.9	0.57	0.47	0.52
1972	6.0	7.1	11.1	838	5.1	4.0	0.61	0.48	0.55
1973	6.0	6.7	10.9	838	4.9	4.2	0.58	0.50	0.54
1974	6.2	7.2	11.5	838	5.3	4.3	0.63	0.51	0.57
1975	6.4	7.3	11.4	838	5.0	4.1	0.63	0.49	0.55
1976	6.5	7.4	11.6	838	5.1	4.2	0.61	0.50	0.56
									0.54

Tableau n°3-23 - Valeurs du gradient thermique

On remarque que la moyenne annuelle du gradient pour cette période est de l'ordre de 0.54°Ccomparable avec la valeur donnée par A.Angot 0.55°C.

La valeur du gradient varie selon les mois comme le montre le tableau n° 3-24 et la figure n° 3-20

Année moyenne 59-76.

	Jan.	Fév.	Mar.	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov	Déc.	Année
Autrans	0.32	0.52	0.68	0.70	0.67	0.68	0.67	0.65	0.64	0.56	0.47	0.38	0.58
Villard-de-Lans	0.38	0.46	0.59	0.61	0.58	0.61	0.60	0.56	0.49	0.43	0.36	0.17	0.49
Moyenne	0.35	0.49	0.64	0.66	0.63	0.65	0.64	0.61	0.57	0.50	0.42	0.28	0.54

Tableau n°3-24 Valeurs mensuelles du gradient thermique année moyenne (59.76)

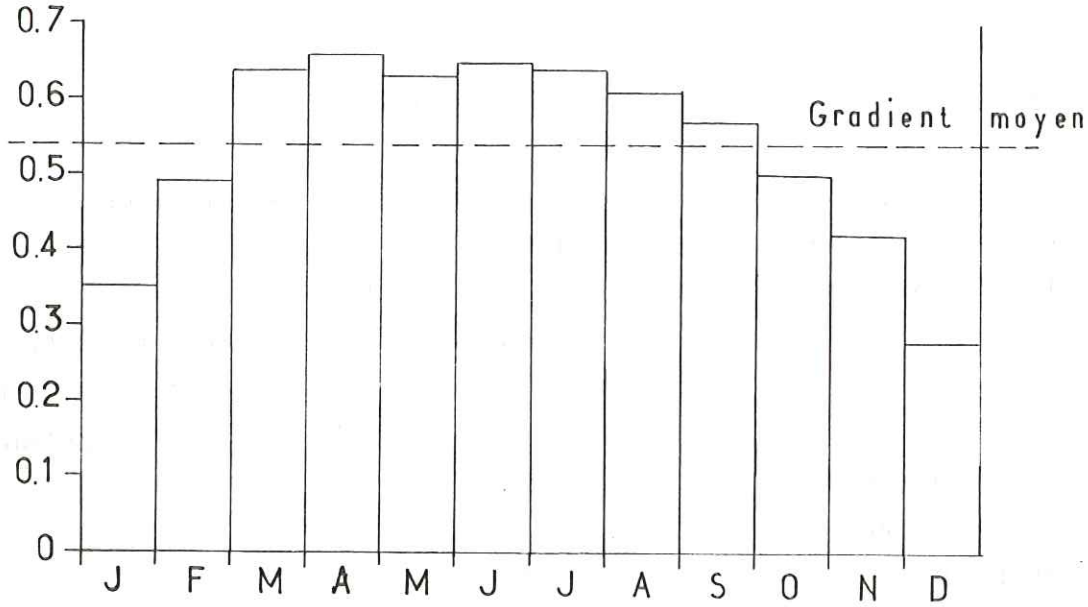


Fig. n° 3-20 GRADIENT THERMIQUE MENSUEL

ANNEE MOYENNE (59-76)

L'altitude moyenne de notre bassin est de 1259 m; par contre l'altitude des stations les plus proches , Autrans, Villard-de-Lans est 1050 m.

La variation du gradient thermique selon les mois, nous a amené à le calculer mensuellement pour la période étudiée (1969-1976).

Nous présentons les résultats obtenus dans le tableau n°3-25 .

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1969	0.27	0.62	0.56	0.6	0.58	0.64	0.63	0.66	0.61	0.41	0.50	0.53
1970	0.27	0.51	0.69	0.72	0.68	0.66	0.60	0.64	0.62	0.42	0.38	0.35
1971	0.42	0.51	0.68	0.67	0.65	0.64	0.65	0.56	0.56	0.48	0.51	0.20
1972	0.38	0.51	0.65	0.75	0.73	0.64	0.67	0.70	0.73	0.46	0.39	?
1973	0.21	0.61	0.75	0.79	0.64	0.67	0.68	0.68	0.52	0.40	0.30	0.38
1974	0.31	0.59	0.64	0.68	0.73	0.66	0.59	0.56	0.60	0.65	0.53	0.41
1975	0.32	0.38	0.70	0.74	0.67	0.68	0.65	0.59	0.5	0.43	0.50	0.40
1976	0.32	0.34	0.61	0.72	0.77	0.75	0.70	0.67	0.61	0.48	0.55	0.26

Tableau n° 3-25 - Variations mensuelles du gradient thermique

Le mois de décembre 1972 montre un phénomène relativement exceptionnel : l'inversion de température, parce que la température moyenne mensuelle à Villard-de-Lans (2.6°c) est plus élevée qu'à Grenoble (1.6°c)

La notion de gradient altimétrique perd donc ici une grande partie de sa signification.

3.2.4. RELATION ENTRE LES TROIS STATIONS DE MESURES

On a appliqué la méthode de régression linéaire multiple entre les trois stations; les résultats obtenus sont très positifs.

L'équation de régression : Y = B0 + B1X1 + B2X2

Y = Température moyenne mensuelle à Grenoble
X1 = " " " V.de-Lans
X2 = " " " Autrans

B(0) = 3.756
B(1) = 0.850
B(2) = 0.238

TABLE DE REGRESSION

Source	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne
Régression	4095.89	2	2047.94
Résiduel	131.18	92	1.43
Total	4227.06	94	

F = 1436.35

Coefficient de détermination : 0.969

Coefficient de corrélation multiple : 0.984

Erreur standard de l'estimation : 1.19

Matrice de corrélation

	Y	X1	X2
Y	1	0.997	0.984
X1	0.997	1	0.982
X2	0.984	0.982	1

3.2.5. LA TEMPERATURE MOYENNE MENSUELLE SUR LE BASSIN

L'altitude moyenne de notre bassin est 1259 m, par contre l'altitude des stations les plus proches (Autrans, Villard-de-Lans) mesurant la température est 1050 m.

Pour connaître la température moyenne mensuelle sur le bassin on se réfère donc à l'altitude moyenne, et au gradient thermique propre à chaque mois, c'est-à-dire qu'on rapporte la température moyenne mensuelle d'Autrans et de Villard-de-Lans mesurée à l'altitude 1050 m à l'altitude 1259 m.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1969	-0.9	-3.3	2.3	5.5	10.3	10.6	14.8	13.7	12.1	9.4	2.9	-5.4	6
	-1.5	-4.6	1.1	4.2	9.1	9.3	13.5	12.3	10.8	8.5	1.9	-6.5	4.9
1970	0.6	-0.6	-1.7	2.8	8.3	13.7	14.6	14.9	12.7	7.6	4.5	-2.2	6.3
	-0.0	-1.7	-3.1	1.3	6.9	12.3	13.3	13.5	11.4	6.7	3.7	-2.9	5.2
1971	-2.1	-0.6	-2.4	7.1	9.8	11.7	16.2	17.1	11.3	8.6	0.1	-0.4	6.4
	-3.0	-1.7	-3.8	5.7	8.4	10.4	14.8	15.9	10.1	7.6	-1	-0.8	5.3
1972	-1.1	1.9	3.4	4.4	8.3	11.5	14.3	13.1	8.7	7.7	4.1	2.1	6.6
	-1.9	0.8	2.04	2.83	6.8	10.2	12.9	11.6	7.2	6.7	3.3	(2.1)	5.5
1973	-0.7	-3.	-0.4	1.8	11.0	13.2	14.7	16.5	13.2	7.2	3.3	-0.7	6.4
	-1.1	-4.3	-2.0	0.2	9.7	11.8	13.3	15.1	12.1	6.4	2.7	-1.5	5.3
1974	2.5	1.1	4	5.3	8.6	11.7	14.8	15.8	10.9	1.9	2.9	1.1	6.7
	1.9	-0.1	2.7	3.9	7.1	10.3	13.6	14.6	9.6	0.5	1.8	0.2	5.5
1975	2.5	1.9	0.4	4.3	8.9	11.4	15.4	16.2	13.9	6.6	2.4	-1.1	6.9
	1.8	1.1	-1.1	2.8	7.5	10.0	14.0	14.7	12.9	5.7	1.4	-1.9	5.8
1976	-0.4	1.7	2.1	4.6	10.1	14.7	15.6	13.6	10.8	8.5	1.7	0.2	7.0
	-1.1	1.0	0.8	3.1	8.5	13.1	14.1	12.2	9.5	7.5	0.6	-0.3	5.8

Tableau n° 3-26 - Valeurs des températures moyennes mensuelles calculées d'après le gradient thermique. (en degré C)

3.2.6. LE GEL

(Température maximale sous abri 0°C)

Année	Station / Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
1969	AUTRANS	30	27	27	20	9	4	1	2	1	15	23	31	190
	VILLARD-DE-LANS	29	22	22	12	2	-	-	-	-	6	16	31	143
1970	AUTRANS	25	25	29	28	12	-	-	3	2	19	23	30	196
	VILLARD-DE-LANS	23	21	28	19	2	-	-	-	-	14	15	27	149
1971	AUTRANS	30	28	31	25	9	1	-	-	4	21	29	30	208
	VILLARD-DE-LANS	26	28	30	8	2	-	-	-	2	6	24	28	154
1972	AUTRANS	30	28	31	25	16	4	-	-	14	14	16	25	203
	VILLARD-DE-LANS	27	19	22	14	4	-	-	-	10	6	14	20	136
1973	AUTRANS	30	28	31	27	3	-	-	-	-	15	24	28	185
	VILLARD-DE-LANS	28	28	30	25	3	-	-	-	1	14	23	22	174
1974	AUTRANS	30	26	19	15	10	-	-	-	6	25	23	28	182
	VILLARD-DE-LANS	19	21	14	18	6	-	-	-	4	22	21	23	148
1975	AUTRANS	27	27	29	22	6	3	-	-	-	18	25	31	188
	VILLARD-DE-LANS	23	26	27	16	3	2	-	-	-	14	18	30	159
1976	AUTRANS	30	28	31	26	7	-	-	-	5	5	24	26	182
	VILLARD-DE-LANS	28	26	29	18	6	-	-	-	4	5	22	22	160
Moyenne 69-76	AUTRANS	29	27	29	23	9	2	-	-	4	17	23	29	192
	VILLARD-DE-LANS	25	24	25	16	4	-	-	-	3	11	19	26	153

Tableau n° 3-27 - Nombre mensuel de jours de gel aux stations d'Autrans et de Villard-de-Lans

On remarque que le nombre de jours de gel en moyenne par an à Autrans (192 jours) est plus élevé qu'à Villard-de-Lans (153 jours) ce qui prouve de nouveau que la station d'Autrans est plus froide que celle de Villard-de-Lans.

3.3. LES VENTS

Le vent est un élément important du climat. L'extrémité sud du Vercors est soumise aux influences méditerranéennes mais l'ensemble du massif est affecté surtout par des perturbations d'origine océanique.

Le régime des vents peut être schématisé de la façon suivante :

- Les vents dominants sont les vents du Nord, avec une prédominance des vents de direction NW. Les directions les plus fréquentes sont de NE, du N et du S, alors que le vent du SE est quasi inexistant.

- Le vent de NW est surtout un vent de printemps et d'été; il est particulièrement fréquent en avril, mai et juin.

- Le vent de NE souffle surtout en hiver ainsi que le vent du S, mais pour ce dernier on remarque une accalmie en février et mars et une recrudescence en avril.

- Le vent du N se manifeste principalement dans le trimestre février, mars, avril tandis que le vent d'W est plutôt un vent de printemps et de début d'été.

- Notons que le vent du sud est le plus violent, tandis que celui du NW est le plus fréquent. L'altitude du massif modifie l'effet des vents.

3.4. LA NEIGE

La neige est abondante au nord du Vercors. Les stations où l'on mesure la hauteur de neige sont Autrans et Villard-de-Lans. Le tableau n° 3-28 montre les hauteurs mensuelles en cm de neige par cumul des hauteurs quotidiennes observées dans les deux stations.

On remarque que les chutes de neige débutent au mois de novembre, quelquefois au mois d'octobre et durent jusqu'au mois d'avril. Le mois de février reçoit les plus abondantes chutes de neige, le manteau neigeux reste en permanence entre décembre et mars.

Année	Station Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T. annuel
1969	AUTRANS	27	95	18	9	-	-	-	-	-	-	39	109	297
	VILLARD-DE-LANS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1970	AUTRANS	13	158	165	98	-	-	-	-	-	7	12	84	537
	VILLARD-DE-LANS													
1971	AUTRANS	35	29	96	T	-	-	-	-	-	-	108	12	290
	VILLARD-DE-LANS													
1972	AUTRANS	89	105	36	28	T	-	-	-	-	T	23	5	286
	VILLARD-DE-LANS	98	105	38	12	T	-	-	-	-	-	10	T	263
1973	AUTRANS	56	136	36	91	T	-	-	-	-	-	31	17	367
	VILLARD-DE-LANS	57	154	25	104	0	-	-	-	-	0	26	8	374
1974	AUTRANS	21	90	31	T	T	T	-	-	T	59	59	19	279
	VILLARD-DE-LANS	8	83	30	3	T				T	48	40	18	230
1975	AUTRANS	21	11	111	75	T	-	-	-	-	03	53	33	304
	VILLARD-DE-LANS	15	10	95	76	T	-	-	-	-	03	25	37	258
1976	AUTRANS	22	75	68	48	-	-	-	-	-	-	57	50	320
	VILLARD-DE-LANS	36	75	48	30	-	-	-	-	-	-	35	37	261

Tableau n° 3-28 - Hauteur mensuelle (en cm) de la neige tombée (cumul des hauteurs quotidiennes).

Fig. n° 3-21 - Répartition mensuelle des chutes de neige à Autrans

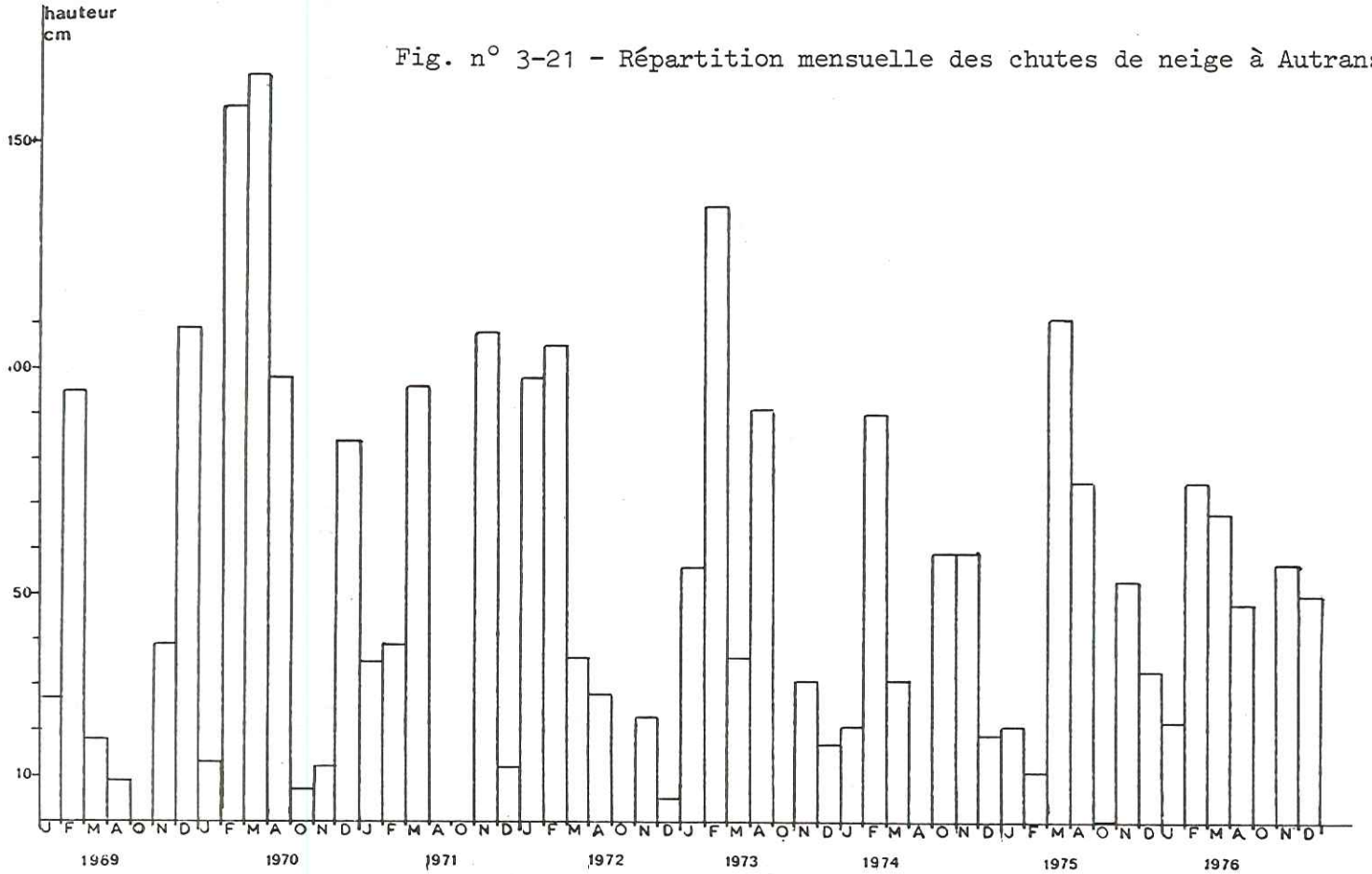
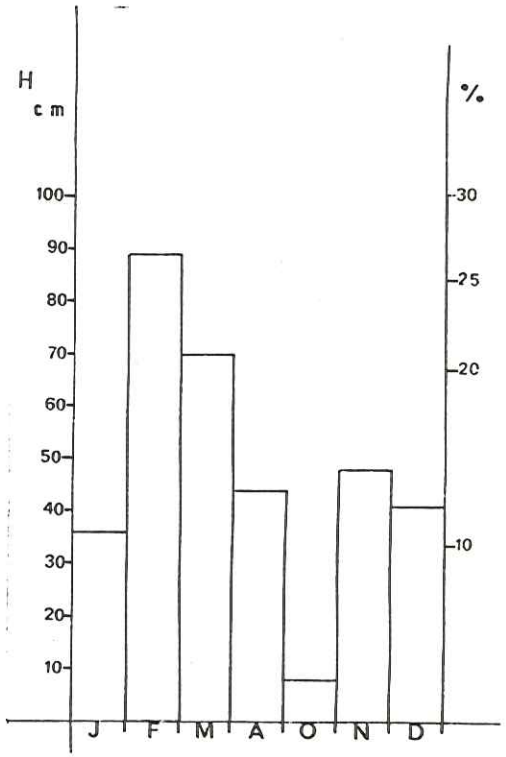


Fig. n° 3-22 -
Hauteur moyenne de la neige
1969-1976 à Autrans.



On remarque que la station d'Autrans présente des résultats plus complets que celle de Villard-de-Lans.

- Au cours des huit années de la période étudiée, les hauteurs moyennes mensuelles tombées (cumul des hauteurs quotidiennes de neige) mesurées à la station d'Autrans et les hauteurs d'eau équivalentes se répartissent ainsi.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année Total
Hauteur de neige en cm	36	89	70	44	-	-	-	-	-	8	48	41	336
Hauteur d'eau équivalente en mm	45	111.3	88	55	-	-	-	-	-	10	60	51.3	420

Tableau n°3-29 - Hauteurs moyennes mensuelles tombées et hauteurs d'eau équivalentes.

Sachant que 1 cm de neige ⟶ 1.25 mm d'eau

Soit un coefficient nivométrique annuel de $\frac{420}{1420} = 0.295$

3-5 L'INSOLATION

Le tableau suivant montre la distribution mensuelle et annuelle de la durée d'insolation en heures à la station de Villard-de-Lans, la seule mesurant ce facteur dans notre bassin.

A noter que les résultats ne sont exploitables qu'à partir de 1972.

Années \ Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
1969	-	-	-	-	245	164	264	226	182	212	97	80	
1970	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1971	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	46	91	
1972	-	99	162	132	216	202	233	211	166	142	96	87	
1973	94	86	160	153	216	213	250	220	184	149	118	66	1909
1974	92	47	113	144	180	247	289	242	-	71	71	55	
1975	87	157	87	183	170	239	333	212	125	153	73	59	1878
1976	97	118	182	169	249	340	256	237	137	91	71	79	2024
Moy. 72-76	92	101	141	156	206	248	272	224	153	121	86	69	1869

Tableau n°3-30 - Durée mensuelle et annuelle d'insolation

En moyenne la plus grande durée d'insolation appartient au mois de juillet, suivi des mois de juin et d'août.

La plus petite durée d'insolation revient au mois de décembre suivi de novembre et de janvier.

3.6. LE DÉFICIT D'ÉCOULEMENT OU ÉVAPORATION TOTALE OU ÉVAPOTRANSPIRATION

L'évapotranspiration intègre l'ensemble des phénomènes d'évaporation (physique) et de transpiration (biologique). Elle est égale à la somme des émissions d'eau vers l'atmosphère par évaporation et la transpiration pendant une période définie. Elle constitue un élément important du bilan hydrologique du bassin.

Dans notre bassin, elle a une grande importance étant donné le développement considérable de la végétation (arbres et plantes) qui couvre une bonne partie du bassin.

Les formules de calcul de l'évapotranspiration sont nombreuses, nous avons choisi les plus importantes et les plus utilisées.

- Formule de Turc,
- Formule de Coutagne,
- Formule de Thornthwaite.

3.6.1. FORMULE DE TURC

Tirée des observations faites sur 254 bassins versants sous tous les climats, elle est du type E = f (P,T). Elle fait intervenir les précipitations moyennes et la température moyenne, à noter que les résultats obtenus par cette formule sont approximatifs.

Evapotranspiration "réelle" $E_r = \dfrac{P}{\sqrt{0.9 + \dfrac{P^2}{L2}}}$

P : Précipitations annuelles en mm

T : Température annuelle en C°

L : 300 + 25 T + 0.05 T3

Cette formule a été appliquée sur les stations d'Autrans et de Villard-de-Lans, les seules stations mesurant la température, et la moyenne obtenue représente la valeur de l'évapotranspiration du bassin.

Le tableau n°3-31 représente pour la période 1969-1976 les valeurs de l'évapotranspiration pour les stations d'Autrans et de Villard-de-Lans ainsi que la moyenne pour la même période.

Stations / Année	AUTRANS	VILLARD-DE-LANS	MOYENNE	EN TENANT COMPTE DU GRADIENT THERMIQUE
1969	425 mm	454 mm	440 mm	411 mm
1970	438 mm	462 mm	450 mm	423 mm
1971	432 mm	451 mm	442 mm	415 mm
1972	437 mm	458 mm	448 mm	420 mm
1973	441 mm	449 mm	445 mm	417 mm
1974	449 mm	472 mm	461 mm	428 mm
1975	455 mm	471 mm	463 mm	435 mm
1976	444 mm	467 mm	456 mm	426 mm
Moyenne 69-76	440 mm	461 mm	451 mm	422 mm

Tableau n°3-31 - Valeurs de l'évapotranspiration selon la formule de Turc

3.6.2. FORMULE DE COUTAGNE . Cette formule permet de calculer le déficit d'écoulement que l'on peut rapprocher de l'évapotranspiration réelle.

Cette formule fait intervenir la pluviométrie et la température

$$D = P - \lambda^2 \qquad \text{avec} \quad \lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14\ T.}$$

D = déficit en m/an

P = précipitations annuelles en m

T = température moyenne annuelle en°C

Cette formule n'est applicable que pour P compris entre $\frac{1}{8\lambda}$ et $\frac{1}{2\lambda}$.

Dans notre bassin cette formule ne s'applique pas, en raison des fortes précipitations qui sont toujours supérieures à $\frac{1}{2\lambda}$ et $\frac{1}{8\lambda}$

Donc on peut admettre que le déficit est pratiquement indépendant de P ; il est donné par la formule suivante :

$$D = \frac{1}{4\lambda} = \frac{(0,8 + 0,14\ T)}{4}$$

$$D = 0,20 + 0,035\ T$$

Le tableau n°3-31 présente les résultats obtenus.

Stations / Année	AUTRANS	VILLARD-DE-LANS	MOYENNE	EN TENANT COMPTE DU GRADIENT THERMIQUE
1969	389 mm	431 mm	410 mm	372 mm
1970	400 mm	438 mm	419 mm	382 mm
1971	407 mm	438 mm	423 mm	386 mm
1972	410 mm	449 mm	430 mm	393 mm
1973	410 mm	435 mm	423 mm	386 mm
1974	417 mm	452 mm	435 mm	393 mm
1975	424 mm	456 mm	440 mm	403 mm
1976	428 mm	459 mm	444 mm	403 mm
Moyenne 69-76	411 mm	445 mm	428 mm	390 mm

Tableau n°3-32 - Valeurs de l'évapotranspiration selon la formule de Coutagne.

Coutagne propose une deuxième formule :

D = 210 + 30 T

D = déficit d'écoulement en m

T = température moyenne annuelle

L'application de cette formule nous donne les résultats suivants :

Stations / Année	AUTRANS	VILLARD-DE-LANS	MOYENNE	EN TENANT COMPTE DU GRADIENT THERMIQUE
1969	372 mm	408 mm	390 mm	357 mm
1970	381 mm	414 mm	398 mm	366 mm
1971	387 mm	414 mm	401 mm	369 mm
1972	390 mm	423 mm	407 mm	375 mm
1973	390 mm	411 mm	401 mm	369 mm
1974	396 mm	426 mm	411 mm	375 mm
1975	402 mm	429 mm	416 mm	384 mm
1976	405 mm	432 mm	419 mm	384 mm
Moyenne 69-76	390 mm	420 mm	405 mm	372 mm

Tableau n°3-33 - Valeurs de l'évapotranspitation selon la deuxième formule de Coutagne.

3.6.3. FORMULE DE C.W . THORNTHWAITE

Cette formule a l'avantage d'exprimer non pas seulement le pouvoir évaporant annuel du climat (appelé évapotranspiration potentielle)mais les pouvoirs mensuels.

Les données climatiques dont il fait état sont :

1) Les températures mensuelles successives.

2) La latitude, ou plus exactement la durée théorique de l'insolation.

Elle soulève par contre certaines objections telles que les suivantes :

a) Elle ne tient pas compte d'un des facteurs essentiels du climat: l'humidité de l'air.

b) Elle conduit à des valeurs annuelles trop faibles pour les températures T = 15° à 20 °c mais tel n'est pas le cas pour notre bassin.

c) La loi de croissance, exprimée par la formule mensuelle $Ep = Ct^{\alpha}$, repose sur un coefficient qui croît trop vite avec la température.

d) La répartition saisonnière du pouvoir évaporant annuel est souvent très différente de celle résultant d'autres observations lysimétriques ou météorologiques.

La formule $= Ep = ct^{\alpha}$

c, α : coefficients qui ne sont pas indépendants et varient en sens inverse.

$$\alpha = 0.49239 + 1792 \times 10^{-5} I - 771 \times 10^{-7} I^{2} + 675 \times 10^{-9} I^{3}$$

ou selon Serra $\alpha = \frac{1.6}{100} I + 0.5$

$$C = 1.6 \left(10/I \right)^{\alpha}$$

$$I = \sum_{1}^{12} i \qquad i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.515}$$

3.6.3.1. Significations des paramètres

Ep = évaporation potentielle en m
t = température moyenne mensuelle en C°
I = indice thermique annuel
i = indice thermique mensuel

- Pour faciliter les calculs, on a recours aux abaques pour calculer les indices mensuels en connaissant les températures.
(de même les Ep peuvent être calculées graphiquement).

- Les valeurs de Ep ainsi calculées sont affectées d'un coefficient K correctif qui tient compte de la latitude, c'est-à-dire de la durée d'insolation théorique et du nombre de jours du mois.

On utilise un abaque pour déterminer le coefficient K

Stations / Année	En utilisant la température moyenne	En tenant compte du gradient thermique
1969	536	506
1970	520	487
1971	527	499
1972	543	512
1973	520	486
1974	542	497
1975	537	503
1976	543	506
Moyenne	533	500

Tableau n°3-34 - Valeurs de l'évapotranspiration potentielle selon Thornthwaite.

Le tableau n° 3-35 regroupe les valeurs de l'évapotranspiration annuelle obtenues par les différentes méthodes.

	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	Moyenne 69-76
Formule de TURC E_r	440	450	442	448	445	461	463	456	451
En tenant compte du gradient thermique	411	423	415	420	417	428	435	426	422
Première formule de Coutagne E_r	410	419	423	430	423	435	440	444	428
En tenant compte du gradient thermique	372	382	386	396	386	393	403	403	390
Deuxième formule de Coutagne E_r	390	398	401	407	401	411	416	419	405
En tenant compte du gradient thermique	357	366	369	375	369	375	384	384	372
Formule de Thornthwaite E_p	536	520	527	543	520	542	537	543	533
En tenant compte du gradient thermique	506	487	499	512	486	497	503	506	500

Tableau n° 3-35 - Valeurs de l'évapotranspiration annuelle obtenues par les différentes méthodes.

3.6.4. DISCUSSION DES RESULTATS

- D'après le tableau précédent, nous constatons que les valeurs de l'évapotranspiration varient en fonction des méthodes utilisées, les valeurs obtenues par la première formule de Coutagne et la formule de Turc sont proches les unes des autres, tandis que la formule de Thornthwaite donne des valeurs plus élevées, ce qui est normal puisqu'il s'agit de l'évapotranspiration potentielle, quant à la deuxième formule de Coutagne elle nous donne de faibles valeurs.

- Il est à noter que les valeurs obtenues par ces formules ne sont que des estimations assez imprécises et que les valeurs représentatives de l'évapotranspiration, ressortiront après le calcul du bilan hydrologique.

On constate aussi que:

- Les variations de l'évapotranspiration d'une année à l'autre ne sont pas marquées, ce qui constitue un défaut de ces méthodes de calcul.

3.6.5. CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE A L'AIDE DU BILAN HYDROLOGIQUE (SELON THORNTHWAITE)

Nous avons calculé l'évapotranspiration réelle mensuelle et annuelle à l'aide du bilan hydrologique pour chaque année de la période d'étude (1969-1976). Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux

Cette méthode est basée sur l'hypothèse fondamentale suivante. L'amplitude de la variation du volume d'eau contenu superficiellement dans le sol est de 100 mm, elle peut atteindre 200 ou 300 mm sous certains climats.

Dans notre bassin nous avons adopté une réserve d'eau égale à 100 mm.

Deux cas se présentent :

1) La hauteur des précipitations mensuelles est égale ou supérieure à l'évapotranspiration potentielle mensuelle.

On a alors Ep = Er

La différence entre les précipitations et l'Ep donne l'excédent qui provoque l'écoulement.

2) La hauteur des précipitations mensuelles est inférieure à l'Ep

Dans ce cas Er = Ep jusqu'à l'épuisement des réserves du sol. Après l'épuisement des réserves du sol Er est inférieur à Ep et le déficit apparaît.

En conclusion un tel bilan montre comment agit en gros le pouvoir évaporant du climat; de même il donne une estimation de l'écoulement.

Durant la période d'étude 1969-1976, nous constatons que Er = Ep. Il y a donc excédent, ce qui implique un écoulement, exception faite des mois d'Août, Septembre, Octobre de l'année 1971, où Er est inférieure à Ep, ce qui signifie qu'il y a déficit.

En considérant que l'écoulement calculé à l'aide du bilan hydrologique (selon Thornthwaite) représente l'écoulement souterrain et par conséquent l'infiltration. Le rapport entre ce terme et les précipitations nous donne le pourcentage du coefficient de l'infiltration qui varie entre 50 % et 66 % selon les années avec une moyenne de 58 %.

	Jan.	Fév.	Mars.	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Température moyenne	-0.85	-3.25	2.25	5.50	10.3	10.6	14.8	13.7	12.1	9.4	2.85	-5.4	6°C
Précipitations en mm	95	104	68	109	105	207	141	92	88	3	187	115	1314 mm
Ep. potentielle	-	-	15.3	33.2	58.1	59.6	80.2	74.9	67.1	53.6	18.8	-	460.8 mm
Coefficient K (correctif)	0.81	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75	
Ep. corrigée	-	-	16	38	74	77	105	91	70	50	15	-	536 mm
P-Ep en mm	95	104	52	71	31	130	36	1	18	-47	172	115	
Variation de la réserve d'eau	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	47	-	
Réserve d'eau du sol	100	100	100	100	100	100	100	100	100	53	100	100	
Ep. réelle	-	-	16	38	74	77	105	91	70	50	15	-	536 mm
Déficit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Excédent	95	104	52	71	31	130	36	1	18	-	125	115	778 mm
Ecoulement	93	99	75	73	52	91	64	32	25	13	69	92	778 mm
Coefficient mensuel d'humidité	0	0	3.25	1.87	0.42	1.69	9.34	0.01	0.26	-0.94	11.47	0	

$$I = \frac{778}{1314} = 59\ \%$$

Tableau n°3-36 - Bilan de l'eau d'après Thornthwaite -Année 1969 -

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Température moyenne	0.6	-0.6	-1.7	2.8	8.3	13.7	14.6	14.9	12.7	7.6	4.5	-2.2	6.3°C
Précipitations en mm	108	269	172	230	105	122	44	76	71	120	126	89	1532 mm
Ep. potentielle	4.6	-	-	18.1	47.8	74.8	79.2	80.6	69.9	44.2	27.7	-	447 mm
Coefficient K (correctif)	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75	
Ep. corrigée	4	-	-	20	61	96	104	98	73	32	22	-	520 mm
P-Ep en mm	104	269	172	210	44	26	-60	-22	-2	78	104	89	
Variation de la réserve d'eau	-	-	-	-	-	-	-60	-22	-2	78	6	-	
Réserve d'eau du sol	100	100	100	100	100	100	40	18	16	94	100	100	
Ep. réelle	4	-	-	20	61	96	104	98	73	42	22	-	520 mm
Déficit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Excédent	104	269	172	210	44	26	-	-	-	-	98	89	1012 mm
Ecoulement	87	178	175	193	118	72	36	18	9	5	51	70	1012 mm
Coefficient mensuel d'humidité	26	0	0	10.5	0.72	0.27	-0.58	-0.22	0.03	1.86	4.73	0	

$$I = \frac{1012}{1532} = 66\ \%$$

Tableau n° 3-37 - Bilan de l'eau d'après Thornthwaite -Année 1970-

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Température moyenne	-2.1	-0.6	-2.4	7.1	9.8	11.7	16.2	17.1	11.3	8.6	0.1	-0.4	6.4°C
Précipitations en mm	86	47	165	157	148	172	45	70	42	32	178	8	1150 mm
Ep. potentielle	-	-	-	40.1	53.9	63.5	85.7	90.1	61.5	47.8	0.8	-	443.4 mm
Coefficient K (correctif)	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.70	0.75	
Ep. corrigée	-	-	-	45	69	82	112	109	64	45	1	-	527 mm
P-Ep en mm	86	47	165	112	79	90	-67	-3	-22	-13	177	8	
Variation de la réserve d'eau	-	-	-	-	-	-	-67	-3	-22	-13	-	-	
Réserve d'eau du sol	100	100	100	100	100	100	33	-	-	-	100	100	
Ep. réelle	-	-	-	45	69	82	112	103	42	32	1	-	486 mm
Déficit	-	-	-	-	-	-	-	6	22	13	[illegible]	-	41 mm
Excédent	86	47	165	112	79	90	-	-	-	-	77	8	664 mm
Ecoulement	55	51	108	110	95	92	46	23	12	6	41	25	664 mm
Coefficient mensuel d'humidité	-	-	-	2.49	1.14	1.1	-0.60	-0.36	-0.34	-0.29	177	-	

$$I = \frac{664}{1150} = 58\ \%$$

Tableau n°3-38 - Bilan de l'eau d'après Thornthwaite -Année 1971-

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Température moyenne	-1.1	1.9	3.4	4.4	8.3	11.5	14.3	13.1	8.7	7.7	4.1	2.1	6.6°C
Précipitations en mm	80	185	69	106	65	129	44	82	57	85	123	55	1080 mm
Ep. potentielle	-	14.2	23.4	29.1	50.1	66.1	79.6	73.90	52.1	47	27.4	155	
Coefficient K (correctif)	-	12	24	33	64	85	104	89	54	44	23	12	5 43 mm
Ep. corrigée	80	173	45	73	1	44	-60	-7	3	41	101	43	
P-Ep en mm	-	-	-	-	-	-	-60	-7	3	41	23	-	
Variation de la réserve d'eau	100	100	100	100	100	100	40	33	36	77	100	100	
Ep. réelle	-	12	24	33	64	85	104	89	54	44	22	12	543 mm
Déficit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Excédent	80	173	45	73	1	44	-	-	-	-	78	43	537 mm
Ecoulement	61	117	81	77	39	41	21	10	5	3	40	43	537 mm
Coefficient mensuel d'humidité		14.4	1.88	2.21	0.02	0.52	+0.58	-0.08	0.06	0.93	4.59	3.58	

$$I = \frac{537}{1080} = 50\ \%$$

Tableau n°3-39 - Bilan de l'eau d'après Thornthwaite -Année 1972-

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Température moyenne	-0.65	-3.0	-0.4	1.8	11.0	13.2	14.7	16.5	13.2	7.2	3.3	0.7	6.4°C
Précipitations en mm	81	92	34	93	72	118	267	49	84	61	84	68	1104 mm
Ep. potentielle	-	-	-	11.5	60.4	71.3	78.7	87.4	71.3	41.1	20.1	-	444.3
Coefficient K (correctif)	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75	
Ep. corrigée	-	-	-	13	77	92	103	106	74	39	16	-	520
P- Ep en mm	81	92	34	80	-5	26	164	-57	10	22	68	68	
Variation de la réserve d'eau	-	-	-	-	-5	+5	-	-57	10	22	25	-	
Réserve d'eau du sol	100	100	100	100	95	100	100	43	53	75	100	100	
Ep. réelle	-	-	-	13	77	92	103	106	74	39	16	-	520 mm
Déficit	-	-	-	-	-	-	-	-	--	-	-	-	
Excédent	81	92	34	80	-	21	164	-	-	-	43	68	583 mm
Ecoulement	64	78	56	68	34	28	96	48	24	12	27		583 mm
Coefficient mensuel d'humidité	-	-	-	6.15	0.06	0.28	1.59	-0.54	0.14	0.56	4.25	-	

$$I = \frac{583}{1103} \quad 53\ \%$$

Tableau n°3-40 - Bilan de l'eau d'après Thornthwaite -Année 1973-

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Température moyenne	2.5	1.1	4.00	5.3	8.6	11.7	14.8	15.8	10.9	1.9	2.9	1.1	6.7°C
Précipitations en mm	73	128	81	42	83	112	61	123	189	177	237	91	1397 mm
Ep. potentielle	16.6	8.4	25.9	33.1	50.5	66.1	81.1	85.9	62.1	13.53	19.6	8.40	471.2 mm
Coefficient K (correctif)	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75	
Ep. corrigée	13	7	26	37	65	85	106	104	65	13	15	6	542 mm
P-Ep en mm	60	121	55	5	18	27	-45	19	124	164	222	85	
Variation de la réserve d'eau	-	-	-	-	-	-	-45	19	26	-	-	-	
Réserve d'eau du sol	100	100	100	100	100	100	55	74	100	100	100	100	
Ep. réelle	13	7	26	37	65	85	106	104	65	13	15	6	542 mm
Déficit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Excédent	60	121	55	5	18	27	-	-	98	164	222	85	855 mm
Ecoulement	93	107	81	43	30	29	14	7	53	108	165	125	855 mm
Coefficient mensuel d'humidité	4.62	17.29	2.12	0.14	0.28	0.32	-0.42	0.18	1.91	12.62	14.80	14.17	

$$I = \frac{855}{1397} = 61\ \%$$

Tableau n°3-41 - Bilan de l'eau d'après Thornthwaite -Année 1974-

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Température moyenne	2.5	1.9	0.4	4.3	8.9	11.4	15.4	15.9	13.9	6.6	2.4	-1.1	7°C
Précipitations en mm	138	16	124	89	180	83	64	127	217	75	171	91	1375 mm
Ep. potentielle	15.9	12.39	3	26	50.2	62.8	82.5	84.9	75.1	38.3	15.3	-	466.4 mm
Coefficient K (correctif)	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75	
Ep. corrigée	13	10	3	20	64	81	108	103	78	36	12	-	537 mm
P-Ep en mm	125	6	121	60	116	2	-44	24	139	39	159	91	
Variation de la réserve d'eau	-	-	-	-	-	-	-44	24	20	-	-	-	
Réserve d'eau du sol	100	100	100	100	100	100	56	80	100	100	100	100	
Ep. réelle	13	10	3	29	64	81	108	103	78	36	12	-	537 mm
Déficit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Excédent	125	6	121	60	116	2	6	6	119	39	159	91	838 mm
Ecoulement	112	59	90	75	95	49	24	12	66	52	106	98	838 mm
Coefficient mensuel d'humidité	9.62	0.60	40.33	2.07	1.81	0.02	-0.41	0.23	1.78	1.08	13.25	-	

$$I = \frac{838}{1375} = 61\ \%$$

Tableau n°3-42 - Bilan de l'eau d'après Thornthwaite -Année 1975-

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Température moyenne	-0.4	1.7	2.1	4.6	10.1	14.7	15.6	13.6	10.8	8.5	1.7	0.2	7°C
Précipitations en mm	24	91	78	69	24	74	105	131	161	125	152	95	1129 mm
Ep. potentielle	-	11.2	13.6	27.6	56.3	79.1	83.4	73.7	59.8	48.2	11.2	1.6	465.7 mm
Coefficient K (correctif)	0.80	0.85	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75	
Ep. corrigée	-	10	13	31	72	102	109	89	62	45	9	1	543 mm
P-Ep en mm	24	81	65	38	-48	-28	-4	42	99	80	143	94	
Variation de la réserve d'eau	-	-	-	-	-48	-28	-4	42	38	-	-	-	
Réserve d'eau du sol	100	100	100	100	52	24	20	62	100	100	100		
Ep. réelle	-	10	13	31	72	102	109	89	62	45	9	1	543 mm
Déficit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Excédent	24	81	65	38	-	-	-	-	61	80	143	94	586 mm
Ecoulement	60	71	68	53	26	13	7	3	32	56	100	97	586 mm
Coefficient mensuel d'humidité	-	8.1	5	1.23	-0.67	-0.27	-0.04	0.47	1.60	1.78	15.89	94	

Tableau n° 3-43- Bilan de l'eau d'après Thornthwaite -Année 1976-

$$I = \frac{536}{1124} = 52\ \%$$

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Température moyenne	0.7	0.83	1.5	4.5	9.4	12.3	15.1	15.1	11.7	7.2	2.7	0.83	
Précipitations en mm	86	117	99	112	98	127	96	94	114	85	157	77	1260 mm
Ep. potentielle	4.6	5.8	10.15	27.3	53.4	67.9	81.3	81.4	64.9	41.7	17.6	3.2	
Coefficient K (correctif)	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75	
Ep corrigée	4	5	10	31	68	88	107	98	67	39	14	2	533 mm
P-Ep en mm	81	112	88	81	30	39	-11	-4	47	46	143	75	
Variation de la réserve d'eau	-	-	-	-	-	-	-11	-4	15	-	-	-	
Réserve d'eau du sol	100	100	100	100	100	100	89	85	100	100	100	100	
Ep réelle	4	5	10	31	68	88	107	98	67	39	14	2	533 mm
Déficit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Excédent	81	112	88	81	30	39	-	-	32	46	143	75	727 mm
Ecoulement	81	97	92	87	58	49	24	12	22	34	89	82	727 mm
Coefficient mensuel d'humidité	20.25	22.40	8.80	2.61	0.44	0.44	-0.10	-0.04	0.70	1.18	10.21	37.50	

$$I = \frac{727}{1\,260} = 58\ \%$$

Tableau n° 3-44- Bilan de l'eau d'après Thornthwaite - Année moyenne 69-76 -

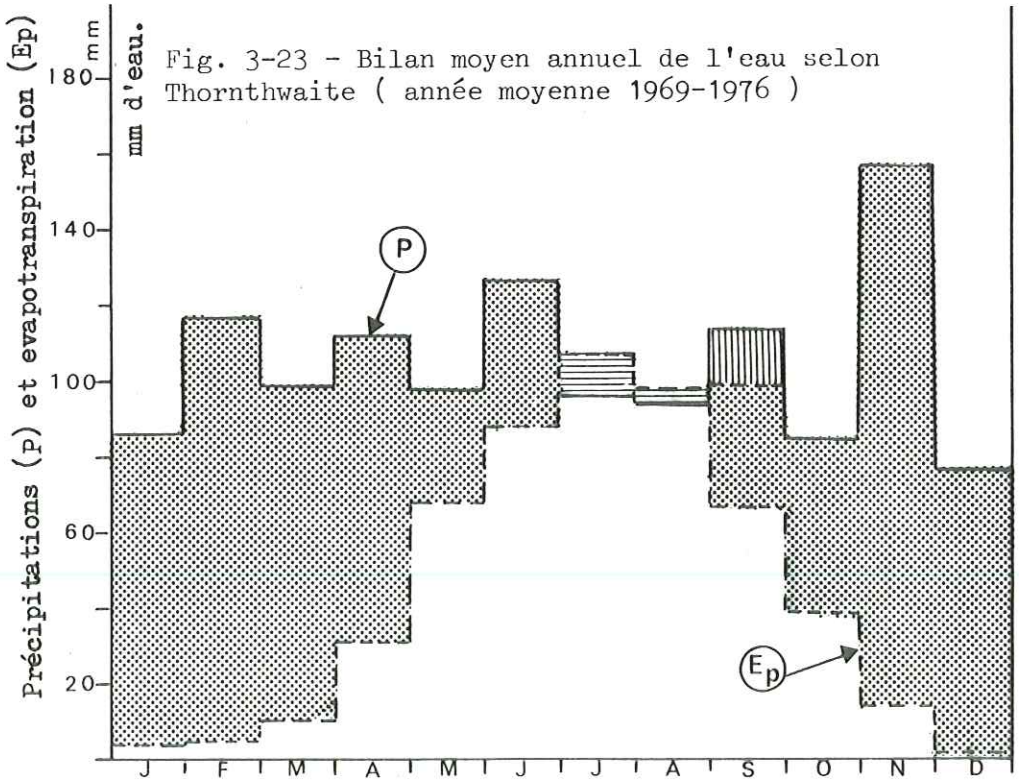


Fig. 3-23 - Bilan moyen annuel de l'eau selon Thornthwaite (année moyenne 1969-1976)

Eau disponible pour l'écoulement souterrain

Restitution à la végétation de la réserve d'eau emmagasinée par le sol

Reconstitution des réserves d'eau du sol

3.7. CONCLUSION

Nous avons consacré une bonne partie de ce chapitre à l'étude des précipitations en raison de leur importance dans toute étude hydrogéologique. Elles représentent le facteur principal du bilan hydrologique.

Les hauteurs d'eaux précipitées mesurées aux stations pluviométriques sont des valeurs ponctuelles. L'extrapolation de ces valeurs à l'échelle régionale est une source d'erreur. Il est donc nécessaire de multiplier les stations de mesures pour avoir des valeurs plus homogènes et plus représentatives mais ce n'est pas toujours possible surtout dans une région montagneuse.

Notre bassin ne possède qu'une seule station propre, la station d'Engins à 838 m d'altitude ,et plusieurs stations plus ou moins proches. Les plus représentatives sont les stations d'Autrans et Villard-de-Lans à 1050 m d'altitude.

Cela nous a amené à employer diverses méthodes statistiques pour caractériser chacune des trois stations considérées comme les plus représentatives. On a utilisé notamment la régression linéaire pour déterminer les relations qui existent entre elles et estimer les valeurs manquantes. Les méthodes des isohyètes de Thiessen, des moyennes arithmétiques, nous ont permis de passer des observations ponctuelles à des valeurs régionales.

Notre but étant de définir le régime détaillé des précipitations tombant sur notre bassin à l'échelle annuelle, mensuelle, journalière afin de savoir leur influence sur les débits(sujet du chapitre IV), on a été amené à étudier les séries chronologiques de 1920 à 1976 en insistant sur notre période d'étude(1969-1976.)

Précisons que le gradient altimétrique de précipitations n'a pas de sens, car ce n'est pas l'altitude qui conditionne l'augmentation de précipitations mais d'autres facteurs comme l'exposition. Ce phénomène complique les calculs,d'où l'intérêt de l'utilisation des méthodes statistiques. La variation marquée des précipitations mensuelles mesurées aux deux stations de Villard-de-Lans (Gendarmerie , Mairie), qui sont à la même altitude 1050 m,démontre d'ailleurs la non validité du gradient altimétrique.

Août	Septembre	Décembre		
145 mm	161 mm	205 mm	(Gendarmerie)	1968
172 mm	185 mm	158 mm	(Mairie)	

Cette variation est due à la non homogénéité des averses tombées sur le bassin.

Durant la période (1920-1926),les coefficients de variations des précipitations annuelles calculées pour les trois stations, ne dépassaient pas 0.21 %, ce qui montre qu'à l'échelle annuelle le régime des précipitations ne présente pas beaucoup d'irrégularité.

Les précipitations des années 1970, 1974, 1975 sont excédentaires, tandis que les années 1971, 1972, 1976 sont déficitaires par rapport à la moyenne trentenaire (1936-1965).

Durant notre période d'étude le régime saisonnier n'est pas bien marqué, il est donc difficile de définir une saison sèche et une saison humide.

Quant aux précipitations mensuelles on remarque que le coefficient relatif varie entre 0.02 et 2.34 ce qui correspond au mois le plus sec (3mm) et au mois le plus humide 284 mm.

Cela prouve une irrégularité dans la répartition des précipitations; le mois sec dans une année peut être humide dans une autre.

Le mois de mai 1976 (24mm) représente la plus faible valeur observée durant la période 1920-1976.

De l'étude des précipitations journalières appliquée à la station d'Engins se dégagent les résultats suivants.

Il pleut 130 jours en moyenne par an. 66 % des jours de précipitations ont des valeurs comprises entre 0 et 10 mm, 34 % des jours de précipitations ont des valeurs dépassant 10 mm.

Par rapport à la hauteur d'eau annuelle moyenne précipitée, 25 % de la hauteur d'eau annuelle moyenne précipitée se rapporte à des précipitations journalières de moins de 10 mm, 52 % de cette hauteur correspond à des précipitations journalières de moins de 20 mm, 75 % de cette lame d'eau précipitée correspond à des précipitations journalières de moins de 30 mm.

L'étude de la température était consacrée aux valeurs des deux stations Autrans et Villard-de-Lans les seules mesurant les températures dans notre région. Nous la résumons ainsi :

Autrans : les températures annuelles de la période d'étude varient entre 5°4c et 6°5c avec une moyenne de 6°c. Elles présentent de faibles écarts par rapport à la moyenne (59-76) qui est de l'ordre de 6.5°c.

Quatre mois (Décembre, Janvier, Février, Mars) connaissent des températures négatives. Le mois le plus froid de l'année est Décembre, le plus chaud Août.

Les températures journalières extrêmes ne dépassent pas 32°c en été et s'abaissent en hiver jusqu'à - 19°c.

Villard-de-Lans : les moyennes mensuelles varient entre - 5.2°c et 17.7°c et les températures annuelles entre 6.6°c - 7.4°c. Les températures journalières extrêmes ne dépassent pas 31°c en été et s'abaissent en hiver jusqu'à - 18.2°c

Les mois de Décembre, Janvier, Février connaissent des températures négatives. Les mois d'été ne sont pas chauds mais plutôt tièdes.

La station d'Autrans avec 192 jours de gel par an est plus froide que celle de Villard-de-Lans avec 153 jours de gel.

La moyenne des valeurs de ces deux stations a été utilisée dans les calculs.

Le climat est humide et tempéré;cela a été vérifié par les courbes ombrothermiques (les courbes pluviométriques se situent au-dessus des courbes thermiques) et par l'étude des climogrammes (les mois sont groupés dans le secteur froid et humide et le secteur tempéré).

Pour le calcul du gradient thermique,nous nous sommes basés sur trois stations Grenoble, Autrans, Villard-de-Lans. La valeur obtenue est 0.54°c pour 100 m , ce gradient nous permet de rapporter la température à l'altitude moyenne du bassin.

A noter qu'il existe une indépendance statistique entre les précipitations et les températures.

La neige est abondante dans le Nord du Vercors. Les chutes débutent au mois de Novembre et la fonte au mois de Mars. La présence du manteau neigeux durant plusieurs mois va influencer et perturber le regime des débits des émergences que nous allons étudier dans le chapitre de l'hydrologie.

L'ensemble du massif est affecté surtout par des perturbations océaniques. Les vents dominants sont les vents du Nord; le vent du Sud est plus violent.

L'altitude du massif modifie l'effet des vents.

Le rôle de l'insolation est bien connu dans le processus de fonte des neiges. La durée annuelle moyenne de l'insolation mesurée depuis 1972 est de l'ordre de 1869 heures en moyenne. Le mois de Juillet se présente comme le mois le plus ensoleillé. Tandis que le mois de Décembre se présente comme le moins ensoleillé.

Pour le calcul de l'évapotranspiration on a utilisé trois formules, celles de Turc, de Coutagne et de Thornthwaite,ainsi que le bilan hydrologique (selon Thornthwaite). Les valeurs obtenues sont comparables et varient,selon la méthode utilisée,entre 390 mm et 536 mm ce qui correspond à un pourcentage de précipitations variant entre 30 % et 40 %. En tenant compte du gradient thermique on a obtenu , des valeurs moins élevées.

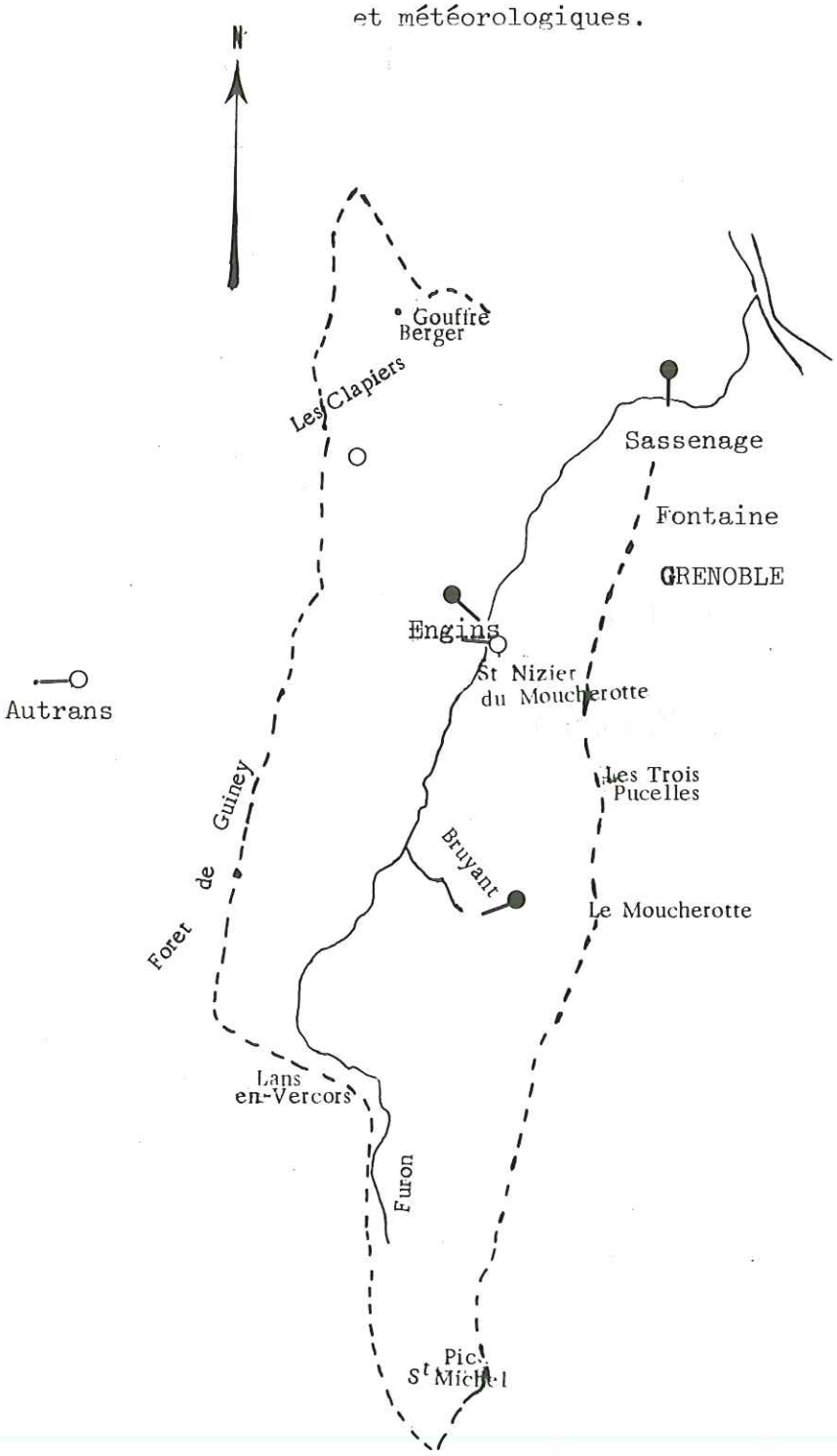
En résumé, le climat de notre bassin versant se traduit par une répartition assez régulière des précipitations au cours de l'année,mais un stockage provisoire sous forme de neige pendant plusieurs mois et la fonte rapide du stock neigeux déterminent un régime des infiltrations nettement différent de celui des précipitations.

Le régime des débits écoulés sera donc étroitement lié à ces conditions particulières, ce qui rendra l'étude des relations précipitations-débit assez difficile,compte tenu également de l'imprécision des données concernant les précipitations en altitude.

CHAPITRE IV

HYDROLOGIE

Fig. n° 4-1 - Répartition spatiale des stations de jaugeages et météorologiques.



Villard de-Lans

Station de jaugeages

Station météorologiques

Echelle 1/100 000

Limite du bassin versant du Furon

4 - HYDROLOGIE

4.1. LES STATIONS DE JAUGEAGES

Il existe trois stations de jaugeage sur le bassin du Furon et la figure n° 4-1 indique leur répartition spatiale. Elles sont équipées chacune d'un limnigraphe OTT X réduction 1/5.

4.1.1. STATION D'ENGINS

La station d'Engins est située en amont immédiat de la retenue d'Engins à 835 m d'altitude. Elle permet de mesurer le débit du Furon et de son affluent le Bruyant. Elle a été mise en service au mois de mai 1962 et son exploitation a été arrêtée le 31 décembre 1966.

La station d'Engins a été de nouveau mise en service le 13 juin 1969 et continue d'être exploitée.

Notre période d'étude concerne donc les années 69,70,71,72,73,74,75,76.

Nous pouvons considérer que les mesures effectuées dans la station d'Engins, sont plus fiables et précises que celles faites dans les autres stations, car la section retenue offre une grande régularité du rapport hauteur-débit.

Il faut noter aussi que cette station est à contrôle artificiel (seuil bétonné).(photo n°1)

Nous présentons dans la figure n°4-2 les courbes de tarage obtenues pour la période d'étude 1969-1976 . Elles sont au nombre de trois.

La première courbe est valable pour les années 1969, 1970, 1971, 1972 et jusqu'au 28.7.73.

La deuxième courbe : à compter du 29.7.73 (bas débits)

La troisième courbe : à compter du 31.1.75.

NB : Une variation de 1 cm à l'échelle limnimétrique représente une variation voisine de : 15 % en débit aux environs de 15 m^3/s.
3 % en débit aux environs de 1 m^3/s.
3 % en débit aux environs de 6 m^3/s.

4.1.2. STATION DU BRUYANT

Le limnigraphe est implanté juste en aval de l'exsurgence (comme le montre la photo n°2)

Cette station a été mise en service le 11 avril 1969. Son exploitation a été arrêtée fin 1975 en raison de son accès difficile.

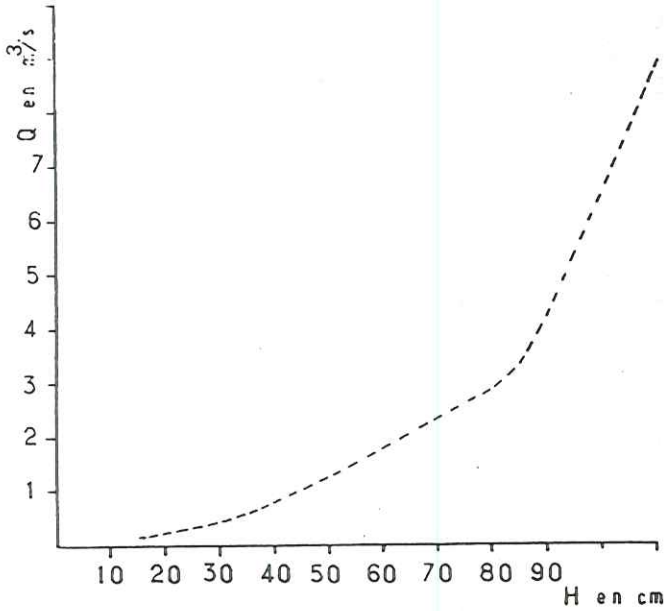
La section retenue n'offre pas toute la régularité souhaitable ce qui a impliqué un grand nombre de courbes de tarages .

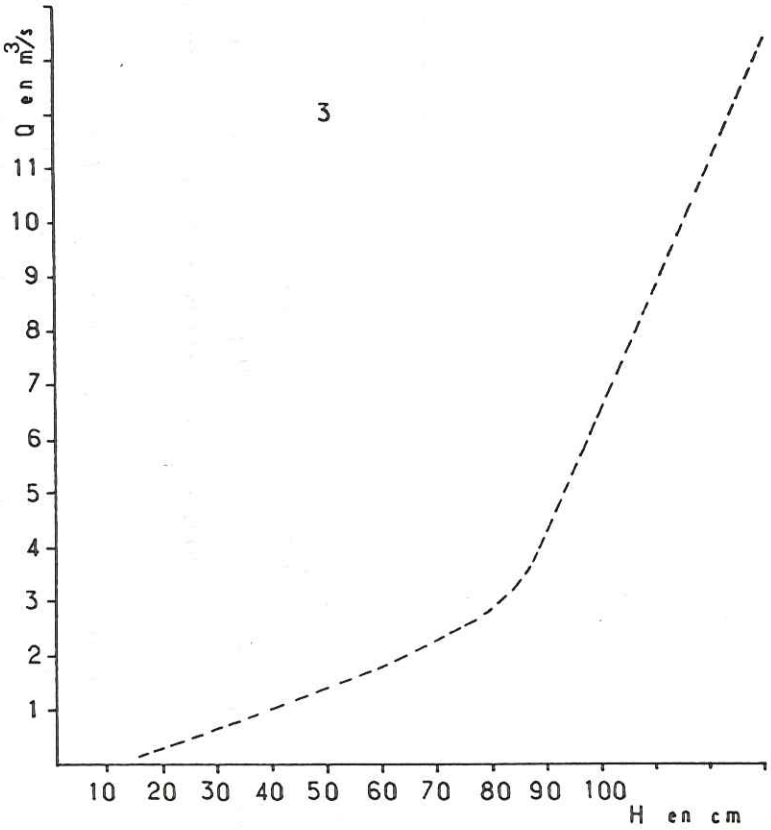
Fig. n°4-2 COURBES DE TARAGE DE LA STATION D' ENGINS (Le Furon)

Valable pour les années 1969, 1970, 1971 1972, et jusqu'au 28/7/1973

A compter du 31/1/1975

A compter du 29/7/73





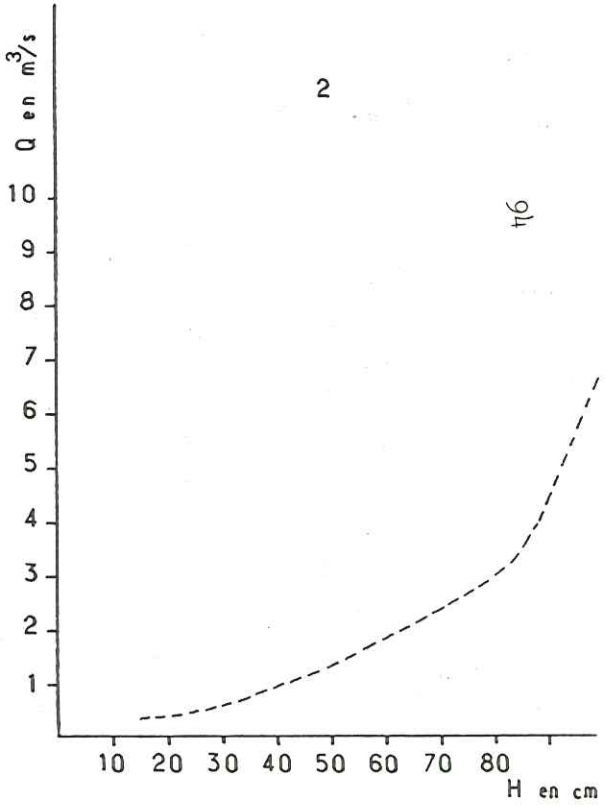


Fig.n°4-3 COURBES DE TARAGE DE LA STATION DU BRUYANT.

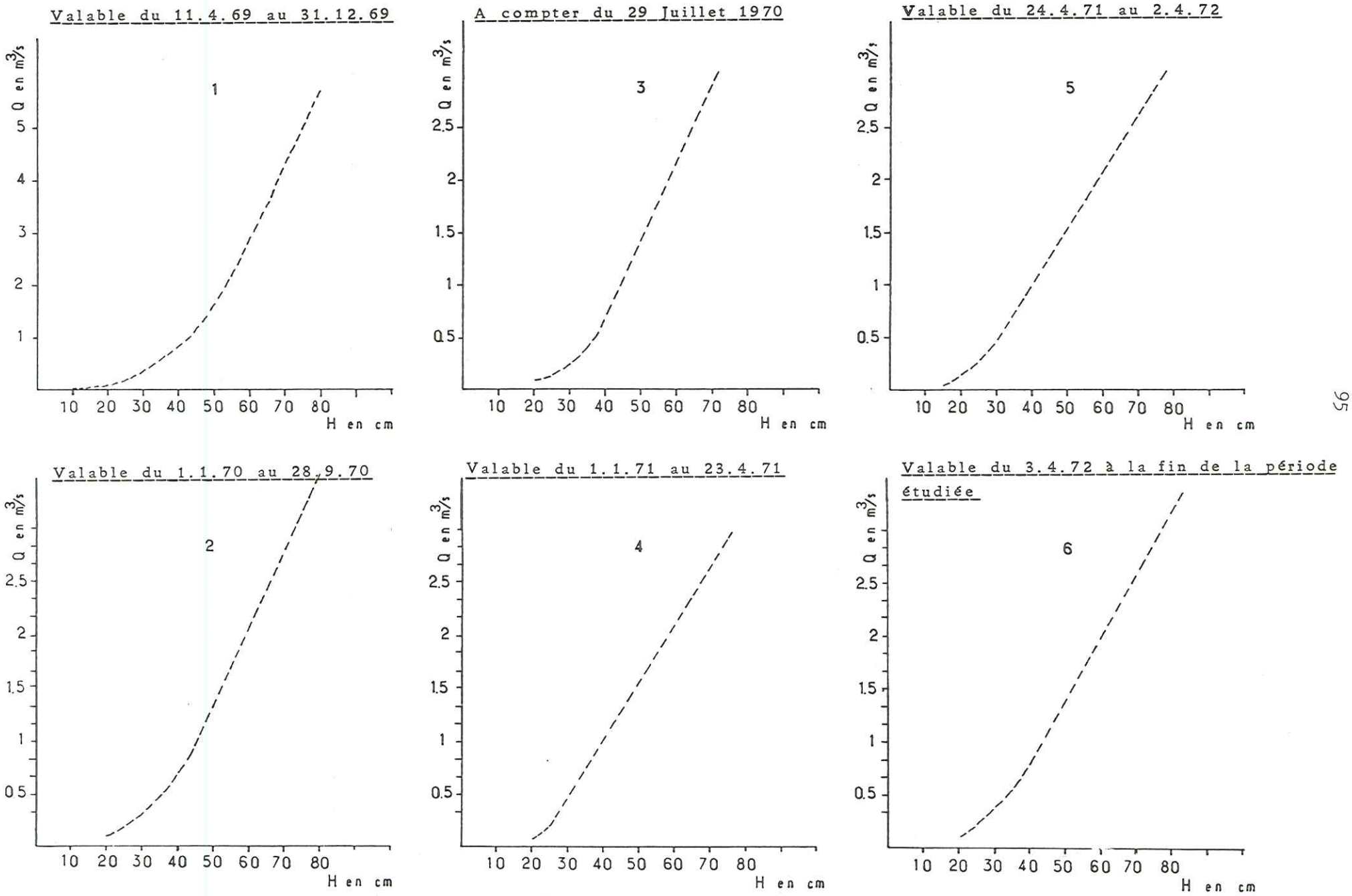


Fig.n°4-4 COURBES DE TARAGE DE LA STATION DU GERME (Cuves de Sassenage.)

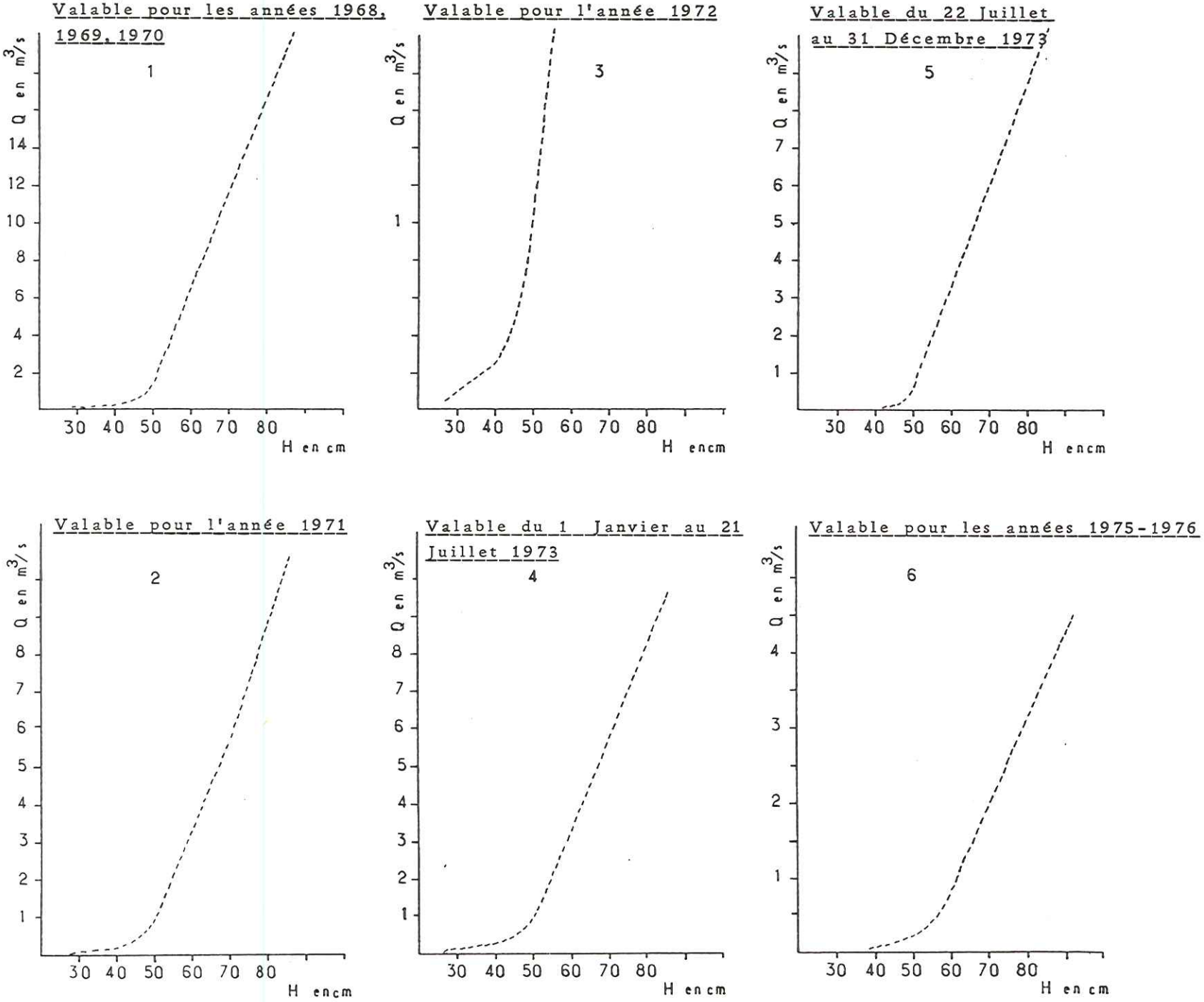


Photo n°1:Station d'Engins

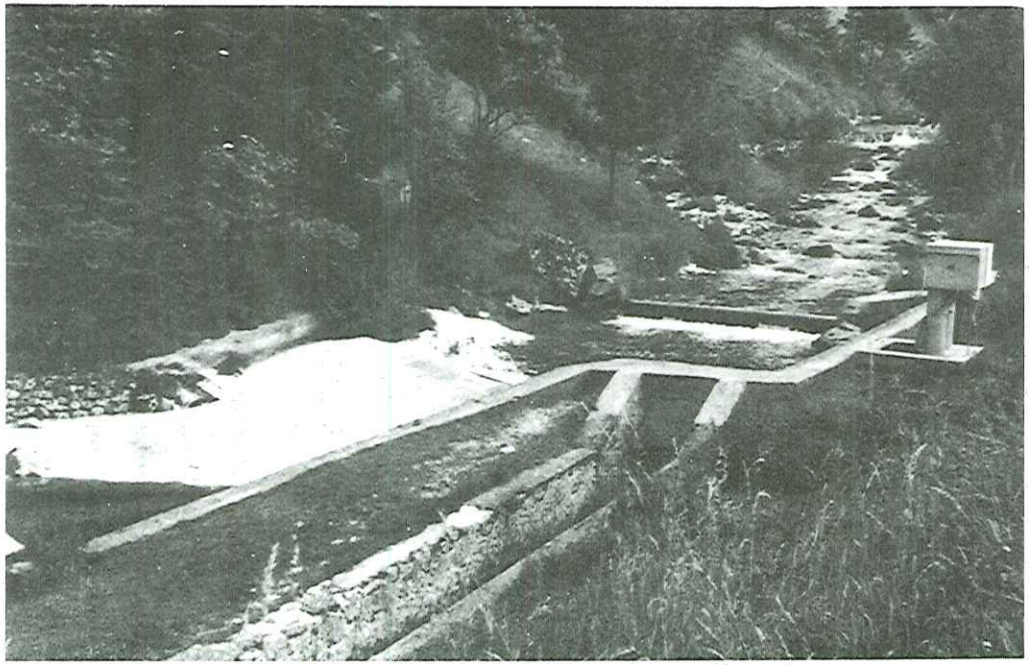
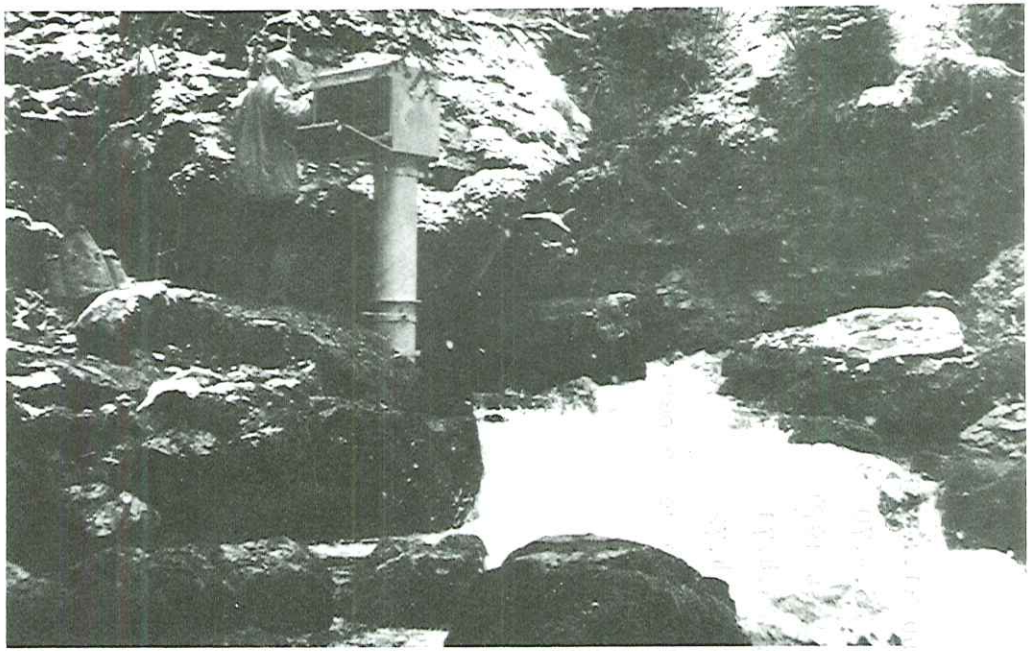


Photo n°2:Station de l'exsurgence du Bruyant



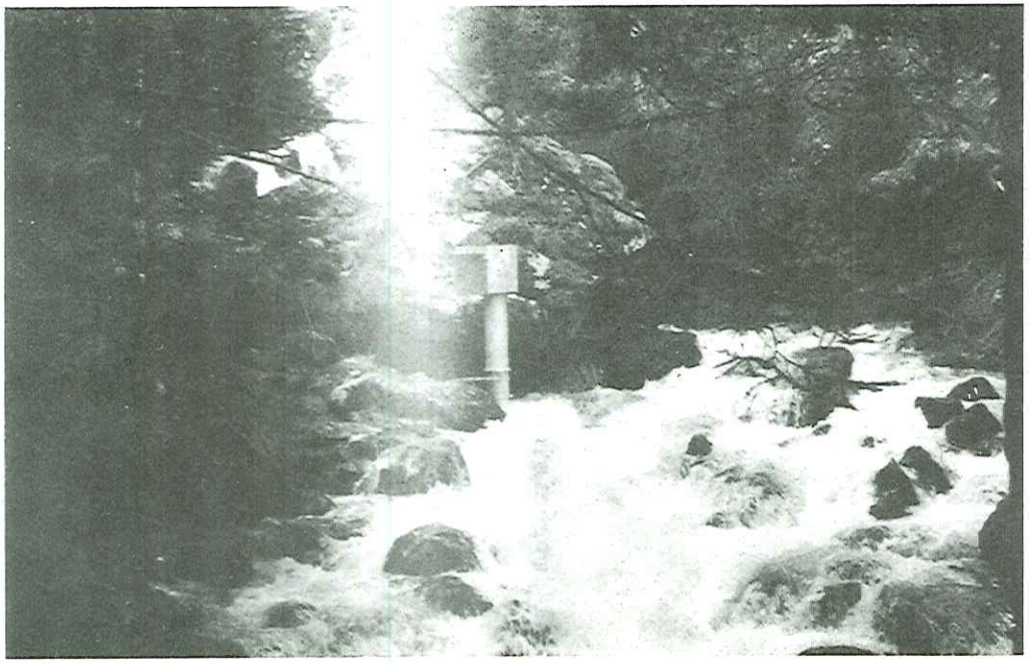


Photo n°3:Crue du Bruyant (1970)

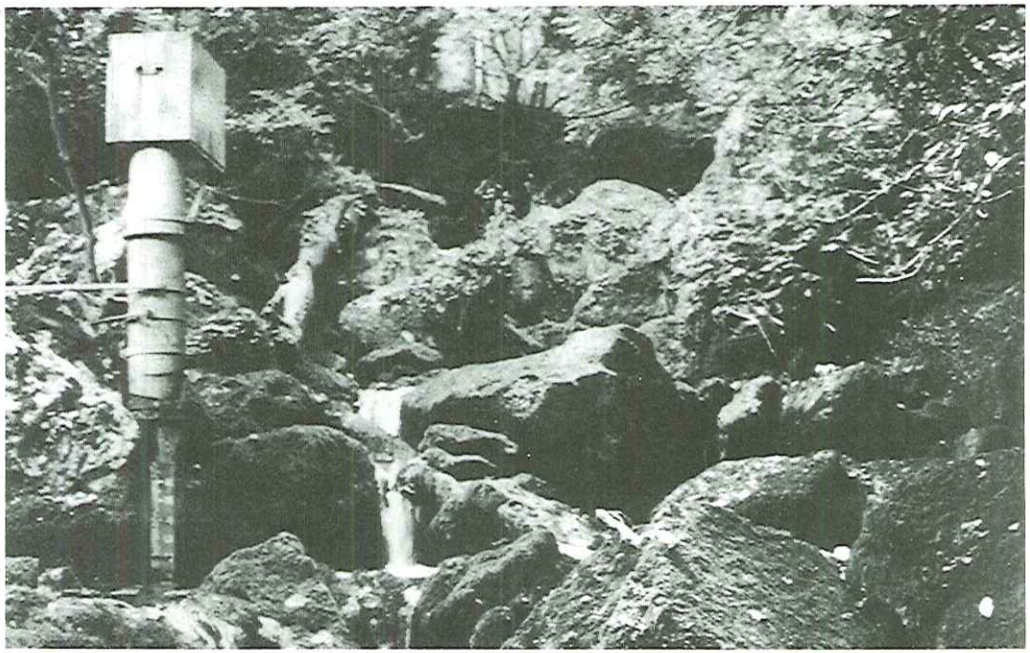


Photo n°4:Station de la résurgence du Germe

Ce sont : n°1) valable du 11.4.69 au 31.12.69
n°2) valable du 1.1.70 au 28.9.70
n°3) à compter du 29 Juillet 1970
n°4) valable du 1.1.71 au 23.4.71
n°5) valable du 24.4.71 au 2.4.72
n°6) valable du 3.4.72 à la fin de la période étudiée.

Il faut noter que des apports d'eau alimentent le Bruyant le long de son cours avant qu'il rejoigne le Furon.

Lors d'une crue importante l'eau sort des blocs qui se trouvent au-dessus de la résurgence (voir la photo n°3)

4.1.3. STATION DU GERME (CUVES DE SASSENAGE)

Cette station est installée sur le Germe, torrent issu de la résurgence des cuves de Sassenage.

Elle a été mise en service le 1.8.68 et fonctionne sans interruption jusqu' à ce jour.

La section choisie n'offre pas toute la régularité souhaitable, vu son emplacement conditionné par des impératifs touristiques, et la nécessité de se trouver suffisamment en amont du confluent du Furon, pour éviter des effets de remous. (photo n°4)

Les courbes de tarage obtenues durant la période d'étude sont les suivantes.

n°1) valable pour les années : 1968, 1969, 1970.
n°2) valable pour l'année 1971
n°3) valable pour l'année 1972
n°4) valable du 1er Janvier au 21 Juillet 1973
n°5) valable du 22 Juillet au 31 décembre 1973
n°6) valable pour les années 1975-1976.

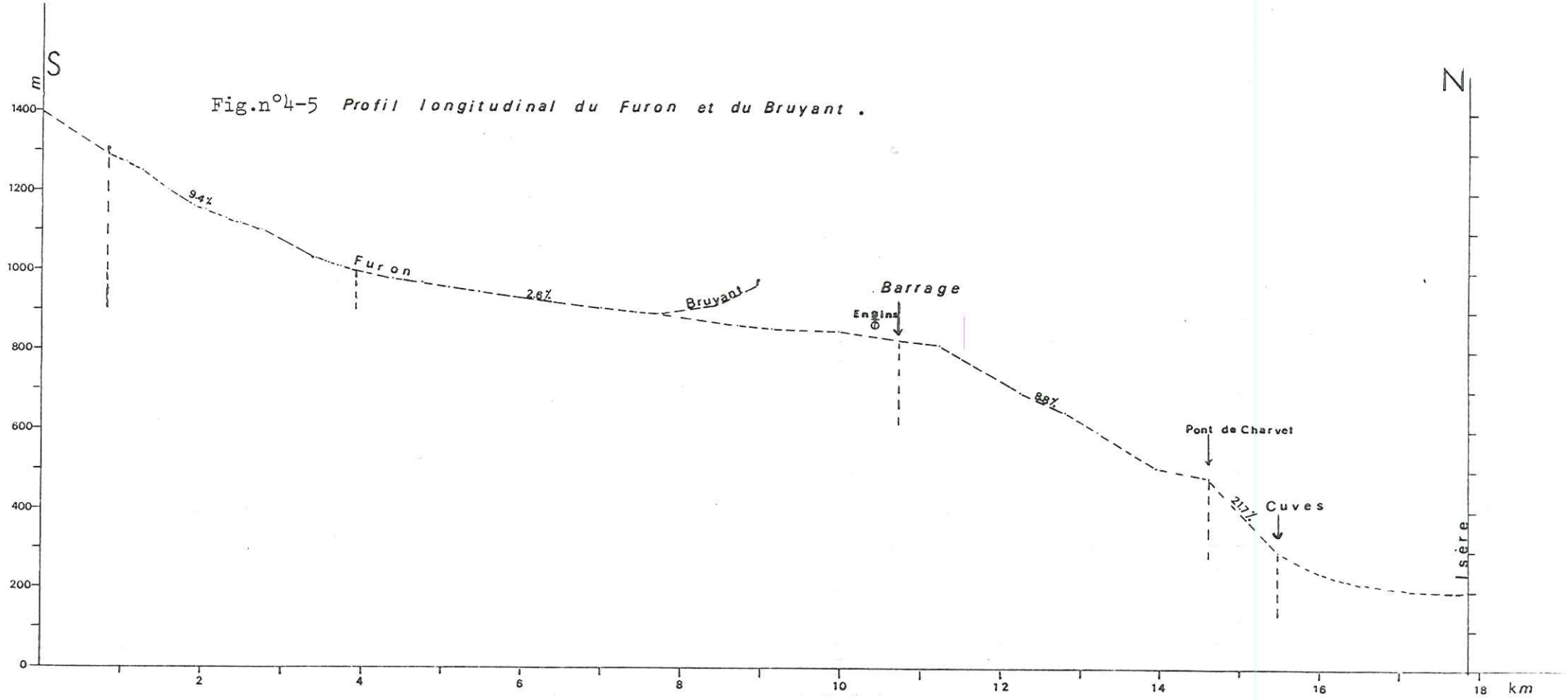
NB : on n'a pas tenu compte de l'année 1974 en raison de l'imprécision des résultats.

4.2. LES DÉBITS DE SURFACE

L'étude des débits de surface sera consacrée à l'étude des débits du Furon mesurés à la station d'Engins.

Le Furon est un cours d'eau de 18 km de longueur environ; il draine le nord-est du Vercors, et s'écoule du Sud au Nord faisant exception aux autres cours d'eau du Vercors qui coulent vers l'Ouest suivant la pente structurale de l'ensemble du massif. Il prend sa source dans " Combe claire " en amont de Lans à 1290 m

Fig.n°4-5 *Profil longitudinal du Furon et du Bruyant .*



d'altitude, et se présente ici comme un petit ruisseau dont le débit ne dépasse pas quelques litres/seconde; son débit augmente au fur et à mesure de son parcours, en recevant les eaux du ruisseau des Jailleux à Lans, la source de Lutinière, et son important affluent le Bruyant entre Lans et Engins. Avant de se jeter dans l'Isère, à 200 m d'altitude, il reçoit le Germe issu des cuves de Sassenage.

Sa pente varie tout le long de son parcours, comme le montre le profil longitudinal. (figure n° 4-5).

Sa pente moyenne est de 6.1 %.

Le débit du Furon est mesuré à Engins à l'amont du barrage. Notre étude des débits de surface sera consacrée au débit du Furon mesuré à la station d' Engins.

4.2.1. LES DEBITS INSTANTANES

Le tableau n° 4-1 nous montre les débits maximaux et minimaux instantanés exprimés en m^3/s.

Le débit minimal est de l'ordre de 0.100 m^3/s; il a été observé au mois d'Aout 1976.

Le débit maximal est de l'ordre de 14.1 m^3/s., il a été observé au mois de Nov. 1974.

	Jan.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
1969	—	—	—	—	—	0.640	0.340	0.240	0.260	0.180	0.170	0.340	Min.
						8.40	2.88	1.74	1.42	0.260	4.26	1.26	Max.
1970	0.280	0.640	0.420	0.680	2.06	0.570	0.240	0.180	0.150	0.200	0.180	0.280	Min.
	7.24	10.3	4.70	11.4	10.9	2.96	0.920	0.440	0.540	7.48	3.04	2.44	Max.
1971	0.230	0.320	0.230	1.58	0.720	0.600	0.240	0.220	0.180	0.170	0.170	0.230	Min.
	1.06	0.970	2.78	9.60	12.9	4.48	3.60	0.420	0.320	0.260	1.10	1.15	Max.
1972	0.230	0.230	0.540	0.640	0.830	0.300	0.230	0.200	0.220	0.180	0.230	0.300	Min.
	0.500	4.00	2.57	9.35	2.67	2.88	0.540	0.440	1.360	2.17	2.96	3.04	Max.
1973	0.240	0.230	0.260	0.680	0.390	0.240	0.220	0.320	0.280	0.290	0.270	0.280	Min.
	0.470	0.720	2.78	6.56	9.14	3.04	11.2	1.15	2.88	1.63	2.55	1.24	Max.
1974	0.330	0.420	0.370	0.420	0.420	0.380	0.320	0.290	0.350	0.570	0.840	0.670	Min.
	1.42	2.96	10.5	2.44	2.57	3.04	9.50	3.42	9.14	12.1	14.1	4.94	Max.
1975	0.570	0.320	0.320	0.470	1.07	0.540	0.320	0.320	0.410	0.340	0.380	0.570	Min.
	9.80	2.44	0.920	6.56	5.18	5.18	2.61	1.68	12.3	2.28	6.56	0.632	Max.
1976	0.260	0.320	0.570	0.920	0.440	0.200	0.130	0.100	0.230	0.440	0.540	0.570	Min.
	0.500	1.36	2.03	3.42	2.18	0.680	0.760	1.44	6.10	4.00	11.2	3.14	Max.

Tableau n° 4-1 - Débits minimaux et maximaux instantanés du Furon (1969-1976)

4.2.2. LES DEBITS JOURNALIERS

Les débits moyens journaliers du Furon à Engins sont consignés

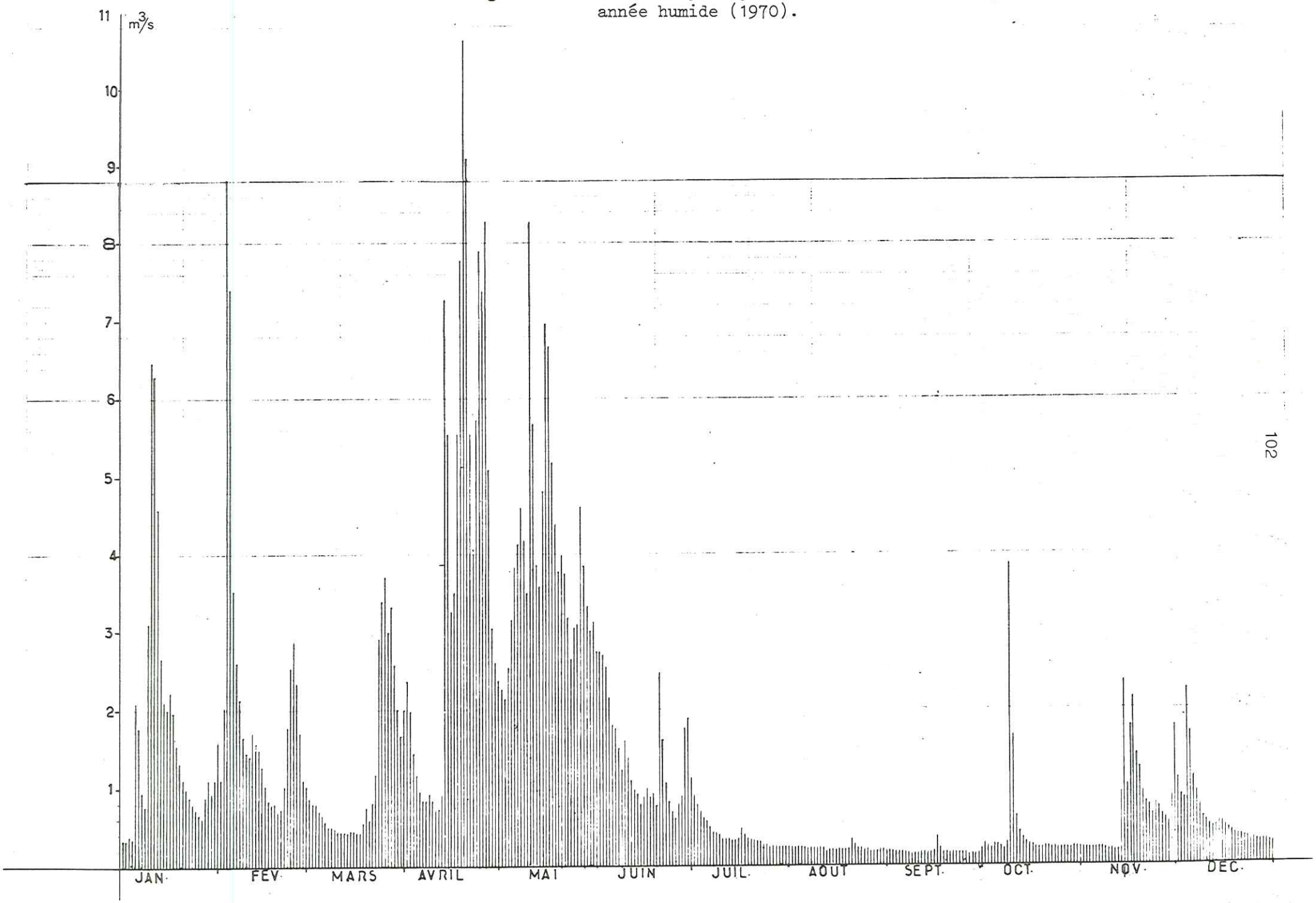
en annexe. Ils ont été calculés à partir des débits instantanés toutes les deux heures soit 12 mesures par jour, (après une transformation des hauteurs enregistrées pour le limnigraphe en débit à l'aide des courbes de tarage

Le classement des débits journaliers par tranche de 0.2 m^3/s et leurs pourcentages fait ressortir les caractéristiques suivantes de l'année moyenne :

- 69.8 % des débits ne dépassent pas 1 m^3/s,
- 54.2 % des débits ont des valeurs inférieures à 0.6 m^3/s.

La tranche des débits (0.2-0.4) a le pourcentage le plus élevé 31.5 %
L'année 1970 se présente comme une année humide.(Fig. n° 4-6)

Fig. n° 4-6- Débits moyens journaliers du Furon à Engins - année humide (1970).



Classes en m^3/s	NOMBRE DE JOURS 1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	Total	Moyenne 70-76	%	%	%
0. - 0.2	48	69	19	-	-	-	40	176	25	6.8		
0.2 - 0.4	91	153	149	211	80	52	72	808	115	31.5	54.2	
0.4 - 0.6	34	27	36	45	97	96	70	405	58	15.9		
0.6 - 0.8	30	14	14	27	34	56	42	227	32	8.8		69.8
0.8 - 1	28	15	22	14	34	35	30	178	25	6.8		
1.0 - 1.2	16	11	24	11	19	23	34	138	20	5.5		
1.2 - 1.4	7	5	19	8	21	27	22	109	16	4.4		
1.4 - 1.6	9	6	17	5	11	12	15	75	11	3.0		
1.6 - 1.8	14	2	15	11	15	14	14	84	12	3.3		
1.8 - 2	6	4	11	3	8	3	4	39	6	1.6		
2.0 - 2.2	7	6	8	8	12	9	8	58	8	2.2		
2.2 - 2.4	7	2	8	5	5	6	4	37	5	1.4		
2.4 - 2.6	6	8	5	2	6	3	2	32	5	1.4		
2.6 - 2.8	6	11	3	-	1	2	4	27	4	1.1		
2.8 - 3.0	4	6	1	1	4	3	1	20	3	0.82		
3.0 - 3.2	6	4	-	2	1	2	1	16	2	0.55		
3.2 - 3.4	4	4	-	1	2	2	-	13	2	0.55		
3.4 - 3.6	4	4	4	-	1	1	-	14	2	0.55		
3.6 - 3.8	3	3	-	-	1	1	1	9	1	0.27		
3.8 - 4.0	6	2	-	-	-	1	-	9	1	0.27		
4.0 - 4.2	3	2	-	-	1	-	-	6	1	0.27		
4.2 - 4.4	1	2	-	-	3	4	1	11	2	0.55		
4.4 - 4.6	2	-	-	-	1	2	-	5	1	0.27		
4.6 - 4.8	2	-	-	1	-	1	-	4	1	0.27		
4.8 - 5.0	-	1	-	1	-	1	-	3	0.4	0.27		
5.0 - 5.2	2	-	-	1	-	1	-	4	1	0.27		
5.2 - 5.4	-	1	-	1	2	1	1	6	1	0.27		
5.4 - 5.6	3	-	-	1	1	3	-	8	1	0.27		
5.6 - 5.8	2	-	-	-	1	-	-	3	-			
5.8 - 6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
6.0 - 6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
6.2 - 6.4	1	-	-	-	-	1	-	2	-			
6.4 - 6.6	1	-	-	1	-	-	1	3	-			
6.6 - 6.8	1	-	1	-	-	-	-	2	-			
6.8 - 7.0	1	1	-	1	-	-	-	3	-			
7.0 - 7.2	-	-	-	1	-	-	-	1	-			
7.2 - 7.4	3	-	-	-	-	-	-	3	-			
7.4 - 7.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
7.6 - 7.8	1	-	-	1	-	-	-	2	-			
7.8 - 8.0	1	-	-	-	1	-	-	2	-			
8.0 - 8.2	-	-	-	1	-	-	-	1	-			
8.2 - 8.4	2	-	-	-	-	-	-	2	-			
8.4 - 8.6	-	1	-	-	-	-	-	1	-			
8.6 - 8.8	-	-	-	-	-	1	-	1	-			
8.8 - 9.0	1	-	-	1	-	-	-	2	-			
Reste > 9.0	2	1	-	-	3	2	-	8	1	0.27		
								2557 j.				

Tableau n° 4-2 Débits journaliers classés du Furon (1970-1976)

Fig. n° 4-7 - Evolution des débits mensuels à la station d'Engins (Juillet 69-Décembre 76)

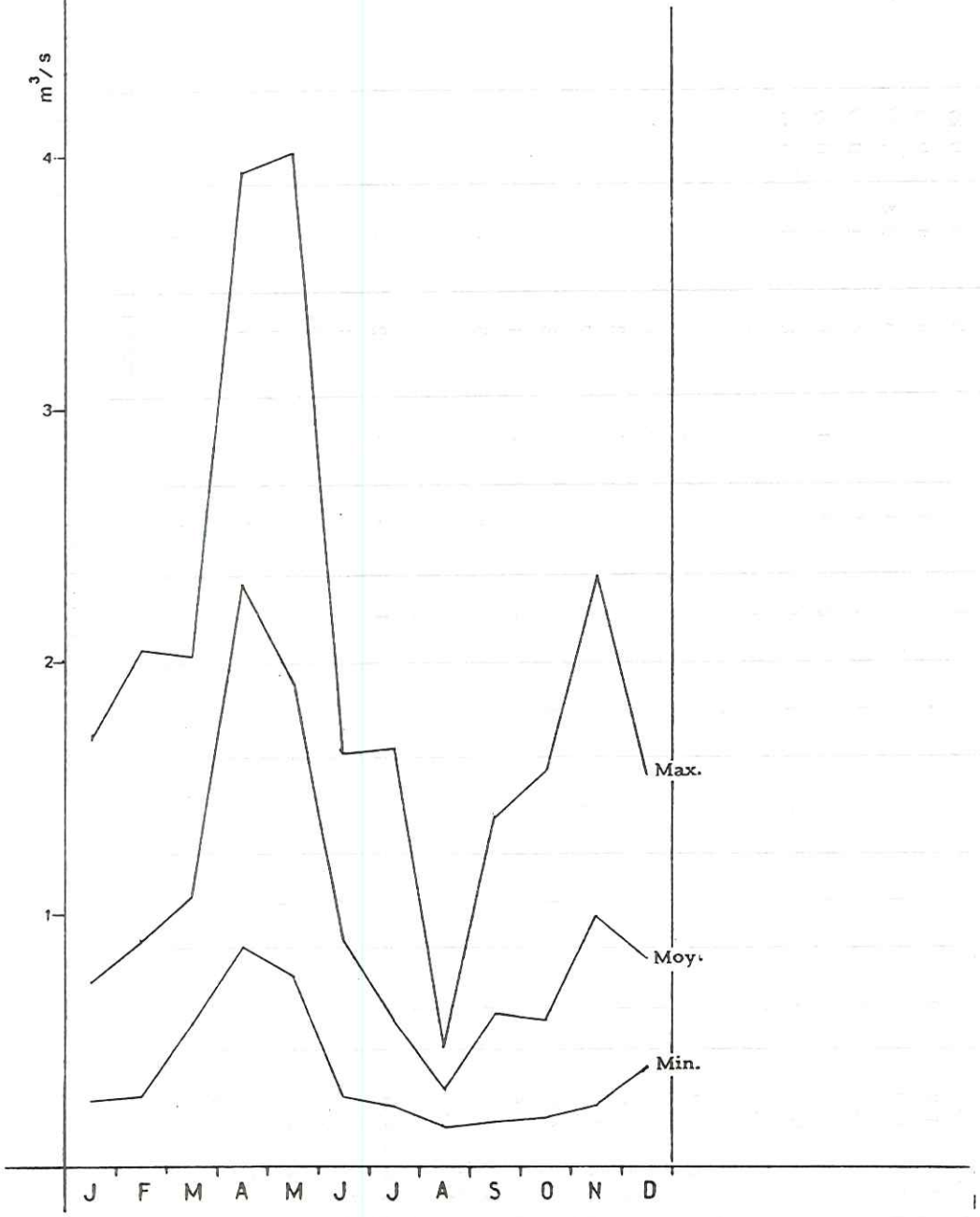
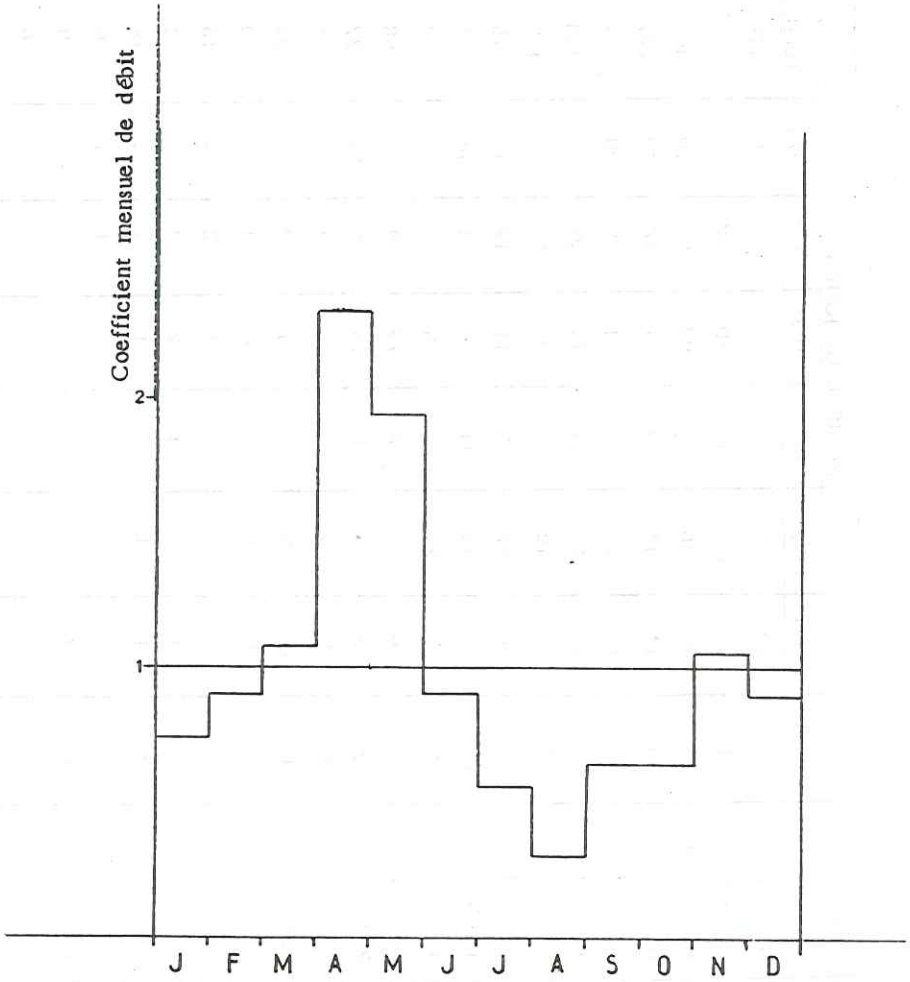


Fig. n° 4-8-Evolution moyenne des débits mensuels du Furon à Engins (1970-1976)



4.2.3. LES DEBITS MOYENS MENSUELS DU FURON A LA STATION D'ENGINS

Les débits mensuels résultent de la moyenne arithmétique des débits moyens journaliers.

Le tableau n°4-3 rassemble les valeurs de débits moyens mensuels en m^3/s correspondant à la période d'étude (1969-1976) de même le maximum et le minimum et l'écart type.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1969							0.799	0.344	0.403	0.204	0.660	0.439
1970	1.69	2.05	1.21	3.94	4.02	1.37	0.386	0.215	0.174	0.424	0.753	0.607
1971	0.343	0.380	0.649	3.50	2.52	1.64	0.404	0.240	0.193	0.177	0.251	0.405
1972	0.337	1.38	1.28	1.84	1.60	0.968	0.263	0.227	0.301	0.363	0.769	0.690
1973	0.262	0.280	0.781	1.76	1.89	0.499	1.66	0.477	0.394	0.404	0.430	0.540
1974	0.627	0.867	2.02	0.872	0.762	0.568	0.396	0.476	1.08	1.58	2.35	1.56
1975	1.45	0.702	0.563	2.66	1.70	0.980	0.558	0.377	1.39	0.677	1.22	1.16
1976	0.402	0.610	1.02	1.61	0.928	0.286	0.242	0.159	0.999	0.904	1.58	1.25
Min.	0.262	0.280	0.563	0.872	0.762	0.286	0.242	0.159	0.174	0.177	0.251	0.405
Max.	1.69	2.05	2.02	3.94	4.02	1.64	1.66	0.477	1.39	1.58	2.35	1.56
Moy.	0.730	0.896	1.07	2.31	1.92	0.902	0.558	0.301	0.647	0.647	1.05	0.887
Ecart.	0.589	0.623	0.498	1.101	1.099	0.488	0.497	0.131	0.496	0.474	0.729	0.434

Tableau n°4-3 - Débits moyens mensuels du Furon à Engins 1969-1976

D'après ce tableau, le mois d'Août de l'année 1976 présente le débit minimal mensuel observé durant la période d'étude. Le débit est de l'ordre de 0.159 m^3/s. Le débit maximal mensuel revient au mois de mai 1970, ce débit est de l'ordre de 4.02 m^3/s.

Ces constatations sont claires sur la figure n° 4-7 qui montre la répartition mensuelle des débits pour la période 1969-1976.

4.2.3.1. Coefficients mensuels de débits ou débits relatifs mensuels

Pour l'année moyenne 1970-1976 $X_1 = \frac{Q_1}{M}$

Module : 0.991 m^3/s

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
COEF :	0.74	0.90	1.08	2.33	1.94	0.910	0.563	0.310	0.650	0.650	1.06	0.895

Tableau n° 4-4 -Coefficients mensuels de débits de l'année moyenne 1970-1976

La courbe moyenne montre que les mois dont le coefficient mensuel de débit est supérieur à 1 sont : Mars, Avril, Mai et Novembre.

Cela s'explique par le fait que durant les mois de Mars, Avril, Mai l'augmentation de débit est due à la fonte des neiges.Pour le mois de Novembre l'augmentation est due à la pluie.

Les faibles coefficients se remarquent les mois suivants Juillet, Aout, Septembre et Octobre. (Fig. n° 4-8)

On en déduit que le régime moyen du Furon se caractérise par un minimum d'été et un maximum au printemps.

Nous terminons l'étude des débits mensuels du Furon par une présentation de la courbe des débits cumulés (figure n°4-9).

4.2.4. DEBITS D'ECOULEMENTS ANNUELS

Les débits moyens annuels du Furon à la station d'Engins sont le résultat de la moyenne arithmétique de 365 ou 366 débits moyens journaliers.

Ces débits sont reportés ci-dessous . L'unité de mesure du débit est le m^3/s.

1969 ?; 1970 - 1.40 m^3/s; 1971 - 0.890 m^3/s; 1972 - 0.830 m^3/s; 1973 - 0.786 m^3/s; 1974 - 1.08 m^3/s; 1975 - 1.12 m^3/s; 1976 - 0.830 m^3/s.

On n'a pas pu calculer le débit moyen annuel de l'année 1969 en raison du manque de résultats de mesures.

D'après ce tableau,l'année 1970 est une année humide avec un module de l'ordre de 1.40 m^3/s.

L'année sèche est l'année 1973 avec un module de l'ordre de 0.786 m^3/s.

Le module moyen de la période étudiée (1969 - 1976) est de l'ordre de 0.991 m^3/s.

4.2.5. LES DEBITS CARACTERISTIQUES

Nous complétons notre étude des débits par l'étude des courbes de"distribution des fréquences"telle que la courbe des débits classés qui met en relief les débits caractéristiques du Furon. Les résultats de cette étude sont représentés dans le tableau n° 4-5.

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
DCM (m^3/s)	6.95	3.93	2.51	4.68	4.34	4.76	2.52
DC1 (m^3/s)	3.90	2.91	1.97	1.99	2.27	2.58	1.76
DC3 (m^3/s)	1.77	0.940	1.24	0.720	1.29	1.27	1.13
DC6 (m^3/s)	0.700	0.315	0.500	0.350	0.630	0.715	0.640
DC9 (m^3/s)	0.240	0.230	0.260	0.285	0.420	0.474	0.345
DCE (m^3/s)	0.160	0.170	0.200	0.235	0.310	0.305	0.110

Tableau n° 4-5- Débits caractéristiques du Furon à Engins (1970-1976).

Débit caractéristique maximal (DCM) : débit dépassé 10 jours par an

Débit moyen caractéristique de 6 mois (DC6) : débit dépassé 6 mois par an (débit de fréquence 0.5)

Débit caractéristique de 1, 3 ou 9 mois (DC1, DE3, DC9) : débit dépassés respectivement 1, 3 ou 9 mois par an

Débit caractéristique d'étiage (DCE) : débit dépassé 355 jours par an.

Fig.n°4-9 COURBES DES DEBITS CUMULES DU FURON A ENGINS.
(JUILLET 1969 - DECEMBRE 1976)

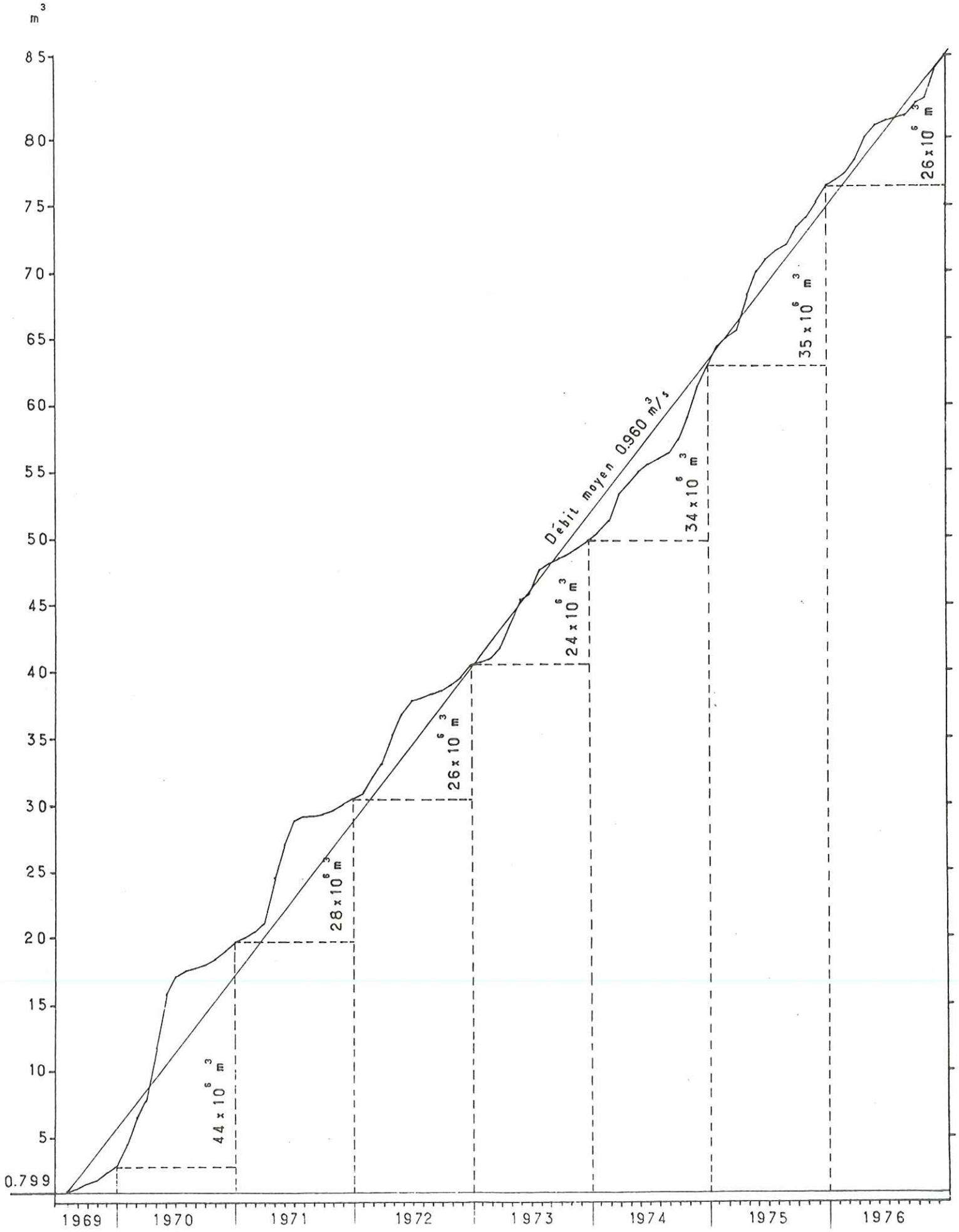
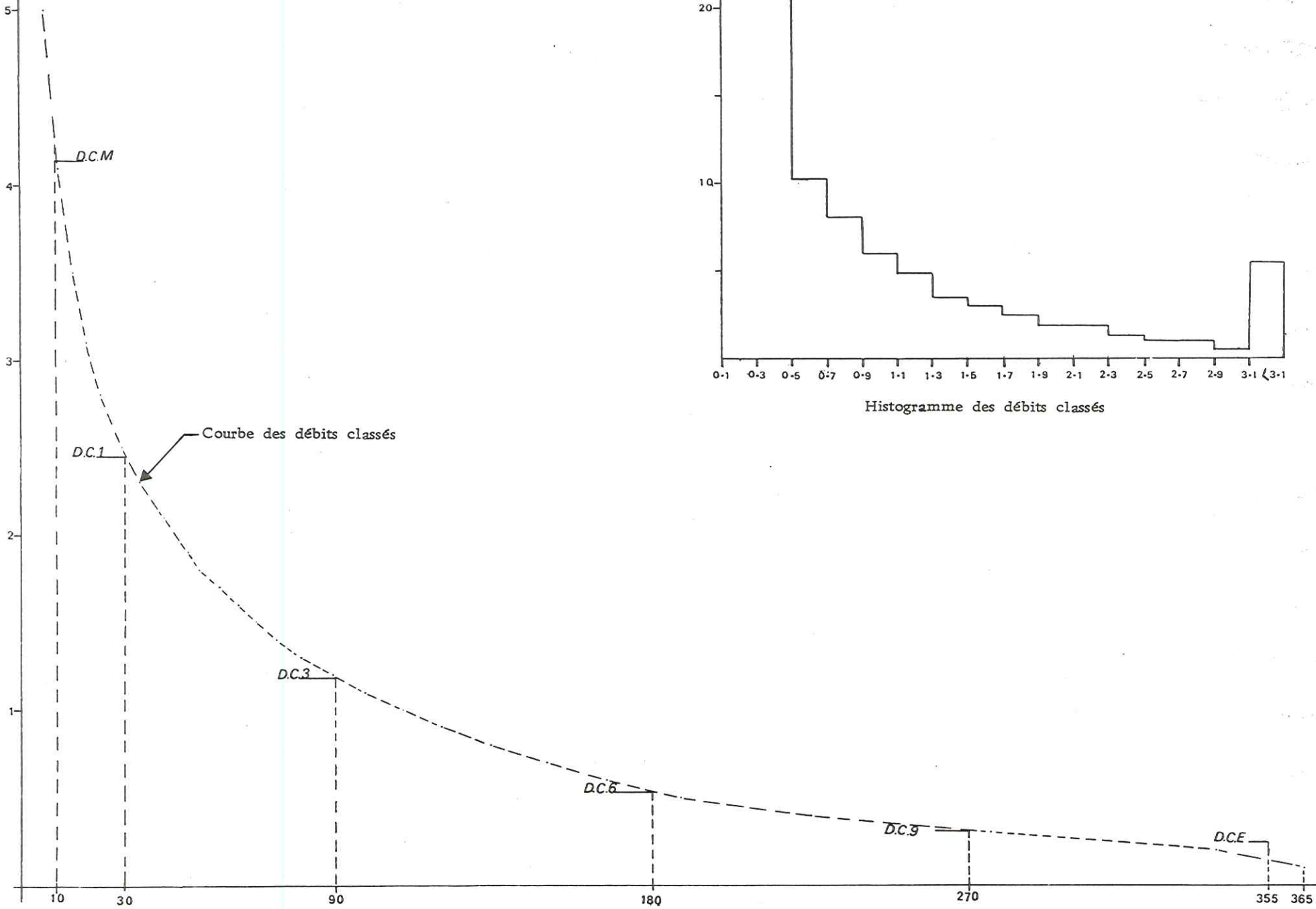
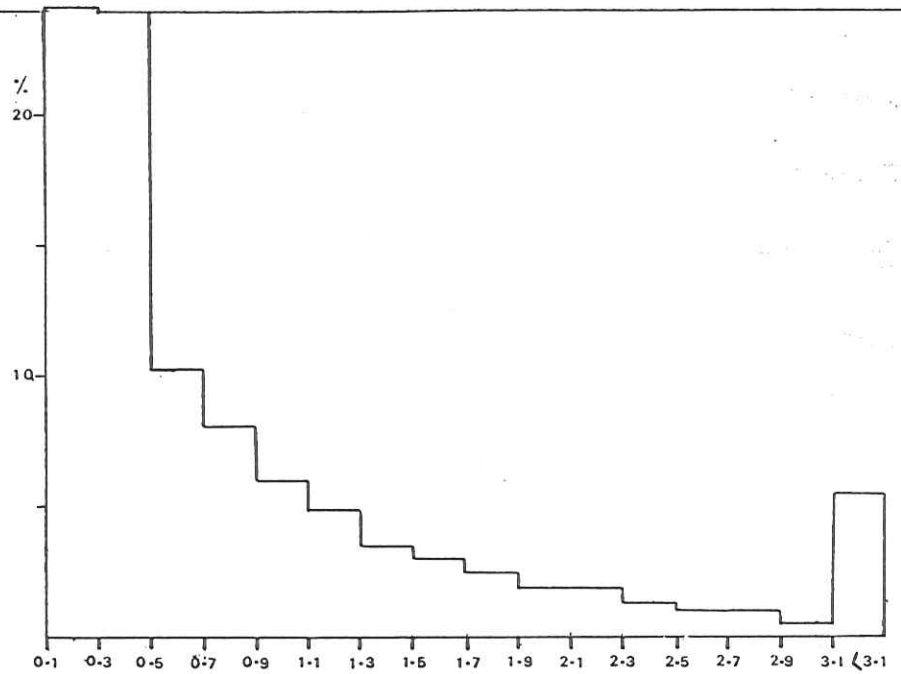


Fig. n° 4-10- Caractéristiques du régime du Furon à Engins.
Courbe des débits classés (1970-1976)





Histogramme des débits classés

4.2.6. CALCUL DU DEBIT DU FURON A PARTIR DE L'ENERGIE PRODUITE A l'USINE HYDROELECTRIQUE DE SASSENAGE

L'usine hydroélectrique de Sassenage est alimentée par l'eau de la retenue du barrage d'Engins qui est construit sur le Furon

4.2.6.1. Les caractéristiques du barrage d'Engins

C'est un barrage poids curviligne déversant sur 25 mètres.

- Hauteur maximaleau dessus du lit : 13 m
- Longueur : 50 m
- Niveau de la retenue (N.G.F.) max : 833
- Niveau de la retenue (N.G.F.) min : 827

L'eau de la retenue est amenée à l'usine par les ouvrages suivants :

1) Une galerie de section fer à cheval Ø 2 m, sa longueur 3552 m et une pente moyenne de 2 %.

2) Cheminée d'équilibre à étranglement non déversante.

3) Une conduite forcée métallique de Ø 0.90 m, longueur 1308 m, hauteur de chute brute 622.2 m;nette 607.40 m.

Mise en service de l'usine de Sassenage en 1958.

Automatisation en 1968, ce qui veut dire que l'usine démarre et s'arrête seule aux côtes extrêmes. Donc l'augmentation du volume d'eau dans la retenue due aux apports du Furon, met l'usine en marche.

4.2.6.2. Calcul du volume d'eau turbiné à l'usine de Sassenage

Connaissant la production de l'usine en énergie, on peut calculer le volume d'eau turbiné, selon la formule suivante ;

$$V = \frac{W}{K}$$

V = volume d'eau turbiné en m^3

W = énergie en Kwh

K = coefficient énergétique moyen : 1.45 Kwh/m^3

Le tableau n° 4-6 montre les productions (nettes+pertes) mensuelles et le volume d'eau turbiné correspondant.

De même le volume d'eau turbiné journalier a été calculé par le dépouillement des enrigistrements du temps de fonctionnement de l'usine sachant qu'elle turbine 2.1 m^3/s.

Le tableau n° 4-7 montre :

A - Le volume écoulé mesuré à l'amont de la retenue à l'aide d'un limnigraphe

	Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1969	Production en MWH	3150	2416	4169	5126	4770	3853	2532	1176	1282	541	1853	1419	32287
	V. turbiné en $10^3 m^3$	2172	1666	2875	3535	3290	2657	1746	811	884	373	1278	979	22267
1970	Production en MWH	3981	4316	3510	5933	7674	3810	1358	731	536	1213	2362	1983	37407
	V. turbiné en $10^3 m^3$	2746	2977	2421	4092	5292	2628	937	504	370	837	1629	1368	25798
1971	Production en MWH	1073	1137	2030	7450	6149	4661	1540	703	471	382	732	1462	27790
	V. turbiné en $10^3 m^3$	740	784	1400	5138	4241	3241	1062	485	325	263	505	1008	19166
1972	Production en MWH	1059	3623	3636	4697	4496	2226	605	432	524	887	2220	1990	26395
	V. turbiné en $10^3 m^3$	730	2499	2508	3239	3101	1535	417	298	361	612	1531	1372	18203
1973	Production en MWH	395	381	2170	4414	3606	1369	3061	1035	647	852	396	1369	19695
	V. turbiné en $10^3 m^3$	272	263	1497	3044	2487	944	2111	714	446	588	273	944	13583
1974	Production en MWH	1940	2458	4264	2614	2380	1487	824	886	2228	3817	4116	5038	32052
	V. turbiné en $10^3 m^3$	1338	1695	2941	1803	1641	1026	568	611	1537	2632	2839	3474	22105
1975	Production en MWH	3634	2244	1663	4875	5032	2323	1480	880	2919	1892	2987	2804	32733
	V. turbiné en $10^3 m^3$	2506	1548	1147	3362	3470	1602	1021	607	2013	1305	2060	1934	22574
1976	Production en MWH	969	1433	2458	4223	2297	622	561	448	2270	2063	3416	3188	23948
	V. turbiné en $10^3 m^3$	668	988	1695	2912	1584	429	387	309	1566	1423	2356	2199	16516

Tableau n° 4-6 - La production énergétique en MWH de l'usine de Sassenage et le volume d'eau turbiné correspondant en $10^3 m^3$.

Année \ Mois		Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1969	A	-	-	-	-	-	-	2140	921	1045	546	1711	1176	-
	B	2172	1666	2875	3535	3290	2657	1746	811	884	376	1278	979	22267
	C	-	1619	2523	3379	3327	2601	1372	791	880	359	-	-	
1970	A	4526	4959	3241	10212	10767	3551	1034	576	451	1136	1952	1626	44031
	B	2746	2977	2421	4092	5292	2628	937	504	370	837	1629	1368	25798
	C	-	2697	1980	3836	-	-	-	-	394	796	-	-	
1971	A	919	919	1738	9072	6750	4251	1082	643	500	474	651	1085	28084
	B	740	784	1400	5138	4241	3214	1062	485	325	263	505	1008	19166
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1972	A	903	3458	3428	4769	4285	2509	704	608	780	972	1993	1848	26257
	B	730	2499	2508	3239	3101	1535	417	298	361	612	1531	1372	18203
	C	-	2355	2532	-	2673	-	-	-	-	-	1590	1368	
1973	A	702	677	2092	4562	5062	1293	4446	1278	1021	1082	1045	1446	24706
	B	272	263	1497	3044	2487	944	2111	714	446	588	273	944	13583
	C	318	270	1413	2978	2714	947	2156	706	484	566	-	968	
1974	A	1679	2097	5410	2260	2041	1472	1061	1275	2799	4232	6091	4178	34595
	B	1338	1695	2941	1803	1641	1026	568	611	1537	2632	2839	3474	22105
	C	1345	1773	3024	1883	1657	965	589	651	1778	2438	2800	-	
1975	A	3884	1698	1508	6895	4553	2540	1495	1010	3603	1813	3162	3107	35268
	B	2506	1548	1147	3362	3470	1602	1021	607	2013	1305	2060	1934	22574
	C	2565	1485	1149	3284	3081	1875	989	366	2245	1350	2085	-	
1976	A	1077	1528	2732	4173	2486	741	648	426	2589	2421	4095	3348	26264
	B	668	988	1695	2912	1584	429	387	309	1566	1423	2356	2199	16516
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau n°4-7 - Les volumes d'eaux écoulés et turbinés en $10^3 m^3$

B - Le volume turbiné à l'usine calculé à l'aide de la production.

C - Le volume turbiné à l'usine calculé à partir des volumes journaliers turbinés.

Remarque : Les résultats de (C) ne sont pas complets par suite du manque de certains enregistrements.
Les résultats de (B) sont donc plus représentatifs du volume d'eau turbiné.

Il est à noter que le barrage est équipé d'une vanne de restitution du débit réservé (40 l/s); à retenue moyenne , une certaine quantité d'eau de la retenue n'alimente donc pas l'usine.

4.2.6.3. Relation entre les volumes d'eau entrant et sortant de la retenue

Notons que le volume d'eau entrant à la retenue est connu à l'aide du limnigraphe,de même que le volume sortant qui est égal au volume turbiné + le volume restitué. Le tableau n° 4-8 illustre ces données et la différence entre elles.

D'après ce tableau,on remarque que le volume entrant est plus grand que le volume sortant ce qui est tout à fait normal

En se référant au pourcentage du volume turbiné+ restitué annuel par rapport au volume écoulé annuel on obtient les résultats suivants.

1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
61 %	73 %	74 %	60 %	68 %	68 %	68 %

Donc ce pourcentage varie de 60% à 74% , cela peut s'expliquer par :

-1) L'eau déversée par le barrage qui n'est pas mesurée
-2) La perte due à l'évaporation.
-3) L'erreur sur les mesures de débits.
-4) L'erreur sur le débit restitué.

En appliquant la méthode de la régression simple sur ces données (90 couples) et en considérant que :

X = volume d'eau mesuré à l'amont du barrage,
Y = volume turbiné plus volume restitué.

On aura les résultats suivants :

- la droite de regression : $Y = 0.514X + 408.9$
- le coefficient de corrélation =0.95

Ces résultats prouvent une forte relation entre le volume d'eau entrant et le volume d'eau sortant ce qui est tout à fait logique.

		Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1969	V. entrant							2140	921	1045	546	1711	1176	
	V. sortant	2279	1763	2982	3639	3397	2761	1853	918	988	483	1382	1086	23531
	Différence							0287	003	057	063	0329	0090	
1970	V. entrant	4526	4959	3241	10212	10767	3551	1034	576	451	1136	1952	1626	44031
	V. sortant	2853	3074	2528	4196	5399	2732	1044	611	474	944	1733	1475	27063
	Différence	1673	1885	713	6016	5368	819	-10	-35	-23	192	219	151	16968
1971	V. entrant	919	919	1738	9072	6750	4251	1082	643	500	474	651	1085	28084
	V. sortant	847	881	1507	5242	4348	3318	1169	592	429	370	609	1115	20427
	Différence	72	38	231	3830	2402	933	-87	51	71	104	42	30	7657
1972	V. entrant	903	3458	3428	4769	4285	2509	704	608	780	972	1993	1848	26257
	V. sortant	837	2599	2615	3343	3208	1639	524	405	465	719	1635	1479	19468
	Différence	66	859	813	1426	1077	870	180	203	315	253	358	369	6789
1973	V. entrant	702	677	2092	4562	5062	1293	4446	1278	1021	1082	1045	1446	24706
	V. sortant	379	360	1604	3148	2594	1048	2218	821	550	695	377	1051	14845
	Différence	326	317	488	1414	2468	245	2228	457	471	387	668	395	9861
1974	V. entrant	1679	2097	5410	2260	2041	1472	1061	1275	2799	4232	6091	4178	34595
	V. sortant	1445	1792	3048	1907	1748	1130	675	718	1641	2739	2943	3581	23367
	Différence	234	305	2362	353	293	342	386	557	1158	1493	3148	597	11228
1975	V. entrant	3884	1698	1508	6895	4553	2540	1495	1010	3603	1813	3162	3107	35268
	V. sortant	2613	1645	1254	3466	3577	1706	1128	714	2117	1412	2164	2041	23837
	Différence	1271	53	254	3429	976	834	367	296	1486	401	998	1066	11431
1976	V. entrant	1077	1528	2732	4173	2486	741	648	426	2589	2421	4095	3348	26264
	V. sortant	775	1088	1802	3016	1691	533	494	416	1670	1530	2460	2303	17778
	Différence	302	440	930	1157	795	208	154	10	919	891	1635	1045	8486

Tableau n°4-8 - Volumes d'eau entrant et sortant de la retenue en $10^3 m^3$

		Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1969	A							0.799	0.344	0.403	0.204	0.660	0.439	
	B	0.851	0.729	1.11	1.40	1.27	1.07	0.692	0.343	0.381	0.180	0.533	0.405	0.746
1970	A	1.69	2.05	1.21	3.94	4.02	1.37	0.386	0.215	0.174	0.424	0.753	0.607	1.14
	B	1.07	1.27	0.944	1.62	2.02	1.05	0.390	0.228	0.183	0.352	0.669	0.551	0.860
1971	A	0.343	0.380	0.649	3.50	2.52	1.64	0.404	0.240	0.193	0.177	0.251	0.405	0.890
	B	0.316	0.364	0.563	2.02	1.62	1.28	0.436	0.221	0.166	0.138	0.235	0.416	0.648
1972	A	0.337	1.38	1.28	1.84	1.60	0.968	0.263	0.227	0.301	0.363	0.769	0.690	0.830
	B	0.313	1.04	0.976	1.30	1.20	0.632	0.196	0.151	0.179	0.268	0.631	0.552	0.617
1973	A	0.262	0.280	0.781	1.76	1.89	0.499	1.66	0.477	0.394	0.404	0.403	0.540	0.786
	B	0.142	0.149	0.599	1.21	0.968	0.404	0.828	0.307	0.212	0.259	0.145	0.392	0.471
1974	A	0.627	0.867	2.02	0.872	0.762	0.568	0.396	0.476	1.08	1.58	2.35	1.56	1.08
	B	0.540	0.740	1.14	0.736	0.653	0.436	0.252	0.268	0.633	1.02	1.14	1.34	0.741
1975	A	1.45	0.702	0.563	2.66	1.70	0.980	0.558	0.377	1.39	0.677	1.22	1.16	1.12
	B	0.976	0.680	0.468	1.34	1.34	0.658	0.421	0.267	0.817	0.527	0.835	0.762	0.756
1976	A	0.402	0.610	1.02	1.61	0.928	0.286	0.242	0.159	0.999	0.904	1.58	1.25	0.830
	B	0.289	0.434	0.673	1.16	0.631	0.206	0.184	0.155	0.644	0.571	0.949	0.860	0.562

Tableau n° 4-9 - Débits mensuels et annuels du Furon en m^3/s

4.2.6.4. Calcul des débits moyens mensuels et annuels du Furon

Les débits moyens mensuels et annuels du Furon peuvent être calculés à partir du volume d'eau sortant de la retenue que nous avons calculé précédemment (voir tableau n° 4-8)

Ce volume est égal à la somme de deux volumes: le volume turbiné à l'usine de Sassenage et le volume d'eau restitué par le barrage.

Pour obtenir le débit mensuel en m^3/s, il suffit de diviser le volume d'eau sortant en m^3 par le nombre de secondes par mois. On a donc là une autre méthode pour calculer le débit.

Remarque : cette méthode permet de calculer avec une précision acceptable les débits des années où les mesures de débit n'existaient pas.

Dans le tableau n°4-9 et à titre de comparaison, nous regroupons les valeurs des débits calculées de deux façons différentes.

A) A l'aide du limnigraphe.

B) A partir des volumes d'eau turbinés et restitués.

On remarque que la différence entre eux n'est pas grande.

- L'équation de la droite de régression est la suivante :

$Y = 0.515\ X + 0.155$ nombre de couples : 90

coefficient de corrélation : 0.95

Y = débit du Furon calculé à partir des volumes d'eau turbinés et restitués.

X = débit du Furon calculé à l'aide du limnigraphe.

4.3. DÉBITS DES ÉMERGENCES

4.3.1. INTRODUCTION

Ce chapitre sera consacré à l'étude des débits des émergences qui sont divisées en résurgences et exsurgences Tout d'abord, précisons la signification de ces termes; pour celà, nous retenons celle de B.GEZE.

" On sait que ces emergences sont subdivisées depuis E.FOURNIER (1926), en résurgences formées par des eaux qui, après avoir eu un parcours superficiel et avoir été absorbées par des pertes, viennent réapparaître au jour, et exsurgences qui proviennent d'eaux météoriques infiltrées dans les fissures, mais qui n'ont jamais eu de parcours superficiel avant d'arriver au jour."

La définition d'exsurgence est valable pour l'émergence de la source du Bruyant, tandis que la définition de résurgence pourrait paraître mieux adaptée pour l'émergence du Germe aux Cuves de Sassenage dont les eaux proviennent comme nous le verrons pour une part d'infiltrations depuis le ruisseau du Furon et pour une autre part d'infiltrations directes sur la plateau de St-Nizier et le plateau de Sornin.

L'importance de l'écoulement souterrain dans le Vercors est due à son karst bien développé; cet écoulement se traduit dans notre bassin par l'existence de deux grosses émergences : le Bruyant et le Germe (Cuves de Sassenage).

Nous analysons en détail les débits de ces deux émergences qui offrent l'avantage d'être les plus facilement à notre portée et qui nous apportent des renseignements très utiles sur le mode de recharge et sur le comportement du karst dans le temps et dans l'espace,surtout s'ils sont suivis sur une longue période.

4.3.2. L'EXSURGENCE DU BRUYANT

L'exsurgence du Bruyant s'ouvre à l'est du hameau des Donnets , à la base du Sénonien à 970 m d'altitude, elle rejoint le Furon après un parcours de 1250 m environ, dans une gorge étroite et boisée.

Le dépouillement des hauteurs d'eau enregistrées par le limnigraphe installé à la source du Bruyant permet de calculer le débit qui fera l'objet de cette étude. Nous analysons tout d'abord les débits instantanés ensuite les débits journaliers et mensuels et à la fin les débits annuels.

4.3.2.1. Les débits instantanés

Le tableau n°4-10 regroupe les valeurs extrêmes (minimum, maximum) des débits instantanés observés durant un mois et pendant la période mai 1969-Décembre 1974.

		Jan.	Fév.	Mars.	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1969	Min.	-	-	-	-	0.225	0.225	0.175	0.115	0.135	0.07	0.070	0.135	0.070
	Max	-	-	-	-	3.80	4.06	1.85	1.25	1.04	0.115	1.85	0.250	4.06
1970	Min.	0.110	0.195	0.155	0.195	1.33	0.350	0.110	0.090	0.050	0.085	0.085	0.100	0.050
	Max.	2.20	2.49	0.920	3.50	3.20	1.98	0.420	0.380	0.500	3.27	1.93	1.04	3.50
1971	Min.	0.060	0.060	0.025	0.620	0.340	0.380	0.095	0.065	0.055	0.045	0.045	0.080	0.045
	Max.	0.0110	0.0110	0.620	2.74	2.80	1.81	0.840	0.420	0.065	0.130	0.520	0.620	2.74
1972	Min.	0.065	0.065	0.110	0.29	0.380	0.150	0.090	0.090	0.055	0.045	0.130	0.110	0.045
	Max.	0.130	1.10	1.27	3.10	1.65	2.14	0.350	0.450	1.29	1.35	1.53	1.59	3.10
1973	Min.	0.045	0.045	0.055	0.200	0.23	0.110	0.070	0.090	0.055	0.090	0.090	0.110	0.045
	Max.	0.090	0.055	0.570	2.26	2.74	1.18	2.62	0.530	1.65	0.860	1.05	0.130	2.74
1974	Min	0.070	0.130	0.110	0.184	0.160	0.098	0.064	0.064	0.084	0.160	0.566	0.810	0.064
	Max.	0.450	0.290	2.02	0.860	1.29	1.65	0.360	1.41	2.56	3.22	3.28	1.900	3.28

Tableau n°4-10 Débits instantanés du Bruyant en m^3/s.

Le débit minimal instantané est de l'ordre de 0.045 m^3/s; il a été observé les mois de Janvier, Février 1973, octobre, novembre 1971 et octobre 1972. On remarque que ce débit d'étiage dépasse souvent l'échelle instantanée pour durer plusieurs jours.

Le débit maximal instantané est de l'ordre de 4.06 m^3/s; il a été observé au mois de Juin 1969. Ce débit représente la pointe d'une crue.

4.3.2.2. Les débits journaliers

Le débit journalier représente la moyenne arithmétique des 12 débits instantanés retenus pour un jour. Ce calcul a été fait sur les données existantes de Mai 1969 à Décembre 1975. Les débits journaliers de cette période sont consignés en annexe.

Remarque : Nous avons constaté que les débits journaliers de l'année 1975 étaient élevés par rapport à ceux mesurés à la station d'Engins. La méthode de régression simple entre les débits journaliers du Furon à Engins et le Bruyant a mis en évidence cette imprécision due au manque de courbe de tarage concernant cette année.

La courbe de tarage de 1974 utilisée n'est pas valable, étant donné le changement de la section. Dans nos calculs nous ne prenons pas en considération les valeurs de cette année.

Nous présentons dans le tableau n°4-11 les résultats de la regression linéaire effectuée entre les débits journaliers du Furon et du Bruyant :

Y = représente les débits du Bruyant en m^3/s.

X = représente les débits du Furon en m^3/s.

Mois	Equation de la droite de régression	Coefficient de corrélation	Ecart des résidus	Nombre de couples	Observations
Janvier	Y = 0.308 X + 0.004	0.97	0.072	155	Sans 1975
Février	Y = 0.225 X + 0.007	0.925	0.104	141	Sans 1975
Mars	Y = 0.283 X + 0.016	0.85	0.208	155	Sans 1975
Avril	Y = 0.327 X + 0.150	0.86	0.388	150	Sans 1975
Mai	Y = 0.369 X + 0.265	0.88	0.364	155	Sans 1975
Juin	Y = 0.485 X + 0.004	0.93	0.148	150	Sans 1975
Juillet	Y = 0.254 X + 0.110	0.95	0.095	155	Sans 1974-1975
Aout	Y = 0.520 X - 0.018	0.81	0.053	124	Sans 1972, 1974, 1975
Septembre	Y = 0.323 X + 0.053	0.856	0.112	180	Sans 1975
Octobre	Y = 0.321 X + 0.068	0.87	0.173	186	Sans 1975
Novembre	Y = 0.341 X + 0.138	0.91	0.200	180	Sans 1975
Décembre	Y = 0.493 X + 0.004	0.85	0.184	186	Sans 1975
ANNEE					
1969	Y = 0.471 X + 0.197	0.91	0.085	184	
1970	Y = 0.354 X + 0.091	0.89	0.323	365	
1971	Y = 0.375 X + 0.017	0.90	0.230	365	
1972	Y = 0.444 X + 0.024	0.88	0.185	366	
1973	Y = 0.311 X + 0.023	0.93	0.143	365	
1974	Y = 0.300 X + 0.164	0.845	0.262	303	Sans le mois Juillet-Août

Tableau n°4-11 - Résultats de la régression linéaire

L'examen du tableau nous montre une relation linéaire entre les deux débits, ce qui est normal étant donné que le débit mesuré à la station d'Engins représente le débit du Furon + le débit du Bruyant. Mais on constate une

Classes en m^3/s	1970	1971	1972	1973	1974	Moyenne	%	%	%	%
0.0 - 0.1	52	199	61	116	51	96	26.3			
0.1 - 0.2	101	48	99	119	73	88	24.11	50.41		
0.2 - 0.3	52	16	32	35	71	41	11.23		75.61	
0.3 - 0.4	21	10	48	43	28	30	8.22			88.50
0.4 - 0.5	25	14	41	18	7	21	5.75			
0.5 - 0.6	17	10	18	8	18	14	3.84			
0.6 - 0.7	11	8	9	3	13	9	2.47			
0.7 - 0.8	11	8	10	3	3	7	1.92			
0.8 - 0.9	3	3	8	3	25	8	2.19			
0.9 - 1.	6	6	9	1	21	9	2.47			
1.0 - 1.1	2	4	4	1	11	4	1.10			
1.1 - 1.2	5	5	6	1	11	6	1.64			
1.2 - 1.3	2	4	6	1	10	5	1.37			
1.3 - 1.4	1	5	7	-	5	4	1.10			
1.4 - 1.5	3	3	1	2	5	3	0.82			
1.5 - 1.6	3	3	1	3	5	3	0.82			
1.6 - 1.7	6	2	1	-	2	2	0.55			
1.7 - 1.8	2	1	1	-	1	1	0.27			
1.8 - 1.9	5	3	1	1	-	2	0.55			
1.9 - 2	4	3	1	1	1	2	0.55			
2.0 - 2.1	8	5	1	-	1	3	0.82			
2.1 - 2.2	6	1	-	-	-	1	0.27			
2.2 - 2.3	1	1	-	2	-	1	0.27			
2.3 - 2.4	5	1	-	1	-	1	0.27			
2.4 - 2.5	2	-	-	1	-	1	0.27			
2.5 - 2.6	5	1	-	-	-	1	0.27			
2.6 - 2.7	1	1	-	2	1	1	0.27			
2.7 - 2.8	1	-	1	-	-	-	-			
2.8 - 2.9	2	-	-	-	1	1	0.27			
2.9 - 3	1	-	-	-	-	-				
3. - 3.1	-	-	-	-	-	-				
3.1 - 3.2	1	-	-	-	1	-	99.98			

Tableau n° 4-12 - Débits journaliers classés du Bruyant (1970-1974)

variation du coefficient de corrélation entre 0.81 et 0.97. Cela s'explique par l'erreur sur les mesures des débits aux deux stations et surtout à la station du Bruyant.

De même, on constate que l'écart des résidus est élevé, ce qui veut dire que l'erreur sur l'estimation des faibles débits est grande ; par contre l'erreur sur l'estimation des débits forts est acceptable.

Nous avons classé les débits du Bruyant par tranches de 0.100 m^3/s pour la période 1970-1974; nous les présentons dans le tableau n°4-12 .

Nous constatons que 50.4 % des débits de l'année moyenne ne dépassent pas 0.200 m^3/s et 75.6 % des débits ne dépassent pas 0.5 m^3/s.

La faiblesse du débit de l'exsurgence du Bruyant montre que la superficie du bassin drainé est petite.

L'année 1970 se présente comme une année humide; la figure n° 4-11 représente les débits journaliers, la courbe des débits classés et l'histogramme de ces débits.

4.3.2.4. Les débits mensuels

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1969	-	-	-	-	1.23	0.803	0.382	0.225	0.259	0.083	0.35	0.163
1970	0.551	0.501	0.319	1.26	2.17	0.832	0.213	0.110	0.099	0.255	0.425	0.276
1971	0.069	0.082	0.103	1.60	0.985	0.727	0.195	0.086	0.057	0.056	0.090	0.180
1972	0.098	0.292	0.457	0.870	0.968	0.440	0.129	(0.087)	0.210	0.207	0.434	0.371
1973	0.063	0.053	0.151	0.480	0.806	0.258	0.523	0.171	0.174	0.205	0.189	0.116
1974	0.243	0.224	0.710	0.436	0.383	0.212	(0.157)	(0.191)	0.341	0.613	1.11	0.642
Min.	0.069	0.053	0.103	0.436	0.383	0.212	0.129	0.086	0.057	0.056	0.090	0.116
Max.	0.243	0.501	0.710	1.60	2.17	0.832	0.523	0.225	0.341	0.613	1.11	0.642
Moy.	0.205	0.230	0.348	0.929	1.09	0.545	0.267	0.145	0.190	0.237	0.433	0.291
Ecart type	0.207	0.181	0.246	0.502	0.599	0.278	0.154	0.059	0.104	0.200	0.358	0.195
Coef. de variation	1.011	0.79	0.711	0.54	0.55	0.51	0.58	0.41	0.550	0.840	0.830	0.670

Tableau n° 4-13 - Les débits mensuels du Bruyant en m^3/s (1969-1974)

Les débits entre parenthèses ont été estimés à partir des débits mensuels du Furon. L'équation de la droite de régression est la suivante :

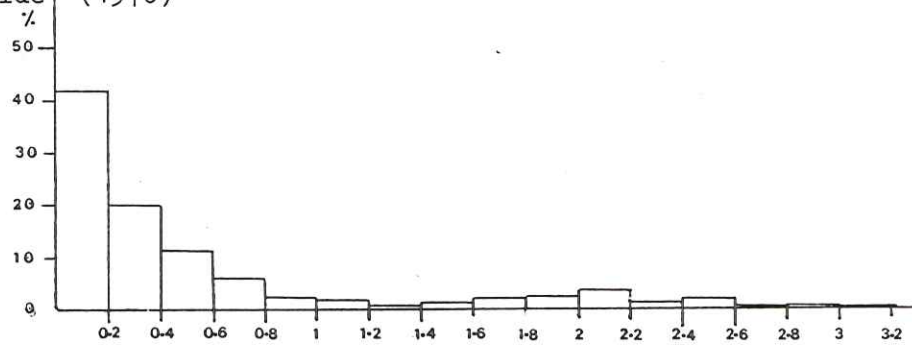
$$Y_{\text{Débit Bruyant}} = 0.4164 \; X_{\text{Débit Furon}} - 0.0074 \qquad N = 62 \text{ couples}$$

Le coefficient de corrélation : + 0.935

L'écart des résidus $\sigma y \sqrt{1-r^2} = 0.140$

A partir de ces données, on peut estimer les débits mensuels du Bruyant pour les années 1975 et 1976, et en retenant un intervalle de confiance à 90 % l'estimation des débits sera : $Q \pm (1.64 \times 0.140) = Q \pm 0.230$ m^3/s.

Fig. n°4-11- Débits moyens journaliers du Bruyant - Année humide (1970)



Histogramme des débits classés

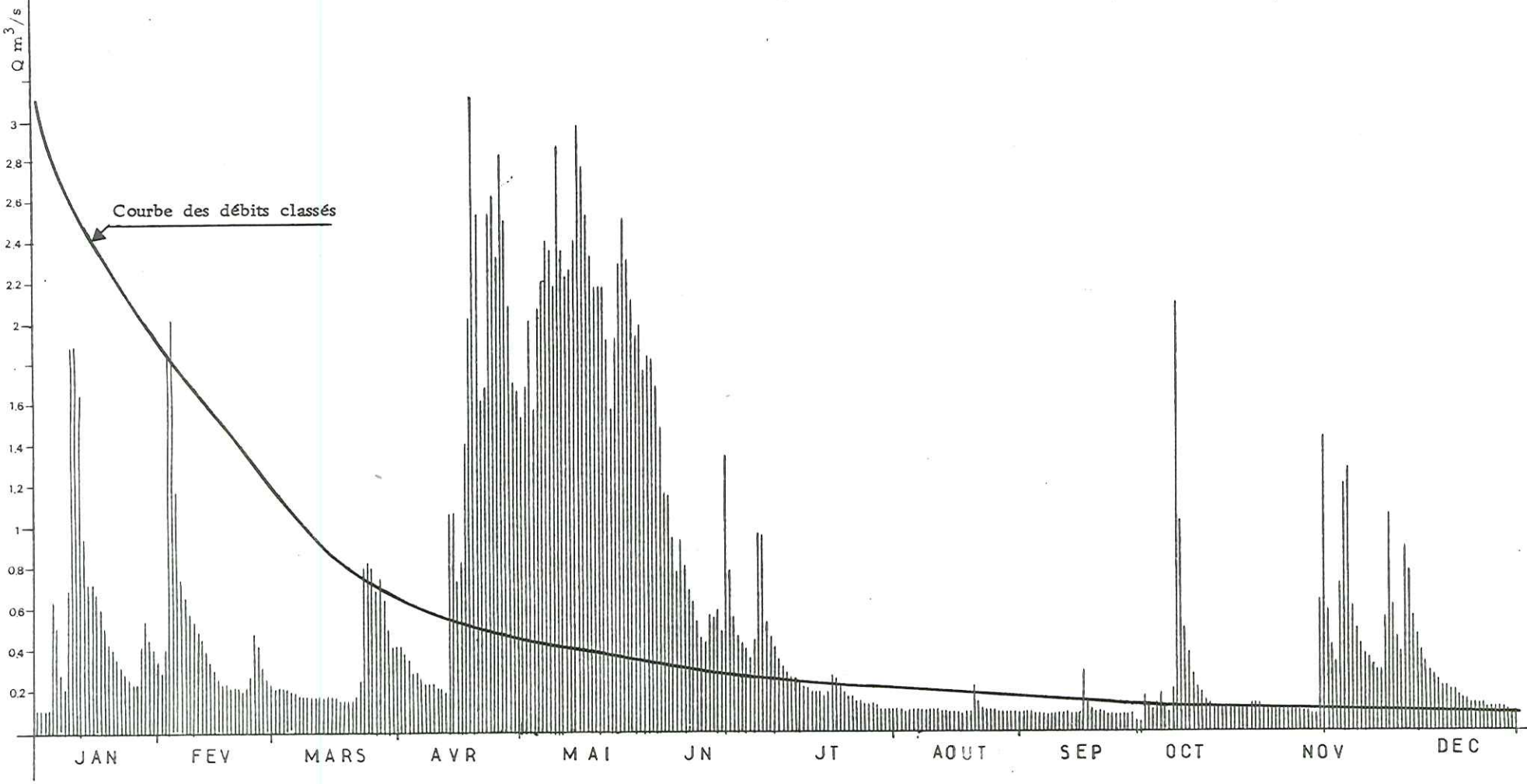
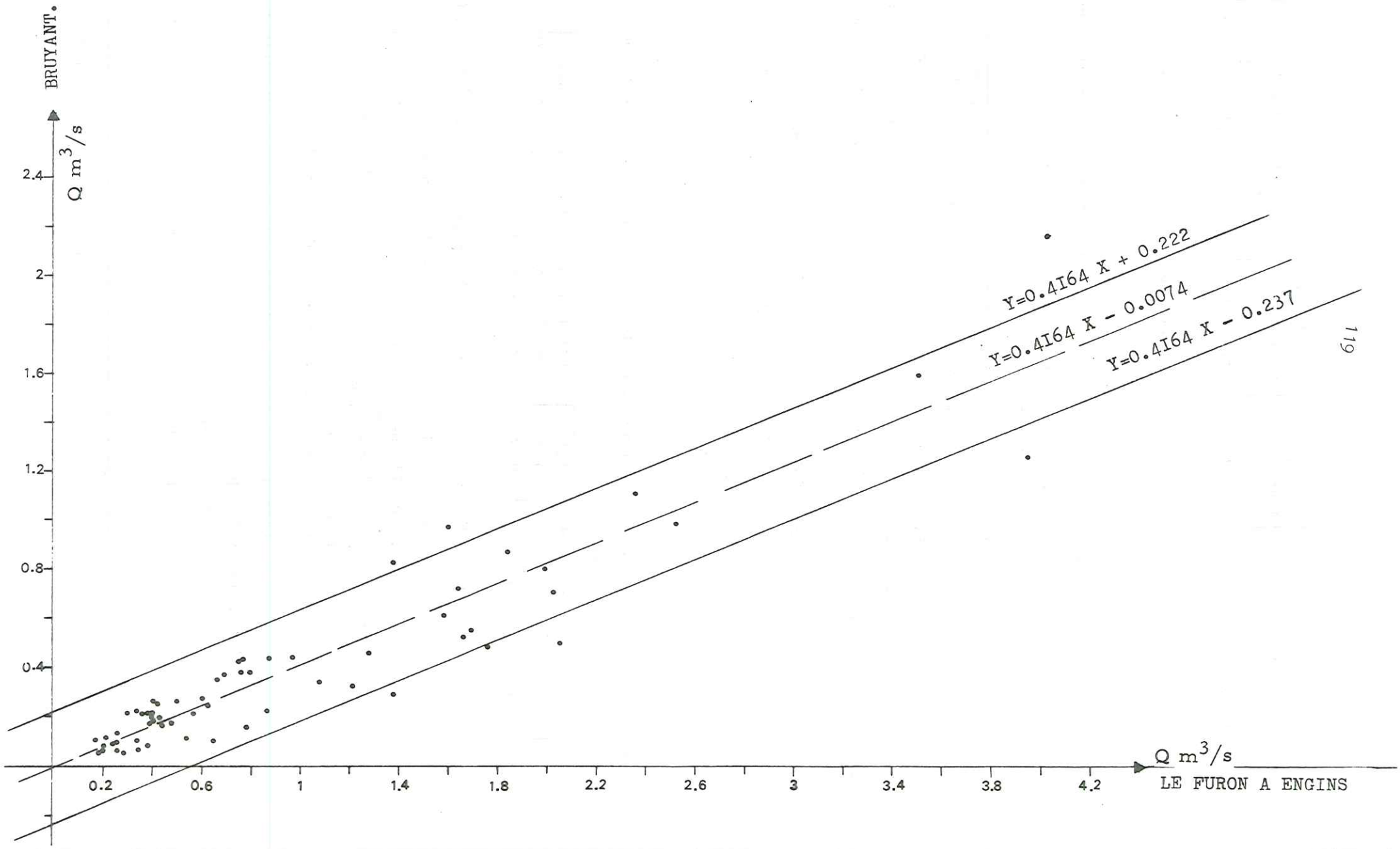


Fig n° 4-12- Résultats de la régression linéaire entre les débits mensuels du Furon (x) et les débits mensuels du Bruyant (y)



Année	Jan.	Fév	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1975	0.596±	0.285±	0.227±	1.10±	0.700±	0.400±	0.225±	0.150±	0.571±	0.275±	0.501±	0.476±
1976	0.160±	0.247±	0.417±	0.663±	0.379±	0.112±	0.093±	0.059±	0.409±	0.369±	0.650±	0.338±

Tableau n° 4-14 - Débits mensuels estimés du Bruyant en m^3/s.

Durant cette période, le débit mensuel minimal a été observé au mois de février 1973, sa valeur est de l'ordre de 0.053 m^3/s, tandis que le débit mensuel maximal a été observé au mois de mai 1970, sa valeur est de l'ordre de 2.17 m^3/s.

Le rapport entre les valeurs extrêmes est $\frac{2.17}{0.053} = 40.9$. Ce rapport très élevé exprime la grande variation de débit à l'échelle mensuelle.

Quant au coefficient de variation, sa valeur varie entre 0.41 et 1.01. Ces valeurs élevées du coefficient prouvent l'irrégularité du régime de cette exsurgence, ce qui veut dire que les débits mensuels varient d'une année à l'autre.

Les débits d'étiage peuvent se placer en trois mois de l'année, sauf dans les mois des fontes de neiges où les débits ont des valeurs élevées.

4.3.2.5. Les débits annuels

Durant notre période d'étude 1969-1976, nous avons pu calculer les débits moyens annuels du Bruyant pour les années 1970 à 1974 que nous présentons dans le tableau suivant :

	1970	1971	1972	1973	1974	Moyenne
Module annuel	0.584	0.353	0.380	0.266	0.439	0.404 m^3/s
Coefficient annuel	1.45	0.87	0.94	0.66	1.09	

Tableau n°4-15 - Débits annuels du Bruyant en m^3/s (1970-1974)

Nous constatons que l'année 1970 présente le module le plus élevé avec 0.584 m^3/s, tandis que l'année 1973 présente le module le plus faible avec 0.266 m^3/s. Le rapport entre ces deux valeurs $\frac{0.584}{0.266}$ est égal à 2.20. Ce rapport est plus faible que le rapport des débits mensuels qui est égal à 40.9.

4.3.2.5. Les débits caractéristiques du Bruyant

L'étude des débits classés nous a permis de définir quelques débits caractéristiques les plus utilisés.

DCM : le débit dépassé 10 jours par an.

DC1, DC3, DC6, DC9 : les débits dépassés respectivement 1,3,6 ou 9 mois par an.

DCE : débit caractéristique d'étiage, débit dépassé 355 jours/an.

Les valeurs de ces débits et pour la période 1970-1974 sont regroupés dans le tableau n°4-16 .

	1970	1971	1972	1973	1974
DCM (m^3/s)	2.51	1.98	1.35	1.53	1.58
DC1 (m^3/s)	2.03	1.26	1.01	0.555	1.23
DC3 (m^3/s)	0.650	0.405	0.490	0.315	0.810
DC6 (m^3/s)	0.250	0.080	0.275	0.125	0.285
DC9 (m^3/s)	0.120	0.059	0.110	0.089	0.135
DCE (m^3/s)	0.089	0.040	0.055	0.045	0.063

Tableau n° 4-16 - Les débits caractéristiques du Bruyant en m^3/s.

Le tableau reflète la faible valeur du (DC6) débit de fréquence 0.5 de l'année 1971. Cela est dû à l'étiage qui a duré du 1er Août au 15 Octobre. A noter aussi les faibles valeurs du débit d'étiage qui varient entre 0.045 m^3/s et 0.089 m^3/s. La valeur moyenne de ce débit est 0.058 m^3/s.

Les débits caractéristiques ainsi que l'histogramme des débits classés de l'année moyenne (1970-1974) sont portés sur le graphique de la figure n° 4-13.

4.3.3. RESURGENCE DES CUVES DE SASSENAGE (Le Germe)

Les cuves de Sassenage, connues depuis longtemps, s'ouvrent et se développent dans le Sénonien.

Elles s'ouvrent au pied de la falaise du plateau des Charvets (Barre Pugnet) en bordure Nord Est du massif du Vercors.

Les coordonnées Lambert sont X = 860.51; Y=323.31 ; Z= 298 m

Ces uves sont l'aboutissement d'un réseau karstique très important qui a été l'objet de plusieurs explorations spéléologiques.

qui ont beaucoup contribué à la connaissance de ce réseau (voir carte).

La resurgence des C uves donne naissance au Germe où a été installé le limnigraphe qui enregistre les hauteurs d'eau. Le dépouillement horaire de ces hauteurs à l'aide des courbes de tarage a permis de calculer les débits. L'analyse de ces débits sera consacrée tout d'abord aux débits instantanés ensuite aux débits journaliers et mensuels et à la fin aux débits annuels.

4.3.3.1. Les débits instantanés

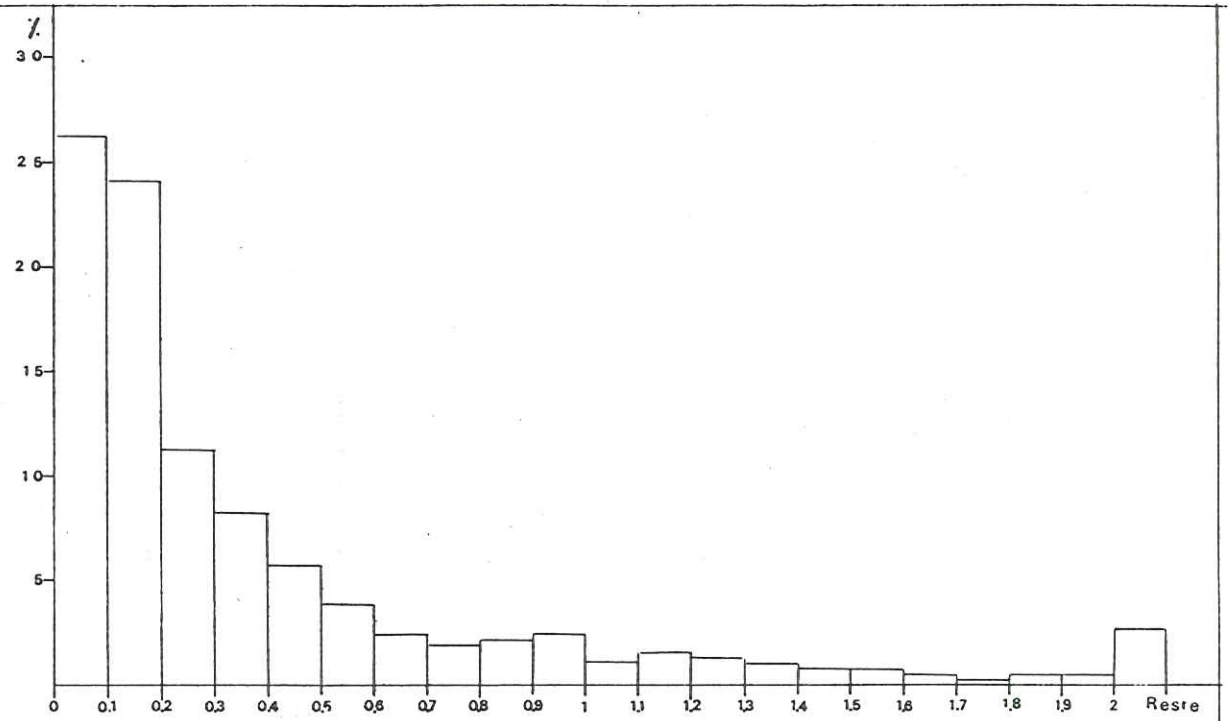
Le tableau n°4-17 regroupe les valeurs extrêmes des débits instantanés observés pendant la période Aout 68 - Décembre 76.

Le débit maximal instantané est de l'ordre de 20.50 m^3/s; il a été observé au mois de Décembre 1968.

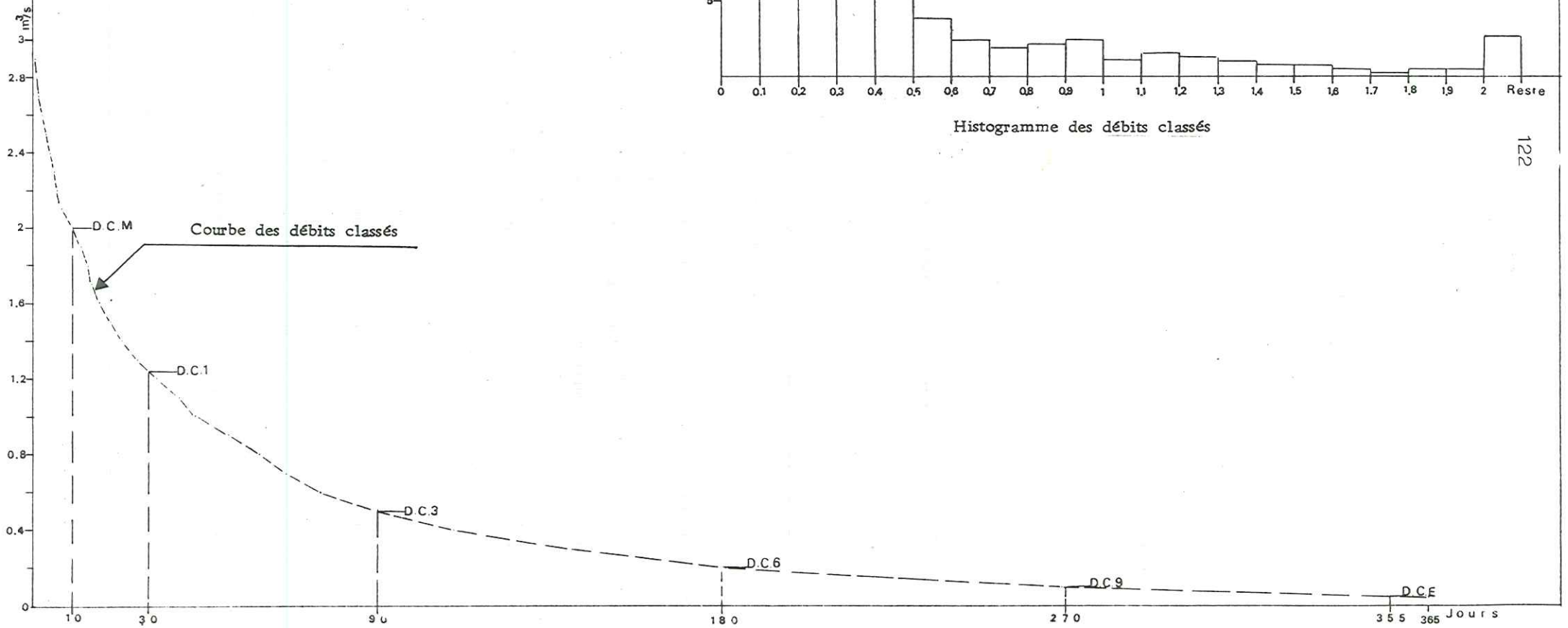
Signalons la rareté de ce débit qui représente la pointe d'une crue exceptionnelle; sa valeur est double du plus fort débit enregistré pendant la période 1969-1976.

Le débit minimal est de l'ordre de 0.040 m^3/s; il a été observé au mois de Décembre 1973, et représente un débit d'étiage qui peut durer plusieurs jours.

Fig. n° 4-13- Caractéristiques du régime du Bruyant .
Courbe des débits classés (1970-1974)



Histogramme des débits classés



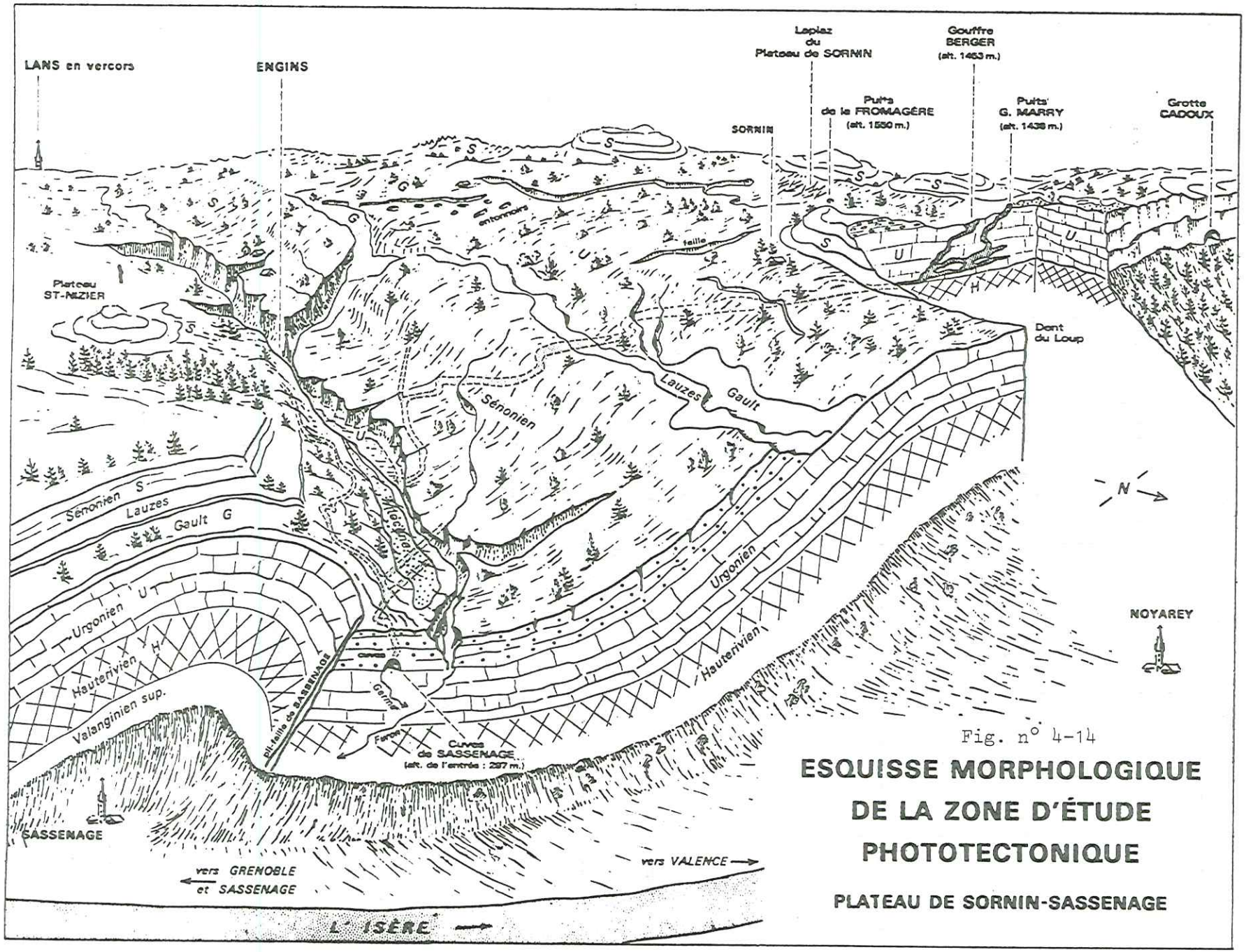


Fig. n° 4-14

ESQUISSE MORPHOLOGIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE PHOTOTECTONIQUE

PLATEAU DE SORNIN-SASSENAGE

		Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1968	Max.	-	-	-	-	-	-	-	12.00	8.40	3.60	10.00	20.50	20.50
	Min.	-	-	-	-	-	-	-	0.110	0.200	0.150	0.150	0.140	0.110
1969	Max.	0.560	0.560	2.60	7.40	4.20	10.40	3.60	2.60	1.10	0.120	4.20	0.620	10.40
	Min.	0.160	0.110	0.160	0.180	0.180	0.170	0.160	0.130	0.120	0.090	0.090	0.160	0.090
1970	Max.	3.60	6.88	2.20	9.40	8.40	6.30	1.60	0.900	0.680	7.88	4.84	3.20	9.40
	Min.	0.150	0.220	0.170	0.240	0.620	0.24	0.130	0.120	0.090	0.130	0.140	0.140	0.090
1971	Max.	0.405	0.220	1.13	5.47	8.30	3.80	2.09	0.650	0.920	2.09	0.113	0.770	8.30
	Min.	0.080	0.120	0.100	0.47	0.195	0.195	0.100	0.075	0.060	0.06	0.060	0.130	0.060
1972	Max.	0.225	1.47	1.64	2.15	1.98	1.98	0.810	0.960	1.13	0.510	2.15	2.15	2.15
	Min.	0.130	0.130	0.225	0.390	0.445	0.180	0.130	0.120	0.100	0.090	0.120	0.130	0.090
1973	Max.	0.195	0.165	1.36	2.35	3.30	2.82	10.06	6.28	6.55	4.40	4.94	2.25	10.06
	Min.	0.100	0.120	0.120	0.300	0.340	0.165	0.150	0.080	0.080	0.060	0.060	0.040	0.040
1974	Max. Min.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1975	Max.	1.68	1.01	0.660	2.14	3.02	2.46	1.80	1.58	4.22	1.46	2.34	1.46	4.22
	Min.	0.260	0.130	0.130	0.176	0.580	0.176	0.084	0.076	0.130	0.084	0.152	0.118	0.076
1976	Max.	0.130	0.44	1.35	2.46	1.46	0.176	0.176	0.51	2.72	1.80	3.36	1.46	3.36
	Min.	0.064	0.060	0.152	0.300	0.130	0.060	0.055	0.045	0.130	0.118	0.176	0.152	0.045

Tableau n° 4-17 - Débits instantanés du Germe en m^3/s.

4.32.2. Les débits journaliers

Le débit journalier représente la moyenne arithmétique des 12 débits horaires relevés dans un jour.

Ces débits sont consignés en annexe ainsi que le débit minimal et maximal observé pendant le mois.

Ce calcul a été fait pour la période Août 1968 - Décembre 1976

Le classement des débits journaliers par tranche de 0.100 m^3/s et leurs pourcentages pour les années 1969-1976 fait ressortir les caractéristiques suivantes : en moyenne,

- la tranche des débits (0.1-0.2) a le pourcentage le plus élevé avec 33.42 % et 47.12 % des débits ont des valeurs ne dépassant pas 0.2 m^3/s ; 85.97 % des débits ne dépassent pas 1 m^3/s.(voir tableau n° 4-18).

Remarque : les valeurs de l'année 1974 ne sont pas prises en considération en raison de leur imprécision .

La résurgence des cuves de Sassenage se caractérise donc par un débit relativement faible qui s'explique par la petite superficie du bassin drainé.

Notons aussi que l'année 1970 se présente comme une année humide et l'année 1976 comme une année sèche. Les figures n°4-15,4-16 montrent leurs débits moyens journaliers ainsi que la courbe des débits classés et l'histogramme.

Fig. n° 4-15- Débits moyens journaliers du Germe - Année humide (1970).

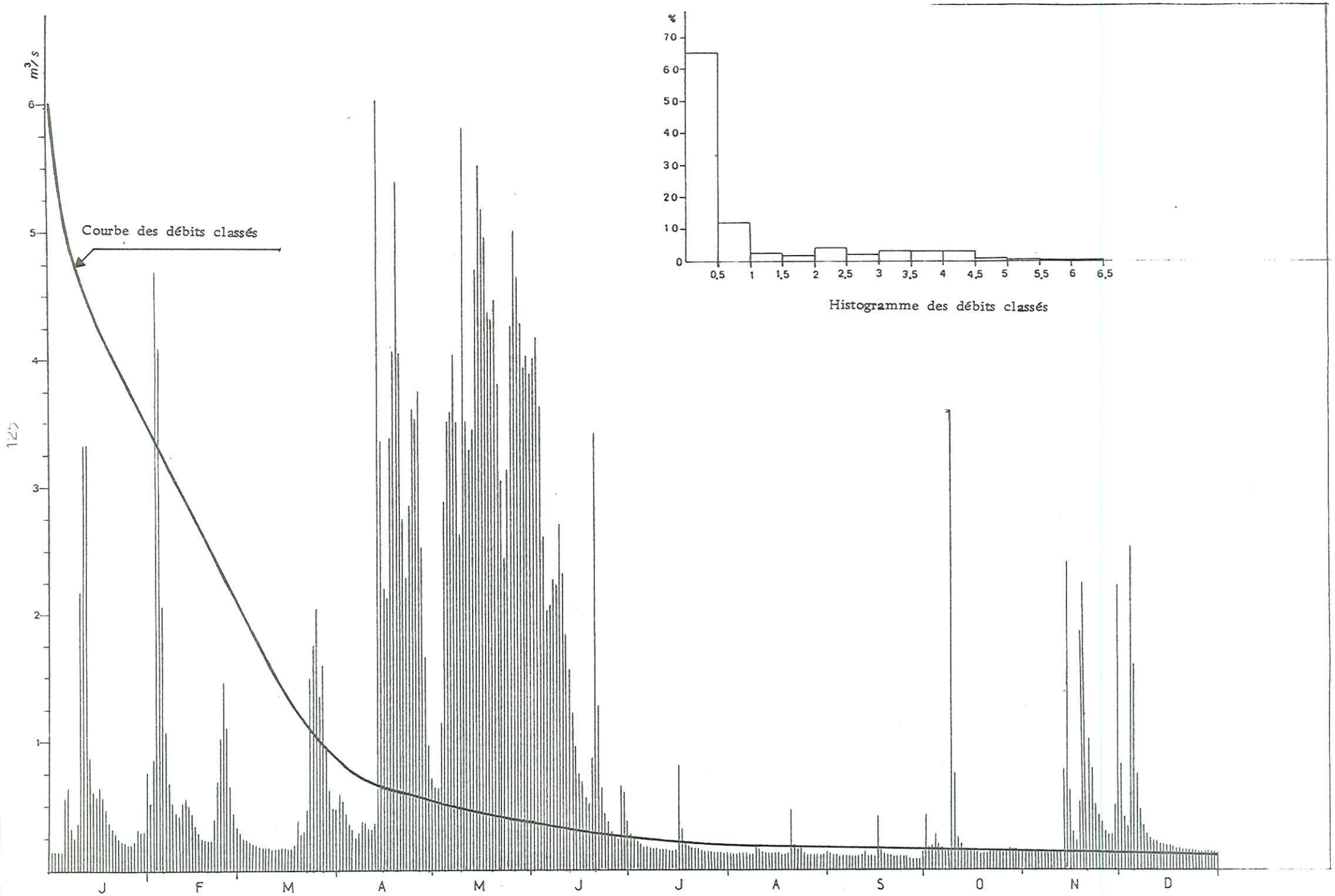
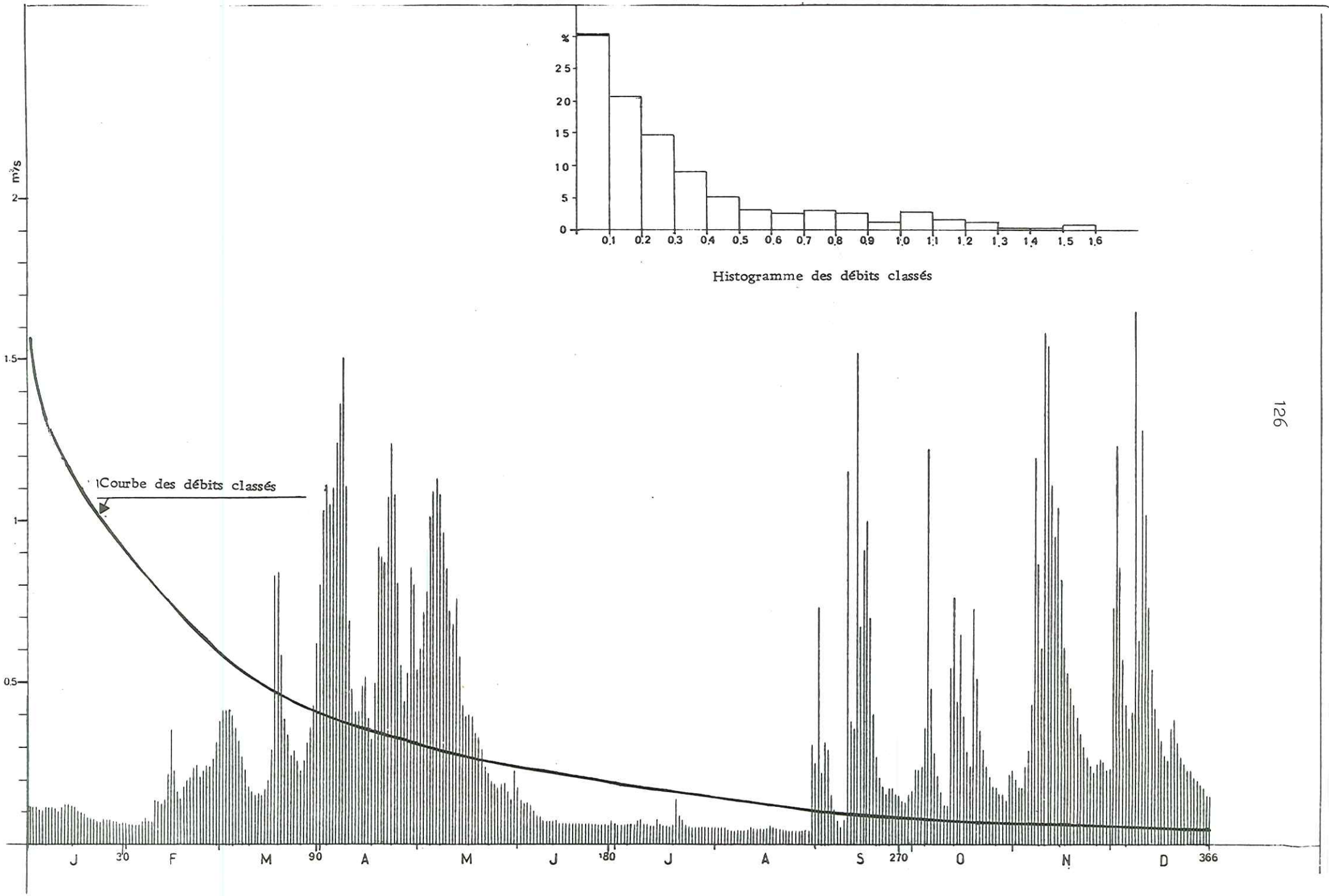


Fig. n° 4-16- Débits moyens journaliers du Germe - Année sèche (1976).



Classes m^3/s	1969	1970	1971	1972	1973	1975	1976	Total	Moyenne	%
0.0 - 0.1	18	4	108	27	61	24	110	352	50	13.70
0.1 - 0.2	170	154	124	132	112	90	76	858	122	33.42
0.2 - 0.3	62	38	28	53	42	70	54	347	49	13.4
0.3 - 0.4	27	26	20	19	14	42	33	181	26	7.12
0.4 - 0.5	9	16	9	23	18	16	19	110	16	4.38
0.5 - 0.6	15	15	11	21	22	17	12	113	16	4.38
0.6 0.7	9	14	6	17	8	13	10	77	11	3.01
0.7 - 0.8	6	6	4	13	11	17	11	68	10	2.73
0.8 - 0.9	4	5	9	14	8	6	10	56	8	2.19
0.9 - 1.0	1	4	4	6	10	10	5	40	6	1.64
1.0 - 1.1	1	3	2	9	12	8	10	45	6	1.64
1.1 - 1.2	4	2	8	6	5	5	6	36	5	1.37
1.2 - 1.3	2	2	2	6	4	5	5	26	4	1.09
1.3 - 1.4	2	1	2	5	-	12	1	23	3	0.82
1.4 - 1.5	1	2	2	7	1	7	1	21	3	0.82
1.5 - 1.6	3	3	3	1	1	4	3	18	3	0.82
1.6 - 1.7	3	1	3	1	2	12	-	22	3	0.82
1.7 - 1.8	2	1	4	5	3	6	-	21	3	0.82
1.8 - 1.9	2	2	4	1	1	-	-	10	3	0.82
1.9 - 2.0	2	-	6	-	3	-	-	11		
2.0 - 2.1	1	4	-	-	1	-	-	6		
2.1 - 2.2	1	3	1	-	2	-	-	7		
2.2 - 2.3	2	5	-	-	3	-	-	10	5	1.37
2.3 - 2.4	-	2	-	-	2	-	-	4		
2.4 - 2.5	2	1	1	-	2	-	-	6		
2.5 - 2.6	2	3	1	-	3	-	-	9	4	1.09
2.6 - 2.7	2	2	-	-	3	-	-	7		
2.7 - 2.8	3	1	-	-	1	-	-	6		
2.8 - 2.9	1	1	-	-	1	-	-	3		
2.9 - 3.0	-	1	1	-	-	-	-	2		
3.0 - 3.1	2	1	1	-	-	-	-	4		
3.1 - 3.2	1	1	-	-	2	-	-	4	3	0.82
3.2 - 3.3	1	1	-	-	-	-	-	2		
3.3 - 3.4	-	4	-	-	1	-	-	5		
3.4 - 3.5	1	4	-	-	1	-	-	6		
3.5 - 3.6	1	5	-	-	-	-	-	6		
3.6 - 3.7	-	1	-	-	-	-	-	1		
3.7 - 3.8	-	2	-	-	-	-	-	2	2	0.55
3.8 - 3.9	-	1	-	-	-	-	-	1		
3.9 - 4.0	-	2	-	-	-	-	-	2		
4.0 - 4.1	-	4	-	-	-	-	-	4	2	0.55
4.1 - 4.2	-	2	-	-	-	-	-	2		
4.2 - 4.3	-	3	-	-	-	-	-	3		
4.3 - 4.4	-	1	-	-	-	-	-	1		
4.4 - 4.5	-	1	-	-	-	-	-	1		
4.5 - 4.6	-	-	-	-	2	-	-	2		
4.6 - 4.7	-	3	-	-	-	-	-	4		
4.7 - 4.8	-	-	-	-	-	-	-	0		
4.8 - 4.9	2	-	-	-	-	-	-	2	2	0.55
4.9 - 5.0	-	2	-	-	-	-	-	2		
5.0 - 5.1	-	-	-	-	-	-	-	0		
5.1 - 5.2	-	1	-	-	1	-	-	2		
5.2 - 5.3	-	-	-	-	-	-	-	0		
5.3 - 5.4	-	1	-	-	-	-	-	-	1	
5.4 - 5.5	-	1	-	-	-	-	-	-	1	
5.5 - 5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5.6 - 5.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5.7 - 5.8	-	1	-	-	-	-	-	-	-	
5.8 - 5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5.9 - 6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6.0 - 6.1	-	1	-	-	-	-	-	-	1	
6.1 - 6.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6.2 - 6.3	-	-	-	-	1	-	-	-	1	
R > 6.3									1	99.92 %
								2557 jours sans 1974		

Tableau n°4-18 Débits journaliers classés du Germe - Cuves Sassenage 1969-1976 (nombre de jours).

4.3.2.3. Les débits mensuels

Les débits moyens mensuels pour la période (1969-1976) sont représentés dans le tableau n°4-19 ainsi que le minimum, le maximum, l'écart-type et le coefficient de variation qui est égal au rapport de l'écart-type à la moyenne.

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
1969	0.243	0.200	0.403	1.16	1.37	1.06	0.470	0.173	0.163	0.104	0.300	0.193	0.487
1970	0.629	0.898	0.511	2.00	3.70	1.52	0.195	0.145	0.122	0.305	0.587	0.368	0.915
1971	0.151	0.138	0.247	1.65	0.962	0.630	0.158	0.103	0.098	0.118	0.168	0.207	0.386
1972	0.171	0.475	0.550	0.915	1.05	0.483	0.205	0.151	0.189	0.122	0.520	0.359	0.432
1973	0.116	0.142	0.314	0.690	1.21	0.480	1.38	0.539	0.541	0.544	0.599	0.446	0.586
1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1975	0.586	0.291	0.257	1.00	1.17	0.483	0.241	0.180	0.587	0.375	0.609	0.372	0.513
1976	0.099	0.178	0.359	0.810	0.505	0.078	0.066	0.064	0.373	0.330	0.543	0.453	0.322
Min.	0.099	0.138	0.247	0.690	0.505	0.078	0.066	0.064	0.098	0.104	0.168	0.193	0.322
Max.	0.629	0.898	0.511	2.00	3.70	1.52	1.38	0.539	0.587	0.544	0.609	0.453	0.915
Moy.	0.285	0.332	0.377	1.18	1.42	0.676	0.388	0.194	0.296	0.271	0.475	0.343	0.520
Ecart	0.225	0.276	0.118	0.478	1.04	0.471	0.454	0.157	0.203	0.165	0.171	0.104	0.194
Coeff.	0.79	0.83	0.31	0.41	0.73	0.70	1.17	0.81	0.69	0.61	0.36	0.30	0.37

Tableau n° 4-19 - Débits mensuels de Germe en m^3/s - 1969-1976

L'examen du tableau montre que le débit mensuel minimal observé est de l'ordre de 0.064 m^3/s, il appartient au mois d'août 1969, tandis que le débit maximal observé est de l'ordre de 3.70 m^3/s et appartient au mois de mai 1970.

De même il met en évidence l'aspect de sécheresse des mois de Juin, Juillet et Aout de l'année 1976 où les débits étaient de 0.078 m^3/s, 0.066 m^3/s, 0.064 m^3/s.

Le coefficient de variation prend des valeurs comprises entre 0.30 et 1.17; les fortes valeurs du coefficient 1.17 pour Juillet, 0.81 pour Août prouvent l'irrégularité des débits mensuels de ces deux mois d'une année à l'autre.

Le rapport entre les valeurs extrêmes $\frac{3.70}{0.064} = 57.8$ met en évidence une grande variation de débits d'un mois à l'autre.

La figure n° 4-17 visualise les données du tableau précédent.

4.3.2.3.1. Coefficients mensuels de débit ou débits relatifs mensuels.

Le coefficient mensuel de débit est égal au rapport du débit moyen mensuel sur le module moyen annuel.

$$X = \frac{Q}{M}$$

X = coefficient

Q = débit moyen mensuel

M = module moyen annuel = 0.520 m^3/s

Le calcul a été fait pour l'année moyenne 1969-1976.

Fig. n° 4-17 - Evolution moyenne des débits mensuels
Station du Germe (1969-1976)

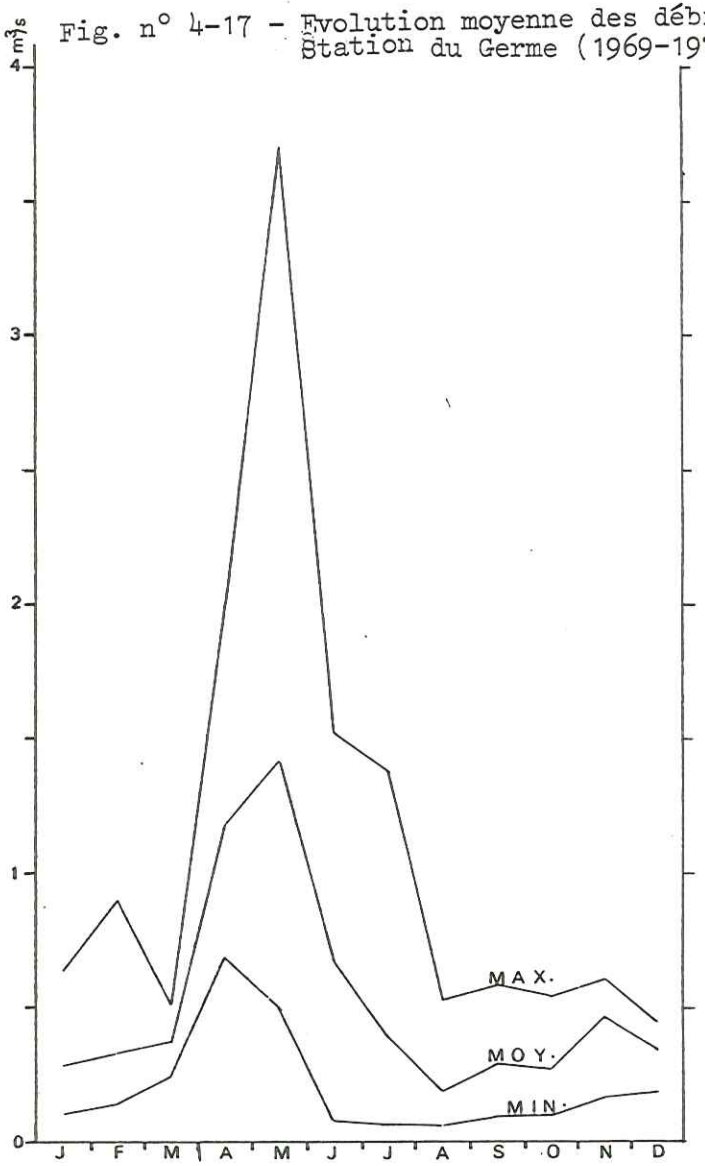
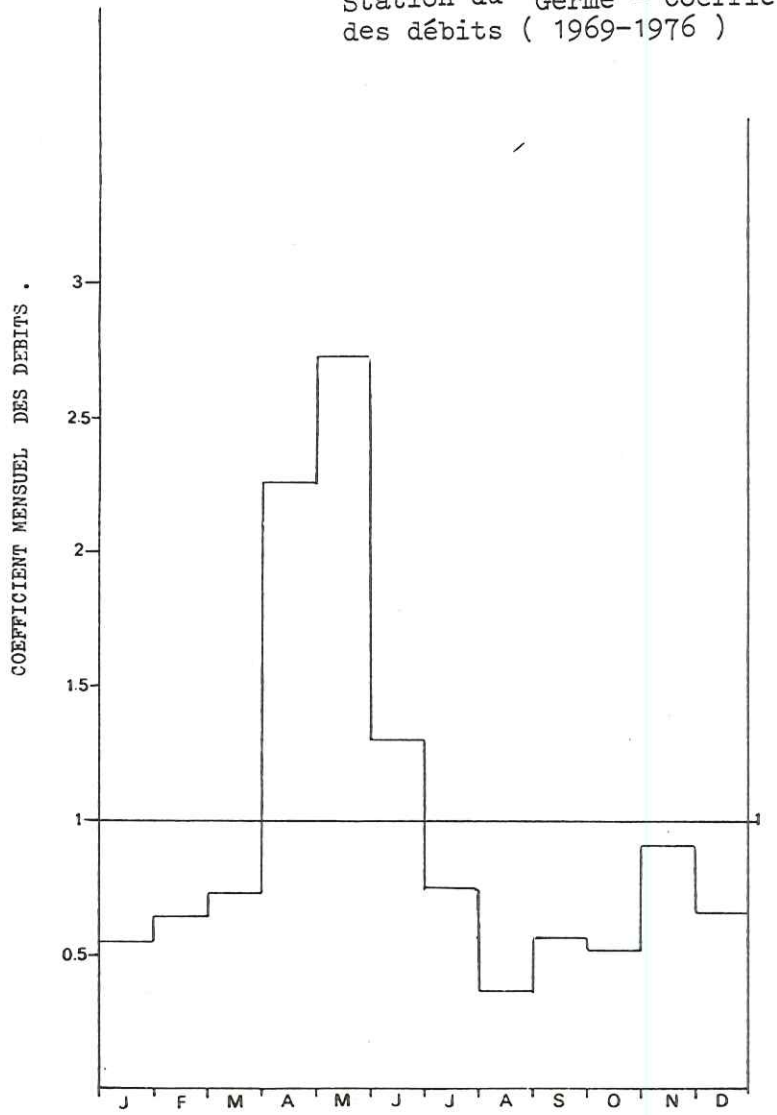


Fig.n° 4-18 - Evolution moyenne des débits mensuels
Station du Germe - Coefficient mensuel
des débits (1969-1976)



Coefficients mensuels de débit (moyenne)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	0.55	0.64	0.73	2.26	2.73	1.30	0.75	0.37	0.57	0.52	0.91	0.66

Tableau n° 4-20 Coefficients mensuels de débit (année moyenne 1969-1976)

Les résultats du tableau n° 4-20 sont portés sur la figure n° 4-18 ; on constate que les mois dont le coefficient de débit est supérieur à 1 sont Avril, Mai, Juin. Cela est dû à une augmentation de débit causée par la fonte de neige qui peut se prolonger jusqu'à Juin et explique le fort coefficient de Juin.

Les faibles coefficients sont observés durant les mois de Janvier, Février, Septembre, Octobre, Décembre et surtout Août. Novembre et Mars présentent des coefficients moyens .

4.3.2.4. Les débits moyens annuels ou modules

Nous présentons les débits moyens annuels de 7 années d'observation 1969-1976.

	1969	1970	1971	1972	1973	1975	1976	Moyenne
Module annuel	0.487	0.915	0.386	0.432	0.586	0.513	0.322	0.520
Coefficient annuel	0.94	1.76	0.74	0.83	1.13	0.99	0.62	

Tableau n° 4-21 - Débits moyens annuels en m^3/s du Germe 1969-1976

On constate que le module le plus élevé a été observé en 1970 avec 0.915 m^3/s et un coefficient 1.76, tandis que le module le plus faible a été observé en 1976 avec 0.322 m^3/s et un coefficient 0.62 . Donc pendant cette période, l'année 1970 est humide, l'année 1976 est une année sèche.

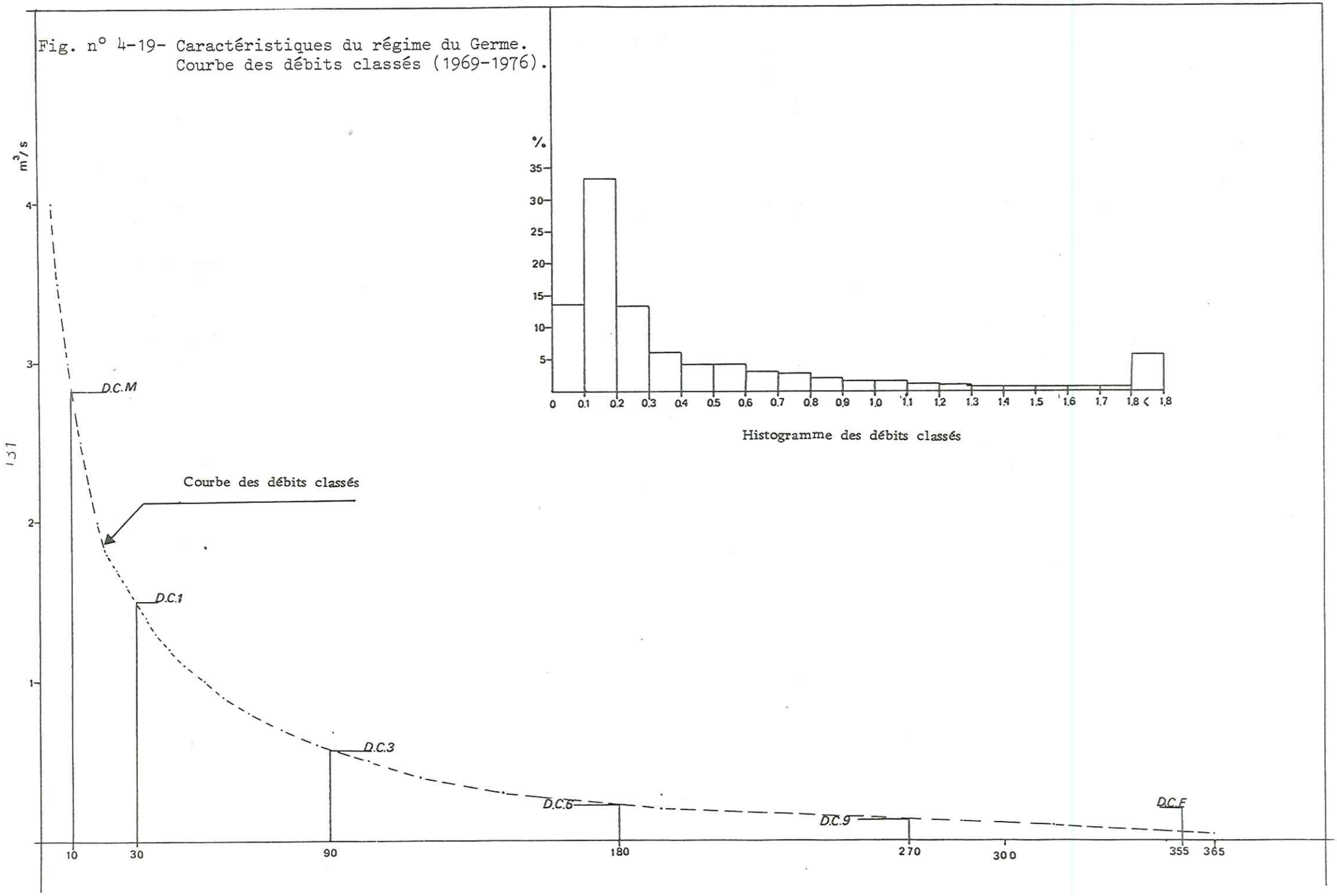
Le rapport entre ces deux valeurs extrêmes est égal $\frac{0.915}{0.322} = 2.8$. Ce rapport prouve de nouveau l'irrégularité du régime de la resurgence des Cuves de Sassenage à l'échelle de l'année mais cette irrégularité est moins marquée qu'à l'échelle mensuelle où le rapport est de l'ordre de 57.8.

4.3.2.5. Les débits caractéristiques du Germe

Pour compléter notre étude des débits, nous présentons dans le tableau n° 4-22 les débits caractéristiques du Germe.

Il convient de signaler l'importance du débit caractéristique d'étiage (DCE) qui donne une idée générale sur le régime de résurgence des Cuves et sur la capacité des réserves durant la période d'étude 1969-1976. Ces débits ont eu des valeurs qui varient entre 0.046 m^3/s et 0.110 m^3/s selon les années avec une moyenne de 0.080 m^3/s. Les étiages sont les plus faibles écoulements constatés. La gravité des étiages dépend de leur durée,

Fig. n° 4-19- Caractéristiques du régime du Germe.
Courbe des débits classés (1969-1976).



	1969	1970	1971	1972	1973	1975	1976
DCM	2.73	4.46	1.97	1.44	2.72	1.70	1.19
DC1	1.62	3.53	1.28	1.12	1.90	1.40	0.910
DC3	0.395	0.840	0.370	0.610	0.650	0.710	0.410
DC6	0.200	0.280	0.135	0.240	0.230	0.300	0.200
DC9	0.150	0.150	0.100	0.150	0.130	0.180	0.080
DCE	0.095	0.110	0.065	0.095	0.065	0.084	0.046

DCM : débit dépassé 10 jours par an

DC1 : débit dépassé 1 mois par an

DC3 : débit dépassé 3 mois par an

DC6 : débit dépassé 6 mois par an

DC9 : débit dépassé 9 mois par an

DCE : débit dépassé 355 Jours par an

Tableau n° 4-22 - Débits caractéristiques du Germe - Cuves de Sassenage : 1969-1976, en m^3/s.

Dans notre cas, elle varie de quelques jours à quelques mois (exemple: l'étiage des mois de Juin Juillet et Aout de l'année 1976).

La longue durée d'étiage de la résurgence des Cuves pose des problèmes sérieux pour le village de Sassenage qui est alimenté en eau par cette résurgence.

4.3.2.6. Estimation des débits manquants

Les débits de l'année 1974 ne sont pas pris en considération en raison de l'imprécision des mesures. Pour estimer les débits mensuels de cette année nous avons utilisé la régression simple entre les débits mensuels du Furon et du Germe.

L'équation de la droite de regression est la suivante :

$Y = 0.5652\ X - 0.0276$ Coefficient de corrélation : + 0.87

Ecart des résidus $= \sigma_y \sqrt{1-r^2} = 0.258$

N = 78 couples

Y = débit mensuel du Germe en m^3/s

X = débit mensuel du Furon en m^3/s

On constate que la valeur du coefficient de corrélation +0.87 n'est pas forte ;de même la valeur de l'écart des résidus $\pm$ 0.258 est élevée ce qui veut dire que l'erreur sur les débits faibles est considérable , par contre l'erreur sur les débits forts et acceptable.

Nous avons appliqué la méthode de regression multiple entre les débits mensuels des trois stations et pour la période Juillet 1969 - Décembre 1973 donc sur 54 valeurs.

L'équation de la régression :

$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2$ avec X_1 = débit du Furon

X_2 = débit du Bruyant

Y = débit du Germe.

B(0) = 0.0032

B(1) = 0.088

B(2) = 1.206

TABLE DE REGRESSION

Source	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne
Régression	17.262	2	8.631
Résiduel	2.637	51	0.0517
Total	19.899	53	

F = 166.9

Coefficient de détermination : 0.867

Coefficient de corrélation multiple : 0.931

Erreur standard de l'estimation : 0.227

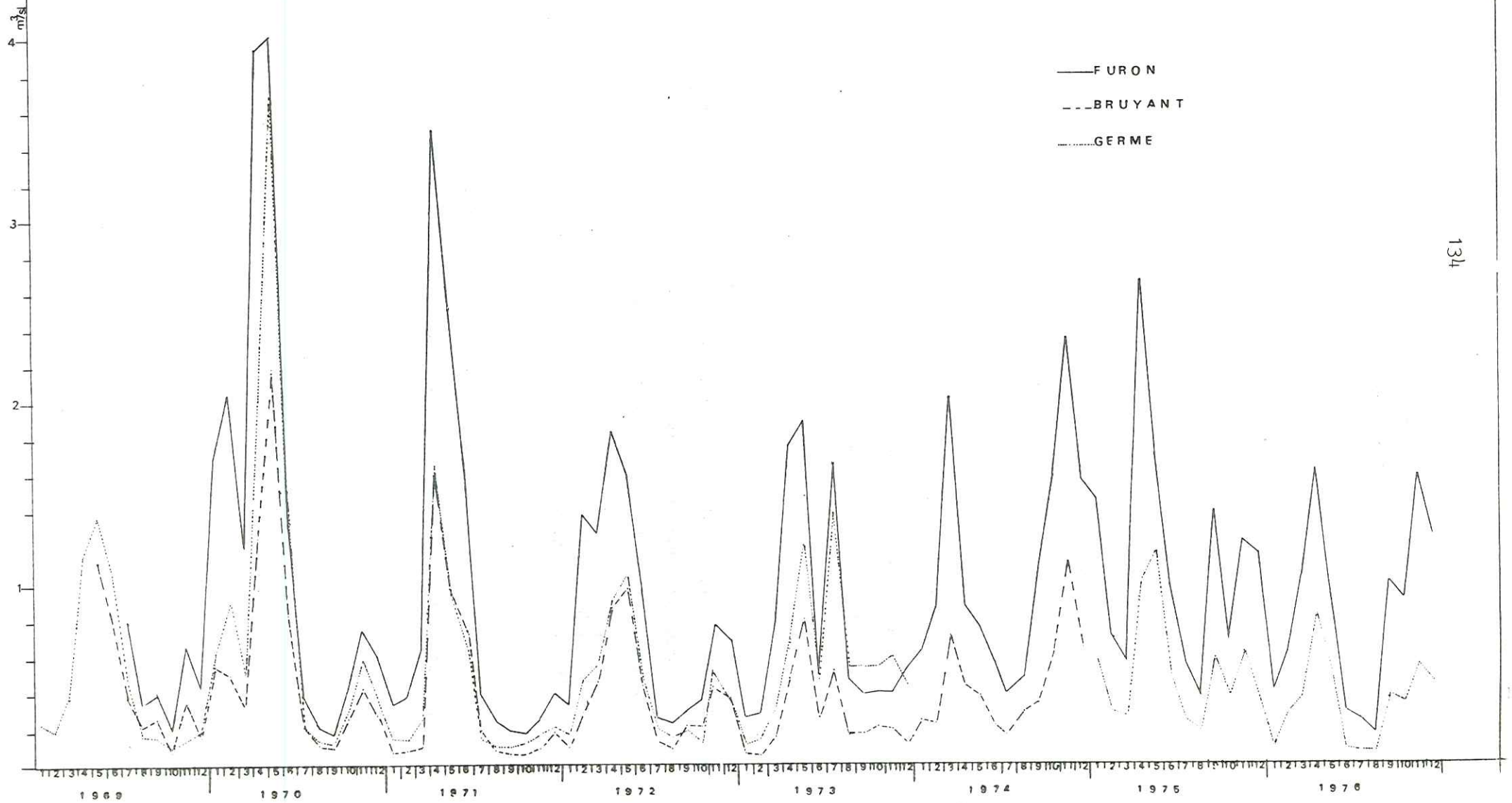
Nous constatons que la régression multiple est plus valable que la régression simple du point de vue coefficient de corrélation et erreur standard. Donc nous retenons cette méthode pour estimer les débits mensuels du Germe que nous présentons dans le tableau n° 4-23 .

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1974	0.351	0.349	1.04	0.605	0.532	0.309	0.227	0.275	0.509	0.881	1.55	0.914

Tableau n° 4-23 - Débits mensuels estimés au Germe en m^3/s

A ces valeurs, il faut ajouter $\pm$ 0.227 m^3/s valeur de l'erreur standard. Cette estimation est valable surtout pour les forts débits.

Fig. n° 4-20 - Variations des débits mensuels aux trois stations de mesure .



4.3.4. RELATIONS ENTRE LES DEBITS MESURES AUX TROIS STATIONS

La méthode de régression simple et multiple employée précédemment pour estimer les débits du Bruyant et du Germe a mis en évidence une relation linéaire entre les débits mensuels relevés aux trois stations. Cela est clair aussi dans la matrice de corrélation qui regroupe les coefficients de corrélation entre les 54 valeurs retenues. Juillet 1969 - Décembre 1973.

	Furon	Germe	Bruyant
Furon	1	0.886	0.935
Germe	0.88	1.	0.930
Bruyant	0.935	0.930	1

Tableau n°4-24 - Matrice des coefficients de corrélation

Du fait de la faiblesse de la superficie du bassin versant, chaque averse a de fortes chances de se répartir sur toute la surface. C'est une des explications de cette relation linéaire. Bien entendu cela n'exclut pas des exceptions car on peut avoir quelques averses localisées.

Une comparaison des débits aux trois stations montre que d'une façon générale les débits mensuels du Furon à Engins sont supérieurs aux débits du Germe et les débits de ce dernier sont supérieurs au débits du Bruyant ceci est démontré dans le graphique de la figure n° 4-20.

Les débits annuels de ces trois stations sont présentés dans le tableau n° 4-25 .

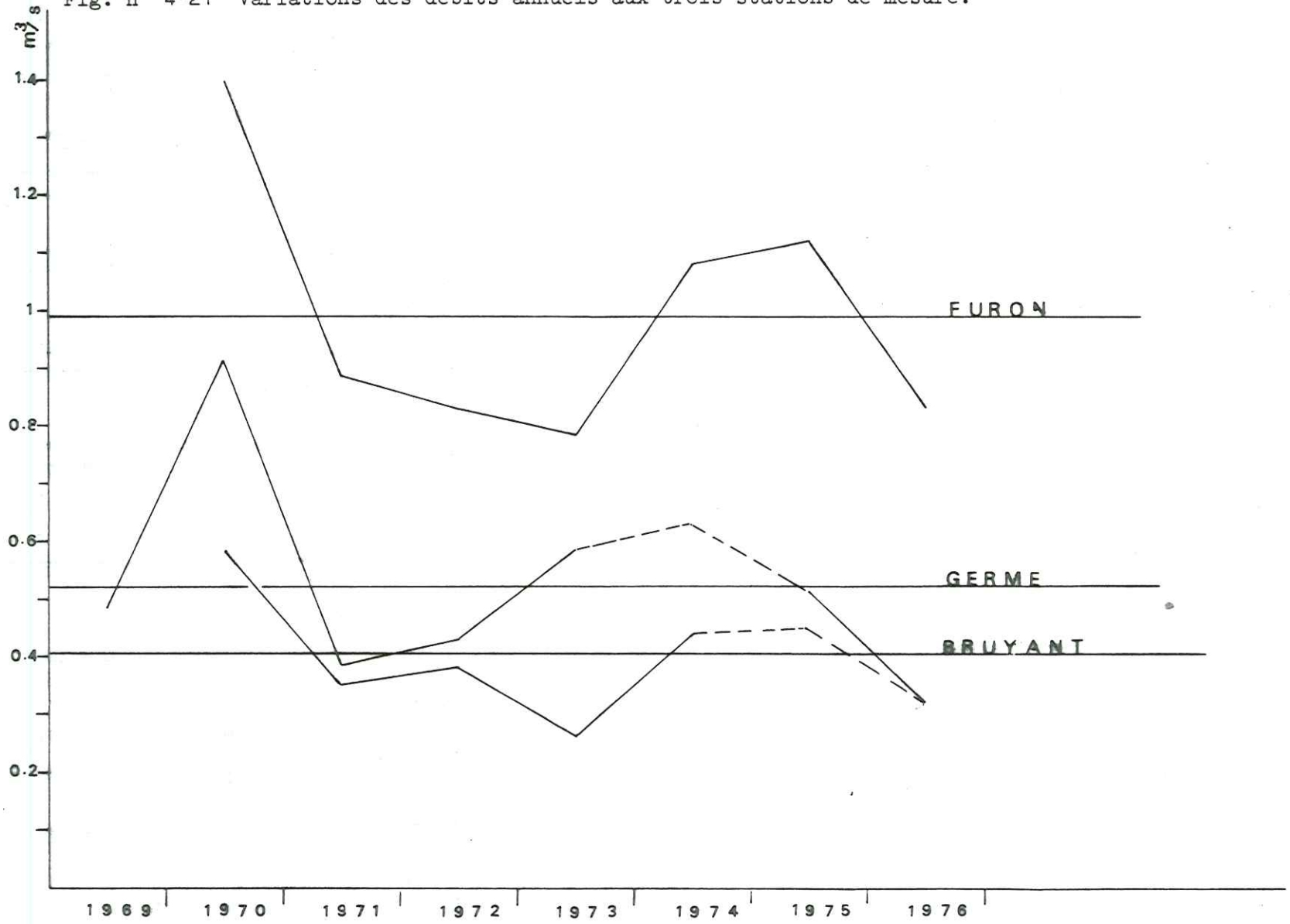
	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	Moyenne
Furon à Engins	-	1.40	0.890	0.830	0.786	1.08	1.12	0.830	0.991 m^3/s
Bruyant	-	0.584	0.353	0.380	0.266	0.439	-	-	0.404 m^3/s
Germe	0.487	0.915	0.386	0.432	0.586	(0.629)	0.513	0.322	0.520 m^3/s

Tableau n°4-25 - Débits annuels en m^3/s observés aux trois stations

Le graphique qui visualise ces valeurs montre que le plus fort débit observé aux trois stations revient à l'année 1970.

Ceci n'est pas le cas pour le débit minimal qui revient à l'année 1973 aux deux stations Engins et Bruyant et à l'année 1976 pour la station du Germe.

Fig. n° 4-21- Variations des débits annuels aux trois stations de mesure.



4.4. ETUDE DES CRUES

L'importance du volume d'eau écoulé pendant un temps relativement court causé par une crue, et les dégâts ou les avantages qui en résultent, ont incité plusieurs pays à s'intéresser à ce phénomène dont témoignent les nombreuses études et recherches. Les définitions d'une crue sont nombreuses selon les auteurs. Nous appellerons crue, l'épisode pour lequel les trois caractéristiques (courbe de montée, la pointe, courbe de décrue) de l'hydrogramme enregistré par le limnigraphe sont réalisées.

Dans notre étude, nous distinguons deux sortes de crues :

1) Les crues pluviales (dues à des averses)

2) Les crues de fontes des neiges.

Nous ne développons par contre pas les nombreux paramètres qui conditionnent les crues (l'intensité de la pluie, la surface du bassin, la pente de la vallée, les reliefs...).

4.4.1. LES CRUES PLUVIALES

Les crues pluviales du Furon mesurées à la station d'Engins ont lieu pendant la période allant de Juin à Décembre.

Elles sont caractérisées par :

- une faible durée, et un temps de réponse de quelques heures, dû au faible temps de séjour de l'eau dans le karst.
- une courbe de montée de l'ordre de quelques jours, plus rapide que la descente.

Nous ferons une étude statistique de ces crues, à l'échelle de l'année, du mois et de la semaine, en utilisant les valeurs extrêmes.

La loi de Gumbel : est la loi dite des valeurs extrêmes dont la fonction de répartition est de la forme :

$$f'(x) = e^{-e^{-a(X-Xo)}}$$

avec $\frac{1}{a} = 0.785\,\sigma$ $\quad Xo = \bar{X} - \frac{0.577}{a}$ $\quad \sigma$ = écart type, $\bar{X}$ = moyenne

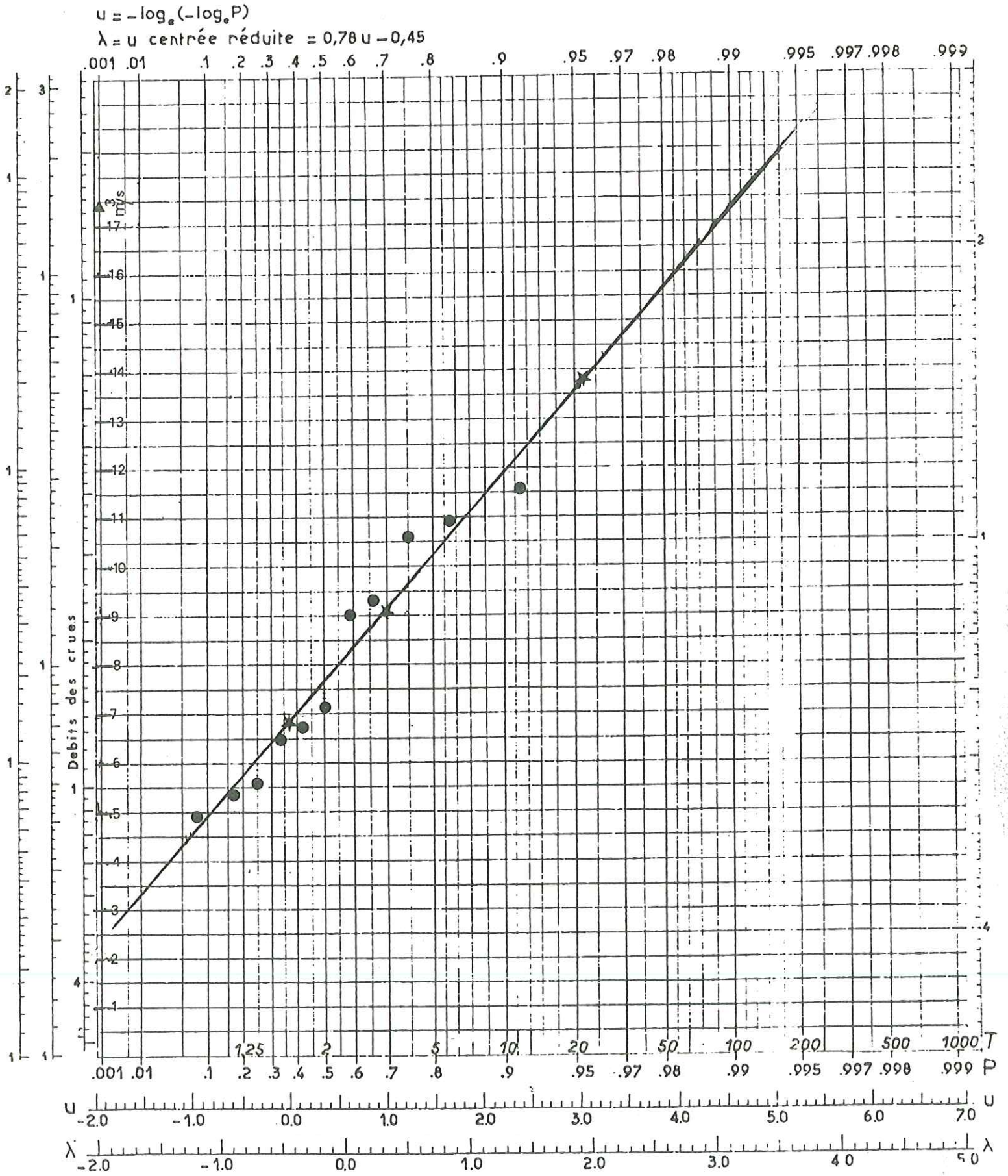
4.4.1.1. Les crues annuelles

On appelle " crue annuelle " le plus fort débit observé dans l'année.

Nous disposons de 11 années de mesures (entre 1964-1976). L'échantillon est petit. Une meilleure estimation de a et Xo est obtenue à partir de

$$a = \frac{\sigma n}{\sigma x} \quad Xo = \frac{\bar{X} - \bar{Y}\,n}{a} \quad a = \frac{1.04}{2.40} = 0.4333 \quad Xo = 7.95 - \frac{0.52}{0.433} = 6.75$$

Fig. n°4-22 - Ajustement d'une loi de Gumbel aux débits maximaux annuels du Furon



	Débit en m^3/s	Fréquence $(\frac{m}{n+1})$	Date de la crue
1	4.87	0.0833	20 Mars 1964
2	5.35	0.1666	6 Décembre 1965
3	5.60	0.25	21 Avril 1966
4	6.50	0.333	10 Novembre 1976
5	6.69	0.4166	5 Avril 1972
6	7.15	0.5	11 Avril 1963
7	8.96	0.5833	25 Juillet 1973
8	9.32	0.6666	15 Septembre 1975
9	10.61	0.75272	19 Avril 1970
10	10.88	0.8333	2 Mai 1971
11	11.57	0.9166	27 Novembre 1974

Tableau n° 4-26 - Valeurs maximales annuelles des débits moyens journaliers

n = nombre de données

m = rang de la donnée

Moyenne : 7.95 m^3

Ecart-type : 2.40

Variance : 5.25

Coefficient de variation : $\frac{2.40}{7.95} = 0.30$

Sur le graphique de la figure n° 4-22, on a porté les 11 points expérimentaux correspondants à chacune des crues annuelles.

La loi limite de Gumbel relative aux crues est représentée par une droite d'équation

$$X = 6.75 + 2.3078\ y$$

On remarque que l'ajustement n'est pas parfait mais acceptable, les points sont distribués des deux côtés de la droite.

Cet ajustement conduit à attribuer des débits de

11.94 m^3/s à la crue de probabilité 1/10 (crue décennale)

17.4 m^3/s à la crue de probabilité 1/100 (crue centennale)

Les résultats obtenus sont satisfaisants malgré les observations limitées, la crue décennale de 11.94 m^3/s est supérieure à tous les débits observés pendant cette période. Il faut noter que l'extrapolation pour la crue centennale est moins précise.

4.4.1.2. Les crues mensuelles

Périodes retenues Juin 1962 - Décembre 1966

Juillet 1969 - Décembre 1976

Pour chaque mois, nous retenons le plus grand débit moyen journalier. Ces débits sont présentés dans le tableau n°4-27 ainsi que les fréquences cumulées $(\frac{m}{n+1})$.(Tableau n° 4-28).

Sur le graphique de Gumbel sont représentées les fréquences calculées. L'équation de la droite est :

$$X = 0.8852 + 1.7854\ y$$

On remarque la dispersion des points pour les valeurs au dessous de 1 m^3/s et au-dessus de 6 m^3/s.

Fig. n° 4-23 - Ajustement d'une loi de Gumbel aux débits maximaux mensuels du Furon

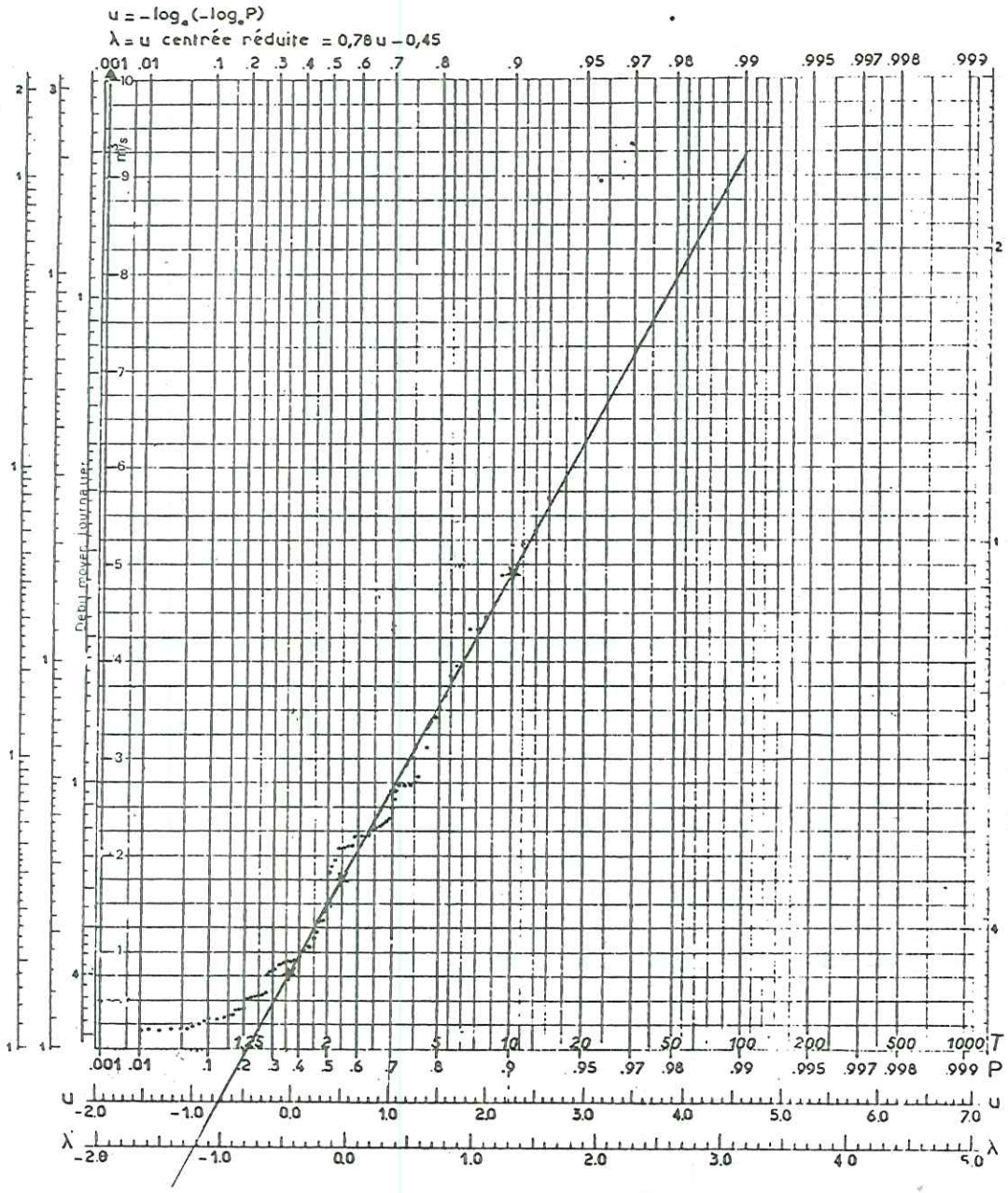
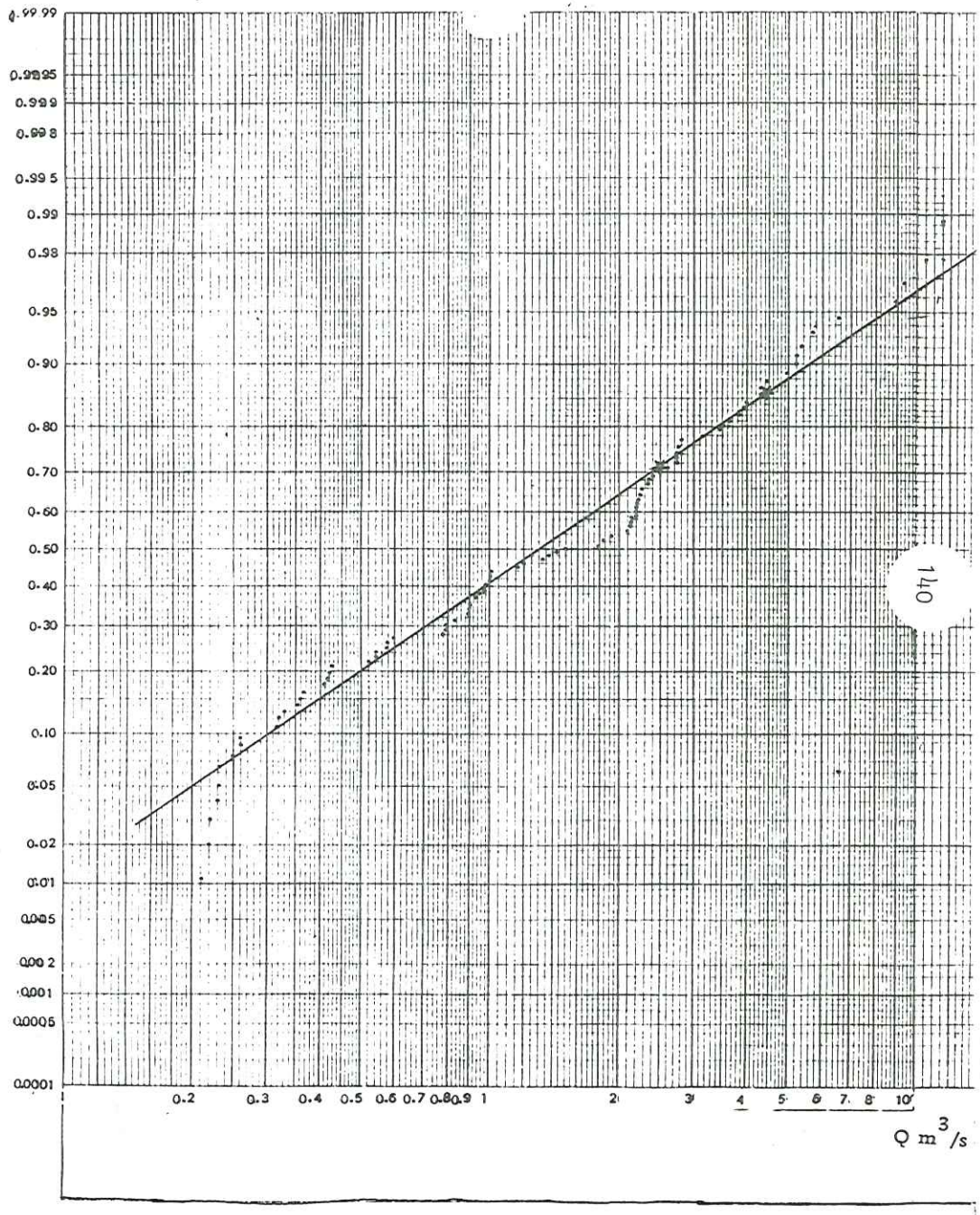


Fig. n° 4-24 - Ajustement des débits mensuels sur papier Gausso-logarithmique



Entre ces deux valeurs l'alignement des points est acceptable , la crue annuelle sera de probabilité 1/7 soit une probabilité de non dépassement 1-1/7 = 0.86 et en se référant au graphique Y = 4.25 m^3/s.

Débit dépassé 2 fois par an ou probabilité 1-2/7 = 0.71 , y = 2.7 m^3/s.

Sur un papier gausso-logarithmique l'ajustement est meilleur, la crue annuelle : 4.4 m^3/s

Le débit de la crue dépassé 2 fois par an : 2.5 m^3/s.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1962	-	-	-	-	-	1.50	0.250	0.213	0.231	0.365	0.523	5.22
1963	5.35	0.34	4.94	7.15	3.85	2.74	0.905	2.33	5.20	0.970	1.79	3.17
1964	0.277	0.975	4.87	3.99	1.09	0.575	0.233	1.37	0.26	1.33	0.316	0.54
1965	1.82	2.82	3.96	3.10	3.83	2.27	0.411	0.980	2.14	2.5	3.53	5.35
1966	2.82	5.10	2.65	5.60	5.15	0.595	1.09	0.425	0.222	2.20	3.95	4.89
1969	-	-	-	-	-	-	2.13	0.955	0.93	0.26	2.74	0.895
1970	6.46	8.83	3.71	10.61	8.27	2.74	0.905	0.330	0.360	3.86	2.35	2.24
1971	1.03	0.83	2.25	8.48	10.88	3.47	0.900	0.355	0.220	0.230	0.580	1.04
1972	0.5	3.41	2.31	6.69	2.41	2.39	0.420	0.320	0.775	1.43	2.59	2.76
1973	0.300	0.335	2.42	5.50	8.06	2.23	8.96	0.83	1.92	1.20	2.21	1.16
1974	1.32	2.57	7.88	2.08	2.27	2.13	0.795	2.1	5.69	10.62	11.57	3.66
1975	8.63	2.19	0.830	6.25	3.28	3.99	2.20	1.02	9.32	1.83	4.28	4.46
1976	0.535	1.26	1.67	3.01	1.86	0.415	0.540	0.790	4.29	2.26	6.50	2.82

Tableau n° 4-27 - Crues mensuelles en m^3/s du Furon à Engins.

4.4.1.3. Etude des pointes des crues

Durant la période (1969-1976) et pour les mois de Juin à Décembre, nous avons sélectionné les pointes des crues semaine par semaine en prenant le débit maximal instantané de la crue.

Nous avons retenu 31 semaines par an, sur les 247 semaines de la période étudiée; nous obtenons 117 semaines avec crue. Ces crues sont réparties entre les semaines, comme le montre le tableau n°4-29 .

Nous classons les valeurs par ordre croissant et nous reportons les fréquences ($\frac{m}{n+1}$) sur un diagramme gausso-logarithmique. On constate que l'alignement des points est satisfaisant, on peut les assimiler à une droite.

Dans l'année, on a en moyenne 15 semaines avec crues, la fréquence annuelle a donc une probabilité de non dépassement p = 1-1/15 = 0.933, reportée sur le graphique, nous trouvons Q = 7.8 m^3/s.

La fréquence dépassée 2 fois par an est 1-2/5 = 0.866, Q = 5.40 m^3/s.

N°	Débit m^3/s	Fréquence cumulée	N°	Débit m^3/s	Fréquence cumulée	N°	Débit m^3/s	Fréquence cumulée
1	0.213	0.0109	41	1.16	0.4505	81	4.89	0.89010
2	0.220	0.02197	42	1.20	0.4615	82	5.20	0.9010
3	0.222	0.03296	43	1.33	0.47252	83	5.22	0.91208
4	0.230	0.0439	44	1.37	0.4835	84	5.35	0.92307
5	0.231	0.0549	45	1.43	0.4945	85	5.69	0.93406
6	0.233	0.0659	46	1.50	0.5054	84	6.50	0.94505
7	0.250	0.0769	47	1.79	0.51648	87	8.96	0.95604
8	0.260	0.0879	48	1.83	0.52747	88	9.32	0.967032
9	0.260	0.09890	49	1.92	0.53846	89	10.62	0.97802
10	0.316	0.10989	50	2.10	0.54945	90	11.57	0.98901
11	0.320	0.12087	51	2.13	0.5604			
12	0.330	0.13186	52	2.13	0.57142			
13	0.355	0.14285	53	2.14	0.5824			
14	0.360	0.15384	54	2.20	0.5934			
15	0.365	0.16483	55	2.20	0.6043			
16	0.411	0.17582	56	2.21	0.6153			
17	0.415	0.1868	57	2.23	0.6263			
18	0.420	0.1978	58	2.24	0.6373			
19	0.425	0.20879	59	2.26	0.64835			
20	0.523	0.21978	60	2.27	0.65934			
21	0.540	0.23076	61	2.33	0.6703			
22	0.540	0.24175	62	2.35	0.6813			
23	0.575	0.2527	63	2.39	0.6923			
24	0.580	0.2637	64	2.5	0.7032			
25	0.595	0.2747	65	2.59	0.7142			
26	0.775	0.28571	66	2.74	0.72527			
27	0.790	0.2967	67	2.74	0.7362			
28	0.795	0.3076	68	2.74	0.7472			
29	0.830	0.31868	69	2.76	0.7582			
30	0.895	0.32967	70	2.82	0.7692			
31	0.900	0.3406	71	3.17	0 7802			
32	0.905	0.3516	72	3.47	0.7912			
33	0.905	0.3626	73	3.53	0.80219			
34	0.930	0.3736	74	3.66	0.81318			
35	0.955	0.3846	75	3.86	0.82417			
36	0.970	0.3956	76	3.95	0.83516			
37	0.980	0.40659	77	3.99	0.84615			
38	1.02	0.4175	78	4.28	0.85714			
39	1.04	0.42857	79	4.29	0.86813			
40	1.09	0.4395	80	4.46	0.87912			

Tableau n° 4-28 - Valeurs croissantes des débits mensuels et leurs fréquences cumulées.

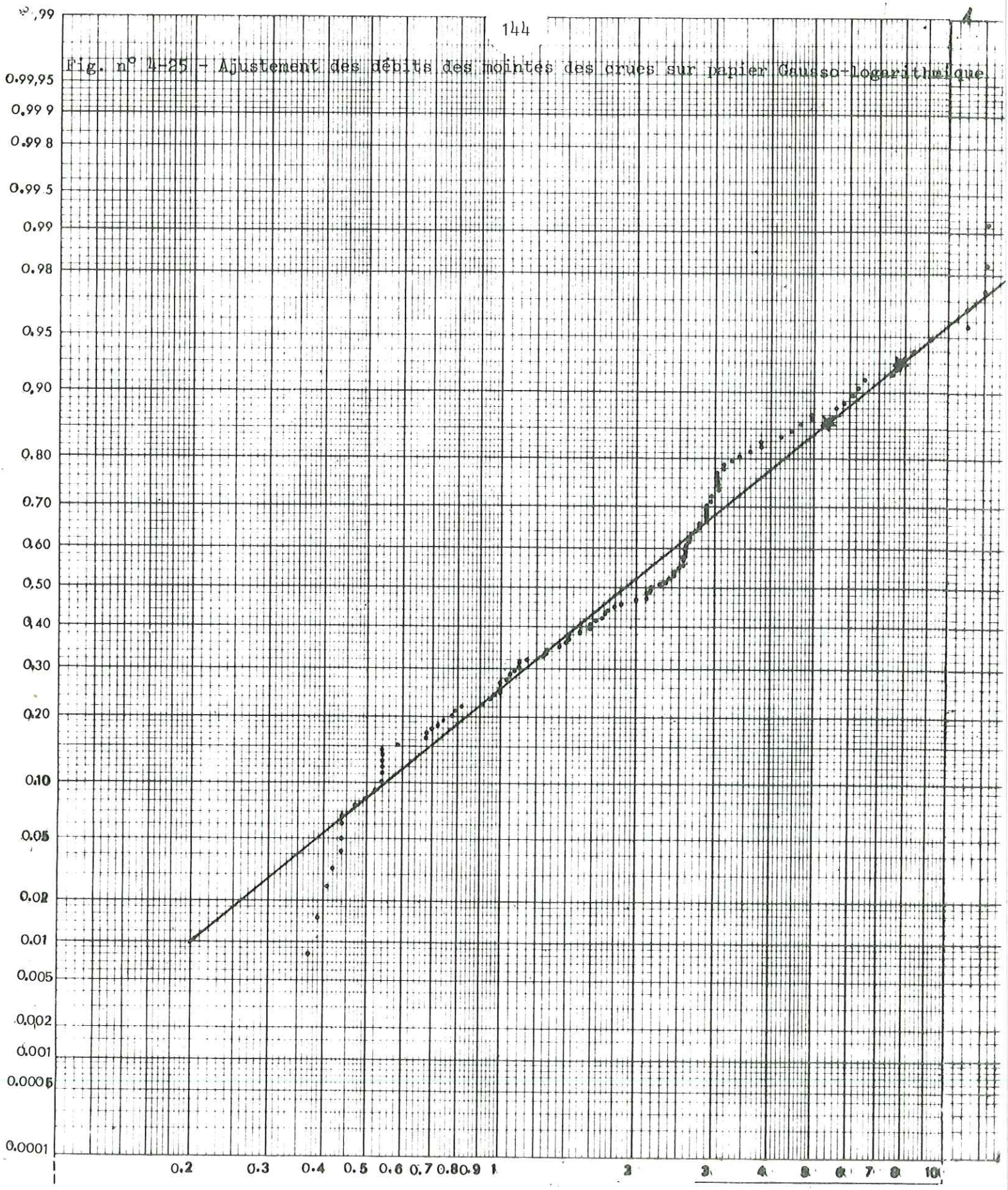
Moyenne : 2.21 ; Ecart-type : 2.29 ; Coefficient de variation : 1.04

Débit en m^3/s

N°	Semaine	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
1	1 - 7 Juin	-	2.96	2.57	2.88	0.500	1.03	5.86	-
2	8 - 14 Juin	2.44	1.63	4.48	2.39	-	-	-	-
3	15 - 21 Juin	8.40	2.88	4.70	-	1.01	-	1.80	0.410
4	22 - 28 Juin	7.70	2.88	2.63	-	3.04	-	-	0.680
5	29 - 4 Juillet	2.55	-	-	0.920	-	3.04	0.820	0.440
6	5 - 11 Juillet	2.88	-	-	-	-	-	2.61	0.780
7	12 - 18 Juillet	-	0.540	3.60	-	4.94	0.520	-	0.470
8	19 - 25 Juillet	1.06	-	-	0.540	11.2	-	-	0.540
9	26 - 1 Août	-	-	-	-	-	-	-	-
10	2 - 8 Août	-	-	-	-	-	-	-	-
11	9 - 15 Août	0.540	-	0.420	-	1.19	-	1.68	-
12	16 - 22 Août	-	0.440	-	-	-	3.14	0.540	-
13	23 - 29 Août	1.74	-	-	0.440	-	3.42	0.740	1.42
14	30 - 5 Septembre	1.26	-	-	0.440	-	2.73	1.51	2.33
15	6 - 12 Septembre	-	-	-	1.36	-	2.67	2.96	3.04
16	13 - 19 Septembre	1.42	0.540	-	-	0.700	-	12.3	6.10
17	20 - 26 Septembre	-	-	-	-	2.880	2.57	-	-
18	27 - 3 Octobre	-	0.390	-	-	-	9.14	1.72	0.680
19	4 - 10 Octobre	-	7.48	-	-	-	1.07	-	2.55
20	11 - 17 Octobre	-	-	-	1.58	1.58	-	-	3.80
21	18 - 24 Octobre	-	-	-	-	-	12.1	2.28	-
22	25 - 31 Octobre	-	-	-	2.17	-	-	-	1.00
23	1 - 7 Novembre	-	-	-	-	-	-	-	5.62
24	8 - 14 Novembre	4.26	3.04	-	2.12	-	-	1.00	11.2
25	15 - 21 Novembre	-	2.78	1.10	2.96	2.55	2.63	6.56	-
26	22 - 28 Novembre	2.57	-	0.790	0.970	-	12.3	-	-
27	29 - 5 Décembre	0.720	2.44	0.370	3.04	0.590	4.94	2.03	3.28
28	6 - 12 Décembre	-	-	-	1.85	0.950	-	-	3.14
29	13 - 19 Décembre	1.26	-	-	-	2.17	2.12	6.32	1.40
30	20 - 26 Décembre	-	-	1.10	-	1.24	2.78	-	-
31	27 - 2 Janvier	-	-	-	-	-	3.80	-	2.50
33	Nbre de semaines avec crues	14	12	10	14	14	17	16	20 117

Tableau n° 4-29- Les pointes des crues en m^3/s mesurées à la station d'Engins.

Fig. n° 4-25 - Ajustement des débits des pointes des crues sur papier Gausso-Logarithmique



N°	Débit m^3/s	Fréquence cumulée	N°	Débit m^3/s	Fréquence cumulée	N°	Débit m^3/s	Fréquence cumulée
1	0.370	0.00847	41	1.26	0.34745	81	2.88	0.6864
2	0.390	0.01694	42	1.36	0.35593	82	2.88	0.6949
3	0.410	0.0254	43	1.40	0.36440	83	2.88	0.70338
4	0.420	0.03389	44	1.42	0.37288	84	2.96	0.71186
5	0.440	0.04237	45	1.42	0.38135	85	2.96	0.72033
6	0.440	0.0508	46	1.51	0.3898	86	2.96	0.72881
7	0.440	0.05932	47	1.58	0.39830	87	3.04	0.737288
8	0.440	0.06779	48	1.58	0.40677	88	3.04	0.74576
9	0.470	0.0762	49	1.63	0.41525	89	3.04	0.75423
10	0.500	0.0847	50	1.68	0.42372	90	30.4	0.76271
11	0.520	0.0932	51	1.72	0.43220	91	3.04	0.771186
12	0.540	0.10169	52	1.74	0.4406	92	3.14	0.77966
13	0.540	0.110169	53	1.80	0.44915	93	3.14	0.7881
14	0.540	0.11864	54	1.85	0.45762	94	3.28	0.7966
15	0.540	0.12711	55	2.03	0.46610	95	3.42	0.80508
16	0.540	0.13559	56	2.12	0.4745	96	3.60	0.8135
17	0.540	0.14406	57	2.12	0.48305	97	3.80	0.82203
18	0.590	0.15254	58	2.17	0.49152	98	3.80	0.8305
19	0.680	0.1610	59	2.17	0.5	99	4.26	0.8389
20	0.680	0.16944	60	2.28	0.50847	100	4.48	0.84745
21	0.700	0.17796	61	2.33	0.5169	101	4.70	0.8559
22	0.720	0.18644	62	2.39	9.5254	102	4.94	0.8644
23	0.740	0.1949	63	2.44	0.5338	103	4.94	0.87288
24	0.780	0.2033	64	2.44	0.5423	104	5.62	0.88135
25	0.790	0.21186	65	2.50	0.5508	105	5.86	0.8898
26	0.820	0.22033	66	2.55	0.5593	106	6.10	0.89830
27	0.920	0.2288	67	2.55	0.56779	107	6.32	0.90677
28	0.950	0.23728	68	2.55	0.57627	108	6.56	0.91525
29	0.970	0.24576	69	2.57	0.5847	109	7.48	0.92372
30	1.00	0.25423	70	2.57	0.59322	110	7.70	0.93220
31	1.00	0.262711	71	2.57	0.60169	111	8.40	0.940677
32	1.01	0.271186	72	2.61	0.61016	112	9.14	0.94915
33	1.03	0.27966	73	2.63	0.6186	113	11.2	0.95762
34	1.06	0.28813	74	2.63	0.62711	114	11.2	0.96610
35	1.07	0.296610	75	2.67	0.63559	115	12.1	0.97457
36	1.10	0.30508	76	2.73	0.64406	116	12.3	0.98305
37	1.10	0.31355	77	2.78	0.6525	117	1223	0.99152
38	1.15	0.32203	78	2.78	0.66101			
39	1.24	0.3305	79	2.88	0.66949			
40	1.26	0.33898	80	2.88	0.6779			

Tableau N° 4-30 - Valeurs croissantes des pointes de crues et leurs fréquences cumulées

Total 117; Moyenne : 2.725 m^3/s; Ecart-Type : 2.626; Coefficient de variation;0.96

4.4.2. LES CRUES DE FONTE DES NEIGES

Comme nous l'avons mentionné, la neige est abondante dans notre bassin, et sa fonte joue un grand rôle par les volumes considérables d'eau écoulées qui augmentent les débits. Les plus forts débits sont donc observés pendant cette période. Contrairement aux crues pluviales, les crues de fonte des neiges sont caractérisées par une durée de plusieurs mois et comme l'explique M. PARDE (19).La différenciation des altitudes donc des températures, échelonne sur des semaines et plutôt sur des mois la transformation en eau ruisselante. Quand la neige fond en masse de 1500 à 2000 m, elle reste presque intacte de 2500 à 3000 m et ainsi de suite. On n'observe donc en général que des hautes eaux continues non dangereuses venant des zones de plus en plus élevées ".

La courbe de ces crues enregistrée par le limnigraphe se présente sous la forme d'une sinusoïde légèrement inclinée. Cette allure spéciale est due à la fonte pendant la journée, et au regel pendant la nuit.

Le rôle de l'insolation, de la température et surtout des vents chauds est prépondérant dans le processus de fonte des neiges.

D'une façon générale la période de fonte des neiges commence dans notre bassin au mois de Mars et se termine au mois de Mai. Elle peut aussi se prolonger jusqu'à Juin et débuter à la fin de Février.

Il est à noter que les crues de fonte des neiges sont plus considérables que les crues pluviales du point de vue durée et volume d'eau écoulée.

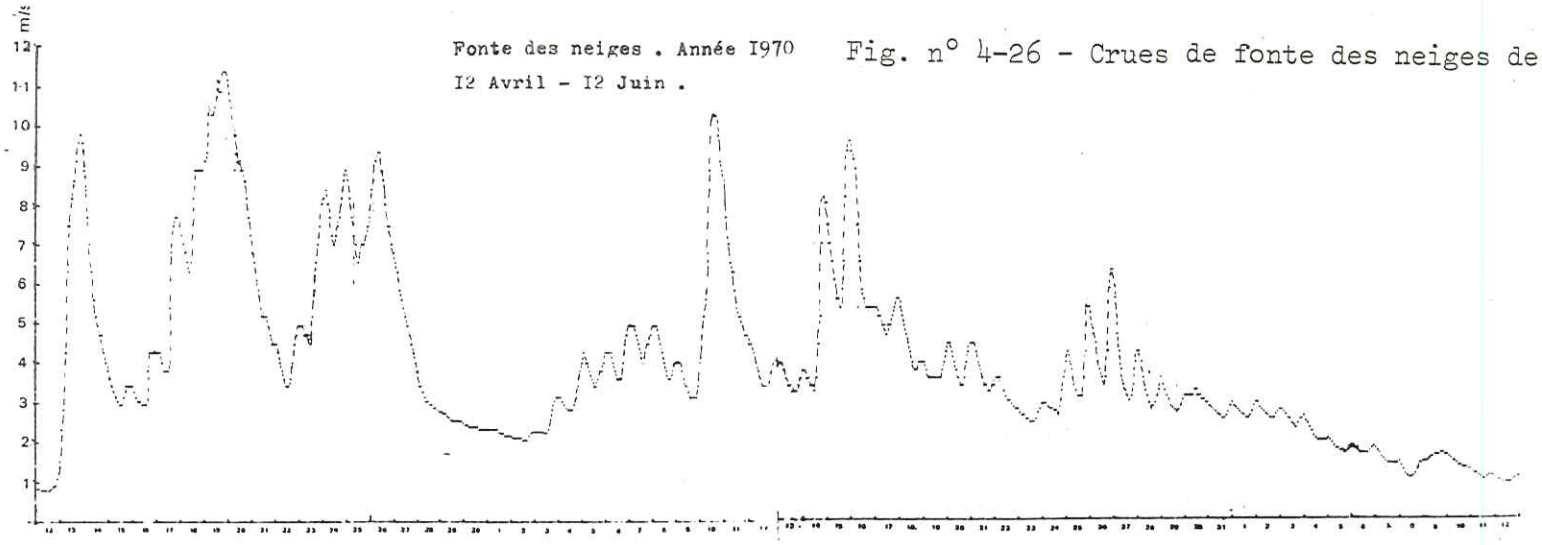
L'allure spéciale de ces crues nous permet de préciser la durée et connaissant le débit à chaque instant, on peut calculer le volume d'eau écoulée. Ce calcul a été réalisé sur les trois stations de mesures et le tableau n° regroupe les résultats obtenus.

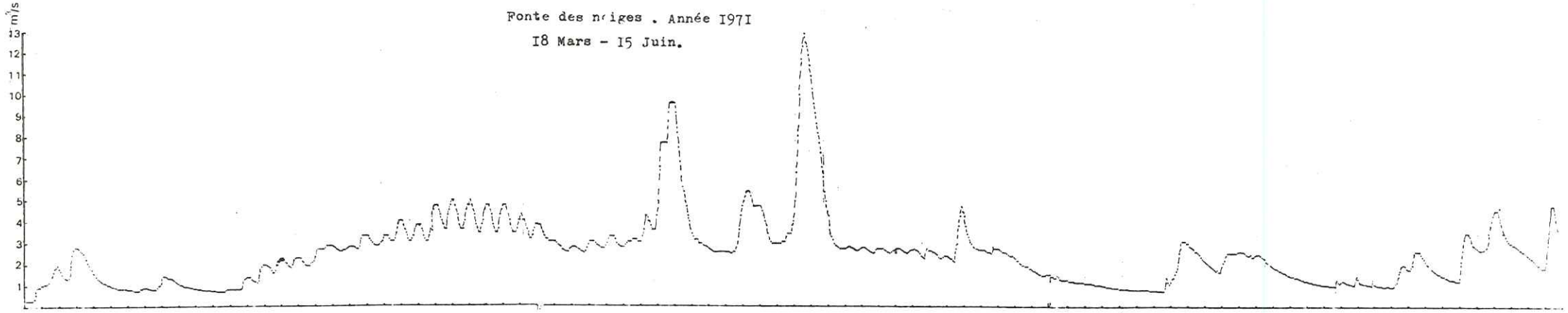
		1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
Durée de la fonte des neiges		5.4/15.5	15.4/18.6	30.3/17.5	12.3/4.6	21.3/25.5	18.3/22/5	12.4/30.5	25.2/18.5
Volume d'eau écoulé en 10^6 m^3	Furon	-	17.85	12.86	7.92	9.25	6.68	8.91	5.67
	Bruyant	-	8.99	5.52	5.29	2.62	3.30	-	-
	Germe	5.84	16.17	5.23	5.02	4.28	-	4.97	2.56

Tableau n°4-31 - Durée et volume d'eau écouléedes fontes des neiges (1969-1976)

A titre d'exemple, nous présentons dans les figures n° 4-26 , 4-27 les crues de fonte des neiges enregistrées à la station d'Engins pour la période(69-76)

Fig. n° 4-26 - Crues de fonte des neiges des années 70,71,73.





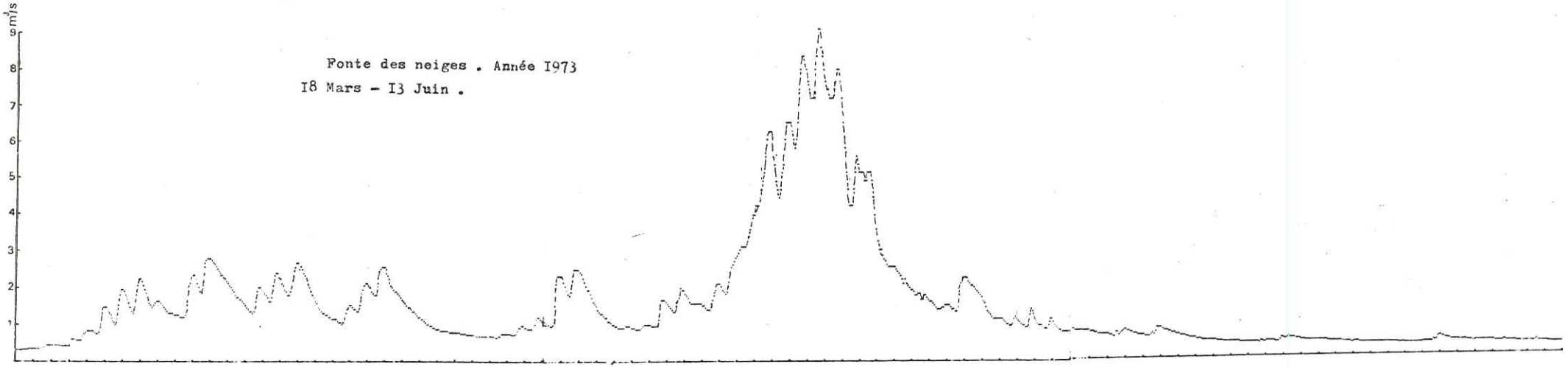
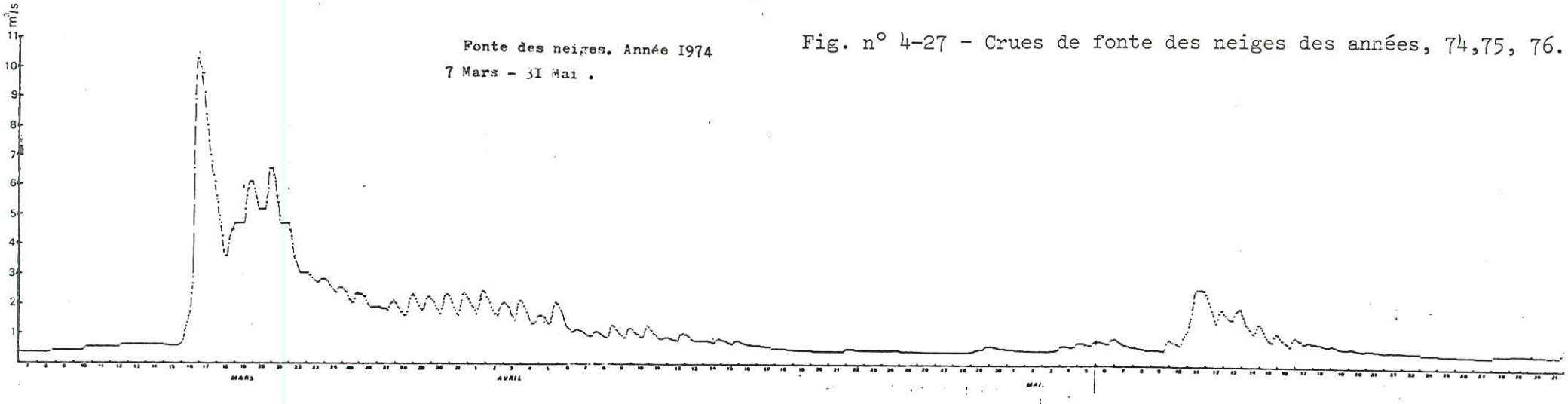
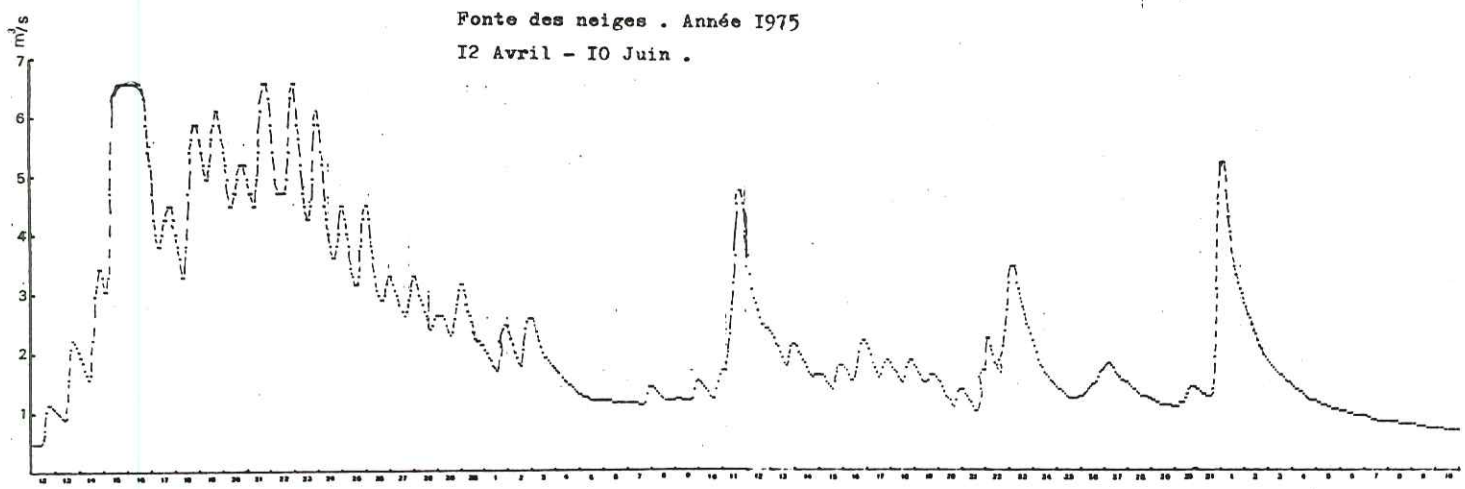
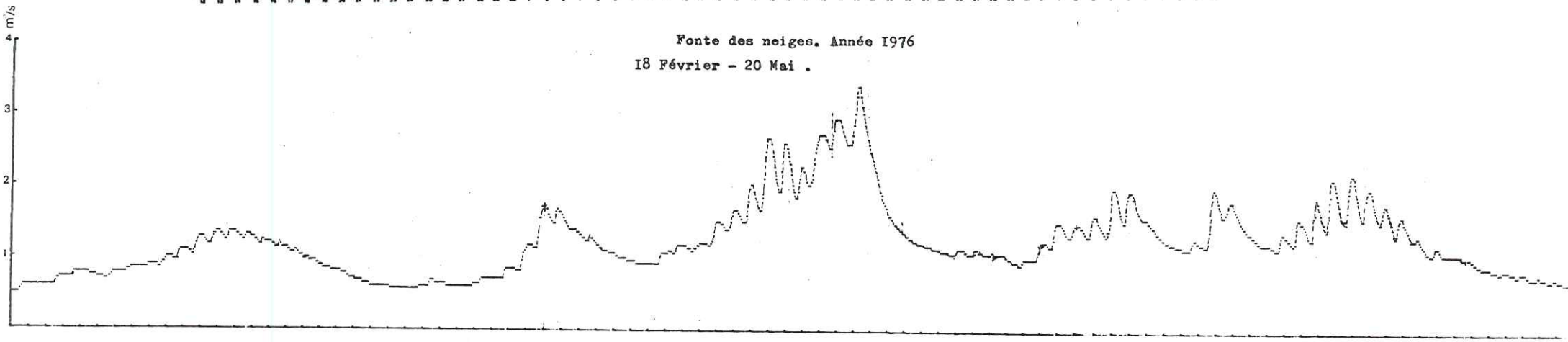


Fig. n° 4-27 - Crues de fonte des neiges des années, 74,75, 76.







4.4.2.1. Les glacières et les puits à neige

Les crues étudiées sont dues à la fonte des neiges en surface, elles ne concernent pas les glacières et les puits à neige . L'étude du fonctionnement de ces derniers s'avère utile pour le rôle qu'ils peuvent jouer dans le maintien des étiages du réseau hydraulique des massifs calcaires, sachant qu'ils fonctionnent tout au long de l'année hydrologique.

Les karsts de montagne possèdent des glacières et des puits à neige. Dans notre région on les trouve à partir de 1000 m d'altitude dans la couverture urgonienne lapiazée.

La formation des puits à neige est le résultat de l'action corrosive des eaux de pluie et de fusion nivo-glaciaire au niveau des failles, des joints et des diaclases.

Lorsque les fissures commencent à avoir une certaine ampleur les accumulations de neige et de glace peuvent se maintenir et par leur fonte lente, vont entretenir le développement des puits aussi bien en longueur qu'en profondeur. A noter que la profondeur de la fissure n'est pas déterminante, le facteur altitudinal et l'exposition se révèlent beaucoup plus décisifs.

La profondeur et la longueur des puits à neige dépassent plusieurs mètres comme le montre l' épaisseur de la neige stockée dans ces puits qui peut dépasser plusieurs mètres et qui correspond à un volume d'eau non négligeable.

La neige de ces puits peut persister selon les années et l'enneigement jusqu'en Juillet, Août et même Septembre; nous avons eu l'occasion de le constater dans plusieurs puits de notre bassin.

En surface, la végétation joue un rôle dans la conservation de la neige.

L'évaluation de la quantité d'eau donnée par les glacières et les puits à neige et leur influence sur le tarissement impose un contrôle continu de l'accumulation et de la fonte successive de la neige.

Fig. n°4-28-Puits à neige

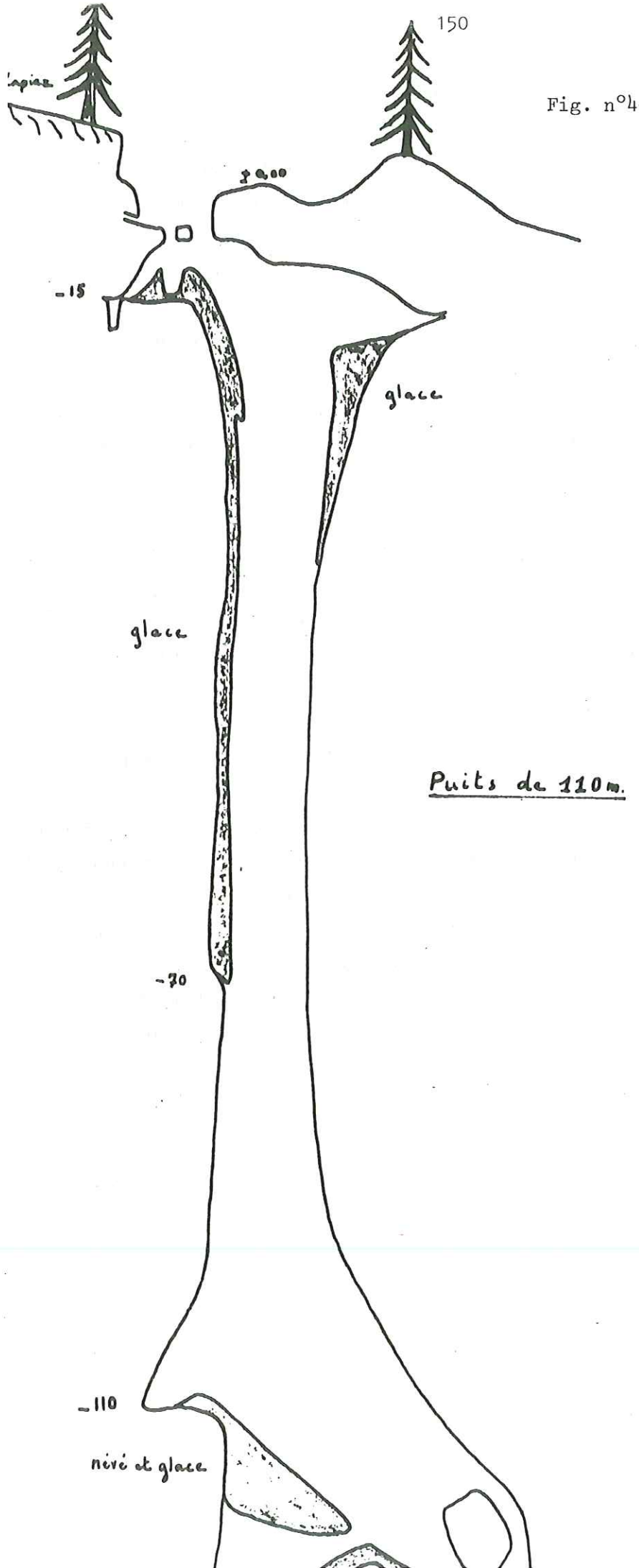
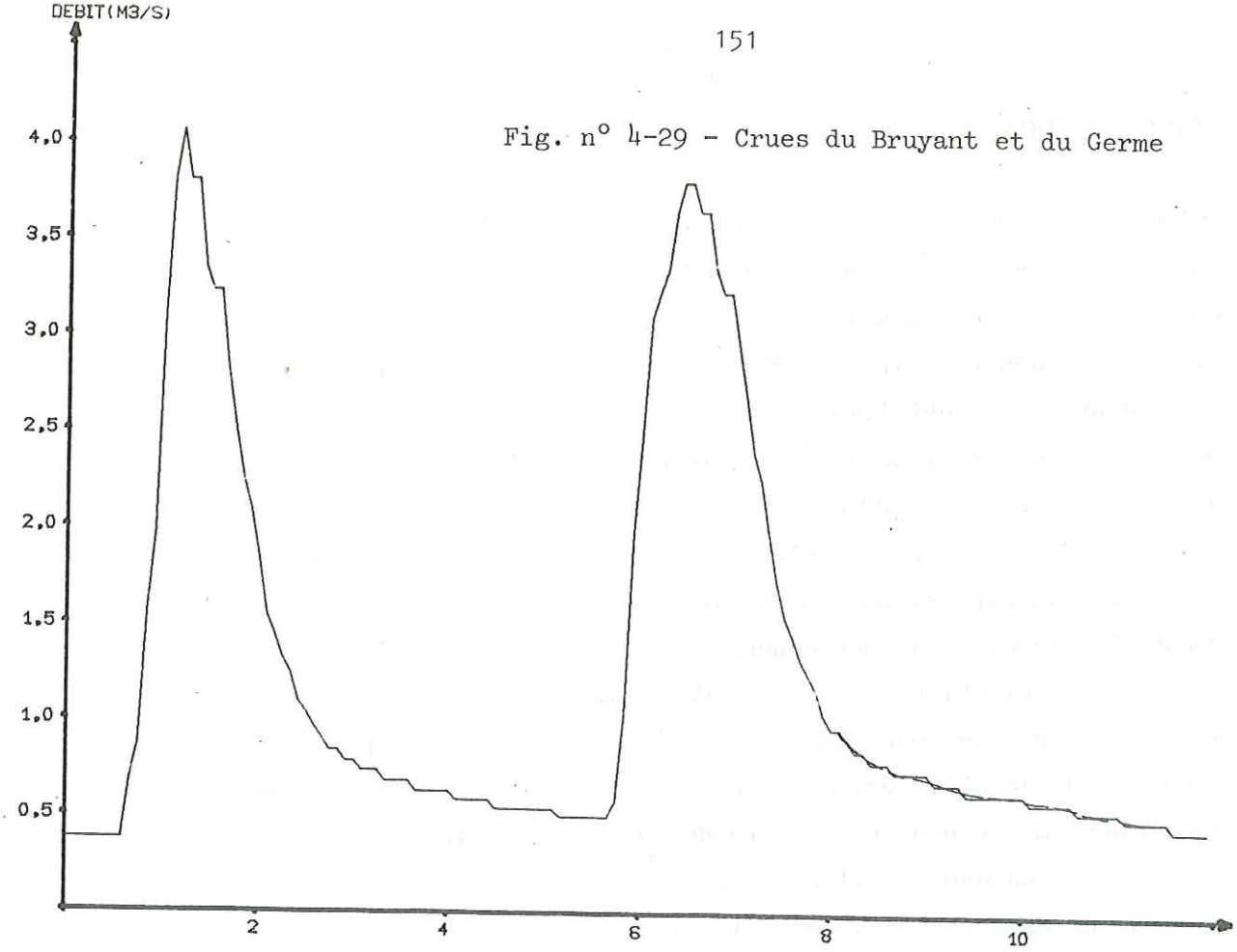
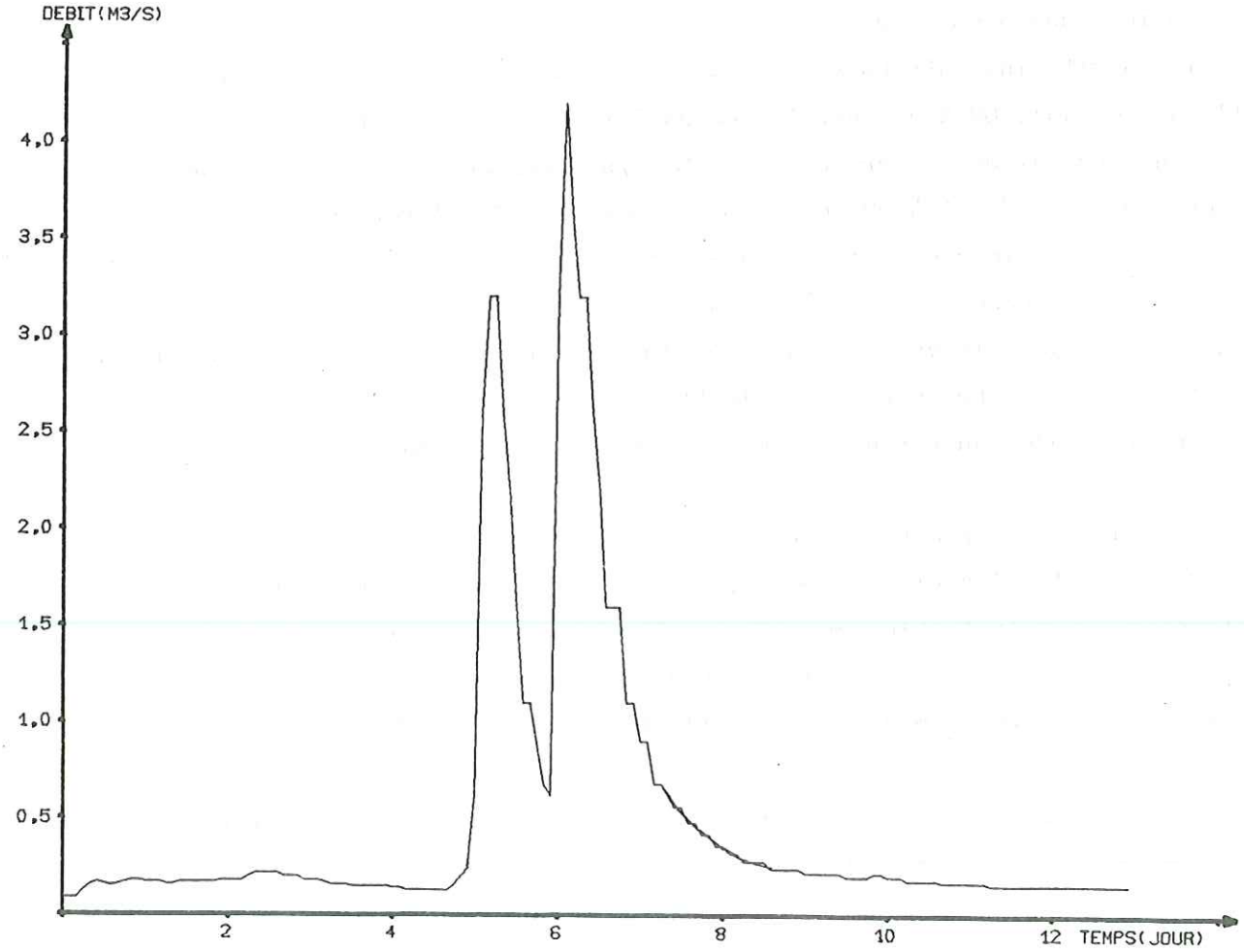


Fig. n° 4-29 - Crues du Bruyant et du Germe



LE BRUYANT . 18 JUIN - 1 JUILLET. 1969



LE GERME . 8 NOV. - 20 NOV.1969 .

Crues tracées à l'aide de l'ordinateur

4.5. CONCLUSION

La recherche des caractéristiques du karst qui peuvent être tirés des débits des émergences nous a amené à une étude détaillée de ce facteur à diverses échelles : journalière, mensuelle et annuelle.

Les débits des principales émergences de notre bassin n'avaient jamais fait l'objet d'une étude détaillée auparavant. Nous avons utilisé les résultats des mesures réalisées aux stations de jaugeage d'Engins, de Bruyant et du Germe (Cuves de Sassenage), les mesures effectuées à la station d'Engins sont plus fiables et précises que celles faites dans les autres stations car la section retenue offre une grande régularité du rapport hauteur-débit .

La durée des observations concernant les débits est moins longue que celle concernant les précipitations. Elle est même relativement courte (1969-1976) ce qui ne nous permet pas de donner des conclusions sûres et très précises.

Notre étude de débit est divisée en deux parties, les débits de surface et les débits des émergences. Les débits de surface concernent les débits du Furon mesurés à Engins. Nous avons utilisé la production énergétique produite à l'usine hydroélectrique de Sassenage pour calculer le débit du Furon à Engins. Cette méthode constitue aussi un moyen de contrôle de mesure des débits. L'étude détaillée de ces débits à l'échelle journalière, mensuelle et annuelle permet de dégager quelques traits essentiels que nous résumons ainsi :

- les débits instantanés varient entre 0.1 m^3/s et 14.1 m^3/s, le rapport est de l'ordre de 141. 69 % des débits journaliers ne dépassent pas 1m^3/s, 54.2 % des débits ont des valeurs inférieures à 0.6 m^3/s . Les débits moyens mensuels varient entre 0.159 m^3/s et 4.02 m^3/s. Le rapport est de l'ordre de 25.3.

Les mois dont le coefficient mensuel de débits est supérieur à 1 sont Mars, Avril, Mai et Novembre;cela est dû à la fonte des neiges.

Les débits annuels varient entre 1.40 m^3/s valeur de l'année 1970 et 0.786 m^3/s valeur de l'année 1973. Le rapport est de l'ordre de 1.8.

Le régime moyen du Furon se caractérise par un minimum l'été et un maximum au printemps.

L'irrégularité des débits à l'échelle instantanée, journalière et mensuelle est plus marquée qu'à l'échelle annuelle, le rapport passe de 141 à 1.8. Cette irrégularité s'explique par la faible capacité de rétention et par un temps de réponse faible.

En ce qui concerne l'exsurgence du Bruyant, en raison de l'absence d'un certain nombre de résultats de mesures et de l'imprécision de certaines autres, nous avons été amené à réaliser une étude statistique poussée pour estimer les valeurs les plus probables des débits des périodes considérées. Les débits instantanés varient entre 0.065 m^3/s et 4.06 m^3/s. Le rapport est de l'ordre de 90.

Les débits journaliers se répartissent en moyenne de la façon suivante :

- 50.4 % des débits ne dépassent pas 0.2 m^3/s,

- 75.6 % des débits ne dépassent pas 0.5 m^3/s.

Les débits mensuels varient entre 0.053 m^3/s et 2.17 m^3/s. Le rapport est de l'ordre de 40.9.

Les débits annuels varient entre 0.266 m^3/s (1975) et 0.584 m^3/s (1970). Le rapport est de l'ordre de 2.20.

L'irrégularité du régime de débit est moins forte à l'échelle annuelle.

La faiblesse des débits de l'exsurgence du Bruyant montre que la superficie du bassin drainé est petite.

Les débits de la résurgence des Cuves présentent aussi des variations remarquables aux différentes échelles. Le débit peut passer de quelques l/s à plusieurs m^3/s pendant un temps relativement court. Cela est confirmé par l'étude des débits instantanés dont les valeurs varient entre 0.040 m^3/s et 20.5 $^3/s$ avec un rapport de l'ordre de 513.

L'étude des débits journaliers nous permet de dire qu'en moyenne 47.12 % de ces débits ont des valeurs ne dépassant pas 0.2 m^3/s et 85.97 % ne dépassant pas 1 m^3/s.

Le rapport des valeurs extrêmes des débits mensuels est de l'ordre de 57.8 ce qui correspond à des valeurs de 0.064 m^3/s et 3.7 m^3/s.

Le module moyen annuel durant cette période est de l'ordre de 0.520 m^3/s, l'année 1970 est une année humide avec un module de l'ordre de 0.915 m^3/s. L'année 1976 est une année sèche avec un module de l'ordre de 0.322 m^3/s.

Le débit d'étiage est relativement faible et varie entre 0.046 et 0.1 m^3/s selon les années.

Une durée longuede l'étiage pose donc des problèmes sérieux, étant donné que cette résurgence alimente en eau potable le village de Sassenage.

Dans l'étude des crues, nous avons distingué les crues pluviales qui peuvent avoir lieu entre Juin et Décembre et qui sont caractérisées par une faible durée et une courbe de montée de l'ordre de quelques jours, et les crues de fonte des neiges qui sont plus considérables que les crues pluviales du point de vue durée (quelques mois, de Mars à Avril) et volume d'eau écoulée.

La loi de Gumbel (loi des valeurs extrêmes) appliquée aux crues pluviales à différentes échelles nous a permis d'attribuer :

11.94 m^3/s à la crue décennale

17.4 m^3/s à la crue centennale

et 4.25 m^3/s pour la crue annuelle à partir de l'étude à l'échelle mensuelle

7.8 m $^3/s$ à partir de l'étude des pointes des crues avec une probabilité de non dépassement.

Les grands traits tirés de l'étude des débits sont donc les suivants :

1) notre karst ne joue pas un rôle considérable dans la régularisation des débits en raison de sa faible capacité d'emmagasinement

Une période de quelques jours sans précipitations se traduit pas une diminution de débits d'où la gravité d'une longue période de sècheresse.

Notre karst possède donc une mémoire courte, il réagit vite vis-à-vis des influences extérieures.

La période des hautes eaux est pratiquemment constante d'une année à l' autre. Elle correspond à la période de fonte des neiges (Mars-Mai);cela rend l'irrégularité à l'échelle annuelle moins marquée.

La période d'étiage peut se situer hors des mois de fonte des neiges et peut durer plusieurs mois.

L'étude des débits confirme que ce ne sont pas les précipitations qui commandent directement ces débits mais en fait les quantités d'eau disponibles pour l'infiltration dont la répartition dans le temps est assez différente de celle des précipitations.

CHAPITRE V

HYDROGEOLOGIE

HYDROGÉOLOGIE

Pour connaître l'hydrogéologie de notre région, nous avons essayé de déterminer les relations existant entre les différents secteurs de façon qualitative à l'aide d'expériences de traçage , c'est-à-dire de déterminer les directions d'écoulement des eaux souterraines. Pour cela nous avons exploité les expériences de traçage déjà réalisées ainsi que le traçage que nous avons affectué. En effet les traçages sont indispensables pour comprendre le fonctionnement hydraulique du karst et la réalisation de ces traçages en période de hautes et basses eaux peut aboutir à une bonne appréciation du régime des eaux souterraines dans le karst.

Nous avons ensuite déterminé les quantités d'eaux stockées dans le sous-sol à l'aide des courbes de tarissement en utilisant différentes méthodes d'analyses.

Enfin, nous avons essayé de déterminer quantitativement les possibilités d'écoulement souterrain, c'est-à-dire les perméabilités dans les différentes directions, à partir de l'étude statistique de la fissuration et de la fracturation du plateau de Sornin.

5.1. LES EXPÉRIENCES DE TRAÇAGE

5.1.1. GENERALITES

5.1.1.1. Introduction

Les traceurs jouent un rôle important en hydrogéologie. Grâce à eux, on peut résoudre beaucoup de problèmes comme la détermination de la perméabilité d'un aquifère, le mode de transit de l'eau dans le sol, la délimitation de périmètres de protection des captages ou des pompages, ainsi que la détection des zones de fuites dans les retenues des barrages.

Dans le domaine du karst, le champ d'action des traceurs est important et surtout lié au développement de la spéléologie. Ils ont permis la mise en évidence des directions d'écoulements souterrains et servent à évaluer l'étendue d'un bassin d'alimentation. En résumé ils permettent d'apporter des renseignements sur la structure et le fonctionnement hydrodynamique d'un karst. Le développement des techniques d'utilisation de traçages est lié aux possibilités offertes par les traceurs dans les divers domaines.

5.1.1.2. Qualités d'un traceur

Le traceur employé doit répondre à quelques critères que nous résumons ainsi :

- une toxicité nulle surtout s'il est utilisé dans les captages pour l'alimentation en eau potable.
- une stabilité par conservation de masse tout au long de son cheminement à travers le milieu, ce qui implique une absence de réaction d'ordre physique, chimique, photochimique ou biologique.
- une détection sélective (si on utilise plusieurs traceurs) et un dosage réalisable à très faible concentration permettant l'utilisation de faibles quantités.
- une absence naturelle dans le milieu.
- un faible coût de revient.

5.1.1.3. La courbe de restitution

Un des avantages d'utilisation des traceurs fluorescents est que l'on peut effectuer des mesures quantitatives afin d'établir un bilan de restitution des différents traceurs utilisés.

La courbe de concentration en fonction du temps au point de sortie est appelée "distribution des temps de séjour " (en abrégé D.T.S., J.MOLINARI 1973).

L'étude de la courbe de restitution du traceur à la sortie du système

permet d'apporter des renseignements sur les modalités de transfert de l'eau dans le système étudié. Elle permet de déterminer :

- le temps de transit des particules de traceurs les plus rapides, cette information est intéressante dans le cas d'un rejet de pollution pour la détermination d'un périmètre de protection.
- le temps modal ou temps correspondant à l'abscisse du sommet de la courbe, c'est le temps le plus probable.
- le temps moyen est donné par l'abscisse du centre de gravité de la courbe.

(Le calcul du temps de transit dans le système, n'a de sens que si l'on connaît l'étalement dans le temps de la restitution du traceur). Connaissant la distance entre le point d'injection et le point de récupération, on peut calculer :

- la vitesse des particules des traceurs les plus rapides,
- la vitesse modale ou vitesse la plus probable,
- la vitesse moyenne apparente.

En général la courbe de restitution d'un traceur ne ressemble que très peu à la forme théorique prévisible puisqu'elle résulte de la dispersion le long des différents parcours du réseau souterrain qu'emprunte l'eau marquée.

5.1.1.4. Bilan de restitution

Tout d'abord précisons que l'expérience montre en effet que la récupération de la masse de traceur injecté n'est jamais totale.

La masse de traceur restituée est calculée d'après le produit de q.c.dt où q = le débit; c = concentration à l'instant t.

Si l'on connaît outre la D.T.S. (distribution du temps de séjour), la variation du débit de l'exutoire, la masse totale de traceur restitué s'obtient par l'intégration du produit ci-dessus et l'on a ainsi :

$$M = \int_{t = \text{arrivée}}^{t = \infty} q.c.dt$$

Si la quantité du traceur récupéré était presque égale à la quantité injectée, ou pourrait affirmer que tous les exutoires ont été pris en considération, sinon deux hypothèses doivent être envisagées :

Dans la première, des points d'émergence ont échappé à l'investigation; dans la deuxième une quantité de traceur est retenue dans le milieu. La rétention du traceur est plus probable dans un milieu à perméabilité en petit que dans un milieu karstique.

5.1.1.5. L'analyse des traceurs

Le principe des appareils de mesure est basé sur la fluorescence, mais la fluorescence n'est pas une propriété particulière aux traceurs fluorescents. On constate que de nombreuses substances présentes dans les eaux émettent également une fluorescence d'où l'utilisation du spectrofluorimètre plus avantageux que le fluorimètre.

Le spectrofluorimètre est un appareil combinant le spectrophotomètre et le fluorimètre; il permet à l'aide de deux monochromateurs une sélection précise des longueurs d'onde d'excitation et d'émission. Cette possibilité de séparer les différentes émissions de fluorescence rend possible la réalisation de plusieurs essais de traçages simultanés et avec des colorants différents. Exemple dans une même solution le spectrofluorimètre peut détecter à 489/514nm la fluorescence de la fluoréscéine et à 552/575 nm celle de la Rhodamine B.

5.1.2. LES COLORATIONS ANTERIEURES

Avant d'analyser en détail les résultats de notre traçage multiple, nous allons présenter les résultats des expériences de coloration réalisées antérieurement, que nous avons pu retrouver.

Notre bassin a fait l'objet de plusieurs traçages dans un but spéléologique consistant à prouver une communication facilitant la reconnaissance du réseau karstique. Pour cela, les informations tirées de ces expériences avaient un caractère qualitatif.

A noter aussi que plusieurs colorations ont été condamnées à l'échec; soit en raison d'observations mauvaises ou trop courtes, soit du fait de dilutions trop importantes. Les expériences de colorations sont les suivantes.

5.1.2.1. Coloration du Gouffre Berger (856.80 x 329.48 x 1460 m

Cette coloration a mis en évidence la relation Gouffre Berger - Cuves de Sassenage. Le 25 Octobre 1953 à cinq heures du matin 36 litres de fluorescéine à 50 % ont été injectés. Le 27 Octobre vers 6 heures du matin le Germe était vert mais le Furon lui-même en amont du confluent du Germe restait non marqué.

Le point d'injection était à la côte	1180 m
Le point d'émergence	290 m
La dénivelée est de	890 m
La distance à vol d'oiseau	3800 m
La pente apparente	23 %
Le temps de parcours	48 h
La vitesse de parcours	80 m/h

489/514nm : longueurs d'ondes d'excitation et d'émission de la fluoresceine et de
552/575nm la Rhodamine

1 nm = 10^{-6} mm = 10^{-9}m

5.1.2.2. Coloration au Trou d'Ira (857.77 x 317.08 x 1535 m)

Elle a été réalisée au mois de Mai 1970. 5 kg de fluoresceine ont été versés au trou d'Ira où le débit était de l'ordre de 5 l/s. La sortie fut constatée aux petites sources captées par la commune de Lans Les(Jailleux, le Peuil et le Blanc).

	Distances	Dénivellation
Jailleux	2.125 km	490 m
Peuil	1.77 km	460 m
Blanc	2.35 km	460 m

5.1.2.3. Coloration de la Grotte du Mas (855.65 x 322.12 x 1160 m)

Un kg de fluoresceine dissous dans 2 kg d'ammoniaque fut versé au point de fuite de l'eau dans la Grotte DU MAS le 13 Juin 1970 à 16h30. La teinte verte a été constatée le 17 Juin à la résurgence de la grotte Henry. L'absence de contrôle entre les 13 et 17 Juin n'a pas permis de préciser la date exacte de la sortie du colorant. La coloration persistait jusqu'au 20 Juin. Le 21 la teinte verte avait disparu.

Distance	875 m
Dénivellation	247 m
Pente	28 %
Débit à la coloration	< 1 l/s
Débit à la sortie	< 50 l/s.

A noter que le débit de la résurgence qui est toujours supérieur au débit de la grotte ne tarit jamais ce qui est le signe d'une confluence avec un autre cours d'eau souterrain.

5.1.2.4. Coloration du Scialet de Saint-Nizier

Le Scialet de Saint-Nizier a été coloré 3 fois en vain, 1 fois en 1932 par J.Piraud, 2 fois par le S.G.C.A.F.

5.1.3. LA COLORATION RECENTE

Après avoir présenté les résultats des colorations antérieures, nous exposons la coloration que nous avons réalisée dans le lit du Furon.

5.1.3.1. Le but de l'expérience

Le but de l'expérience est de vérifier l'hypothèse selon laquelle il existerait une relation entre le Furon et le Germe ou plutôt une perte d'eau du Furon au profit des Cuves. L'importance de cette expérience provient du fait que l'eau du Furon est polluée et que l'eau du Germe sert à alimenter en eau potable le village de Sassenage.

A noter que beaucoup d'auteurs ont adopté cette hypothèse pour expliquer l'origine d'une partie des eaux des Cuves de Sassenage et depuis longtemps. D.ROUSSIN, 1969 adopte cette hypothèse pour expliquer la pollution des eaux du Germe . En se basant sur le fait que 2000 m de galeries des Cuves se situent en-dessous du niveau de ce torrent. M. DURAFOUR a remarqué que l'affluent Saint-Bruno présentait des variations de température de l'ordre de 3.5°C tandis que les autres arrivées internes ne présentaient que des variations de 1/10°C; selon M.DURAFOUR l'hypothèse de perte du Furon au profit des Cuves semble expliquer les variations importantes de la température de l'affluent Saint-Bruno. (Références de Roumin et Durafour : Colloque Vercors 1968)

5.1.3.2. Choix des traceurs

Parmi les traceurs fluorescents, nous avons choisi les traceurs qui répondent le mieux aux critères définis antérieurement, l'uranine et la rhodamine B.

L'avantage de ces deux traceurs est d'être décelables en continu à des concentrations extrêmement faibles de l'ordre de 10^{-11} et à l'oeil nu à des concentrations de l'ordre de 10^{-7} .Les facteurs influant sur la fluorescence sont la température et la dégradation photochimique.

L'uranine (fluorescéine sodique hydraulique) C20 $H_{10}O_5$ Na2, poudre orange donnant en solution aqueuseune teinte verte très caractéristique. Son inconvénient est sa sensibilité à la lumière solaire, mais dans le milieu karstique la décomposition photochimique ne joue plus, d'où la recommandation de ce traceur qui a un excellent comportement dans le milieu karstique où il est très peu fixé.

Rhodamine B : C28 H31 03 N2 Cl , poudre donnant en solution acétique une teinte rose. Elle est difficilement soluble dans l'eau d'où la nécessité d'une mise en solution dans l'alcool. Son inconvénient est la rétention qu'elle subit et qui est parfois intense.

5.1.3.3. Le déroulement de l'expérience

L'expérience de coloration a été effectuée le 26 Octobre 1978 en utilisant deux traceurs fluorescents, la fluoréscéine et la rhodamine B.

2 kg de fluoresceine à une concentration de 82 g/litre ont été injectés dans le Furon à 15h45' à l'endroit situé entre le barrage et le pont d'Engins (voir carte); le débit était de l'ordre de 50 l/s. et 1,5 kg de rhodamine B à une concentration de 219 g/litre ont été injectés au pont Charvet à 16h35', où le débit était de l'ordre de 7 l/s.

Un préleveur automatique était placé sur le Germe juste à la sortie des Cuves et assurait un prélèvement selon la périodicité voulue qui était très fréquente les premiers jours de l'expérience. De même un prélèvement manuel a été assuré pour éviter les conséquences d'une panne du préleveur et pour assurer la réussite de l'expérience. A noter que le préleveur est tombé en panne durant 5 heures le 26.10.78. De même un prélèvement manuel du Furon a été assuré.

Le manque de moyens ne nous a pas permis de prélever en d'autres points d'où l'impossibilité de tracer la courbe de restitution des traceurs dans le Furon et de connaître la quantité de traceurs qui est passée dans le Furon.

Le prélèvement a duré du 26 octobre jusqu'au 5.12.78

La surveillance continue du Germe n'a pas permis de détecter les traceurs à l'oeil nu. Donc deux hypothèses se présentent;soit les concentrations des traceurs étaient très faibles; soit il n'y a pas de relation entre le Furon et le Germe. Dans ce cas toute la quantité des traceurs passe dans le Furon. Pour cela il faut recourir aux analyses.

Les analyses des prélèvements ont été réalisées au Laboratoire de Chimie analytique de la Faculté de Pharmacie de Grenoble. L'appareil utilisé est un spectrofluorimètre Farrand Mark I. Les concentrations minimales détectables sont de l'ordre de 10^{-10} à 10^{-11} (0.01 mg à 0.1 mg/m^3).

5.1.3.4. Résultats des analyses

L'analyse des échantillons a montré l'absence de la rhodamine B. Donc il n'existe pas de relation ou plutôt de perte d'eau du Furon au profit des Cuves entre le pont Charvet et le Germe. Par contre une arrivée de fluorescéine est remarquée 29 h après l'injection. Cela prouve l'existence d'une zone de fuites entre le premier point d'injection et le Germe.

La notion de vitesse des particules les plus rapides n'a pas de sens précis dans ce cas; cela est dû à l'imprécision de la localisation de la zone de fuites et la distance parcourue n'est donc pas bien connue. En prenant les deux valeurs extrêmes de la distance, on peut calculer les valeurs extrêmes de la vitesse. Ces valeurs se situent entre 25 m/h et 140 m/h. Ces chiffres concordent avec les valeurs des expériences de traçage effectuées antérieurement dans le Vercors 20 m/h et 200 m/h (J.SARROT-REYNAULD,1976). On remarque que la durée du transit des particules les plus rapides est très brève.

La concentration du traceur dans les échantillons analysés est faible et les plus fortes valeurs enregistrées sont de l'ordre de 10^{-9} kg/litre. Ce fait est vraisemblablement dû à ce que le traceur étant injecté directement dans le Furon et non pas dans une fissure, il est évident que la quasi totalité du traceur passe dans le Furon. La vitesse de l'eau et la pente de la rivière favorise ce phénomène qui est d'autant plus important que l'on peut penser que la fuite est faible. La restitution du traceur qui a duré du 27.10 au 5.12.78 et est représentée dans la figure n° 5-1 , s'est produite en période de tarissement du Germe contribuant à un étalement de la courbe de restitution par écoulement très lent du volume d'eau marqué par le traceur.

Sur la courbe, on remarque que le traceur apparaît très vite mais n'atteint pas rapidement la concentration maximale ; de même il ne disparaît que lentement.

L'étalement de la courbe de concentration sur une longue période peut s'expliquer par :

1) La fuite du traceur par plusieurs points étalés dans le temps. Cette hypothèse ne peut expliquer la présence du traceur durant plus de 30 jours dans les échantillons.

2) La dilution du traceur par les réseaux actifs du karst. Cette hypothèse semble mieux rendre compte du phénomène que la première.

L'échantillon de l'affluent Saint-Bruno présente une concentration deux fois plus forte que celle de l'échantillon de la Salle à Manger. Cela prouve que l'affluent Saint-Bruno n'est pas la seule voie empruntée par le traceur comme l'a montré M.DURAFOUR par l'étude des températures.

5.1.3.5. Bilan de restitution

Le débit moyen du Germe durant cette période était de l'ordre de 50 l/s. Connaissant la surface délimitée par la courbe de restitution par planimétrage, on peut calculer la masse de traceur passée dans le Germe.

Cette masse est de l'ordre de 0.430 kg, elle représente 22 % de la quantité de fluorescéine injectée.

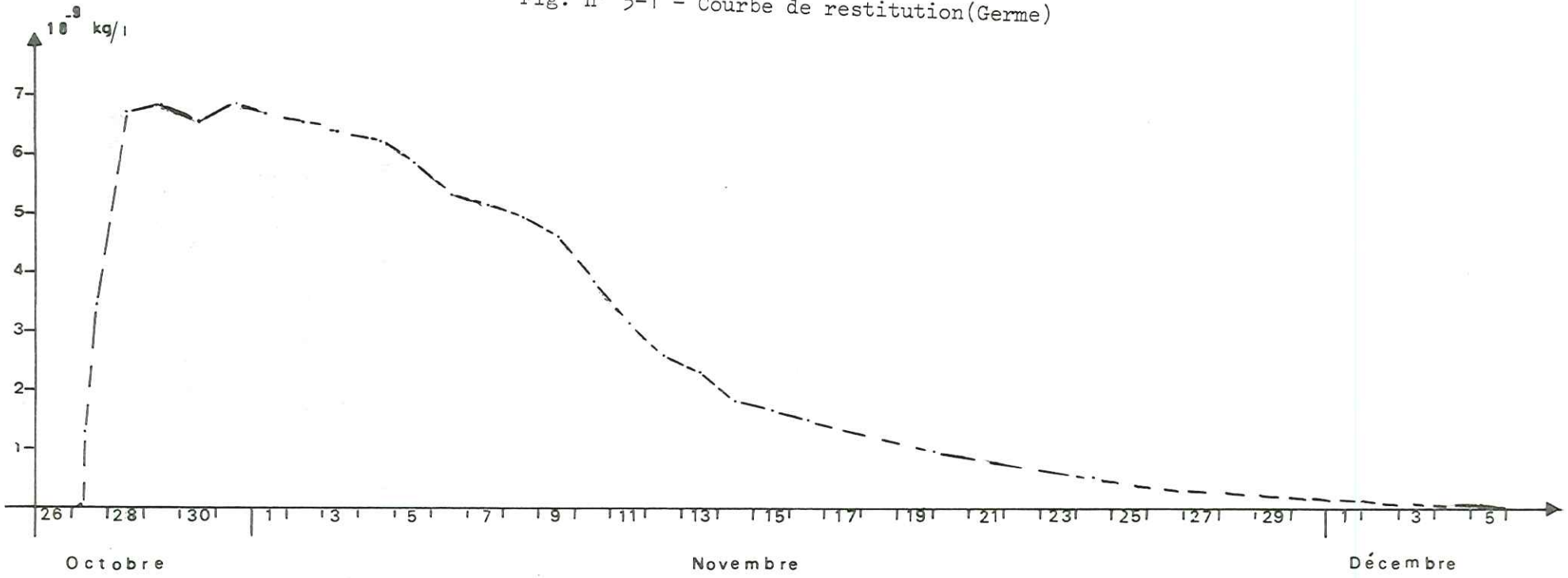
5.1.3.6. Conclusion tirée de l'expérience

1) L'expérience a mis en évidence la relation entre le Furon et le Germe. Elle a donc confirmé l'hypothèse déjà avancée.

2) La zone de fuite se situe entre le barrage d'Engins et le pont Charvet, le lieu ou les lieux de fuites ne sont pas localisés.

3) Le Furon entre le pont Charvet et le Germe ne présente pas de fuites

Fig. n° 5-1 - Courbe de restitution(Germe)



Cela exclut l'hypothèse proposée par certains auteurs et qui est basée sur la possibilité de fuites par des fissures.

4) Si les pertes sont importantes et variables dans d'autres conditions, la notion du bassin versant du Germe disparaît et une protection de l'eau du Germe sera nécessaire.

Cela nécessite d'autres expériences de traçage dans des conditions différentes. Il faut noter que "c'est surtout l'état de remplissage hydraulique du karst qui détermine le comportement de celui-ci du point de vue hydrodynamique " (J.SARROT-REYNAULD, 1976).

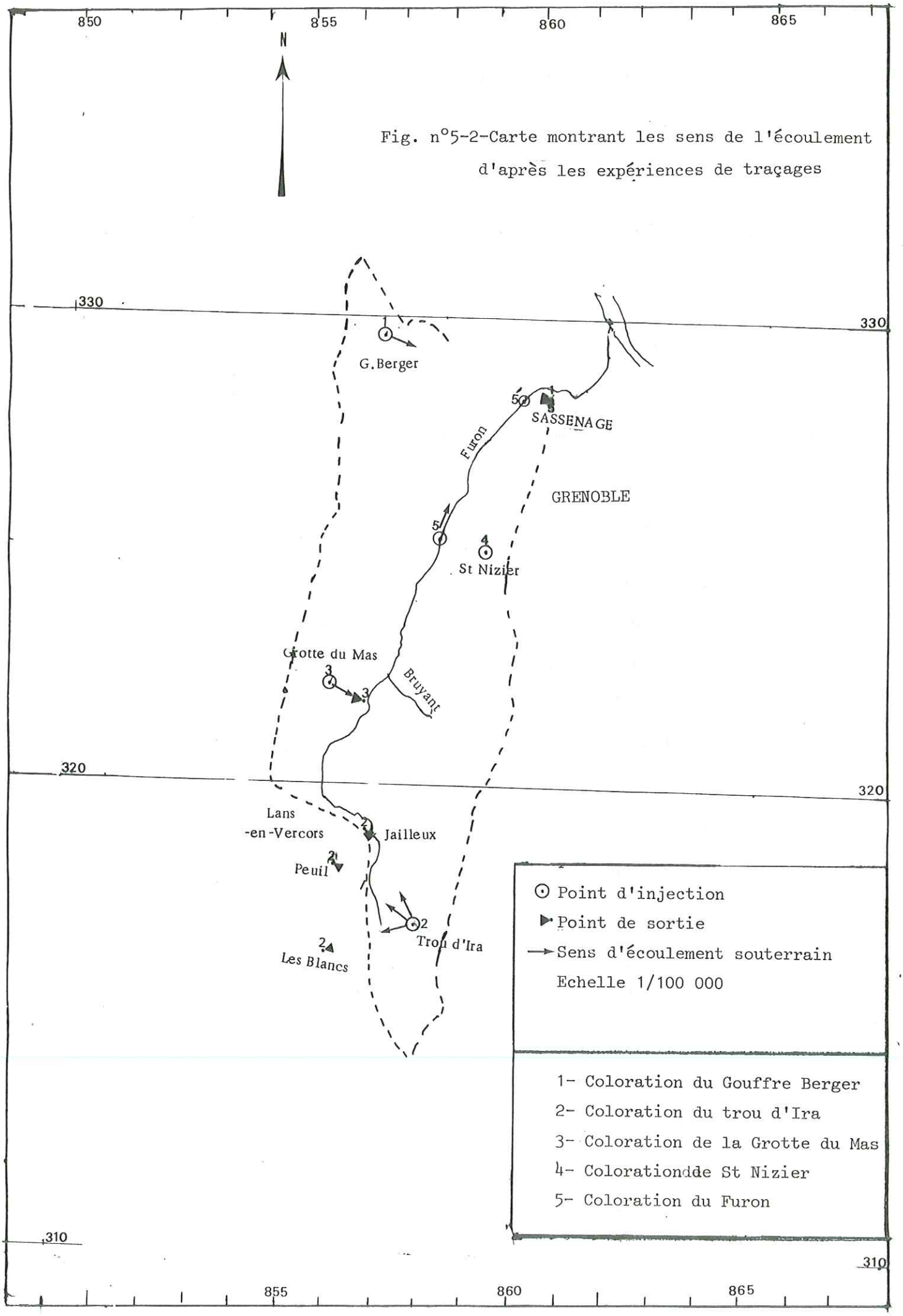


Fig. n°5-2-Carte montrant les sens de l'écoulement d'après les expériences de traçages

5.2. ETUDE DES COURBES DE TARISSEMENT

Le tarissement est la décroissance des débits d'une source en fonction du temps pendant une période de pluviosité nulle (régime non influencé). Durant cette période les sources sont uniquement alimentées par les réserves souterraines.

Les courbes de tarissement ont été bien étudiées grâce aux travaux de nombreux hydrogéologues qui ont proposé plusieurs méthodes. Parmi ces méthodes nous choisirons celles de Maillet, Tison et de Mangin que nous exposons brièvement.

5.2.1. FORMULE DE MAILLET

L'équation de la courbe de tarissement la plus fréquemment utilisée est celle de Maillet laquelle admet la décroissance exponentielle du débit en fonction du temps.

$$Qt = Qo\ e^{-\alpha t}$$

Qt = débit à l'instant t, en m^3/s

Qo = débit au début du tarissement (instant to) en m^3/s.

e = 2.718, la base des logarithmes népériens

α = coefficient de tarissement, pente de la droite

t = temps écoulé depuis le début du tarissement en jours

Cette formule peut s'écrire :

$$\log Qt = \log Qo - (\log e)\ t \qquad \alpha = \frac{\log Qo - \log Qt}{0.4343\ t}$$

$$\log Qt = \log Qo - (0.4343\ \alpha)t$$

5.2.1.1. Représentation graphique

Nous utilisons un papier semi-logarithmique. En abscisses arithmétiques, les temps (t) sont exprimés en jours et en ordonnées logarithmiques, les débits journaliers sont exprimés en m^3/s. La courbe de tarissement devient une droite. L'ordonnée à l'origine donne Qo en m^3/s . Sur le graphique, on détermine un débit Qt et le temps correspondant. On introduit les logs de Qo et Qt et le temps dans la formule pour obtenir la valeur du coefficient de tarissement.

5.2.1.2. Calcul du volume d'eau emmagasinée

C'est la quantité d'eau stockée dans les couches aquifères pendant une période d'alimentation et restituée à l'écoulement pendant la période de

non alimentation suivante. Elle est donc fonction de la durée et de l'intensité de la recharge. Notons aussi que ce volume emmagasiné traduit l'importance des vides dans le massif calcaire.

$$W = \int_{to}^{\infty} Qt\ dt \qquad W = \int_{to}^{\infty} Qo\ e^{-\alpha t}\ dt$$

D'où l'on tire : $W = \frac{Qo}{\alpha}$ t =en secondes

L'équation devient dont $W = \frac{Qo}{\alpha} \times 86400\ m^3$

5.2.2.FORMULE DE TISON

La formule de Tison admet que les débits décroissent en fonction du temps comme l'inverse de leur racine carrée :

$$Qt = \frac{Qo}{(1 + \alpha t)^2} \qquad \sqrt{Qt} = \frac{\sqrt{Qo}}{1 + \alpha t}$$

5.2.2.1. Représentation graphique

Nous utilisons des coordonnées arithmétiques, en abscisses les temps (t) exprimés en jours, et en ordonnées l'inverse de la racine carrée des débits $1/\sqrt{Qt}$.

L'ordonnée à l'origine de la droite de tarissement donne $1/\sqrt{Qo}$ donc la valeur de Qo, tandis que la valeur $1/\sqrt{Qt}$ est obtenue à l'aide du graphique après avoir déterminé un temps quelconque. Pour obtenir le coefficient de tarissement, on introduit les valeurs numériques dans la formule.

$$\sqrt{Qt} = \frac{\sqrt{Qo}}{1 + \alpha t}$$

Notons aussi la possibilité de calculer la formule de Tison sans recourir à la représentation graphique mais à partir des résultats obtenus par la formule de Maillet.

La formule de Maillet permet de connaître le débit Qo (débit du début du tarissement) et donc la racine carrée de Qo, ainsi que le débit Qt et le temps t correspondant. Connaissant ces trois termes on peut calculer le coefficient de tarissement.

$$\alpha = \frac{\sqrt{Qo} - \sqrt{Qt}}{\sqrt{Qt} \times t}$$

5.2.2.2. Calcul du volume d'eau emmagasinée

Le volume d'eau emmagasinée est désigné habituellement par la lettre (W) qui est égale à : $W = \frac{Qo}{(1 + t)}$ à l'instant t.

ou avec $Wo = \frac{Qo}{\alpha}$ à l'instant to

comme α est déterminé en jours, avec le temps en secondes, les équations s'écrivent :

$$Wo = \frac{Qo \times 86400}{\alpha} \qquad W = \frac{86400\ Wo}{1 + \alpha t}$$

5.2.3. LES CARACTERISTIQUES DU COEFFICIENT DE TARISSEMENT

Le coefficient de tarissement est lié aux caractéristiques du réservoir aquifère, c'est donc un facteur hydrogéologique. Il apporte des renseignements sur la capacité de stockage en eaux souterraines et sur la vidange des réservoirs aquifères.

Le coefficient de tarissement est fonction directe de l'infiltration efficace et de la perméabilité. Il est d'autant plus grand que la perméabilité est plus élevée.

Le coefficient de tarissement est fonction inverse de la porosité efficace ou du coefficient d'emmagasinement. Il est d'autant plus grand que celui-ci est faible.

Le coefficient de tarissement est d'autant plus petit que le volume d'eau souterraine emmagasinée dans la roche réservoir est plus grand et que les dimensions de la couche aquifère sont plus grandes.

La vidange est d'autant plus rapide que le coefficient est plus grand et vice versa.

Selon SCHOELLER (1967) , le coefficient de tarissement est de l'ordre de $n\ 10^{-3}$ lorsqu'il s'agit de sources sortant de calcaires lités où prédomine la circulation de l'eau dans les joints et diaclases, tandis que, dans le cas de calcaires massifs dans lesquels les chenaux jouent un très grand rôle, il est de l'ordre de $n\ 10^{-2}$ à $n\ 10^{-1}$, lorsque t est exprimé en jours.

5.2.4. METHODE PROPOSEE PAR MANGIN POUR L'ANALYSE DES DECRUES ET TARISSEMENTS

Mangin (1970,1974) a mis au point une formule dans laquelle il ne distingue plus dans le sous-sol les chenaux et les fissures mais une zone saturée et une zone non saturée dans laquelle s'effectue l'infiltration. L'avantage de la formule de Mangin est donc qu'elle tient compte du problème de l'infiltration. que l'on devrait appeler infiltration retardée puisqu'elle provient de l'égouttage de la zone non saturée et de l'infiltration pendant la décrue.

Nous résumons ici les principes de base, mais nous développons surtout le facteur de l'infiltration. Tout d'abord précisons quelques définitions.

- la courbe de décrue (récession) correspond à la décroissance du débit à l'exutoire pendant que l'infiltration se poursuit (la zone noyée étant en régime influencé).

- la courbe de tarissement correspond à la décroissance du débit lorsque l'infiltration aura cessé. (la zone noyée étant en régime non influencé).

- au cours de la décrue et du tarissement, seront distinguées deux zones avec des caractéristiques d'écoulement différentes, l'une est la zone noyée, l'autre la zone non saturée.

- en appelant : Q : le débit observé à l'exutoire

Qr :le débit imputable aux eaux de la réserve

q : le débit de l'infiltration

La décrue correspond à $q > o$ $\quad Q = Qr + q$

Pendant le tarissement $q = 0$ donc $Q = Qr$

Sous une forme dynamique, on peut exprimer le débit à l'exutoire par la somme de deux fonctions :

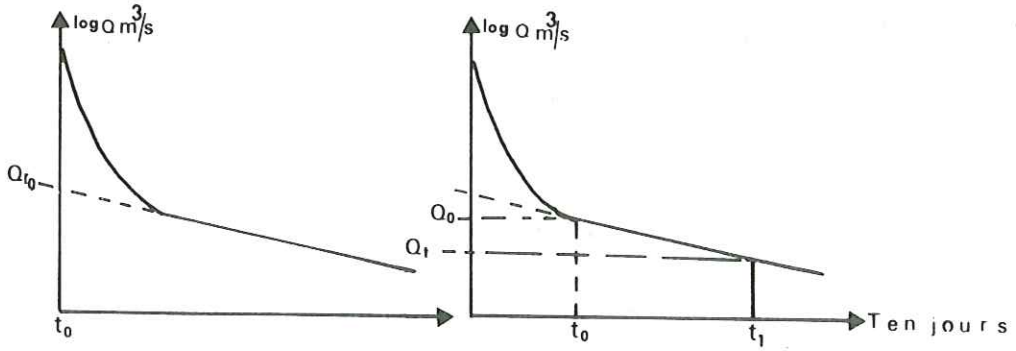
$$Q = f(t) = \varphi(t) + \psi(t)$$

$\varphi(t)$ = participation de la réserve à l'écoulement

$\psi(t)$ = participation de l'infiltration à cet écoulement

Au moment du tarissement (q=0) la formule s'écrit :

$Q = Qro\ e^{-\alpha t}$ qui est la formule de Maillet



MANGIN MAILLET

Fig. n° 5-3- Courbes schématiques de décrue et de tarissement, signification de Qro, Qo, chez Mangin et Maillet.

Remarque :La figure nous montre que le débit Qro employé par Mangin n'a pas le même sens que le débit Qo employé par Maillet. A noter que l'erreur commise est faible.

5.2.5. ETUDE DE L'INFILTRATION

Une fois que la courbe de tarissement est définie, la courbe des débits liés aux eaux d'infiltration $q = \psi(t)$ sera obtenue point par point en déduisant pas soustraction du débit total celui relatif à la zone noyée, soit graphiquement, soit par le calcul connaissant Qro et α .

Mangin a montré que la fonction homographique du type $Y = \frac{aX + b}{cX + d}$ traduit mieux que les formules exponentielles et paraboliques la courbe $q = \psi(t)$. La validité de cette fonction doit être déterminée par la méthode d'alignement. Il convient pour cela de changer de variable; sur la courbe de la fonction donnée, on prend un point quelconque (Xi, Yi) et on aligne $Y = \frac{X - Xi}{Y - Yi}$ et $X\,Y = A + B_x$, on vérifie que les points de cette courbe sont bien alignés; la dispersion observée pour les faibles débits n'intervient presque pas dans l'ajustement de la fonction.

La fonction devient $q = \frac{qo - \eta t}{1 + \varepsilon t}$ dont la dérivée est toujours négative.

q = débit de l'infiltration au temps t

qo = débit de l'infiltration au temps to pris comme origine que l'on calcule par la différence entre le débit de la pointe de crue et Qro obtenu par l'intersection de la droite de tarissement avec l'ordonnée de la pointe de crue.

η = coefficient de durée ou de vitesse de l'infiltration. Plus il sera grand et plus à partir d'un qo donné la durée de l'infiltration sera courte et vice versa.

ε = coefficient d'hétérogénéité d'infiltration.

Il caractérise l'importance de la concavité de la courbe; si ε est grand cela signifie que l'infiltration, rapide au début, devient ensuite plus lente, surtout si η est faible; si ε tend vers zéro, l'écoulement devient homogène; la formule $q = \frac{qo - nt}{1 + \varepsilon t}$ peut s'écrire :

$$q = qo\,\frac{1 - \eta' t}{1 + \varepsilon t} \qquad \text{avec} \qquad \eta' = \frac{\eta}{qo}$$

La fonction s'annule pour $1 - \eta' t = 0$ $\eta' = \frac{1}{t}$

t = correspond au temps au bout duquel q = 0 .

L'équation générale d'un hydrogramme de décrue et tarissement peut donc s'écrire :

$$Q = Qro\,e^{-\alpha t} + \frac{qo - \eta t}{1 + \varepsilon t}$$

5.2.6. DETERMINATION DES PARAMETRES

$q = o$ lorsque $(qo - \eta t) = 0$

Le temps correspondant à $q = 0$ (ti) est le temps au bout duquel l'infiltration a cessé. Pour que $qo = \eta t_i = 0$ il faut que $\eta t_i = qo$

$$\eta = \frac{qo}{ti} \quad \text{d'où} \quad ti = \frac{qo}{\eta}$$

ε : sera déterminé en prenant une valeur pour q et la valeur correspondante de t. On choisira des points présentant un bon alignement sur la droite obtenue par changement de variable. Après avoir déterminé ces paramètres on peut calculer le volume des eaux liées à l'infiltration qui est égal :

$$V_I = \frac{2.30\ n\ (1 + \frac{\varepsilon qo}{\eta}) \log (1 + \frac{\varepsilon qo}{\eta}) - \varepsilon qo}{\varepsilon^2}$$

Les limites de ε étant o et ∞ , on remarquera que plus l'hétérogénéité d'écoulement sera grande, plus le volume sera faible.

Mangin a proposé aussi des équations pour le régime turbulent et pour le régime mixte.

Le type de régime laminaire ou turbulent est déterminé par la vitesse d'écoulement. Le passage d'un type d'écoulement à l'autre se fait au-dessus d'une vitesse critique supérieure ou en-dessous d'une vitesse inférieure. Dans l'intervalle apparaît un écoulement installé (Mangin).

Régime turbulent = $Q = Qro - \beta t + q$

$Qro = \beta t$ est l'équation d'une droite

β = coefficient de tarissement en régime turbulent, il est donné par la pente de la droite.

Régime mixte = $Q^{n-1} = Qro^{n-1} - \frac{(n-1)}{n} \beta' t + q$

n est obligatoirement compris entre 1 et 2.

Le choix entre les formules proposées est déterminé par le report graphique des données sur des diagrammes de coordonnées arithmétiques ou semi-logarithmique. Dans la pratique, cette méthode présente des difficultés malgré sa simplicité apparente.

Comme nous l'avons mentionné, l'étude du tarissement se fait en régime non influencé. Cette règle n'est pas toujours remplie notamment dans un système karstique comme le nôtre, en raison de la présence des puits à neige et des glacières (déjà étudiées) qui fonctionnent tout au long de l'année en alimentant en eau les émergences.

La condensation de la vapeur d'eau peut aussi alimenter les émergences. Le manque de données et de mesures ne nous permet pas, en l'état actuel, de chiffrer la proportion d'eau apportée par ces divers facteurs.

Dans notre étude, nous ne prenons pas en compte le rôle de ces facteurs et avec une marge d'erreur limitée nous considérons que le régime non influencé correspond simplement à l'absence de pluie.

Pour pouvoir tirer le maximum de renseignements de l'étude des courbes de tarissement, on a appliqué les trois formules déjà exposées aux enregistrements des trois stations Engins, Bruyant, Germe et pour les années (1969-1976) après avoir sélectionné les courbes de décrue et de tarissement.

Nous présentons tout d'abord dans les tableaux n° 5-1, 5-2, 5-3, les coefficients de tarissement et les volumes des réserves emmagasinées au début du tarissement, calculés pour chaque station par les méthodes de Maillet et de Tison. Ensuite nous présentons les volumes de l'infiltration calculé par la méthode de Mangin.

D'après les tableaux on remarque tout d'abord que les coefficients de tarissement et les volumes d'eau emmagasinés varient parfois notablement d'une année à l'autre ainsi qu'au cours de la même année.

On remarque aussi que pour la même période de référence les valeurs des coefficients de tarissement et des réserves calculées aux trois stations ne sont pas les mêmes.

Ces variations peuvent être expliquées car :

- d'une façon générale on peut dire que ces variations sont la conséquence de l'hétérogéneité du bassin.

- le comportement hydraulique du karst étant conditionné surtout par des facteurs climatiques variables et le coefficient de tarissement étant un des facteurs hydrauliques du karst, sa variation est donc liée aux variations climatiques.

L'évolution du karst dans le temps, c'est-à-dire l'agrandissement des fissures et des fractures et l'augmentation de la capacité des réserves, influence le comportement de l'eau (la circulation); ceci peut expliquer les variations du coefficient de tarissement avec le temps.

- comme nous l'avons mentionné auparavant le coefficient de tarissement est fonction directe de l'infiltration efficace mais ce facteur n'est pas stable durant l'année d'où la variation des valeurs du coefficient de tarissement.

Les variations du coefficient de tarissement, que l'on utilise pour caractériser une émergence karstique, observées entre les 3 stations du Bruyant, du Germe et du Furon correspondent aux différences de débits à ces stations.

Le décalage du temps de tarissement observé aux trois stations est dû à la puissance des réserves qui alimentent les écoulements mesurés à chacune d'elle.

Il faut noter que les volumes des réserves calculés par les différentes équations ne sont que des valeurs estimées parce que ces valeurs peuvent varier

du simple au double selon l'équation utilisée comme c'est le cas avec les formules de Maillet et de Tison qui correspondent à des modes d'écoulement différents. En pratique, les conditions posées pour l'application des formules de tarissement ne sont pas toujours remplies, et le choix d'une formule reste celui d'une solution approchée.

Signalons enfin que l'imprécision des mesures de débit provoque des erreurs sur l'estimation des réserves qui sont généralement protégées de l'effet de l'évapotranspiration car relativement profondes.

Le calcul du volume des réserves à partir des courbes de tarissement nous donne cependant un ordre de grandeur du volume des vides où l'eau peut être stockée dans le massif et traduit l'importance de la fracturation et de la karstification.

Tableau n° 5-1 - Résultats de l'étude des courbes de tarissement du Furon à Engins

	Nbr de Jours	Maillet		Tison	
		α	wo en m^3	α	wo en m^3
1969					
Du 18 Septembre au 7 Novembre	51	0.01098	1850000 m^3	0.0061	3.33 10^6
Du 19 Décembreau 2 Janvier	15	0.02834	1300000 m^3	0.0151	2.36 10^6
1970					
Du 24 Février au 13 Mars	18	0.06632	1.110000 m^3	0.0380	1.93 10^6
Du 29 Juin au 14 Juillet	16	0.0338	950000 m^3	0.0173	1.85 10^6
Du 16 Septembre au 29 Septembre	14	0.02240	675000 m^3	0.0115	1.31 10^6
Du 9 Octobre au 19 Octobre	11	0.04271	530000 m^3	0.0225	1. 10^6
Du 4 Décembre au 19 Janvier 71	47	0.02235	1300000 m^3	0.0120	2.5 10^6
1971					
Du 31 Janvier au 13 Mars	42	0.01427	2.400000 m^3	0.0081	4.17 10^6
Du 26 Juin au 11 Juillet	16	0.0477	1.030000 m^3	0.0265	1.86 10^6
Du 13 Juillet au 10 Août	29	0.0154	1.570000	0.008	3. 10^6
Du 12 Août au 13 Octobre	63	0.0055	3.75 10^6	0.0029	7.17 10^6
1972					
Du 30 Juin au 18 Juillet	19	0.01819	1.380000 m^3	0.0094	2.68 10^6
Du 8 Septembre au 10 Octobre	33	0.0101	2.050000 m^3	0.0053	3.91 10^6
Du 12 Octobre au 26 Octobre	15	0.02779	780000 m^3	0.0142	1.52 10^6
Du 28 Octobre au 10 Novembre	14	0.0607	512000 m^3	0.0318	9.8 10^5
Du 4 Décembre au 11 Janvier 73	39	0.01755	1.700000 m^3	0.0096	3.11 10^6
ou du 9 Décembre au 11 Janvier 73	34	0.01782	1.710000 m^3	0.0096	3.16 10^6
1973					
Du 23 Juin au 11 Juillet	19	0.0245	920000 m^3	0.0126	1.78 10^6
Du 25 Juillet au 16 Septembre	54	0.012997	2.800000 m^3	0.0069	5.17 10^6
Du 21 Septembre au 12 Octobre	22	0.00961	3.060000 m^3	0.0050	5.8 10^6
Du 17 Octobre au 5 Novembre	20	0.01536	1.870000 m^3	0.0080	3.6 10^6
Du 15 Novembre au 2 Décembre	18	0.02748	1.100000 m^3	0.0148	2.03 10^6
1974					
Du 12 Février au 7 Mars	24	0.0230	1.800000 m^3	0.0120	3.39 10^6
Du 29 Juin au 13 Juillet	15	0.02703	1.400000 m^3	0.0142	2.65 10^6
Du 6 Septembre au 23 Septembre	18	0.01950	1.900000 m^3	0.0102	3.62 10^6
1975					
Du 7 Janvier au 16 Janvier	9	0.07837	920000 m^3	0.0410	1.76 10^6
Du 29 Janvier au 28 Février	31	0.04433	1.360000 m^3	0.0263	2.3 10^6
Du 1er Juin au 14 Juin	14	0.0298	2.000000 m^3	0.0152	3.9 10^6
Du 5 Juillet au 8 Août	35	0.01401	2.590000 m^3	0.0076	4.75 10^6
Du 1er Octobre au 16 Octobre	16	0.0214	1.960000 m^3	0.0112	3.73 10^6
Du 17 Décembre au 21 Janvier 76	36	0.03234	1.800000 m^3	0.0180	3.22 10^6
1976					
Du 19 Juillet au 8Août	21	0.02569	470000 m^3	0.0134	9.1 10^5
Du 10 Novembre au 29 Novembre	20	0.0522	1.700000 m^3	0.0294	3.05 10^6

Les valeurs du coefficient de tarissement varient entre : 0.0055 0.07837 selon Maillet
0.0029 0.0410 selon Tison

Les valeurs du volume des réserves varient entre : 470.10^3 m^3 3.75 10^6 m^3 selon Maillet
9.1 10^5 m^3 7.17 10^6 m^3 selon Tison

Tableau N° 5-2 - Résultats de l'étude des courbes de tarissement du Germe

	Nbr de jours	Maillet		Tison	
		α	wo en m^3	α	wo en m^3
1968					
Du 9 Octobre au 1 Novembre	23	0.0136	1.200000 m^3	0.0072	2.22 10^6
Du 25 Novembre au 21 Décembre	27	0.02403	760000 m^3	0.0131	1.39 10^6
1969					
Du 30 Juillet au 14 Aout	16	0.0208	710000 m^3	0.0108	1.36 10^6
Du 27 Août au 5 Septembre	10	0.0220	590000 m^3	0.0114	1.14 10^6
Du 18 Septembre au 7 Novembre	51	0.00992	1.180000 m^3	0.00536	2.19 10^6
Du 19 Décembre au 4 Janvier	17	0.02042	780000 m^3	0.0108	1.47 10^6
1970					
Du 28 Juin au 14 Juillet	17	0.01963	790000 m^3	0.0101	1.54 10^6
Du 16 Juillet au 8 Août	24	0.01629	810000 m^3	0.0085	1.56 10^6
Du 20 Août au 10 Septembre	22	0.00859	1240000 m^3	0.0044	2.41 10^6
Du 16 Septembre au 29 Septembre	24	0.0318	330000 m^3	0.0168	6.33 10^5
Du 9 Octobre au 20 Octobre	12	0.0405	330000 m^3	0.0212	6.35 10^5
Du 4 Décembre au 19 Janvier	47	0.02678	620000 m^3	0.014	1.19 10^6
1971					
Du 6 Juillet au 11 Août	37	0.01869	650000 m^3	0.0102	1.19 10^6
Du 12 Août au 25 Août	14	0.02789	310000 m^3	0.0148	5.8 10^5
Du 27 Août au 9 Septembre	14	0.0195	359000 m^3	0.0101	6.93 10^5
Du 11 Septembre au 24 Septembre	14	0.03785	190000 m^3	0.0198	3.63 10^5
Du 28 Septembre au 13 Octobre	16	0.0278	230000 m^3	0.0148	4.39 10^5
Du 14 Octobre au 8 Novembre	26	0.01597	430000 m^3	0.0084	8.21 10^5
Du 22 Novembre au 14 Décembre	23	0.00681	1.900000 m^3	0.0035	3.55 10^6
1972					
Du 11 Juin au 26 Juin	16	0.04708	510000 m^3	0.0262	9.14 10^5
Du 17 Août au 28 Août	12	0.0235	500000 m^3	0.0121	9.6 10^5
Du 11 Septembre au 11 Octobre	31	0.01991	55000 m^3	0.0106	1.04 10^6
Du 9 Décembre au 16 Janvier 1973 ou Du 4 Décembre au 16 Janvier 73	39	0.02776	590000 m^3	0.0150	1.09 10^6
1973					
Du 23 Juin au 8 Juillet	16	0.0466	440000 m^3	0.025	8.23 10^5
NB : La station a été détruite par la crue du 21 Juillet. Le tracé de la courbe est reconstitué d'après les stations voisines remise en place de la station le 9 Août.					
Du 1er Août au 27 Août	27	?	?		
Du 31 Août au 12 Septembre	13	0.03432	250000 m^3	0.0182	4.76 10^5
Du 16 Octobre au 4 Novembre	20	0.04657	190000 m^3	0.0258	3.49 10^5
Du 15 Novembre au 6 Décembre	22	(0.12136)	1.40000 m^3	(0.0863)	1.9 10^5
1975					
Du 30 Janvier au 28 Février	29	0.0438	600000 m^3	0.0[illegible]9	1.09 10^6
Du 1er Juin au 14 Juin	14	0.08219	420000 m^3	0.0442	7.82 10^5
Du 5 Juillet au 8 Août	35	0.0294	400000 m^3	0.0164	7.18 10^5
Du 15 Septembre au 29 Septembre	15	(0.1026)	280000 m^3	(0.0643)	4.5 10^5
Du 1er Octobre au 16 Octobre	16	0.03310	310000 m^3	0.0173	5.91 10^5
Du 2 Novembre au 12 Novembre	15	0.0446	390000 m^3	0.0236	7.32 10^5
1976					
Du 17 Décembre au 4 Février	50	0.01803	55600 m^3	0.0103	9.77 10^5
Du 19 Juillet au 9 Août	22	0.01284	380000 m^3	0.0067	7.22 10^5
Du 19 Octobre au 29 Octobre	11	(0.0909)	210000m^3	0.0493	3.85 10^5
Du 10 Novembre au 25 Novembre	16	(0.12015)	450000 m^3	(0.0701)	7.64 10^5

α : entre (0.00681 et 0.008219) Maillet - 0.0035 et 0.0442 Tison

Les volumes des réserves varient entre 190 10^3 m^3 et 1.9 10^6 m^3 Maillet, 3.63 10^3 m^3 et 3.55 10^6 m^3 Tison

NB : α entre parenthèses représentent des valeurs anormales. Nous ne tenons pas compte de ces valeurs.

Tableau N° 5-3 - Résultats de l'étude des courbes de tarissement du Bruyant

DATES	Nbr de Jours	α : Maillet	Volume	a : Tison	Volume
Du 18 Sept. au 9 Nov.	53	0.0088	$1.03\ 10^{6}\ m^{3}$	0.0045	$1.950000\ m^{3}$
Du 24 Nov. au 17 Déc.	24	0.0455	$522\ 10^{3}\ m^{3}$	0.02466	$963\ 10^{3}\ m^{3}$
		1970			
Du 4 Fév. au 21 Fév.	18	0.0479	$469\ 10^{3}\ m^{3}$	0.0258	$871\ 10^{3}\ m^{3}$
Du 24 Fév. au 20 Mars	25	0.01871	$990\ 10^{3}\ m^{3}$	0.0099	$1.9\ 10^{6}\ m^{3}$
Du 28 Juin au 14 Juillet	17	0.05188	$450\ 10^{3}\ m^{3}$	0.029	$810\ 10^{3}\ m^{3}$
Du 16 Juil. au 17 Août	33	0.00981	$1\ 10^{6}\ m^{3}$	0.0051	$1.98\ 10^{6}\ m^{3}$
Du 20 Août au 15 Sept.	27	0.00996	$920\ 10^{3}\ m^{3}$	0.0051	$1.8\ 10^{6}\ m^{3}$
Du 15 Sept. au 31 Sept.	15	0.0162	$530\ 10^{3}\ m^{3}$	0.0083	$1.04\ 10^{6}\ m^{3}$
Du 9 Oct. au 12 Nov.	35	0.00959	$1.1\ 10^{6}\ m^{3}$	0.005	$2.06\ 10^{6}\ m^{3}$
Du 4 Déc. au 24 Jan. 71	52	0.02945	$410\ 10^{3}\ m^{3}$	0.0165	$7.34\ 10^{5}\ m^{3}$
		1971			
Du 26 Juin au 11 Juil.	16	0.0736	$330\ 10^{3}\ m^{3}$	0.0412	$590\ 10^{3}\ m^{3}$
Du 19 Juil. au 11 Août	24	0.0244	$390\ 10^{3}\ m^{3}$	0.0127	$750\ 10^{3}\ m^{3}$
Du 12 Aout au 13 Octobre	63	0.00979	$710\ 10^{3}\ m^{3}$	0.0055	$1.25\ 10^{6}\ m^{3}$
		1972			
Du 18 Février au 11 Mars	23	0.03243	$5.6\ 10^{5}\ m^{3}$	0.018	$1\ 10^{6}\ m^{3}$
Du 12 Juin au 28 Juin	17	0.0803	$410\ 10^{3}\ m^{3}$	0.0514	$6.4\ 10^{5}\ m^{3}$
Du 30 Juin au 18 Juillet	19	0.0367	$390\ 10^{3}\ m^{3}$	0.02	$7.2\ 10^{5}\ m^{3}$
Du 8 Sept. au 10 Octobre	33	0.05018	$250\ 10^{3}\ m^{3}$	0.0297	$4.2\ 10^{5}\ m^{3}$
Du 12 Oct. au 26 Oct.	15	0.0796	$120\ 10^{3}\ m^{3}$	0.0432	$2.2\ 10^{5}\ m^{3}$
		1973			
Du 23 Juin au 11 Juillet	19				
Du 25 Juillet au 14 Août	21	0.0549	$460\ 10^{3}\ m^{3}$	0.0325	$7.7\ 10^{5}\ m^{3}$
Du 15 Août au 17 Septembre	34	0.0210	$460\ 10^{3}\ m^{3}$	0.0115	$8.4\ 10^{5}\ m^{3}$
Du 21 Sept. au 11 Oct.	21	0.0116	$1.5\ 10^{6}\ m^{3}$	0.006	$2.88\ 10^{6}\ m^{6}$
Du 16 Oct. au 5 Nov.	21	0.0251	$380\ 10^{3}\ m^{3}$	0.0132	$7.2\ 10^{5}\ m^{3}$
Du 15 Nov. au 7 Déc.	23	0.03996	$380\ 10^{3}\ m3$	0.0208	$7.3\ 10^{5}\ m^{3}$
		1974			
Du 1 Juin au 17 Juin	17	0.0527	$360\ 10^{3}\ m^{3}$	0.0298	$6.3\ 10^{5}\ m^{3}$
Du 29 Juin au 3 Aout	36	0.00538	$1.16\ 10^{6}\ m^{3}$	0.00276	$2.25\ 10^{6}\ m^{3}$
Du 28 Sept. au 18 Oct.	21	0.06068	$460\ 10^{3}\ m^{3}$	0.034	$8.2\ 10^{5}\ m^{3}$

Les valeurs du coefficient de tarissement varient entre 0.00538 et 0.0803 selon Maillet
0.00276 et 0.0514 selon Tison (les valeurs soulignées dans le tableau).

Les valeurs du volume des réserves varient entre $120.10^{3}\ m^{3}$ et $2.25\ 10^{6}\ m^{3}$ selon Tison (les valeurs encadrées dans le tableau)

Dans les tableaux n° 5-4, 5-5, 5-6, nous avons regroupé les résultats de calcul de l'infiltration obtenus par la méthode de Mangin qui a été appliquée sur toutes les courbes de décrue et de tarissement déjà analysées. Pour pouvoir comparer ces résultats nous avons calculé aussi le volume de l'infiltration par planimétrage à partir de la courbe de l'infiltration tracée point par point.

Normalement le volume de l'infiltration calculé par ces deux méthodes ne doit pas présenter de grosses différences mais chaque fois qu'il présente une différence considérable, les valeurs seront abondonnées, car dans ce cas les conditions d'application de la formule de Mangin ne sont pas réalisées.

	Nbr de jours	Volume de l'infiltration calculé par	
		L'équation de Mangin	par planimétrage
1969			
Du 18 Septembre au 7 Novembre	51	110 000 m^3	150 000 m^3
Du 19 Décembre au 2 Janvier	15		
1970			
Du 24 Février au 13 Mars	18		
Du 29 Juin au 14 Juillet	16	300 000 m^3	250 000 m^3
Du 16 Septembre au 29 Septembre	14		
Du 9 Octobre au 19 Octobre	11	179 000 m^3	290 000 m^3
Du 4 Décembre au 19 Janvier 71	47		
1971			
Du 31 Janvier au 13 Mars	42	82 000 m^3	91 000 m^3
Du 26 Juin au 11 Juillet	16	307 000 m^3	313 000 m^3
Du 13 Juillet au 10 Août	29	108 000 m^3	159 000 m^3
Du 12 Août au 13 Octobre	63		
1972			
Du 30 Juin au 18 Juillet	19	60 000 m^3	70 000 m^3
Du 8 Septembre au 10 Octobre	33	71 000 m^3	95 000 m^3
Du 12 Octobre au 26 Octobre	15	82 000 m^3	78 000 m^3
Du 28 Octobre au 10 Novembre	14	49 000 m^3	66 000 m^3
Du 4 Décembre au 11 Janvier 73	39		
ou du 9 Décembre au 11 Janvier 73	34	236 000 m^3	233 000 m^3
1973			
Du 23 Juin au 11 Juillet	19	202 000m^3	361 000 m^3
Du 25 Juillet au 16 Septembre	54	152 000 m^3	
Du 21 Septembre au 12 Octobre	22	54 000 m^3	63 000 m^3
Du 17 Octobre au 5 Novembre	20	135 000 m^3	130 000 m^3
Du 15 Novembre au 2 Décembre	18	135 000 m^3	143 000 m^3
1974			
Du 12 Février au 7 Mars	24	338 000 m^3	342 000 m^3
Du 29 Juin au 13 Juillet	15	107 000 m^3	229 000 m^3
Du 6 Septembre au 23 Septembre	18	151 000 m^3	198 000 m^3
1975			
Du 7 Janvier au 16 Janvier	9	73 000 m^3	81 000 m^3
Du 29 Janvier au 28 Février	31	998 000 m^3	976 000 m^3
Du 1er Juin au 14 Juin	14	353 000 m^3	380 000 m^3
Du 5 Juillet au 8 Août	35	363 000 m^3	294 000 m^3
Du 1er Octobre au 16 Octobre	16	38 000 m^3	42 000 m^3
Du 17 Décembre au 21 Janvier 76	36	43 000 m^3	45 000 m^3
1976			
Du 19 Juillet au 8 Août	21	78 000 m^3	82 000 m^3
Du 10 Novembre au 29 Novembre	20		

Tableau n° 5-4- Valeurs du volume de l'infiltration (Furon à Engins)

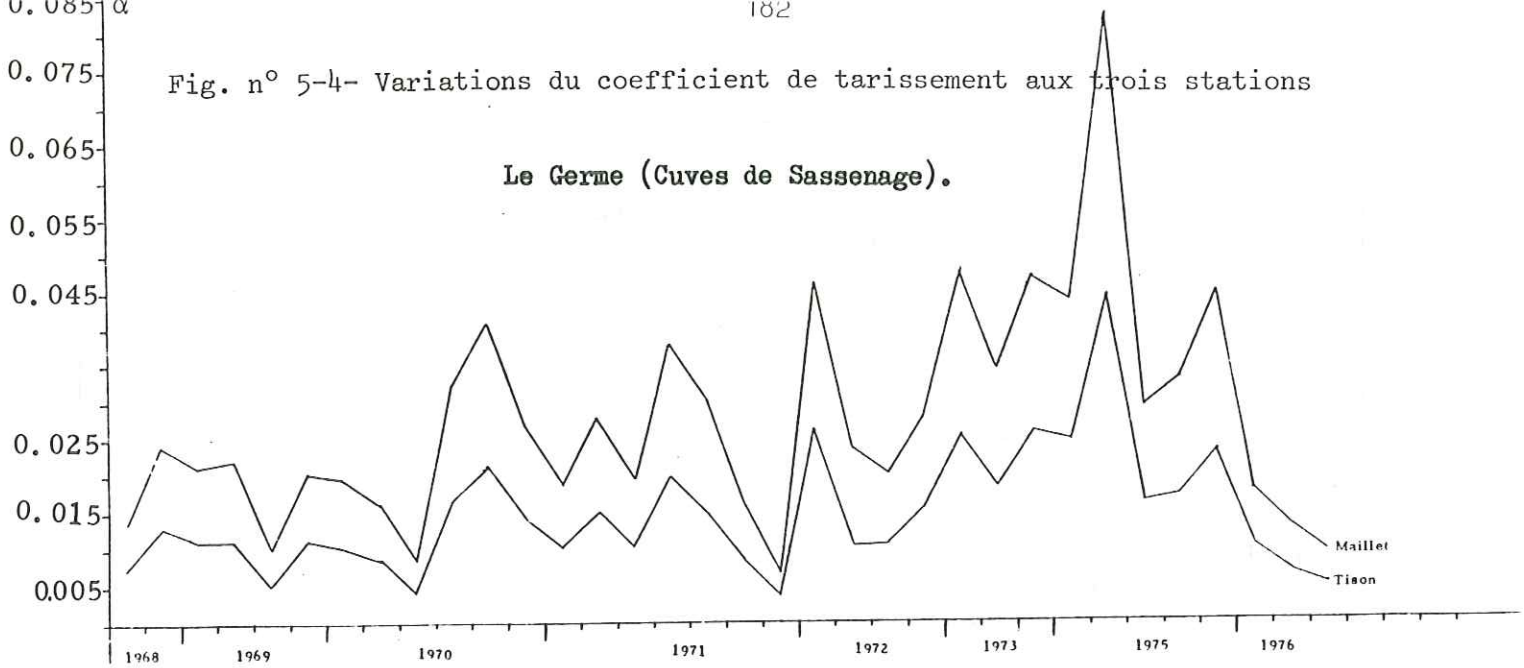
	Nbr de jours	Volume de l'infiltration calculé par	
		L'équation de Mangin	Par planimétrage
1968			
Du 9 Octobre au 1er Novembre	23	76 000 m^3	69 000 m^3
Du 25 Novembre au 21 Décembre	27	120 000 m^3	107 000 m^3
1969			
Du 30 Juillet au 14 Août	16		
Du 27 Août au 5 Septembre	10	20 000 m^3	27 000 m^3
Du 18 Septembre au 7 Novembre	51	32 000 m^3	34 000 m^3
Du 19 Décembre au 4 Janvier	17	18 000 m^3	17 000 m^3
1970			
Du 28 Juin au 14 Juillet	17	94 000 m^3	107 000 m^3
Du 16 Juillet au 8 Août	24	32 000 m^3	35 000 m^3
Du 20 Août au 10 Septembre	22	21 000 m^3	20 000 m^3
Du 16 Septembre au 29 Septembre	24		
Du 9 Octobre au 20 Octobre	12	69 000 m^3	131 000 m^3
Du 4 Décembre au 19 Janvier	47	285 000 m^3	140 000 m^3
1971			
Du 6 Juillet au 11 Août	37	24 000 m^3	27 000 m^3
Du 12 Aoû t au 24 Août	14		
Du 27 Août au 9 Septembre	14	14 000 m^3	16 000 m^3
Du 11 Septembre au 24 Septembre	14	15 000 m^3	15 000 m^3
Du 28 Septembre au 13 Octobre	16		
Du 14 Octobre au 8 Novembre	26	31 000 m^3	30 000 m^3
Du 22 Novembre au 14 Décembre	23	14 000 m^3	14 000 m^3
1972			
Du 11 Juin au 26 Juin	16	36 000 m^3	46 000 m^3
Du 17 Août au 28 Aout	12	36 000 m^3	35 000 m^3
Du 11 Septembre au 11 Octobre	31	30 000 m^3	37 000 m^3
Du 9 Décembre au 16 Janvier 73 ou du 4 Décembre au 16 Janvier73	39	63 000 m^3	43 000 m^3
1973			
Du 23 Juin au 8 Juillet	16	137 000 m^3	290 000 m^3
Du 1er Août au 27 Aout	27		
Du 31 Août au 12 Septembre	13	96 000 m^3	160 000 m^3
Du 16 Octobre au 4 Novembre	20		
Du 15 Novembre au 6 Décembre	22		
Nous n'avons pas tenu compte des résultats obtenus au cours de l'année 1974 qui ne sont pas fiables.			
1975			
Du 30 Janvier au 28 Février	29		128 000 m^3
Du 1er Juin au 14 Juin	14	115 000 m^3	160 000 m^3
Du 5 Juillet au 8 Août	35	205 000 m^3	207 000 m^3
Du 15 Septembre au 29 Septembre	15	208 000 m^3	219 000 m^3
Du 1er Octobre au 16 Octobre	16	29 000 m^3	25 000 m^3
Du 2 Novembre au 12 Novembre	15	52 000 m^3	48 000 m^3
1976			
Du 17 Décembre au 4 Février	50	198 000 m^3	207 000 m^3
Du 19 Juillet au 9 Août	22	6 000 m^3	7 000 m^3
Du 19 Octobre au 29 Octobre	11	40 000 m^3	43 000 m^3
Du 10 Novembre au 25 Novembre	16		

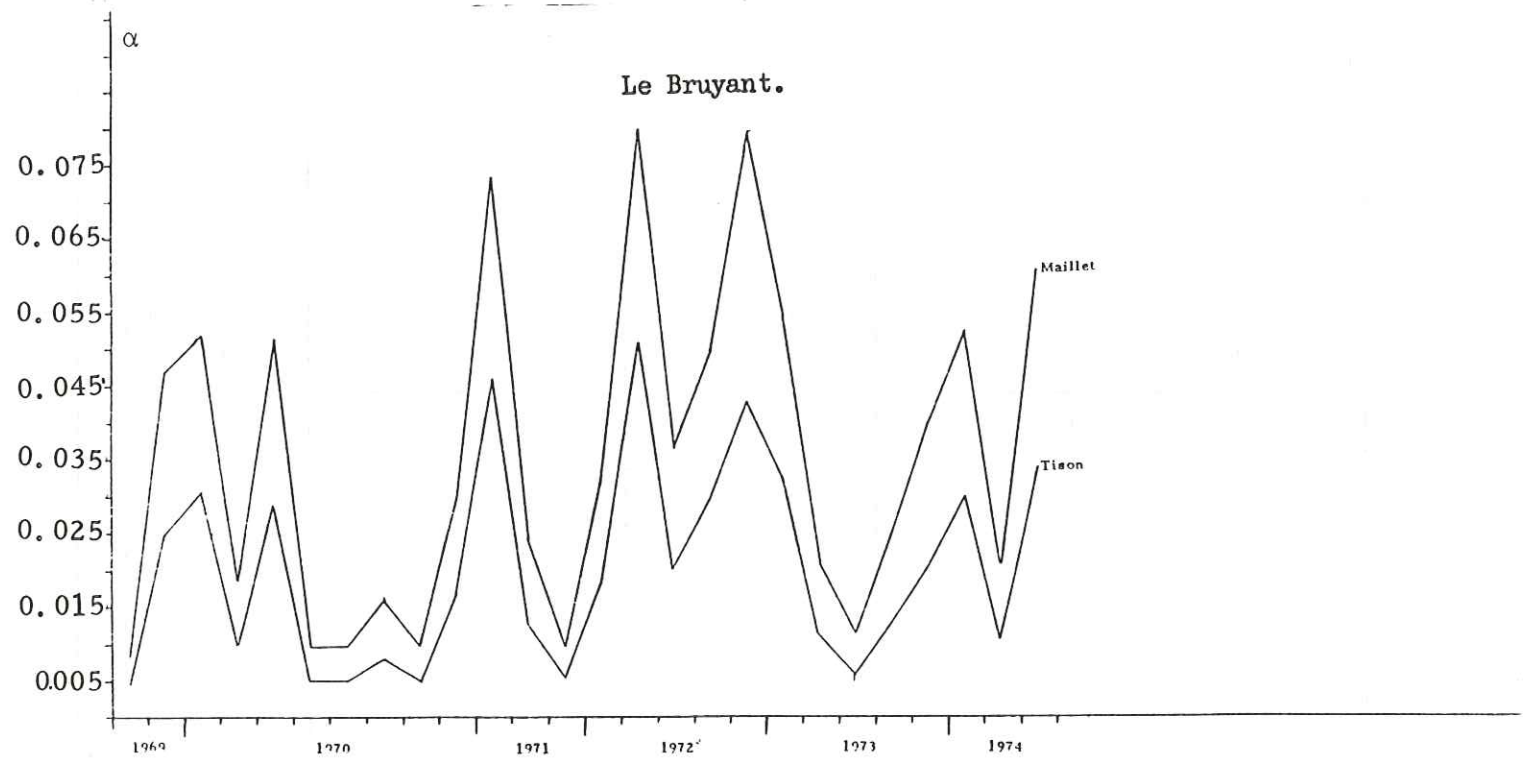
Tableau n° 5-5 - Valeurs du volume de l'infiltration (Germe - Cuves de Sassenage)

	Nbre de jours	Volume de l'infiltration calculé par L'équation de Mangin	par planimétrage
1969			
Du 18 Septembre au 9 Novembre	53	99 000 m^3	104 000 m^3
Du 24 Novembre au 17 Décembre	24	105 000 m^3	80 000 m^3
1970			
Du 4 Février au21 Février	18	226 000 m^3	259 000 m^3
Du 24 Février au 20 Mars	25	20 000 m^3	19 000 m^3
Du 28 Juin au 14 Juillet	17	69 000 m^3	61 000 m^3
Du 16 Juillet au 17 Août	33		
Du 20 Août au 15 Septembre	27	9 000 m^3	9 000 m^3
Du 15 Septembre au 31 Septembre	15	8 000 m^3	12 000 m^3
Du 9 Octobre au 12 Novembre	35	210 000 m^3	233 000 m^3
Du 4 Décembre au 24 Janvier 1971	52	173 000 m^3	159 000 m^3
1971			
Du 26 Juin au 11 Juillet	16	78 000 m^3	80 000 m^3
Du 19 Juillet au 11 Août	24	26 000 m^3	25 000 m^3
Du 12 Août au 13 Octobre	63		
1972			
Du 18 Février au 11 Mars	23	12 000 m^3	14 000 m^3
Du 12 Juin au 28 Juin	17	28 000 m^3	36 000 m^3
Du 30 Juin au 18 Juillet	19	23 000 m^3	23 000 m^3
Du 8 Septembre au 10 Octobre	33	62 000 m^3	61 000 m^3
Du 12 Octobre au 26 Octobre	15		
1973			
Du 23 Juin au 11 Juillet	19		
Du 25 Juillet au 14 Août	21	165 000 m^3	229 000 m^3
Du 15 Août au 17 Septembre	34		
Du 21 Septembre au 11 Octobre	21	53 000 m^3	54 000 m^3
Du 16 Octobre au 5 Novembre	21	110 000 m^3	95 000 m^3
Du 15 Novembre au 7 Décembre	23	82 000 m^3	76 000 m^3
1974			
Du 1 er Juin au 17 Juin	17		
Du 29 Juin au 3 Août	36		
Du 28 Septembre au 18 Octobre	21	145 000 m^3	211 000 m^3

Tableau n° 5-6 - Valeurs du volume de l'infiltration (Bruyant)

Fig. n° 5-4- Variations du coefficient de tarissement aux trois stations





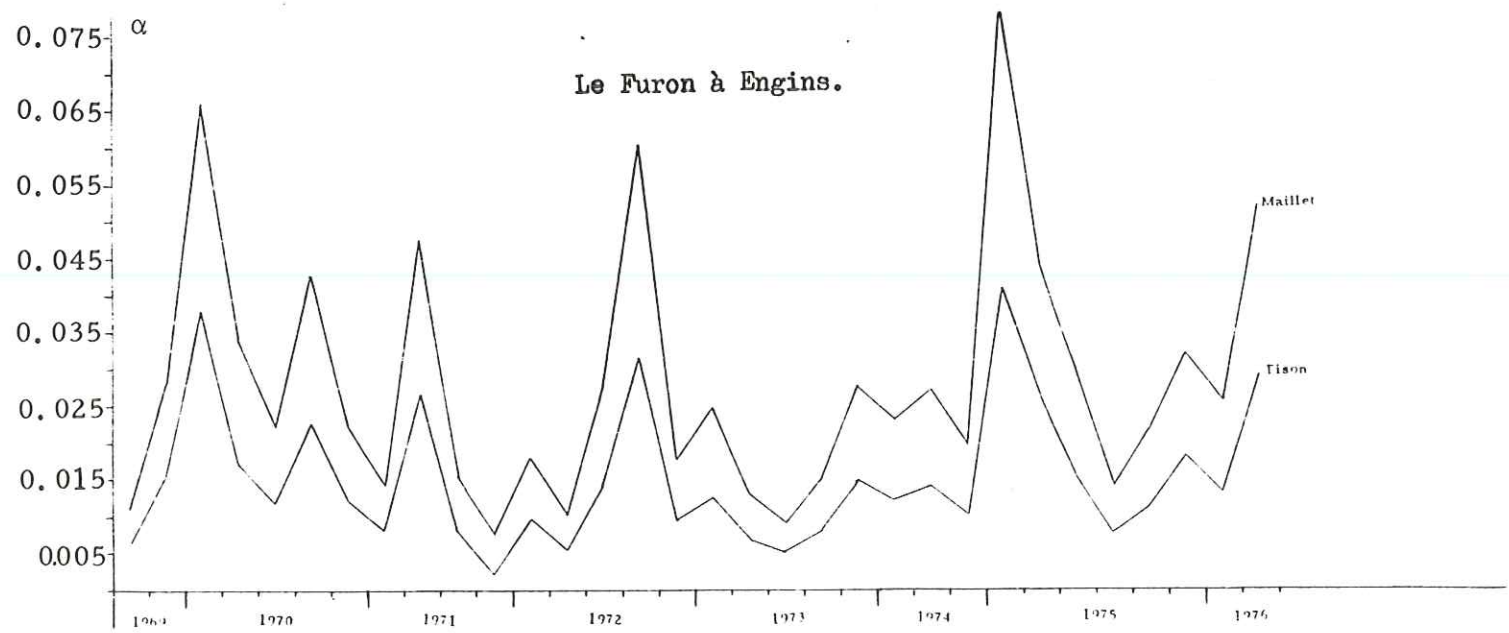
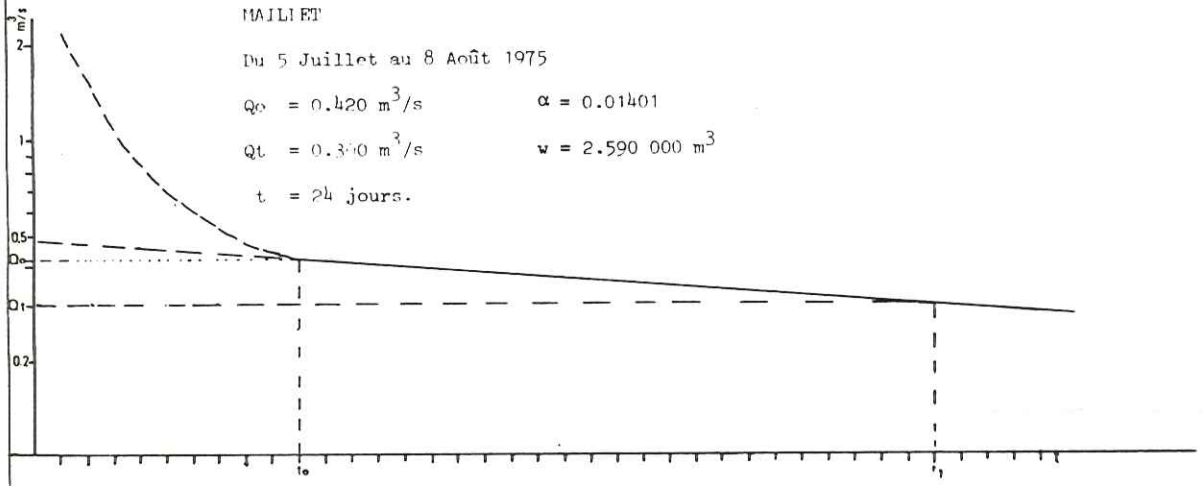
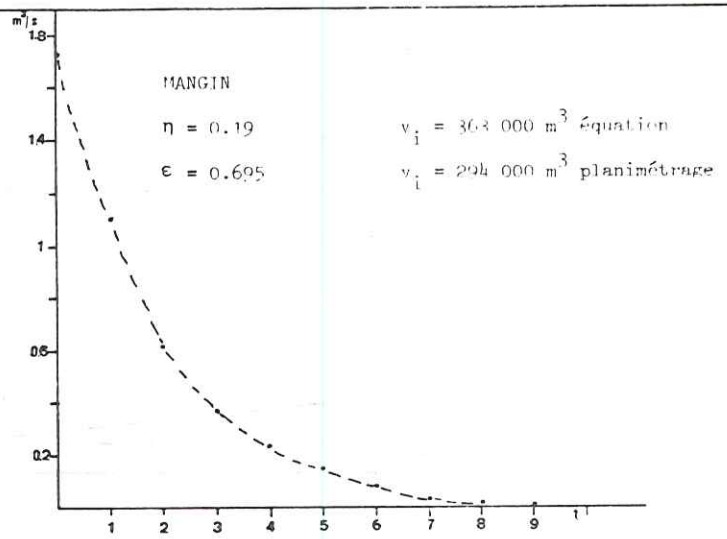
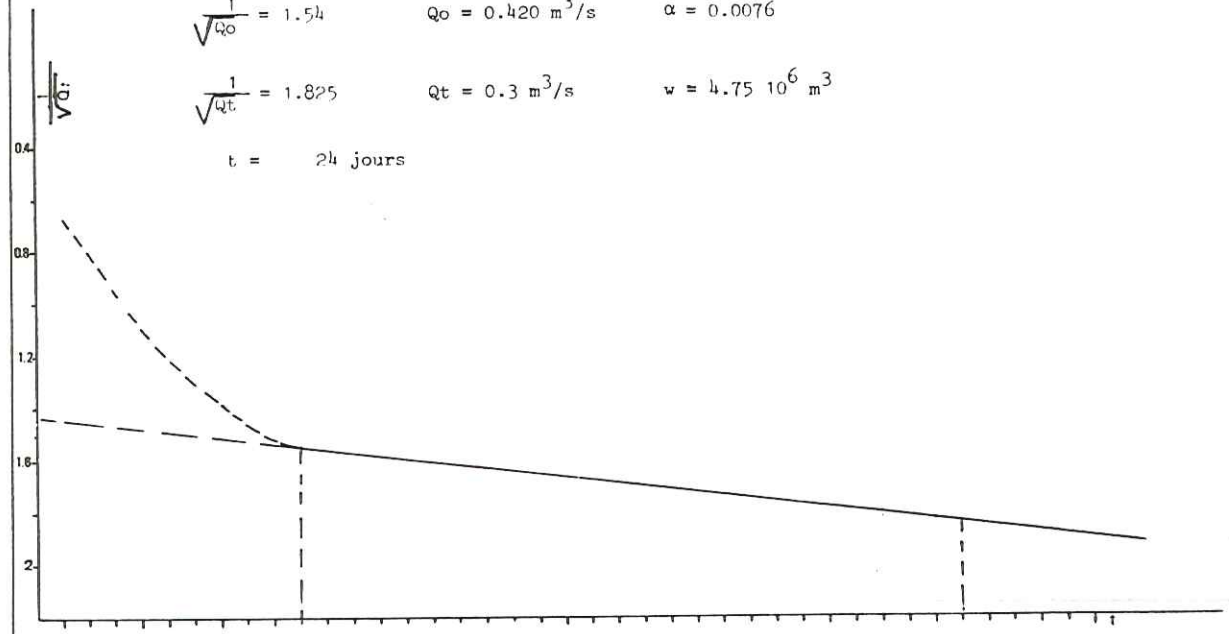


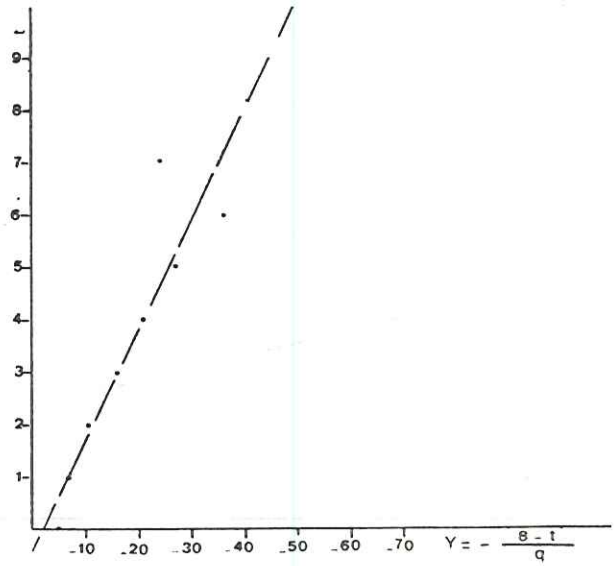
Fig. n° 5-5- Calcul du coefficient de tarissement selon Maillet, Tison et Mangin
(Le Furon à Engins).





Courbe des débits relatifs à l'infiltration





Courbe des débits relatifs à l'infiltration après changement de variable.

5.3. ESTIMATION DE LA DISTRIBUTION DE LA CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE ANISOTROPE DU PLATEAU DE SORNIN

D'une façon générale, l'étude de la perméabilité des formations géologiques représente un élément de base de l'étude hydrogéologique.

Dans les terrains calcaires où l'écoulement souterrain est conditionné par l'anisotropie et l'hétérogénéité de la perméabilité, l'estimation même approximative de la perméabilité est un but important.

La perméabilité peut être calculée par différentes méthodes, nous en citons quelques unes.

1) par essai d'eau dans un forage (essai Lugeon).

2) par essai de pompage après calcul de la transmissivité T = Kh.

3) par essai au laboratoire.

La perméabilité des roches fissurées est fortement influencée par l'ouverture des fissures et des pores karstifiés.

Dans les roches fissurées l'estimation de la perméabilité se fait donc à partir de l'étude statistique de la fissuration qui s'est développée ces dernières années grâce à l'utilisation d'ordinateurs.

Dans un milieu poreux homogène et isotrope, la perméabilité est représentée par une grandeur scalaire ; par contre dans un milieu fissuré anisotrope elle est estimée par un tenseur du deuxième ordre.

Dans notre bassin, nous allons essayer d'estimer la conductivité hydraulique à partir d'une méthode basée sur l'étude des fissures. Le document utilisé pour cette étude est la carte photogéologique de la fracturation intitulée " Contribution à l'étude du plateau de Sornin- Vercors - Isère, étude phototectonique " établie par Cl. Arnaud et Kl. Lucas (1972). (Voir figure n° 5-8)

Il ne s'agit que d'une carte sans renseignements complémentaires concernant notamment l'ouverture des fissures qui est un facteur directement lié à la perméabilité. Nous sommes donc obligé d'avoir recours à quelques hypothèses dans le but de rendre le document utilisable

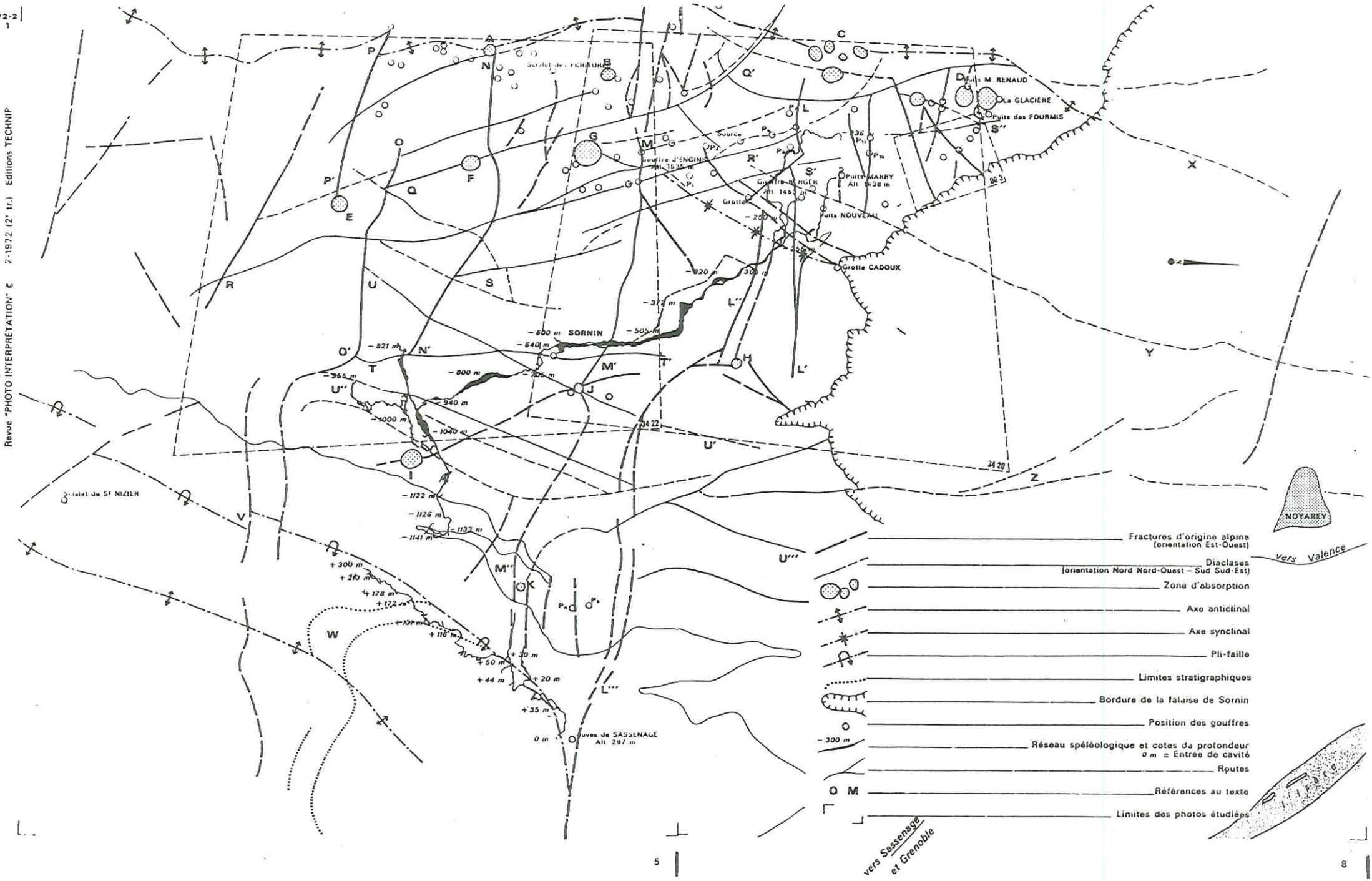
5.3.1. HYPOTHESES SIMPLIFICATRICES

Pour traiter le problème posé nous avons admis les hypothèses suivantes :

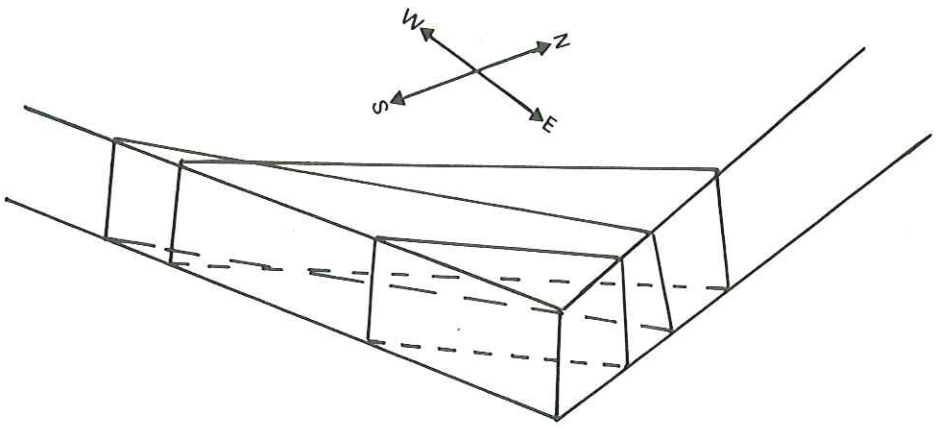
1) Les fractures sont sensiblement verticales ce qui permet de traiter le problème à deux dimensions.

2) L'épaisseur de la zone broyée est proportionnelle à la longueur apparente de la fracture.

Fig. n° 5-8 - Contribution à l'étude du plateau Sornin-Vercors - étude phototectonique -



72-2 1
Revue "PHOTO INTERPRÉTATION" 2-1972 (2e tr.) Editions TECHNIP



5.3.2. MODE DE CALCUL DE LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE DE CHAQUE FRACTURE

La conductivité hydraulique de chaque fracture de longueur L par rapport à un sous-système défini par un cercle de diamètre D est donnée par la formule suivante :

$$K = K_f \frac{e}{D}$$

K : conductivité hydraulique équivalente pour un système continu,

K_f : conductivité hydraulique de la zone broyée,

e : épaisseur moyenne de la fracture,

D : diamètre du cercle.

Si on tient compte de la deuxième hypothèse on aura:

$e = C \times L$ L = longueur de la fracture en m

C = coefficient de proportionalité

En remplaçant e dans la première formule on aura :

$$K = K_f \frac{c \times L}{D} \quad \text{ou} \quad K_f c \frac{L}{D} = \frac{K_f c}{D} \cdot L$$

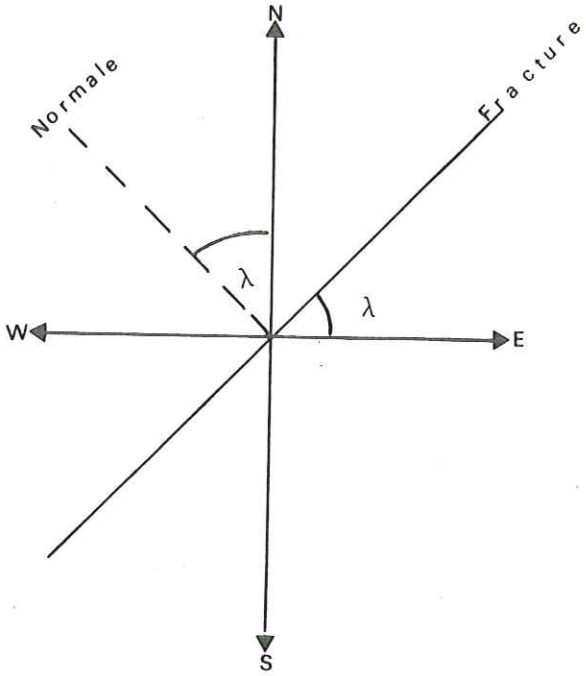
et en considérant que $\frac{K_f c}{D} = C$ la formule devient

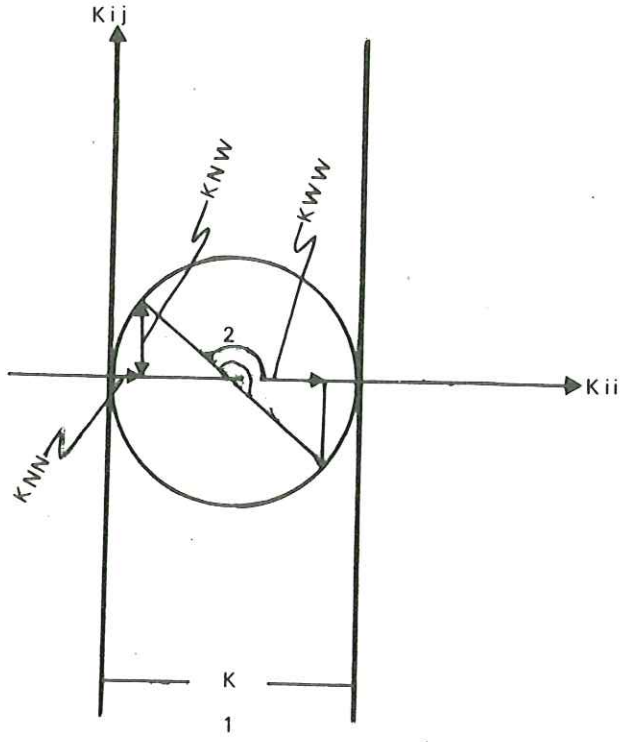
$K = C.L$ C = facteur de proportionalité qui sera calculé ultérieurement

K = la perméabilité

5.3.3. REPRESENTATION DE LA CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE DE CHAQUE FRACTURE DANS LE MEME SYSTEME DE REFERENCE

Il faut traiter K comme étant un tenseur du deuxième ordre



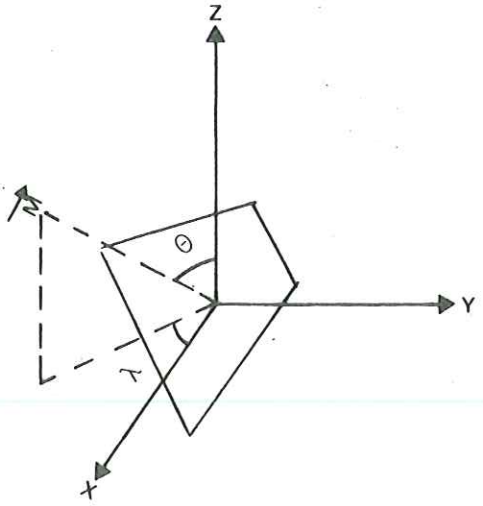


Les formules suivantes représentent les composantes du tenseur K de la perméabilité de chaque fracture à trois dimensions.

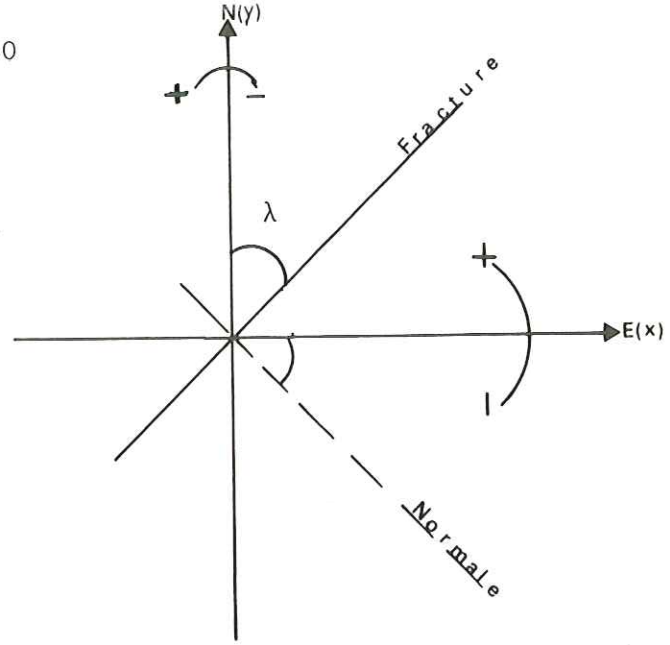
$K_{XX} = K\ (\sin^2\lambda + \cos^2\theta\ .\ \cos^2\lambda)$ $\quad K_{XY}\quad K_{YX} = -\ K \sin^2\theta \cos \sin \lambda$

$K_{YY} = K\ (\sin^2\theta \cos^2\lambda + \cos^2\theta$ $\quad K_{YZ}\quad K_{ZY} = -\ K \sin\theta \cos\theta \sin\lambda$

$K_{ZZ} = K \sin^2\theta$ $\quad K_{ZX}\quad K_{XZ} = -\ K \sin\theta \cos\theta \cos\lambda$



en considérant que $\theta = 0$, on traite le problème à deux dimensions et on a les formules suivantes :



$$K_{NN} = K \cos^2 \lambda$$

$$K_{WW} = K \sin^2 \lambda$$

$$K_{NW} = - K \sin \quad \cos$$

en remplaçant K par sa valeur calculée précédemment K = CL on aura :

$$K_{NN} = CL \cos^2$$

$$K_{WW} = CL \sin^2$$

$$K_{NW} = - CL \sin \lambda \cos \lambda$$

- C : n'est pas connu mais on peut le déterminer approximativement d'une façon empirique.

5.3.4. EFFET SIMULTANE DE TOUTES LES FRACTURES

La sommation des tenseurs se fait selon la formule suivante.

$$K = K_1 + K_2 + \ldots\ldots + K_i + \ldots$$

5.3.5. CALCUL DE K_{max}, K_{min}, $\frac{K_{max} + K_{min}}{2}$

Connaissant les tenseurs qui représentent l'effet simultané de toutes les fractures on peut calculer :

K_{max}, K_{min}, $\frac{K\ max + K\ min}{2}$, de même l'orientation, selon les formules suivantes :

$$\lambda_{\substack{max \\ ou \\ min}} = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2\ KNW}{KWW-KNN}$$

$$K_{\substack{max \\ ou \\ min}} = \frac{1}{2} (KWW + KNN) \pm \frac{1}{2} \sqrt{(KWW - KNN)^2 + 4\ K^2_{NW}}$$

5.3.6. DEMARCHE SUIVIE POUR LES CALCULS

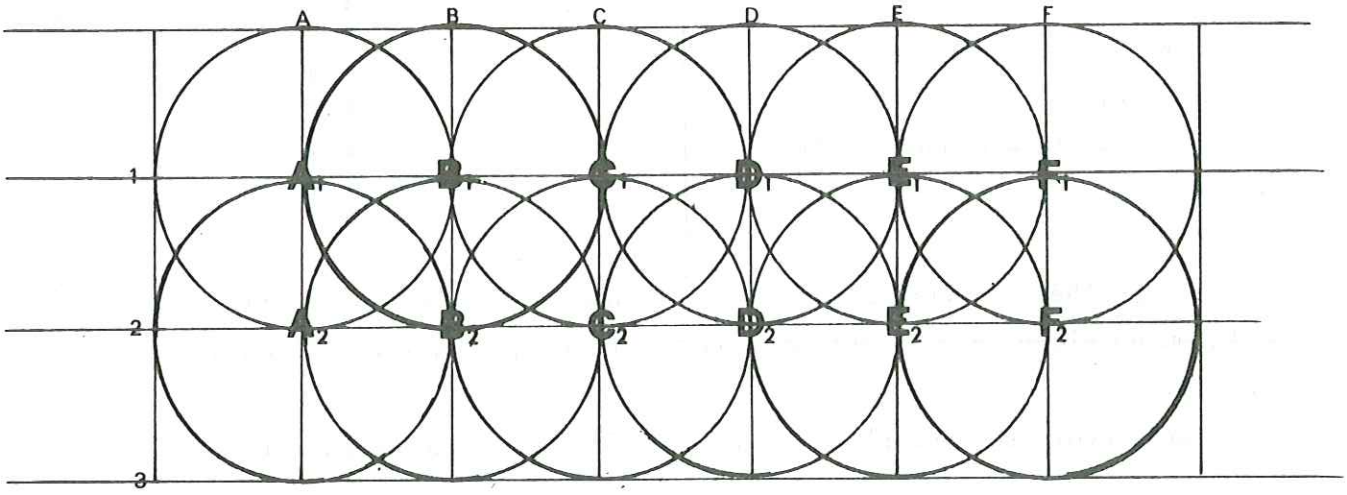
Pour pouvoir résoudre les équations précédentes et par conséquent calculer les perméabilités maximales et minimales ainsi que leurs orientations, il nous suffit de connaître la longueur et l'orientation des fractures qui nous permettent de calculer les composantes du tenseur de la perméabilité (KNN, KWW, KNW).

Les valeurs de ces composantes seront remplacées dans les équations pour estimer les valeurs de la perméabilité.

Dans l'application pratique nous avons procédé premièrement au quadrillage du secteur étudié par des mailles carrées dont le côté correspond à 400 mètres. Ensuite nous avons tracé une série de cercles de rayon égal à la longueur d'une maille, de telle sorte que les cercles se recoupent plusieurs fois. Bien entendu ce système de cercles recoupés ne simplifie pas les calculs et il est possible de diminuer le nombre de cercles en évitant qu'ils se recoupent trop souvent mais la méthode perd alors de sa précision.

Chaque centre d'un cercle possède un numéro qui correspond aux coordonnées de situation, pour faciliter le travail.

A noter que le diamètre du cercle (4 cm.) est équivalent à 800 m étant donné que l'échelle de la carte utilisée est 1/20 000.



Dans l'étape suivante, nous avons effectué pour chaque cercle un inventaire des fractures en précisant leurs orientations par rapport au Nord ainsi que leurs extension . L'angle est considéré négatif dans le sens des aiguilles d'une montre et positif au sens contraire.

Cet inventaire a servi pour le calcul de la perméabilité mentionné auparavant. A noter que les valeurs de la perméabilité seront corrigées par le facteur de proportionalité C ou coefficient de correction que nous allons estimer.

5.3.7. ESTIMATION EMPIRIQUE DU FACTEUR DE PROPORTIONNALITE C

Cette estimation repose sur les hypothèses suivantes :

1) pour une averse de grande intensité durant une courte période le taux d'infiltration I ne peut pas dépasser le coefficient de perméabilité K.

En effet pour une grande alimentation (averse), on a une infiltration schématisée comme suit :

$$hA = ZA + \frac{PA}{\rho g} \quad ; \quad hB = ZB + \frac{PB}{\rho g} \quad ; \quad J.Z = \frac{hA - hB}{l\ AB} = \frac{ZA - ZB}{ZA - ZB} = 1$$

$$i = \frac{qz}{s} \text{ mais } qz = KJ_z S \text{ , donc } i = \frac{K J_z S}{S} \quad i \simeq K$$

Signification des paramètres

Z = cote par rapport au plan de référence

hA = la charge au point A

hB = la charge au point B

PB = la pression atmosphérique au point A

PA = la pression atmosphérique au point B

JZ = gradient hydraulique

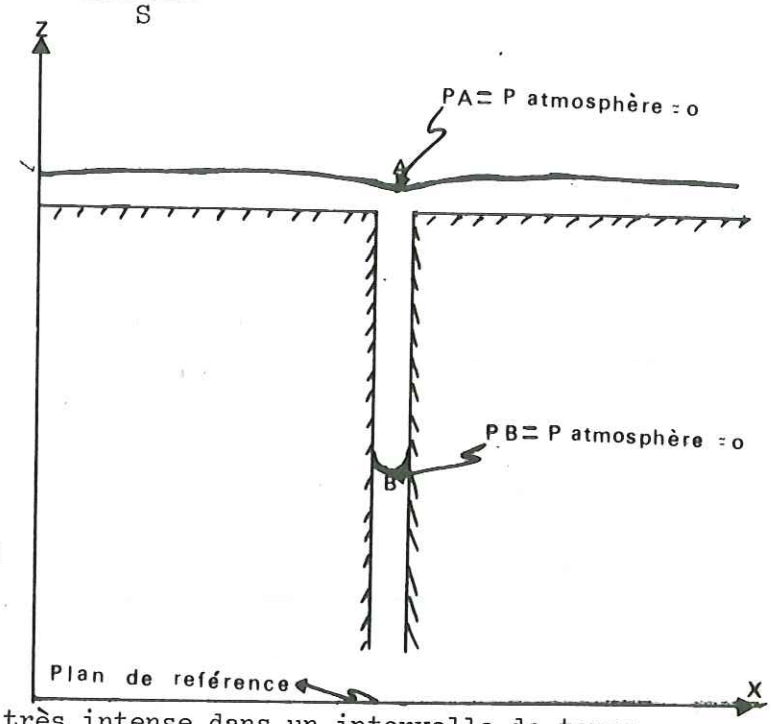
S = surface

K = coefficient de perméabilité

ρ = Masse spécifique

g = Accélération de la pesenteur 9.81 m/s^2

q = débit



2) Hypothèse : pour une averse très intense dans un intervalle de temps très court, on considère que le volume écoulé est presque entièrement dû à cette précipitation.

Après avoir tenu compte de ces 2 hypothèses, on passe au calcul :

$$\sum_{i=1}^{n} C\bar{K}_i = 2949.51 \qquad n = 153 \text{ nombre de cercles}$$

- l'exemple de l'averse est pris au mois de septembre 1969
  V écoulé = 34 000 m^3 aux Cuves de Sassenage
  t averse : 4 heures 14 400 secondes

$$V = C \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \bar{K}_i \, \Delta Ai \, \Delta tj = C \, \Delta Ai \sum_{i=1}^{n} \bar{K}_i \sum_{j=1}^{m} \Delta tj = C \, \Delta Ait \sum_{i=1}^{n} \bar{K}_i$$

$$C = \frac{V}{Ait \sum_{i=1}^{n} \bar{K}_i} = \frac{34\ 000}{(400)\ 14.400 \times 2949.51} = 5.\ 10^{-9}$$

La valeur du coefficient de proportionnalité est de l'ordre de 5.10^{-9}.

La perméabilité moyenne pour toute la surface étudiée est de l'ordre de 10^{-7} m/s; elle est obtenue de la façon suivante :

$$\bar{K} = C \Sigma Ki \ / \ n = \frac{5.10^{-9} \times 2949.51}{153} = 9.64.10^{-8} \simeq 10^{-7} \text{ m/s}$$

NB. Si on considère l'ensemble du massif comme un milieu isotrope et homogène une perméabilité de l'ordre de 10^{-7} m/s est acceptable.

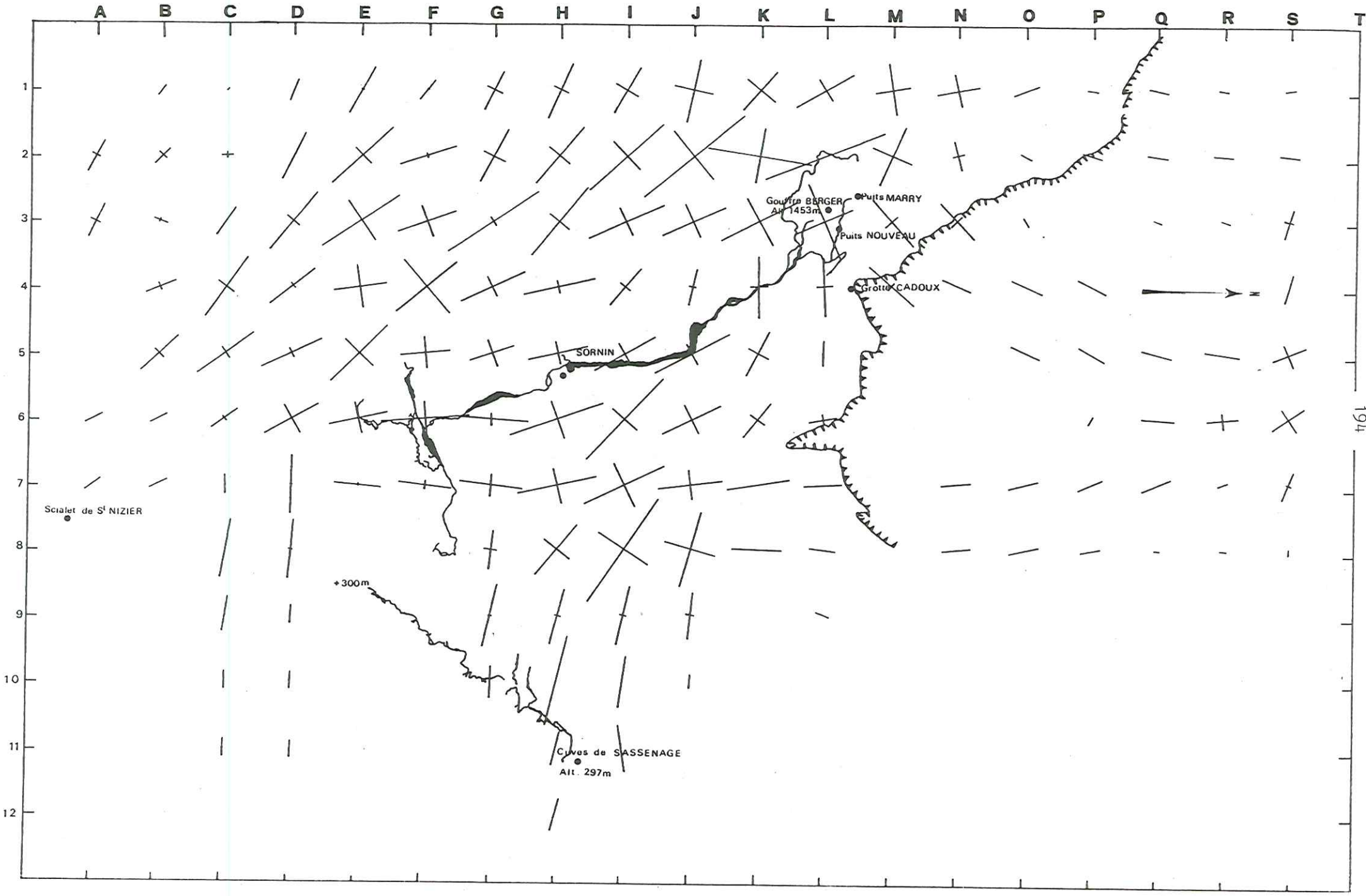
N°	$\bar{K}$ 10^{-7}	Kmax 10^{-7}	Kmin 10^{-7}	Angle de Kmax 0°
A1	0.36	0.71	-	9
A2	0.72	1.1	0.34	27.8
A3	0.7	1.09	0.30	26.3
A4	0.49	0.89	0.09	0.3
A5	-	-	-	-
A6	0.315	0.63	-	63
A7	0.315	0.63	-	54
B1	0.24	0.47	0.001	38.4
B2	0.5	0.67	0.32	43.9
B3	0.32	0.46	0.18	109.9
B4	0.62	0.97	0.27	68.3
B5	1	1.56	0.44	47.3
B6	0.315	0.63	-	64
B7	0.315	0.63	-	64
C1	0.5	0.1	-	43.6
C2	0.31	0.36	0.26	88.6
C3	0.62	1.06	0.18	27.4
C4	1.43	2.23	0.64	27.6
C5	1.29	2.12	0.46	42.5
C6	0.61	1.0	0.21	41.9
C7	0.34	0.59	0.09	3.5
C8	0.96	1.81	0.103	10.1
C9	0.58	1.15	0.003	8.02
C10	0.29	0.57	-	2.01
C11	0.29	0.57	-	2.01
D1	0.38	0.76	-	24
D2	0.86	1.66	0.052	26.3
D3	1.38	2.27	0.49	39.8
D4	0.98	1.75	0.20	52.1
D5	1.16	1.98	0.34	64.9
D6	1.49	1.94	1.04	60.9
D7	0.91	1.81	-	2.0
D8	0.96	1.81	0.09	6.3
D9	0.29	0.57	-	3.02
D10	0.29	0.57	-	3.02
D11	0.29	0.57	-	3.02
E1	0.86	1.63	0.088	29.2
E2	1.66	2.55	0.077	46.8
E3	2.17	2.81	1.53	55.8
E4	1.49	1.66	1.32	82.1
E5	1.84	2.47	1.21	45.1
E6	1.44	1.84	1.03	78.3
E7	0.76	1.4	0.01	95.1
F1	0.48	0.84	0.11	39.6
F2	1.01	1.76	0.26	72.04
F3	1.99	2.9	1.06	70.4
F4	2.25	2.37	2.14	49.9
F5	1.23	1.5	0.96	85.3
F6	1.90	2.73	1.07	86
F7	0.91	1.55	0.27	97.1
G1	0.91	1.28	0.54	26.8
G2	1.26	1.8	0.71	27.8
G3	1.81	3.28	0.35	56.04
G4	1.43	2.11	0.75	65.3

N°	$\bar{K}$ 10^{-7}	Kmax 10^{-7}	Kmin 10^{-7}	Angle de Kmax 0°
G5	1.15	1.39	0.91	71.5
G6	1.31	2.23	0.39	93.3
G7	1.32	1.92	0.72	96.4
G8	0.91	1.18	0.63	7.2
G9	1.02	1.93	0.10	13
G10	0.53	1.05	-	2
H1	1.17	1.79	0.54	23.8
H2	1.53	2.26	0.8	40.2
H3	1.76	2.69	0.8	49.2
H4	1.31	2.22	0.41	77.6
H5	1.27	1.82	0.72	77.5
H6	2.14	3.04	1.24	70.77
H7	1.74	2.41	1.08	77.1
H8	1.56	2.07	1.05	39.5
H9	0.99	1.73	0.25	14.5
H10	1.45	2.83	0.07	12.6
H11	0.5	1.00	-	14
H12	0.5	1.00	-	14
I1	1.19	1.6	0.78	30.7
I2	2.13	3	1.25	47.6
I3	1.75	2.54	0.96	65.5
I4	0.92	1.44	0.39	40.5
I5	1.45	2.13	0.76	60.5
I6	2.17	3.35	1	43.4
I7	2.10	2.72	1.48	64.3
I8	2.86	3.87	1.85	34
I9	0.98	1.77	0.19	12.4
I10	0.785	1.57	0.0005	8.6
I11	0.725	1.45	0.001	9.3
J1	1.63	2.06	1.19	12.7
J2	2.9	3.94	1.87	50.3
J3	1.62	2.09	1.15	66.1
J4	0.69	1.14	0.23	12.6
J5	1.64	2.58	0.7	62
J6	1.51	2.03	0.99	63.7
J7	1.44	1.99	0.88	83.3
J8	1.99	2.4	1.58	16.4
J9	0.86	1.46	0.26	66.1
J10	0.23	0.45	-	7
K1	1.35	1.55	1.15	41.5
K2	2.49	3.28	1.7	98.8
K3	2.16	2.64	1.67	63.3
K4	1.27	1.94	0.60	0.53
K5	1.13	1.56	0.69	28.9
K6	0.97	1.30	0.63	38.7
K7	0.91	1.79	0.02	81.7
K8	0.83	1.54	0.11	91.5
L1	1.44	2.07	0.81	59.8
L2	2.84	3.84	1.83	69
L3	2.20	2.51	1.88	23.56
L4	1.20	1.83	0.56	3.18
L5	0.4	0.80	0.002	2.4
L6	0.62	0.86	0.38	80.1
L7	0.68	1.19	0.16	87.8
L8	0.43	0.82	0.03	96.4
L9	0.25	0.5	0.	112.3

N°	$\bar{K}$ 10^{-7}	Kmax 10^{-7}	Kmin 10^{-7}	Angle de Kmax 0°
M1	1.36	1.62	1.10	9.10
M2	1.60	1.9	1.3	25.3
M3	1.23	1.95	0.51	40.91
M4	1.06	1.84	0.27	126.1
M5	-	-	-	-
M6	-	-	-	-
M7	0.31	0.63	-	90
N1	1.25	1.33	1.16	79.4
N2	0.72	1.05	0.40	14.38
N3	1.0	1.55	0.45	43.2
N4	0.5	1.0	-	115
N5	-	-	-	-
N6	-	-	-	-
N7	0.45	0.87	0.003	84.9
N8	0.45	0.87	-	84.9
O1	0.63	0.86	0.39	68.6
O2	0.31	0.46	0.17	123.4
O3	0.16	0.30	0.02	29.9
O4	0.4	1.0	-	115
O5	0.5	1.0	-	115
O6	-	-	-	-
O7	0.45	0.89	-	77
O8	0.45	0.89	-	77
P1	0.165	0.33	-	96
P2	0.31	0.59	0.34	108.7
P3	-	-	-	-
P4	0.5	1.0	-	119
P5	0.5	1.0	-	119
P6	0.138	0.28	-	30.04
P7	0.45	0.77	0.13	66.6
P8	0.31	0.63	-	79
Q1	0.31	0.58	0.048	103
Q2	0.31	0.58	0.045	98.5
Q3	0.15	0.3	-	110
Q4	-	-	-	-
Q5	0.5	1.0	-	104
Q6	0.72	1.06	0.99	93.6
Q7	0.64	1.05	0.24	67.18
Q8	0.11	0.22	-	95
R1	0.16	0.334	-	96.0
R2	0.31	0.59	-	96.21
R3	0.15	0.3	-	110.0
R4	-	-	-	-
R5	0.5	1.	-	99
R6	0.81	1.07	-	83.9
R7	0.19	0.28	-	69.6
R8	0.11	0.22	-	95
S1	0.165	0.33	-	84
S2	0.31	0.59	-	96.2
S3	0.59	0.89	0.3	18.5
S4	0.45	0.89	-	19
S5	0.95	1.12	0.77	68.1
S6	1.03	1.24	0.82	56.6
S7	0.55	0.91	0.2	23.1
S8	0.11	0.22	-	5

Tableau n° 5-7 - Valeurs de la perméabilité (moy,max,min)

Fig. n° 5-9 - Distribution de la perméabilité



En pratique il est plus intéressant de considérer les valeurs particulières de la perméabilité et nous présentons dans le tableau n° 5-7 les valeurs finales de la perméabilité , la moyenne, la maximale et la minimale ainsi que l'orientation de la perméabilité maximale. La perméabilité minimale est perpendiculaire à la maximale. A noter qu'on a tenu compte du coefficient de proportionnalité (ou coefficient de correction).

- les valeurs du tableau nous ont permis d'établir une carte (Fig.n°5-9) qui indique l'orientation des perméabilités K max et K min au centre de chaque cercle. La distribution de ces perméabilités nous donne une idée du sens d'écoulement qui correspond au sens de la perméabilité max. qui se caractérise sur la carte par un écoulement du plateau de Sornin vers les Cuves de Sassenage.

- nous avons établi aussi une carte d'égales perméabilités qui a permis de mettre en relief les zones les plus fissurées. (Fig.n° 5-10)

Il faut ajouter qu'avec les données ainsi acquises on pourra traiter analytiquement le problème à l'aide d'un programme de différences finies

- de même on peut étudier la circulation d'eau en connaissant les équipotentielles.

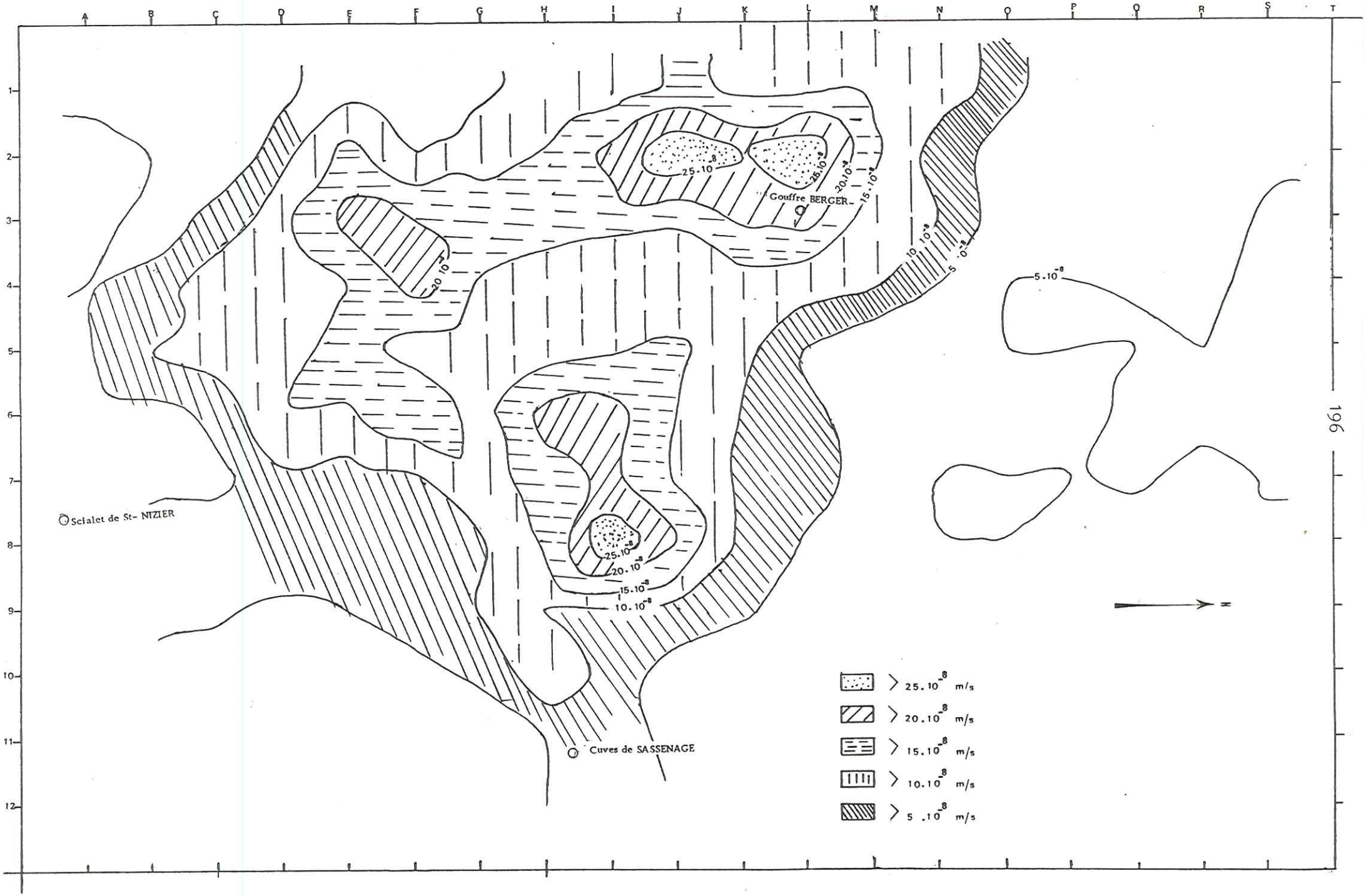
- en utilisant les précipitations comme données d'entrées on obtient les débits à chaque section transversale de la rivière souterraine comme données de sortie.

CONCLUSION

La méthode que nous venons d'utiliser nous conduit donc à des résultats intéressants malgré les hypothèses simplificatrices que nous avons été obligé d'admettre. Elle nous a permis de chiffrer l'ordre de grandeur de la perméabilité pour chaque cercle et pour tout le secteur étudié. Une perméabilité de l'ordre de 10^{-7} m/s semble acceptable étant donné que la région étudiée comprend un secteur non fissuré située au Nord (voir la carte). Elle a permis aussi de déterminer le sens d'écoulement qui correspond au sens de la perméabilité maximale et qui montre un drainage du plateau de Sornin par les Cuves de Sassenage, cela a été mis en évidence par la coloration.

La carte d'égales perméabilités montre deux zones caractérisées par une grande perméabilité. Ces deux zones correspondent aux zones les plus fracturées. Précisons que les résultats obtenus pourraient être améliorés si l'on disposait d'un plus grand nombre de données sur la fracturation et sur la fissuration et en particulier sur l'ouverture réelle des fissures en surface et en profondeur.

Fig. n° 5-10 - Carte d'égales perméabilités



CHAPITRE VI

RELATION PLUIE - DEBIT

6.1. MÉTHODE DE REGRESSION LINÉAIRE

6.1.1. INTRODUCTION

L'infiltration dans le karst est un des facteurs hydrologiques les plus difficiles à calculer. Cette difficulté provient du fait qu'un nombre considérable de facteurs d'ordre géologique, hydrogéologique et hydrologique entrent en jeu. Notons aussi que chaque karst représente un cas spécial et que vouloir généraliser par un modèle mathématique ou physique le phénomène d'infiltration nécessite beaucoup de prudence et d'esprit critique. En effet l'infiltration suit des mécanismes très complexes qu'il est difficile de représenter par des lois physiques précises.

Le débit(donc le volume d'eau écoulé d'une résurgence ou d'une exsurgence) d'un karst représente la part des précipitations infiltrées, dans le cas où le ruissellement ne joue qu'un rôle minime ou inexistant (cela est valable pour notre karst). Partant de ce principe, notre étude va donc se porter sur le facteur débit, lui-même conditionné par les pluies.

Afin de pouvoir analyser la relation entre le débit et les précipitations, nous allons être amené à déterminer l'influence de nombreux facteurs qui se classent en deux groupes.

6.1.1.1. Les facteurs physiques

Ce sont des variables relativement constantes dans le temps qui concernent la nature topographique, géologique ou géographique propre au bassin. Parmi ces facteurs on peut énumérer le nombre de fissures, la capacité des gouffres...).

6.1.1.2. Les facteurs climatiques

Ce sont des variables qui changent rapidement dans le temps et dans l'espace et qui comprennent les précipitations, les températures, l'insolation, l'état de saturation du sol, l'évapotranspiration, le vent...

Le rôle des facteurs climatiques est plus déterminant que le rôle des facteurs physiques dans le caractère fondamental du régime des émergences.

Parmi ces facteurs climatiques ce sont les précipitations et la température qui ont le plus d'influence :

a) l'influence des précipitations sur le débit pourra être très différente selon la localisation, l'intensité et la durée de l'averse , l'état du remplissage du karst, l'état de saturation du sol,etc... Notons aussi l'importance de la fonte des neiges et son influence sur les débits.

b) la température joue aussi un rôle important car d'elle dépendent principalement l'évapotranspiration, la rétention ou la fusion nivale.

On peut résumer la liaison entre les variables indépendantes (facteurs physiques, climatiques) et le débit,variable dépendante,par l'expression suivante :

$Q = f\ (X,Y,Z,...c\ )$ X,Y,Z : variables indépendantes climatiques
c : variables indépendantes physiques

6.1.2. RELATIONS ENTRE DEUX CARACTERES

Ces relations se résument de la façon suivante :

a) Les deux variables sont indépendantes quand les variations de deux caractères n'ont aucun lien entre elles.

b) Les deux variables sont en liaison fonctionnelle lorsque les deux caractères sont liés l'un à l'autre de façon telle que la connaissance de l'une des deux variables entraîne rigoureusement la connaissance de l'autre.

c) Les deux variables sont en dépendance, plus ou moins marquée si leurs valeurs varient dans le même sens ou bien varient en sens contraire . On dit alors que les deux variables sont en corrélation positive ou négative.

Il est souhaitable de représenter la relation par une expression simple, dépendant d'un nombre de variables aussi petit que possible, la forme la plus simple que l'on puisse imaginer est celle des relations linéaires que nous allons exposer.

6.1.3.REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE

La méthode de régression multiple est très utilisée dans le domaine de l'hydrologie. Elle constitue la base technique dans la recherche des relations entre les variables hydrométéorologiques intervenant dans le bassin. Son application est connue dans le domaine de la prévision, du test d'homogénéité et de la reconstitution des données manquantes.

La régression multiple recherche les liaisons explicatives entre de nombreuses variables. Elle résume les liaisons par une équation de régression qui permet d'estimer une variable Y par exemple en fonction de variables explicatives X1, X2, X3...

L'équation de régression est de forme :

$Y = bo + b1X1 + b2\ X2..... bn\ x\ n$

bo = constante

b1, b2.....bn : coefficient de régression

X1, X2, ... Xn : variables explicatives

Y : variable dépendante.

6.1.4. MESURE DE L'ASSOCIATION DE CORRELATION MULTIPLE

Nous avons choisi six critères pour déterminer la validité de la régression multiple que nous développons:

1) Le coefficient de corrélation multiple
2) Le coefficient de détermination
3) L'écart type résiduel
4) Le coefficient de corrélation partielle
5) Le coefficient Béta
6) Le test de Fischer Snedecor F

6.1.4.1. Le coefficient de corrélation multiple

Il rend compte de la liaison effective globale entre la variable dépendante et les variables explicatives; sa valeur varie entre 0 et 1; plus il est proche de 1, plus la relation linéaire entre les variables est exacte; plus il est proche de zéro moins cette relation est linéaire.

$$R = \frac{SY\ est.}{SY} = \sqrt{1 - \frac{S'}{SY}}$$

R = coefficient de corrélation multiple

$S_{Y\,est}$ = écart-type de la variable estimée

S_Y = écart-type de la variable observée

S' = écart-type résiduel

6.1.4.2. Le coefficient de détermination

Le coefficient de détermination est égal au carré du coefficient de corrélation multiple (R2).

Il indique la part de variance prise en compte par la régression.

$$D = R^2 = 1 - \frac{S^2_Y}{S^2_1}$$

Ecart- type résiduel

Ecart-type marginal

6.1.4.3. L'écart-type résiduel ou erreur quadratique moyenne d'une estimation (écart type lie)

On peut calculer l'écart-type résiduel d'après l'équation suivante :

$$S^2_1 = \frac{\sqrt{\Sigma (Y - Y\ est\ )^2}}{N}$$

où Y représente les valeurs de Y estimées à partir de l'équation de régression :

N = nombre d'observations

On obtient une meilleure estimation de l'écart-type résiduel d'une population par

$$\hat{S}_1 = \sqrt{N\ /(N-K).\ S_1}$$

K = nombre de variables explicatives

D'après son nom il mesure l'erreur sur la variable estimée par l'équation de régression.

6.1.4.4. Coefficient de corrélation partielle

L'expression du coefficient de corrélation partiel est assez complexe et nécessite rapidement lorsque le nombre des variables croit, des notations matricielles.

On peut le calculer à partir des coefficients de corrélation totale :

$$r_{YX1,\ X2\ \ X3} = \frac{r_{YX1,X2} - r_{YX3,\ X2}\ \ r_{X1,X3.\ X2}}{\sqrt{1 - r_{YX3}{}^2,\ X2}\sqrt{1 - r_{X1}{}^2 X3,\ X2}}$$

Ou par les déterminants :

$$X1,\ X2,\ X3\ \ - Xp = \frac{A01}{\sqrt{Aoo}\sqrt{A11}}$$

plus généralement :

$$r_{YXj,\ X2\ \ldots\ldots\ Xp} = -\frac{(-1)\ j\ \ Aoj}{\sqrt{A\,oo}\sqrt{A\,jj}}$$

Le coefficient de corrélation partielle jouit des mêmes propriétés que le coefficient de corrélation totale : il est compris entre -1 et +1.

Les coefficients de corrélation totale ne sont pas de bons témoins de la liaison réelle qui existe entre la variable dépendante et une variable indépendante.

On a donc défini un coefficient de corrélation partielle qui mesure l'intensité de la liaison entre deux variables toutes choses égales par ailleurs' c'est-à-dire déduction faite de l'influence des variables explicatives.

6.1.4.5. Le coefficient Beta

β c'est un coefficient sans dimension, il mesure l'influence de chaque variable indépendante sur la variable dépendante :

$$\frac{Y}{S_1} = \beta o + \beta_1 \frac{X1}{SX_1} + \beta_2 \frac{X2}{SX_1} + \ldots \beta_K \frac{XK}{SX_K}$$

$$\text{avec : } \beta o = \frac{ao}{S_1} \; ; \; \beta_1 = a_1 \frac{SX_1}{S_1} \quad \beta_2 = a_2 \frac{SX_2}{S_1} \quad \ldots \; \beta_K = \frac{S_{XK}}{S_1}$$

D'où ao, a1, a2 ..... sont les coefficients de l'équation de régression $Y = ao + a_1 X_1 + a_2 x_2 \ldots$

S_1 = l'écart-type de la variable dépendante Y ici.

SX_1, SX_2, SX_K = l'écart-type des variables explicatives X_1, X_2, X_3.

La comparaison des coefficients β avec les coefficients de corrélation partielle, montre généralement que l'ordre de grandeur de l'effet de la variable explicative est le même pour ces deux mesures dans certains cas.

A noter que le calcul du coefficient β est plus facile que le calcul des coefficients partiels car a_1, a_2, a_3 et SX_1 sont toujours calculés pour l'équation de régression.

Toutefois les coefficients de corrélation partielle mesurent en général mieux l'influence des variables explicatives que les coefficient β.

6.1.4.6. Test de Fischer Snedecor F

Pour savoir, avec un faible risque d'erreur, si la régression dans son ensemble est significative, on pratique une analyse de variance expliquée et résiduelle, mais il faut tenir compte du nombre de degrés de liberté.

$\nu_1 = P_1$ degrés de liberté pour la variance due à la liaison linéaire (variance expliquée)

$\nu_2 = n-(P+1)$ degrés de liberté pour la variance résiduelle car il faut P+1 relations pour déterminer les coefficients

Une estimation des variances est définie par :

- Variance expliquée = $S_1^2 = \frac{1}{P} R^2 \Sigma(Y - \bar{Y})^2$

- Variance résiduelle = $S_\varepsilon^2 = \frac{1}{n-p-1} (1-R^2) (Y - \bar{Y})^2$

- Variance totale = $S_Y^2 = \frac{1}{n-1} \Sigma(Y - \bar{Y})^2$

La régression est considérée significative si F calculée d'après

l'équation $F = \frac{S_1^2}{S_\varepsilon^2} \quad \frac{(n-p-1) R^2}{P (1-R^2)}$

dépasse F de Fischer-Snedecor lu dans la table pour

$\nu_1 = P \qquad \nu_2 = n-P-1$ et un risque d'erreur de(0.010ou 0.005)choisi.

6.1.5. CHOIX DES VARIABLES EXPLICATIVES

Ainsi que nous l'avons mentionné au début du chapitre les facteurs qui conditionnent le débit sont très nombreux; quelques uns sont mesurables d'autres ne le sont pas.

Dans notre choix, nous nous sommes limité aux facteurs mesurables et aux facteurs les plus importants, c'est-à-dire les précipitations et a la température.

L'équation simplifiée sera :

$$Q = f (P,T)$$

Q = le débit en m^3/s

P = précipitation en mm

T = température en degré c.

Pour pouvoir tenir compte d'une des caractéristiques du karst qui est le temps de séjour de l'eau, qui est relativement court, nous avons fait intervenir une autre variable explicative, les précipitations du mois antécédent (Pm-1)

Une autre variable est également prise en considération : le débit du mois antécédent (pour montrer s'il existe une relation entre les deux débits des mois successifs et l'influence de l'un sur l'autre).

L'échelle choisie est l'échelle mensuelle.

L'équation choisie sera donc :

$$Qm = f\left[Q(m-1),\ Pm,\ P(m-1),\ Tm\right]$$

où Qm = le débit moyen mensuel du mois (m) en m^3/s

$Q(m-1)$ Le débit moyen mensuel du mois (m-1) en m^3/s

Pm = les précipitations moyennes mensuelles en mm du mois (m) calculées selon la méthode de Thiessen exposée auparavant.

$P(m-1)$ = les précipitations moyennes mensuelles en mm du mois (m-1) selon Thiessen

Tm = la température moyenne mensuelle en degré : elle représente la moyenne arithmétique des valeurs des deux stations de mesures Villard-de-Lans et Autrans.

On remarque que le nombre de variables est supérieur à trois, donc il faut recourir à l'ordinateur pour résoudre ce problème. Nous avons utilisé pour nos calculs deux programmes que nous exposons brièvement.

6.1.6. DESCRIPTION DU PREMIER PROGRAMME

La liste du programme utilisée est consignée en annexe.

Ce programme fait appel à des sous-programmes qui calculent les différents aspects statistiques, nous les résumons ainsi :

1) CORRE : pour trouver la moyenne, l'erreur standard et la matrice de corrélation.
2) ORDER : pour choisir une variable dépendante et un sous-ensemble de variables explicatives à partir d'un plus grand ensemble de variables.
3) MIN V : pour inverser la matrice de corrélation du sous-ensemble sélectionné par ORDER.
4) MULTR : pour calculer les coefficients de régression, b0, b1, b2... bn, et les divers mesures de confiance.

Ce programme a été appliqué pour les trois stations mesurant le débit (Engins, Bruyant, Germe) après avoir ajouté deux autres variables. La première représente les précipitations moyennes mensuelles du mois (m) calculées selon la moyenne arithmétique des valeurs des trois stations de mesures, la deuxième est la température moyenne

mensuelle corrigée en tenant compte du gradient altimétrique. Le but, en ajoutant ces deux variables, était de faire la comparaison entre les précipitations moyennes mensuelles calculées de deux façons différentes et de choisir la meilleure variable; cela est valable aussi pour les deux variables mesurant la température. Le nombre de variables explicatives s'élève donc à 6.

D'après les résultats obtenus, on a remarqué que la corrélation entre les deux variables qui représentent les précipitations moyennes mensuelles est très forte de même qu'entre les deux variables qui représentent la température; cela risquait de masquer la régression car les variations des valeurs du coefficient de régression multiple étaient minimes, en utilisant l'un ou l'autre des deux couples de variables.

Ceci nous a amené à abandonner ces deux variables et à traiter la régression multiple avec les quatre variables déjà énoncées.

Nous ne développons donc pas les résultats de la régression multiple avec les 6 variables explicatives ; par contre, nous nous limitons à présenter un exemple en annexe.

L'inconvénient de ce programme est qu'il ne montre pas l'évolution de la régression au fur et à mesure de l'augmentation des variables explicatives; de même il ne calcule pas les coefficients de corrélation partielle qui sont de bons témoins et des critères valables pour choisir les meilleures variables explicatives. Cela nous a amené à utiliser un autre programme qui tient compte de tout ces éléments.

6.1.7. DESCRIPTION DU DEUXIEME PROGRAMME

Les résultats de la régression multiple calculés par ce programme se présentent sous la forme suivante :

1) Les maximums et les minimums de chaque variable
2) La moyenne de chaque variable
3) L'écart-type de chaque variable
4) La variance de chaque variable
5) La matrice des produits croisés bruts
6) La matrice des produits croisés résiduels
7) La matrice de la variance-covariance
8) La matrice des coefficients de corrélation
9) L'écart-type résiduel
10) L'erreur standard de la moyenne de la variable dépendante estimée
11) Le coefficient de corrélation multiple
12) Le carré du coefficient de corrélation multiple (coefficient de détermination)
13) Degrés de liberté

14) Coefficient de régression β
15) L'erreur standard des coefficients de régression
16) Les coefficients de corrélation partielle
17) Les coefficients de régression normalisés
18) L'erreur standard de la normalisation des coefficients de régression
19) Pour chaque valeur observée, la valeur estimée et la différence entre la valeur observée et la valeur estimée
20) L'analyse de table de variance

Pour pouvoir tirer le maximum de renseignements et pour arriver à une meilleure corrélation entre la variable dépendante et les variables explicatives, nous avons choisi les étapes et les critères suivants :

- tout d'abord précisons que notre période de référence est relativement courte 1969-1976, et que l'échelle prise en considération est l'échelle mensuelle.
- la première étape consiste à appliquer la méthode sur toutes les observations existantes sans prendre en compte aucun critère comme la saison où l'influence de la neige donc en prenant tous les mois de l'année.
- la deuxième étape consiste à diviser les observations en deux groupes :
  1) le premier groupe concerne les observations influencées par la neige (les chutes ou les fontes des neiges). Les mois intéressés sont les suivants : Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars, Avril,Mai.
  2) le deuxième groupe concerne les observations non influencées par la neige. Les moins intéressés sont les suivants : Juin, Juillet, Août, Septembre, Octobre.
- la troisième étape consiste à appliquer la méthode sur la saison d'été donc sur les observations des mois de Juin, Juillet, Août , ensuite sur les mois de Septembre et Octobre.
- Pour arriver à la dernière étape qui traite des observations à l'échelle des mois, c'est-à-dire en prenant les observations concernant les mois de Janvier ou de Février..... Décembre de la période étudiée.

Le but de ce découpage est d'arriver à des observations plus ou moins homogènes par rapport à des critères bien définis.

Ce déroulement des étapes a été appliqué sur les observations des trois stations mesurant les débits . Notons que les variables représentant les précipitations et la température sont les mêmes pour les trois stations tandis que les variables représentant les débits changent d'une station à l'autre.

6.1.8. PRESENTATION DES RESULTATS

Dans le programme chaque variable est représentée par un symbole.

DEB1 : débit moyen mensuel en m^3/s du mois (m) ou Q (m).

DEB2 : débit moyen mensuel en m^3/s du mois (m-1) ou Q (m-1)

PRE1 : précipitations moyennes mensuelles en mm du mois (m) ou P (m)

PRE2 : précipitations moyennes mensuelles en mm du mois (m-1) ou P(m-1)

TEMP : température moyenne en degré du mois (m) ou T (m)

Les résultats détaillés obtenus par le programme sont présentés en annexe. Par contre dans ce paragraphe nous nous limitons aux éléments les plus importants mesurant la validité de la régression linéaire multiple. Ces éléments sont les suivants:

1) coefficient de corrélation multiple
2) coefficient de corrélation partielle
3) test de Fisher Snedecor F
4) erreur standard

Etant donné que le coefficient de corrélation partielle mesure mieux l'influence des variables explicatives que le coefficient B c'est lui qui sera donc considéré.

Ces éléments et les équations de régression ainsi que les coefficients de corrélation simple entre la variable dépendante et les variables explicatives sont présentés dans les tableaux n° 6-1, 6-2,6-3.

6.1.8.1. Discussion des résultats

A titre d'exemple, nous développons les résultats de la station d'Engins. Le tableau n° 6-1,nous montre l'évolution des facteurs statistiques selon les étapes choisies. Il permet plusieurs commentaires que nous allons essayer de résumer.

1) Les coefficients de corrélation multiple obtenus montrent l'existence d'une liaison linéaire entre les variables explicatives et la variable dépendante ou montre plutôt que la régression est significative.Cela a été justifié par le test de F dont la valeur calculée est toujours plus grande que la valeur lue dans la table. Les valeurs du coefficient de corrélation varient entre 0.72 (pour 89 observations) et 0.96 (pour 16 observations). Cela montre que la diminution du nombre des observations entraîne l'augmentation du coefficient de corrélation multiple; ceci est généralement normal mais,dans notre cas,c'est l'effet saisonnier qui joue un grand rôle.

2) L'examen des coefficients partiels permet de déterminer le degré d'influence des variables que nous résumons ainsi.

La variable PRE1 est la variable la plus explicative de toutes les variables ; cela est clair et valable dans les diverses étapes des observátions. A noter aussi que son influence est plus nette dans les étapes des observations où l'influence de la neige est éliminée ; ses valeurs varient entre 0.86 et 0.9.

Coefficients de corrélation simple entre la variable dépendante et les variables explicatives pour les cinq étapes choisies

	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.519	0.479	0.444	-0.17

v.ent	v.exp	R	Rp	F	S
DEB2	DEB2	0.519	0.519	32.1	0.695
PRE1	DEB2	0.673	0.539	35.6	0.604
	PRE1		0.501		
PRE2	DEB2	0.70	0.409	27.2	0.587
	PRE1		0.504		
	PRE2		0.261		
TEMP	TEMP	0.721	-0.25	22.8	0.572
	DEB2		0.441		
	PRE1		0.500		
	PRE2		0.251		

L'équation de regression

DEB1 = -0.174 - 0.024 TEMP + 0.394 DEB2 + 0.0058 PRE1 + 0.003 PRE2

Période de référence Aout 69-Déc. 76 Tous les mois (89 valeurs)

	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.560	0.417	0.52	0.48

v.ent	v.exp	R	Rp	F	S
DEB2	DEB2	0.560	0.560	22.37	0.758
PRE1	DEB2	0.66	0.568	18.89	0.691
	PRE1		0.430		
TEMP	TEMP	0.71	0.339	15.98	0.657
	DEB2		0.402		
	PRE1		0.473		
PRE2	TEMP	0.79	0.501	19.35	0.576
	DEB2		0.052		
	PRE1		0.53		
	PRE2		0.497		

L'équation de regression

DEB1 = - 0.484 + 0.112 TEMP + 0.053 DEB2 + 0.0061 PRE1 + 0.0069PRE2

Période de référence les mois de Jan., Fév., Mars, Avril, Mai, Nov., Déc. - Les mois de chutes et fonte des neiges (51 valeurs)

	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.479	0.79	0.44	-0.24

v.ent	v.exp	R	Rp	F	S
PRE1	PRE1	0.790	0.790	59.9	0.277
DEB2	DEB2	0.898	0.697	73.2	0.201
	PRE1		0.865		
TEMP	TEMP	0.927	-0.52	69.5	0.174
	DEB2		0.767		
	PRE1		0.892		
PRE2	TEMP	0.937	-0.49	59.2	0.165
	DEB2		0.706		
	PRE1		0.90		
	PRE2		0.356		

L'équation de regression

DEB1 = 0.011 - 0.027 TEMP + 0.22 DEB2 + 0.0059 PRE1 + 0.0012 PRE2

Période de référence les mois de Juin, Juil., Aout, Sept., Oct. Les mois où l'influence de la neige est écartée (38 valeurs)

	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.605	0.70	0.26	-0.44

v.ent	v.exp	R	Rp	F	S
PRE1	PRE1	0.70	0.70	19.47	0.330
DEB2	DEB2	0.91	0.81	45.27	0.198
	PRE1		0.85		
PRE2	DEB2	0.92	0.77	33.27	0.191
	PRE1		0.87		
	PRE2		0.35		
TEMP	TEMP	0.92	-0.18	24.4	0.194
	DEB2		0.74		
	PRE1		0.86		
	PRE2		0.36		

L'équation de regression

DEB1 = - 0.134 - 0.021 TEMP + 0.245 DEB2 + 0.006 PRE1 + 0.013 PRE2

Période de référence les mois de Juin, Juil., Aout - saison d'été (22 valeurs)

	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.48	0.90	0.72	-0.23

v.ent	v.exp	R	Rp	F	S
PRE1	PRE1	0.902	0.902	61.2	0.201
PRE2	PRE1	0.956	0.909	72.1	0.139
	PRE2		0.745		
TEMP	TEMP	0.96	-0.39	52.9	0.134
	PRE1		0.922		
	PRE2		0.639		
DEB2	TEMP	0.964	-0.36	36.8	0.139
	DEB2		0.107		
	PRE1		0.91		
	PRE2		0.348		

L'équation de regression

DEB1 = - 0.053 - 0.018 TEMP + 0.077 DEB2 + 0.0057 PRE1 + 0.0021 PRE2

Période de référence les mois de Sept., Oct. (16 valeurs)

v. ent : variable d'entrée - v. exp : variables explicatives - R : coefficient de corrélation multiple - R p : coefficient de corrélation partielle F : test de Fischer Snedecor - S : écart-type résiduel ou erreur standard -

Tableau n° 6-1 - Résultats de la régression linéaire multiple (Station d'Engins)

Coefficients de corrélation simple entre la variable dépendante et les variables explicatives pour les cinq étapes choisies

	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.50	0.38	0.48	-0.005

	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.57	0.28	0.54	0.64

	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.70	0.71	0.34	-0.2

	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.78	0.64	0.12	-0.45

	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.68	0.85	0.87	-0.65

v. ent	v.exp	R	Rp	F	S
DEB2	DEB2	0.50	0.50	20.9	0.342
PRE1	DEB2 PRE1	0.60	0.50 0.38	17.4	0.319
PRE2	DEB2 PRE1 PRE2	0.66	0.39 0.38 0.34	15.67	0.302
TEMP	TEMP DEB2 PRE1 PRE2	0.66	-0.06 0.39 0.36 0.34	11.67	0.303

v. ent	v.exp	R	Rp	F	S
TEMP	TEMP	0.64	0.64	24.4	0.364
PRE2	TEMP PRE2	0.79	0.69 0.60	28.1	0.2
PRE1	TEMP PRE1 PRE2	0.83	0.72 0.40 0.61	23.8	0.274

v. ent	v.exp	R	Rp	F	S
PRE1	PRE1	0.71	0.71	0.26	0.143
DEB2	DEB2 PRE1	0.92	0.84 0.84	73.0	0.079
TEMP	TEMP DEB2 PRE2	0.96	-0.69 0.92 0.89	97.0	0.058
PRE2	TEMP DEB2 PRE1 PRE2	0.97	-0.72 0.92 0.90 0.38	82.7	0.055

v. ent	v.exp	R	Rp	F	S
DEB2	DEB2	0.78	0.78	21.8	0.147
PRE1	DEB2 PRE1	0.96	0.94 0.91	86.2	0.065
PRE2	DEB2 PRE1 PRE2	0.97	0.94 0.92 0.36	61.4	0.063
TEMP	TEMP DEB2 PRE1 PRE2	0.97	-0.18 0.93 0.91 0.39	43.7	0.064

v. ent	v.exp	R	Rp	F	S
PRE2	PRE2	0.87	0.87	31.1	0.080
PRE1	PRE1 PRE2	0.94	0.72 0.76	33.8	0.058
TEMP	TEMP PRE1 PRE2	0.96	-0.63 0.82 0.65	35.3	0.048
DEB2	TEMP DEB2 PRE1 PRE2	0.97	-0.68 0.49 0.86 0.41	30.9	0.045

L'équation de regression	L'équation de regression	L'équation de regression	L'équation de regression	L'équation de regression
DEB1 = -0.146 - 0.003 TEMP + 0.366 DEB2 + 0.002 PRE1 + 0.002 PRE2	DEB1 = - 0.266 + 0.076 TEMP + 0.002 PRE1 + 0.003 PRE2	DEB1 = 0.108 - 0.016 TEMP + 0.288 DEB2 + 0.0019 PRE1 + 0.0004 PRE2	DEB1 = - 0.067 - 0.0067 TEMP + 0.301 DEB2 + 0.0022 PRE1 + 0.004 PRE2	DEB1 = 0.082 - 0.013 TEMP + 0.346 DEB2 + 0.0015 PRE1 + 0.0008 PRE2
Période de référence - Aout 69 - Déc. 76 - Tous les mois (65 valeurs)	Période de référence les mois de Jan., Fév., Mars, Avril, Mai, Nov., Déc. - les mois de chutes et fonte des neiges (37 valeurs)	Période de référence les mois de Juin Juil., Aout, Sept., Oct Les mois où l'influence de la neige est écartée (28 valeurs)	Période re référence les mois de Juin, Juil. Aout - Saison d'été (16 valeurs)	Période de référence les mois de Sept. Oct. (12 valeurs)

v. ent : variable d'entrée - v. exp : variables axplicatives - R : coefficient de corrélation multiple - Rp : coefficient de corrélation partielle - F : test de Fischer Snedecor - S : écart-type résiduel ou erreur standard.

Tableau n° 6-2 - Résultats de la régression linéaire multiple (Station du Bruyant)

Les coefficients de corrélation simple entre la variable dépendante et les variables explicatives pour les cinq étapes choisies

	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.52	0.38	0.32	0.05

v. ent	v. exp	R	Rp	F	S
DEB2	DEB2	0.52	0.52	32.3	0.45
PRE1	DEB2	0.62	0.53	26.2	0.42
	PRE1		0.39		
PRE2	DEB2	0.62	0.46	18.2	0.42
	PRE1		0.39		
	PRE2		0.14		
TEMP	TEMP	0.63	-0.09	13.8	0.417
	DEB2		0.46		
	PRE1		0.38		
	PRE2		0.13		

L'équation de regression
DEB1 = - 0.108 - 0.0065 TEMP + 0.461 DEB2 + 0.003 PRE1 + 0.001 PRE2

Période de référence Sept. 68- Dec. 76 - Tous les mois, les valeurs de l'année ne sont pas prises en compte.

	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.65	0.27	0.39	0.60

v. ent	v. exp	R	Rp	F	S
DEB2	DEB2	0.65	0.65	36.3	0.462
TEMP	TEMP	0.72	0.40	25.9	0.427
	DEB2		0.50		
PRE1	TEMP		0.44	20.9	0.407
	DEB2		0.50		
	PRE1		0.33		
PRE2	TEMP	0.77	0.49	17.16	0.398
	DEB2		0.31		
	PRE1		0.35		
	PRE2		0.25		

L'équation de regression
DEB1 = -0.266 + 0.071 TEMP + 0.472 DEB2 + 0.0025 PRE1 + 0.0021 PRE2

Période de référence les mois de Jan, Fév, Mars., Avril, Mai, Nov., Déc. - les mois de chutes et fonte des neiges (37 valeurs)

	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.70	0.66	0.28	-0.007

v. ent	v. exp	R	Rp	F	S
DEB2	DEB2	0.70	0.70	33.19	0.252
PRE1	DEB2	0.90	0.81	69.9	0.158
	PRE1		0.79		
TEMP	TEMP	0.91	-0.31	51.2	0.152
	DEB2		0.83		
	PRE1		0.81		

L'équation de regression
DEB1 = 0.030 - 0.0165 TEMP + 0.324 DEB2 + 0.0035 PRE1

Période de référence, les mois de Juin, Juil., Aout, Sept., Oct les mois où l'influence de la neige est écartée (21 valeurs)

	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.68	0.64	0.23	-0.22

v. ent	v. exp	R	Rp	F	S
DEB2	DEB2	0.68	0.68	16.5	0.316
PRE1	DEB2	0.88	0.78	30.19	0.213
	PRE1		0.76		
TEMP	TEMP	0.91	-0.54	29.2	18.4
	DEB2		0.83		
	PRE1		0.81		
PRE2	TEMP	0.92	-0.55	20.9	0.189
	DEB2		0.81		
	PRE1		0.81		
	PRE2		0.10		

L'équation de regression
DEB1 = 0.203 - 0.034 TEMP + 0.307 DEB2 + 0.004 PRE1 + 0.0003 PRE2

Période de référence les mois de Juin, Juil., Aout - Saison d'été (16 valeurs)

	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.68	0.69	0.48	0.16

v. ent	v. exp	R	Rp	F	S
PRE1	PRE1	0.69	0.69	12.67	0.159
DEB2	DEB2	0.90	0.80	28.6	0.098
	0.213				
	PRE1		0.81		
PRE2	DEB2	0.92	0.83	23	0.091
	PRE1		0.85		
	PRE2		-0.45		
TEMP	TEMP	0.92	-0.01	16.1	0.095
	DEB2		0.83		
	PRE1		0.83		
	PRE2		-0.45		

L'équation de regression
DEB1 = 0.066 - 0.0039 TEMP + 0.54 DEB2 + 0.0025 + PRE1 - 0.0011 PRE2

Période de référence les mois de Sept., Oct. (12 valeurs)

v. ent : variable d'entrée - v. exp : variables explicatives - R : coefficient de corrélation multiple - Rp : coefficient de corrélation partielle - F : test de Fischer Snedecor - S : écart-type résiduel ou erreur standard -

Tableau n°6-3 - Résultats de la regréssion linéaire multiple (Station du Germe)

L'influence des deux variables DEB2,PRE2 sur la variable dépendante est unilatérale ou,plus clairement,quand l'une des deux variables est significative, l'autre ne l'est pas et vice versa.

De ce fait,on peut réduire le nombre de variables explicatives sans grand changement des résultats.

L'influence de la variable TEMP : L'examen des coefficients totaux entre DEB1 et TEMP montre que les valeurs de ces coefficients pour les diverses étapes sont inférieures à 0.5, ce qui veut dire qu'il n'existe pas de relation linéaire entre ces deux variables.

Quant aux coefficients de corrélation partielle, on remarque que l'influence de la température est visible et significative dans l'étape où les observations sont influencées par la neige. Le coefficient est positif quand l'augmentation de la température fait croître le débit; cela confirme le rôle qu'exerce la température sur la neige.

Dans les autres étapes où l'influence de la neige est éliminée, on remarque que les valeurs des coefficients ne prouvent pas une influence significative de la température. Par contre le signe négatif des coefficients montre que les valeurs des deux variables varient au sens inverse. Cela est dû au rôle de la température dans l'évapotranspiration.

3) L'erreur standard : il est évident que les valeurs de l'erreur standard sont fortements liées avec les valeurs du coefficient de corrélation multiple. Cette liaison est inverse, c'est-à-dire que l'augmentation du coefficient de corrélation multiple provoque la diminution de l'erreur standard dans la plupart des cas.

Les valeurs des deux premières étapes ne sont pas valables par contre l'erreur standard des autres étapes peut être acceptable.

6.1.8.1.1. L'étape des mois

Après avoir traité les éléments statistiques des diverses étapes nous arrivons à la dernière étape (l'étape des mois) qui sera l'objet d'une étude plus détaillée.

Signalons que le nombre limité des observations dans cette étape peut influencer les résultats du calcul et peut à la limite rendre erroné le raisonnement basé sur ces résultats. Pour cela nous allons traiter les résultats avec précaution, en appuyant notre raisonnement par des graphiques.

Le tableau n° 6-4 regroupe les éléments statistiques les plus intéressants. Nous remarquons une amélioration de ces éléments par rapport aux autres étapes.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
DEB2	0.899	0.995	0.932	0.998	0.993	0.949	0.973	0.872	0.988	0.965	0.976	0.974	Rmultiple
PRE1 PRE2	0.446	0.104	0.312	0.088	0.225	0.265	0.199	0.090	0.107	0.188	0.228	0.150	E standard
TEMP	2.12	53.5	3.32	2.37	35.38	4.58	8.89	2.46	32.39	10.03	15.35	13.82	F calculée
					Coefficients de corrélation partielle								
DEB2	-0.251	0.762	-0.721	-0.986	-0.721	0.656	0.689	0.724	0.125	0.164	0.808	0.732	
PRE1	0.718	0.992	0.736	0.982	0.777	0.626	0.966	0.714	0.895	0.723	0.495	-0.198	
PRE2	0.714	0.765	0.811	0.972	0.946	0.499	-0.187	-0.563	0.06	0.031	0.042	-0.291	
TEMP	0.543	0.932	0.890	-0.458	0.662	-0.192	-0.439	0.067	0.401	-0.65	0.363	-0.059	

Tableau n° 6-4 -Eléments statistiques essentiels de la régression (Furon à Engins).

Le test de F appliqué aux résultats obtenus avec un risque d'erreur 0.05 prouve que la régression est significative pour les mois de Février, Avril, Mai , Septembre, Octobre, Novembre, Décembre (les valeurs de F calculées sont supérieures aux valeurs lues dans la table), et non significative pour les mois de Janvier, Mai, Juin, Juillet, Août, (les valeurs de F calculées sont inférieures aux valeurs lues dans la table). Cela est clair sur la figure n°6-1 qui représente la régression linéaire entre le débit (DEB1) observé et le débit estimé à l'aide de l'équation de régression. On remarque que pour les mois où la régression est significative les points se répartissent des deux côtés de la droite de régression, tandis que les mois où la régression est non-significative la dispersion des points est grande pour Janvier, Mars, Juin et se fait dans un petit espace pour Juillet, Août.

Les graphiques confirment donc le test de F ou plutôt nous aident à comprendre la non signification de la régression de ces mois.

On constate que malgré les valeurs élevées des coefficients de corrélation multiple, la régression n'est pas toujours significative; cela est dû en partie au nombre limité des observations.

On remarque que les variables explicatives sont nombreuses par rapport au nombre des observations. Dans le but de trouver une relation avec un nombre de variables aussi petit que possible, nous allons essayer en nous basant sur les valeurs des coefficients de corrélation partielled'abandonner certaines variables dont les influences ne sont pas significatives.

D'après le tableau n°6-5 qui regroupe aussi les valeurs des coefficients de corrélation partielle des 4 variables explicatives, on remarque que les valeurs soulignées sont très petites; donc leur influence peut être négligée par rapport aux autres variables. Ces variables sont les suivantes :

- La variable DEB2 de Janvier
- La variable TEMP de Juin, Août et Décembre
- La variable PRE2 de Juillet, Septembre, Octobre et Novembre.

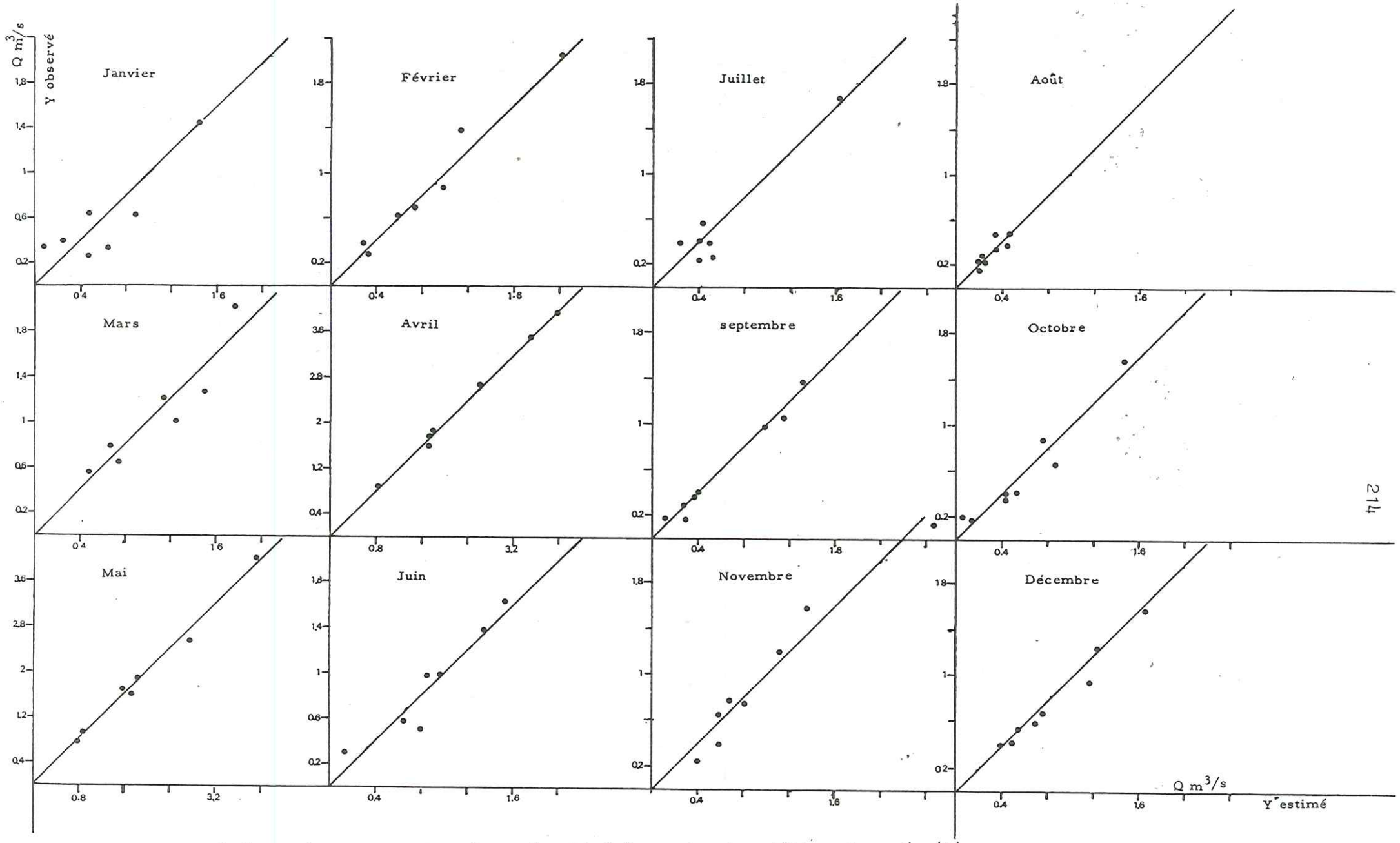


Fig. n° 6-1- Résultats de la régression linéaire entre les débits observés (Y) et les débits estimés (Y') du Furon (étape des mois).

Mois DEB1	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
DEB2	0.258	0.619	0.399	-0.523	0.907	0.745	-0.281	0.659	0.311	0.715	0.962	0.962	Coefficients de corrélation simples
PRE1	0.692	0.892	-0.220	0.921	0.370	0.731	0.926	-0.068	0.986	0.857	0.622	0.4	
PRE2	0.617	0.258	0.527	0.867	0.981	0.682	0.027	0.509	0.866	0.762	0.813	0.515	
TEMP	0.610	0.218	0.686	0.0503	-0.209	-0.406	-0.199	0.496	-0.350	-0.863	0.056	0.466	
V. exp													
DEB2	0.706	0.963	0.575	0.963	0.927	0.867	0.966	0.756	0.989	0.936	0.972	0.966	R multiple
PRE1	0.510	0.205	0.499	0.360	0.503	0.298	0.158	0.095	0.090	0.194	0.192	0.132	E standard
DEB2	0.781	0.988	0.785	0.981	0.931	0.932	0.972	0.811	0.988	0.965	0.976	0.971	R multiple
PRE1 TEMP	0.519	0.132	0.436	0.302	0.567	0.250	0.165	0.095	0.095	0.163	0.198	0.135	E standard
DEB2 PRE1 PRE2	0.899	0.995	0.932	0.998	0.993	0.949	0.973	0.875	0.988	0.965	0.976	0.974	R multiple
TEMP	0.446	0.104	0.312	0.088	0.225	0.265	0.199	0.090	0.107	0.188	0.228	0.150	E standard
PRE1	0.854	0.939	0.606	0.959	0.984	0.885	0.945	0.533	0.986	0.938	0.929	0.603	R multiple
PRE2	0.375	0.262	0.485	0.380	0.240	0.278	0.199	0.122	0.091	0.191	0.302	0.408	E standard
PRE1	0.892	0.988	0.852	0.960	0.985	0.909	0.948	0.714	0.987	0.964	0.93	0.943	R multiple
PRE2 TEMP	0.375	0.131	0.368	0.434	0.265	0.287	0.224	0.113	0.096	0.165	0.335	0.190	E standard
DEB2						0.947		0.875				0.974	R multiple
PRE1 PRE2						0.221		0.078				0.130	E standard

E = erreur

Tableau n°6-5 - Résultats de la régression des différentes combinaisons de variables (Furon à Engins)

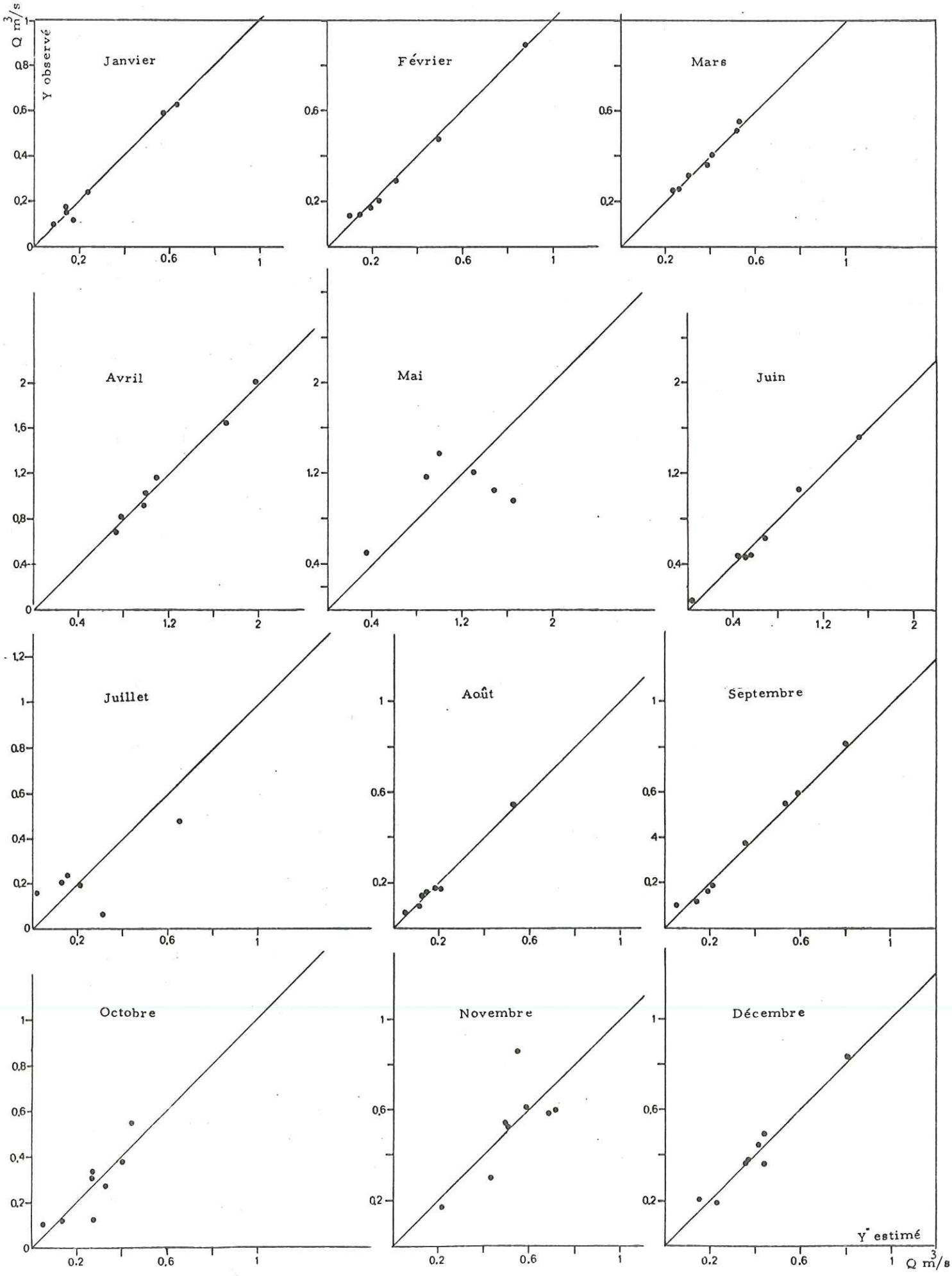
Le tableau qui regroupe les résultats de la régression des différentes combinaisons de variables ainsi que les coefficients de corrélation totaux entre la variable dépendante DEB1 et les variables explicatives, prouve que l'abandon de ces variables ne change pas les résultats de la régression ; par contre il les améliore. En se basant sur les résultats du tableau, on peut choisir l'équation de régression multiple propre à chaque mois qui fournit la valeur du débit la plus probable.

En fonction des variables les plus explicatives, les équations sont;

	Y = b0 + b1 X1 + b2 X2 + b3 X3 + b4 X4
Janvier	DEB1 = -0.558 + 0.0084 PRE1 + 0.0076 PRE2 + 0.0096 TEMP
Février	DEB1 = -0.294 + 0.201 DEB2 + 0.0063 PRE1 + 0.0032 PRE2 + 0.091 TEMP
Mars	DEB1 = -0.007 - 1.02 DEB2 + 0.0077 PRE1 + 0.0085 PRE2 + 0.029 TEMP
Avril	DEB1 = 1.13 - 0.638 DEB2 + 0.009 PRE1 + 0.0093 PRE2 - 0.024 TEMP
Mai	DEB1 = -1.42 - 0.605 DEB2 + 0.0061 PRE1 + 0.026 PRE2 + 0.132 TEMP
Juin	DEB1 = -0.574 + 0.175 DEB2 + 0.0066 PRE1 + 0.0038 PRE2
Juillet	DEB1 = 0.894 + 0.364 DEB2 + 0.0068 PRE1 - 0.084 TEMP
Août	DEB1 = -0.083 + 0.577 DEB2 + 0.0027 PRE1 - 0.002 PRE2
Septembre	DEB1 = 0.003 - 0.105 DEB2 + 0.0072 PRE1 - 0.017 TEMP
Octobre	DEB1 = 0.608 + 0.337 DEB2 + 0.0036 PRE1 - 0.074 TEMP
Novembre	DEB1 = -0.329 + 1.28 DEB2 + 0.0027 PRE1 + 0.052 TEMP
Décembre	DEB1 = 0.488 + 0.700 DEB2 - 0.0016 PRE1 - 0.0015 PRE2

Tableau n°6-6 - Equations de régression des variables les plus explicatives.

Fig. n° 6-2- Résultats de la régression linéaire entre les débits observés (Y) et les débits estimés (Y') du Germe (étape des mois).



Dans certains cas favorables il sera encore possible de réduire le nombre de variables à prendre en compte pour les estimations sans perdre trop de qualité au niveau du coefficient multiple et au niveau de l'erreur standard. Mais le tableau précédent qui regroupe les équations de régression et les variables les plus explicatives nous paraît le meilleur compromis pour l'estimation du débit moyen mensuel. Donc le débit ne peut s'exprimer qu'à l'aide de plusieurs variables mais le débit est l'image de l'infiltration d'où la difficulté de donner une idée simple du coefficient d'infiltration comme l'ont fait certains auteurs.

6.1.8.2. Discussion des résultats (station du Germe)

La démarche suivie précédemment pour la station d'Engins (l'étape des mois) sera appliquée aussi pour le Germe. Le tableau n° 6-7 regroupe les éléments statistiques de la régression multiple.

	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
DEB2	0.993	0.996	0.992	0.994	0.915	0.994	0.94	0.996	0.996	0.845	0.741	0.977	R multiple
PRE1 PRE2	0.045	0.042	0.026	0.092	0.728	0.091	0.268	0.024	0.034	0.125	0.125	0.064	E standard
TEMP	36.86	63.16	30.92	40.09	2.57	39.42	3.81	63.76	101.47	1.87	0.912	16.07	F calculée
					Coefficients de corrélation partielle								
DEB2	-0.965	0.903	-0.116	-0.200	-0.511	0.989	0.213	0.972	0.990	0.690	0.482	0.165	
PRE1	0.959	0.99	0.409	0.957	0.109	0.915	0.925	0.757	0.982	0.390	0.112	0.848	
PRE2	0.963	0.388	0.941	0.622	0.759	0.172	0.01	-0.863	-0.950	-0.360	0.074	-0.452	
TEMP	0.967	0.832	0.934	0.814	-0.180	-0.360	-0.242	-0.016	-0.876	-0.566	0.525	0.831	

Tableau n° 6-7 - Eléments statistiques essentiels de la régression (Station du Germe)

L'application du test F avec un risque d'erreur de 0.05 prouve que la régression est significative pour les mois de Janvier, Février, Mars, Avril, Juin, Août, Septembre (les valeurs de F calculées sont supérieures aux valeurs lues dans la table et non significatives pour les mois de Mai, Juillet, Octobre, Novembre, Décembre (les valeurs de F calculées sont inférieures aux valeurs lues dans la table).

Les graphiques qui représentent les valeurs des débits observés et les valeurs estimées calculées à l'aide de l'équation de régression mettent en évidence les résultats du test F, les points des mois où la régression est significative se répartissent de part et d'autre de la droite. Tandis que pour les autres mois où la régression est non-significative la dispersion des points est grande (ceci est un des critères valable pour la non-signification de la régression.(Voir Fig. n° 6-2)

Cela concorde aussi avec les valeurs de l'erreur standard qui sont élevées pour les mois où la régression est non significative et petites pour les mois où la régression est significative.

Le nombre des variables explicatives est de l'ordre de quatre. Ce chiffre est grand par rapport au nombre des observations qui est de l'ordre de sept pour les mois de Janvier à Août et huit pour les mois de Septembre à Décembre. Pour pouvoir diminuer le nombre de variables sans provoquer un changement des résultats ou plutôt sans modifier la qualité de la régression, nous allons utiliser comme critère les coefficients de corrélation partielle. En nous basant sur ces valeurs regroupées dans le tableau nous avons éliminé les variables dont les influences sont négligeables. Ces variables sont les suivantes.

- la variable DEB2 des mois de Mars, Avril et Décembre
- la variable PRE1 de Mai
- La variable PRE2 des mois de Juin, Juillet, Août

Cela est vérifié dans le tableau n°6-8 qui représente les résultats de la régression des différentes combinaisons de variables.

	Jan.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	
DEB1	-0.129	0.692	0.724	0.181	0.750	0.896	-0.046	0.983	0.793	0.584	0.557	0.897	Coefficients de corrélation simples
PRE1	0.769	0.871	-0.088	0.948	0.176	0.497	0.925	-0.606	0.783	0.392	-0.535	0.805	
PRE2	0.124	0.328	0.902	0.887	0.875	0.311	0.089	0.863	0.687	0.400	0.358	-0.417	
TEMP	0.80	0.192	0.435	0.233	-0.487	-0.174	-0.349	0.411	0.169	-0.569	0.580	0.489	
V. exp													
DEB2	0.798	0.986	0.884	0.961	0.766	0.99	0.936	0.983	0.960	0.723	0.606	0.921	R multiple
PRE1	0.166	0.056	0.068	0.162	0.819	0.0680	0.196	0.035	0.087	0.125	0.197	0.091	E standard
DEB2	0.889	0.987	0.936	0.982	0.912	0.993	0.936	0.996	0.984	0.761	0.613	0.925	R multiple
PRE1 PRE2	0.146	0.063	0.059	0.129	0.604	0.080	0.226	0.0196	0.061	0.131	0.219	0.099	E standard
DEB2 PRE1 PRE2 TEMP	0.993	0.996	0.992	0.994	0.915	0.994	0.940	0.996	0.996	0.845	0.741	0.977	R multiple
	0.045	0.042	0.026	0.092	0.728	0.091	0.268	0.024	0.034	0.125	0.215	0.064	E standard
DEB2 PRE1 TEMP		0.995											R multiple
		0.038											E standard
PRE1 PRE2 TEMP			0.992	0.994									R multiple
			0.021	0.077									E standard
DEB2 PRE2					0.91								R multiple
					0.528								E standard
DEB2 TEMP											0.735		R multiple
											0.168		E standard
PRE1 PRE2 TEMP												0.977	R multiple
												0.056	E standard

Tableau n° 6-8- Résultats de la régression des différentes combinaisons de variables (Station du Germe)

Ce tableau nous a permis de choisir les variables les plus explicatives que nous présentons avec leurs équations de régression.

	Y = b0 + b1 X1 + b2 X2 + b3 X3 + b4 X4
Janvier	DEB1 = 0.124 - 0.778 DEB2 + 0.0031 PRE1 + 0.0024 PRE2 + 0.0083 TEMP
Février	DEB1 =-0.098 + 0.556 DEB2 + 0.0024 PRE1 + 0.017 TEMP
Mars	DEB1 = 0.205 + 0.0002 PRE1 + 0.0012 PRE2 + 0.026 TEMP
Avril	DEB1 =-0.095 + 0.0069 PRE1 + 0.002 PRE2 + 0.053 TEMP
Mai	DEB1 =-0.333 - 1.71 DEB2 + 0.0307 PRE2
Juin	DEB1 =-0.431 + 0.390 DEB2 + 0.0043 PRE1
Juillet	DEB1 =-0.247 + 0.143 DEB2 + 0.0053 PRE1
Août	DEB1 = 0.0062 +0.553 DEB2 + 0.0009 PRE1 - 0.0011 PRE2
Septembre	DEB1 = 0.532 + 0.611 DEB2 0.0047 PRE1 - 0.0042 PRE2 - 0.039 TEMP
Octobre	DEB1 = 0.630 + 0.502 DEB2 0.0001 PRE1 - 0.00083PRE2 - 0.063 TEMP
Novembre	DEB1 = 0.147 + 0.633 DEB2 0.073 TEMP
Décembre	DEB1 = 0.368 + 0.0026 PRE1 - 0.0012 PRE2 + 0.038 TEMP

Tableau N°6-9- Equation de régression des variables les plus explicatives (Germe)

A noter que la diminution des variables améliore la régression dans certains cas. Nous citons le cas du mois de Juillet où la régression avec deux variables (DEB2, PRE1) est meilleure que la régression avec quatre variables. Cela peut être dû à des observations incorrectes ou à des valeurs exagérées (exceptionnelles) de ces variables.

Nous n'avons pas appliqué l'étape des mois aux observations de la station du Bruyant, en raison du nombre limité d'observations concernant la variable dépendante (le débit).

6.2. ETUDE DU TRANSFERT PRÉCIPITATIONS-DÉBITS D'UN RÉSEAU KARSTIQUE

6.2.1. INTRODUCTION

Les variations des débits mesurés à la station sont la conséquence des précipitations ou des fontes des neiges intervenues dans le bassin.

La relation entre ces deux facteurs (pluie-débit) met en jeu toutes les caractéristiques hydrologiques et météorologiques du bassin. Toutefois la comparaison entre l'hyétogramme (enregistrement du pluviographe) et l'hydrogramme (enregistrement de débit) correspondant permet de recueillir de nombreuses informations sur la fonction de transfert pluie-débit.

Dans une première partie, nous allons traiter de l'hydrogramme théorique et de ses composantes pour passer ensuite aux applications pratiques.

6.2.2. L'HYDROGRAMME-TYPE

Nous présentons dans la figure n°6-3 les diverses caractéristiques de l'hydrogramme-type (théorique) ou plutôt la courbe Q(t) des débits en fonction du temps.

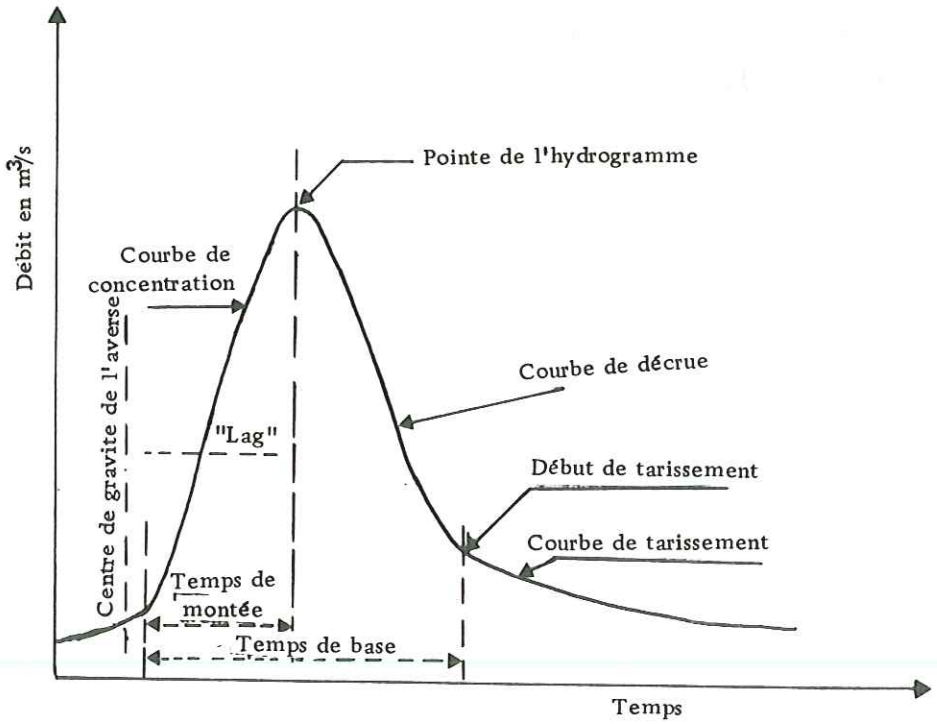


Fig. n° 6-3 . Les diverses caractéristiques de l'hydrogramme-type.

Dans notre étude détaillée, nous mettons l'accent sur deux caractéristiques : le temps de montée qui correspond au temps compris entre le début de la montée et la pointe ou le pic de l'hydrogramme, et le temps de réponse qui correspond à l'intervalle de temps qui sépare le centre de gravité de l'averse de la pointe de l'hydrogramme. Ces deux caractéristiques seront déterminées à partir des

hydrogrammes enregistrés à la station des Cuves de Sassenage.

Précisons dès maintenant que l'allure générale de l'hydrogramme observé dans une station reflète les caractéristiques du bassin.

Quant aux composantes de l'écoulement sur un hydrogramme, nous nous intéressons à l'écoulement de base étant donné que les autres composantes (ruissellement, écoulement hypodermique) ne sont pas représentées dans l'écoulement total.

6.2.3. LES TECHNIQUES DE SEPARATION DE L'ECOULEMENT DE BASE

Nous présentons trois méthodes simples illustrées par la figure n° 6-4 pour la séparation de l'écoulement de base de l'écoulement total représenté par l'hydrogramme enregistré.

Ces méthodes sont les suivantes :

1) La méthode dite de la ligne droite
2) La méthode de la longueur de base fixe
3) La méthode de la pente variable.

Nous allons expliquer brièvement chacune de ces méthodes.

6.2.3.1. Séparation par la ligne droite

Cette méthode consiste à joindre par une ligne directe le point du début de la courbe de crue directement avec le point ou la courbe de décrue dessinée sur papier semi-logarithmique devient une droite.

Cette technique est la plus facile; elle peut être programmée sur ordinateur.

6.2.3.2. Séparation par la longueur de base fixe

Beaucoup d'hydrologues estiment que cette méthode est la meilleure pour l'obtention de bons résultats dans le cas de nombreuses crues. Selon cette méthode l'écoulement est considéré comme terminé après un temps fixé par rapport au pic de l'hydrogramme. Cet intervalle de temps peut être calculé d'après l'équation suivante.

$$T = (DA)^{0,2}$$

T : le temps en jours

DA : la superficie du bassin versant en miles carrés.

Cette équation nous permet d'obtenir un point sur une courbe de décrue.

On prolonge la ligne de l'écoulement existante avant la crue jusqu'à l'aplomb du pic de l'hydrogramme. Le point obtenu est relié par une droite avec

le point déjà calculé. Cela est clair sur la figure.

6.2.3.3. Séparation par la pente variable

Les étapes du calcul sont les suivantes :

- On prolonge la ligne de l'écoulement de base existante avant la crue jusqu'à l'aplomb du pic de l'hydrogramme.
- Le point à partir duquel la courbe de décrue devient rectiligne sur diagramme semi-logarithmique correspond au début du tarissement.
- On joint le point situé à l'aplomb du pic au point où la droite de tarissement recoupe une verticale abaissée depuis le point d'inflexion observé sur la courbe de décrue. On obtient ainsi un hydrogramme de l'écoulement de base. Cela est aussi montré sur la figure n° 6-4 .

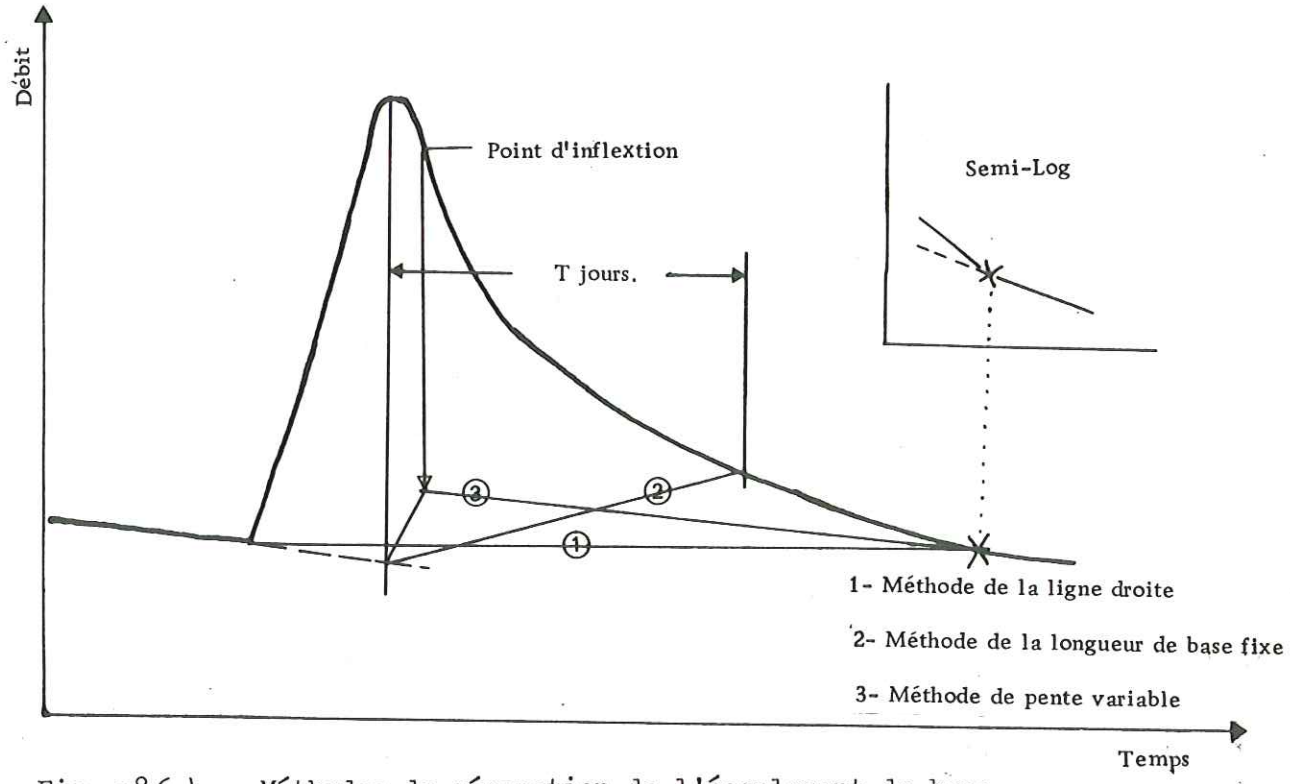


Fig. n° 6-4 - Méthodes de séparation de l'écoulement de base.

6.2.4. GENERALITES SUR L'EVENEMENT AVERSE-DEBIT

Tout d'abord précisons qu'une analyse complète des événements averse-débit observés sur un bassin est une opération très longue et demande des documents et des renseignements divers, notamment un réseau de pluviographes et de pluviomètres bien répartis et exploités depuis longtemps. Cela n'est pas toujours réalisable, ce qui est le cas de notre bassin où nous ne possédons qu'un seul pluviographe (type mécanique 2000 cm^2) placé sur le plateau de Sornin à l'endroit des Clapiers à l'altitude 1600 m. Nous allons essayer donc d'exploiter ces documents afin d'ajouter quleques connaissances sur le phénomène pluie-débit.

Les mesures du pluviographe que nous possédons correspondent aux années 1969-1970-1971-1973 et seulement pour la période où la neige n'existe pas c'est-à-dire pour les mois d'été. Dans nos calculs l'effet de la neige est donc écarté.

Un point pratique est à préciser dans le dépouillement des enregistrements des pluviographes et des hydrographes. Pour les enregistrements du pluviographe le jour débute à 7 h du matin et se termine 24 h plus tard à 7 h tandis que pour les limnigrammes le jour débute à minuit et se termine 24 h plus tard donc à minuit aussi.

Pour pouvoir comparer ces deux enregistrements nous avons tenu compte de ce phénomène de décalage.

Le pas de temps considéré dans le dépouillement est l'heure.

Précédemment nous avons étudié statistiquement les relations pluie-débit à l'échelle mensuelle et nous sommes arrivé à des équations qui expliquent ces relations. Ces relations seront maintenant étudiées à l'échelle de l'averse dont l'ordre de grandeur est de quelques heures grâce au pluviographe et au limnigraphe. Les résultats du dépouillement des enregistrements du pluviographe sont consignés en annexe. Cette étude va nous donner une idée sur la réaction du karst vis-à-vis de la pluie, elle nous permettra aussi de préciser quantitativement le temps de réponse, le temps de remontée et de chiffrer le coefficient d'infiltration; ainsi elle nous permet de connaître la nature des averses qui tombent sur le bassin du point de vue intensité, durée et quantité d'eau qu'elles amènent.

Etant donné que les données du pluviographe existantes sont limitées dans le temps, nous allons étudier toutes les averses en mettant l'accent sur les averses importantes qui provoquent un changement sensible sur le limnigraphe.

En effet la pratique montre que la réponse du bassin versant à une averse peut être nulle (absence d'augmentation de débit) ou une réponse positive manifestée par des crues.

6.2.4.1. Réponse nulle

Pour donner des exemples d'une réponse nulle, nous avons choisi l'averse du 14-15 Août 1969 qui est représentée avec l'hydrogramme des débits dans la figure n° 6-5 .

Cette averse a une durée de 5 h et une intensité moyenne de 3,8 mm avec une intensité maximale de 12,8 mm.

On remarque que l'augmentation du débit est très faible presque nulle. Cela peut s'expliquer par le fait que cette averse est survenue après une période de dizaines de jours de sécheresse avec une température de l'ordre de 17°c et un débit d'étiage de l'ordre 0,140 m^3/s. L'intensité

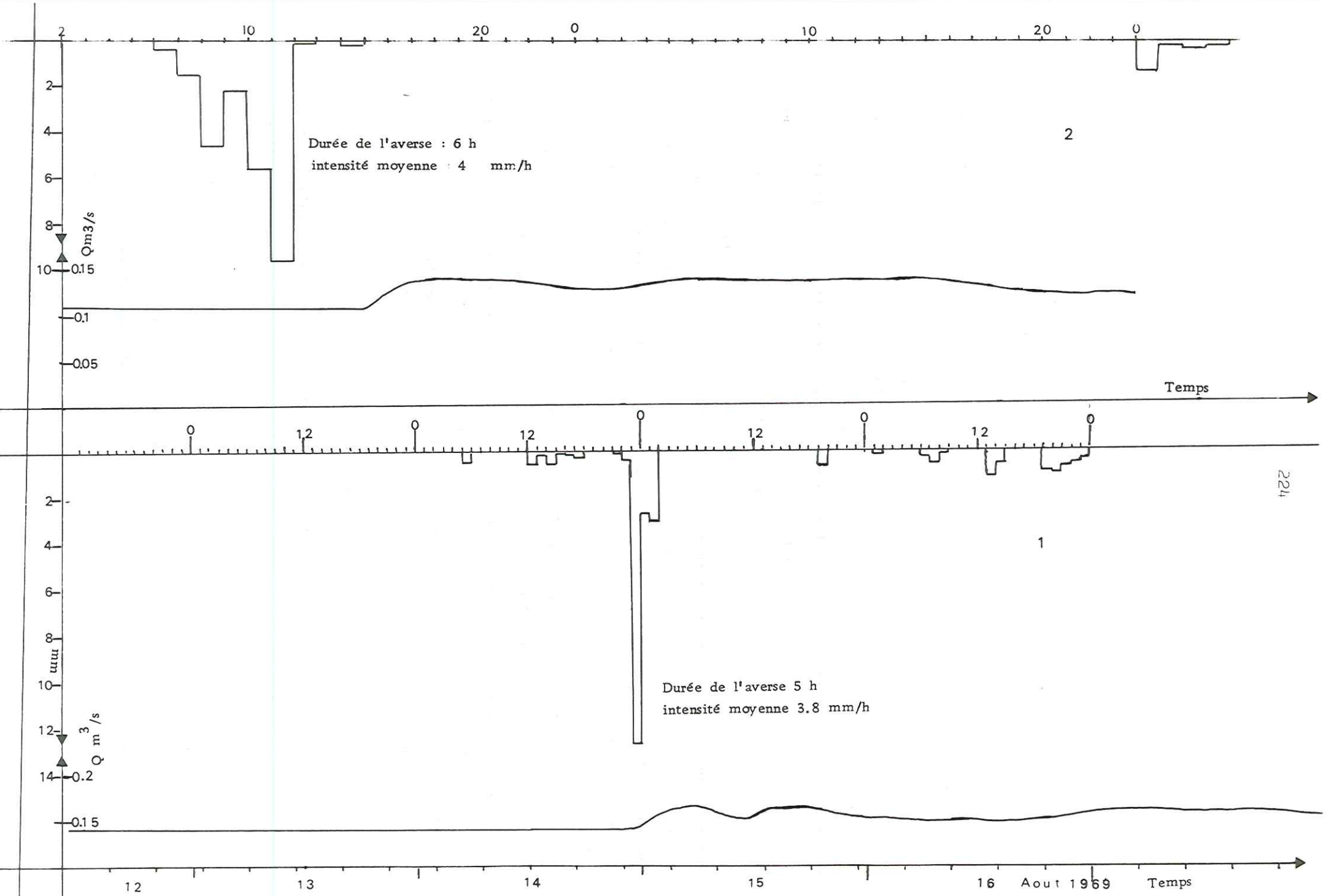


Fig. n° 6-5- Transfert pluie-débit - réponse nulle -

n'a pas pu compenser l'évapotranspiration ni le remplissage du karst.

Nous citons un autre exemple observé en 1970 au mois de Septembre présenté dans la figure n° 6-5 . Durant cette averse qui a duré 6 h, il est tombé 24 mm d'eau sans que le débit des Cuves montre une augmentation remarquable. Les explications déjà données sont aussi valables pour cette averse. A noter que la répartition de l'averse peut provoquer un tel phénomène mais le manque d'autres pluviographes ne nous permet pas de la vérifier .

6.2.4.2. Réponse positive

Après avoir présenté des exemples de réponse presque nulles nous allons aborder les réactions positives en présentant plusieurs exemples et pour des périodes différentes.

6.2.4.1.1. Cas d'une averse isolée . La figure n°6-6 nous montre l'effet d'une averse isolée. Cette averse est caractérisée par une durée de 10 heures d'une intensité moyenne de 2.86 mm/h et une intensité maximale de 8,2 mm/h. Elle a provoqué une crue dont le débit atteint 2.6 m^3/s. Cet exemple nous a permis de déterminer le temps de réponse qui est de l'ordre de 7h30', le temps de remontée qui est de l'ordre de 5h30'. Ces deux termes ont été définis précédemment. De même on peut calculer le coefficient d'infiltration selon le rapport suivant : $\frac{\text{Volume d'eau écoulée en m3}}{\text{Volume d'eau précipitée m3}}$.

Le volume d'eau écoulé peut être calculé par planimétrage de la surface obtenue par la courbe débit-temps. Tandis que le volume d'eau précipité s'obtient en multipliant la hauteur d'eau précipitée en m par la surface du bassin qui est estimé ici à 15 km^2 ou 15 000 000 m^2.

L'application sur l'exemple nous donne un coefficient d'infiltration de l'ordre de 12 %.

On a pu sélectionner deux autres exemples d'averses isolées qui engendrent des crues.(Fig. n° 6-7)

Dans le premier cas,une averse de 4 heures de durée et d'une intensité moyenne de 5.75 mm/h a engendré une crue dont le temps de remontée est de l'ordre de 6h, le temps de réponse est de l'ordre de 9 h. Le coefficient d'infiltration est de l'ordre de 10 %.

Le deuxième exemple observé en 1970 au mois de Juin laisse dégager les caractéristiques suivantes. Temps de remontée de 6h30; temps de réponse 9h.; coefficient d'infiltration de 15 %.L'exemple traité dans le colloque sur le massif du Vercors, donne les résultats suivants : Temps de remontée (5h), temps de réponse (7h), coefficient d'infiltration 16% (année 1968).

6.2.4.2.2. Le cas de plusieurs averses. Parmi les exemples qu'on a pu sélectionner,nous exposons le cas de plusieurs averses successives après une période d'étiage durant le mois de Septembre les valeurs du débit

Fig. n° 6-6- Transfert pluie-débit - réponse positive - cas d'une averse isolée.

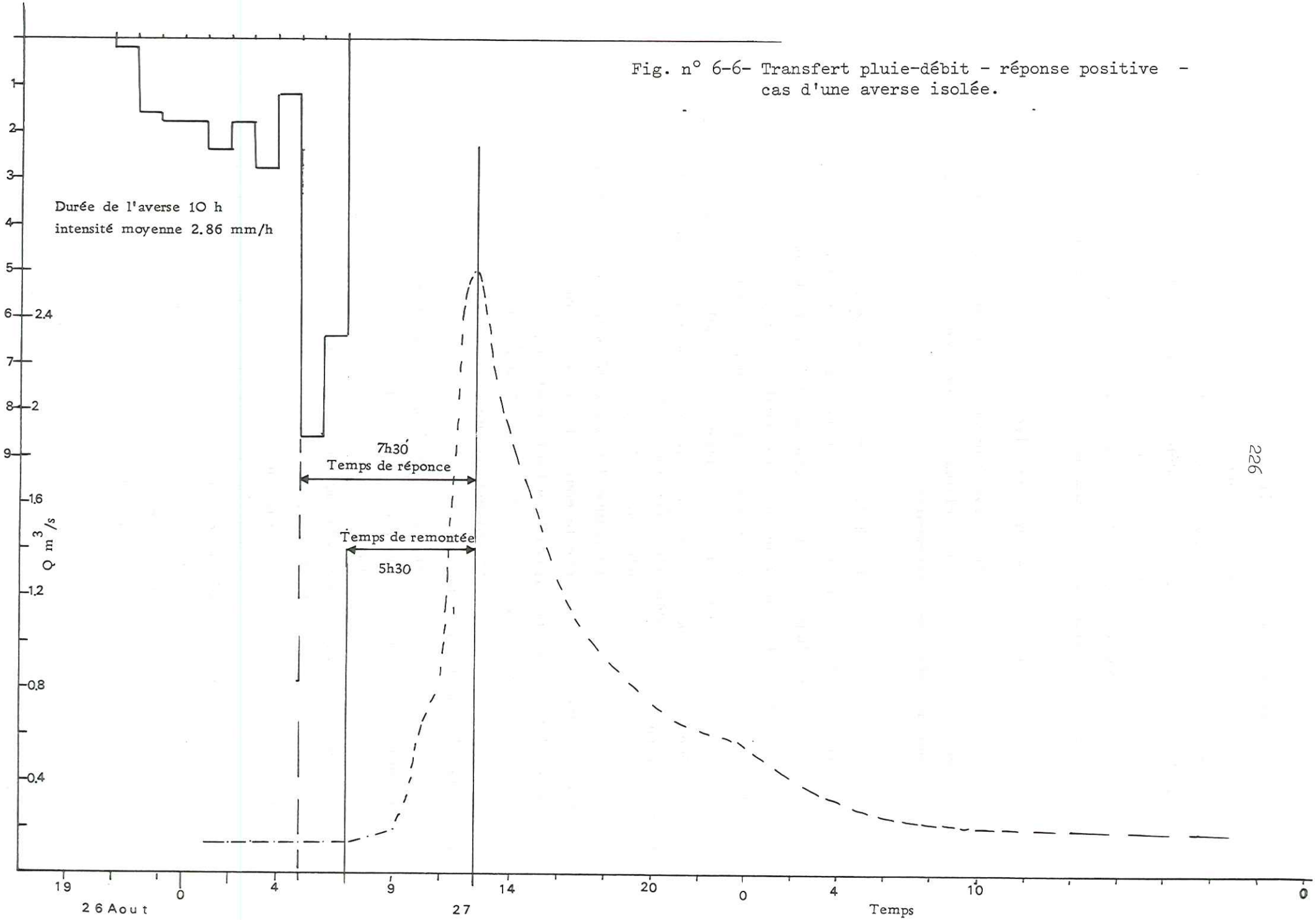
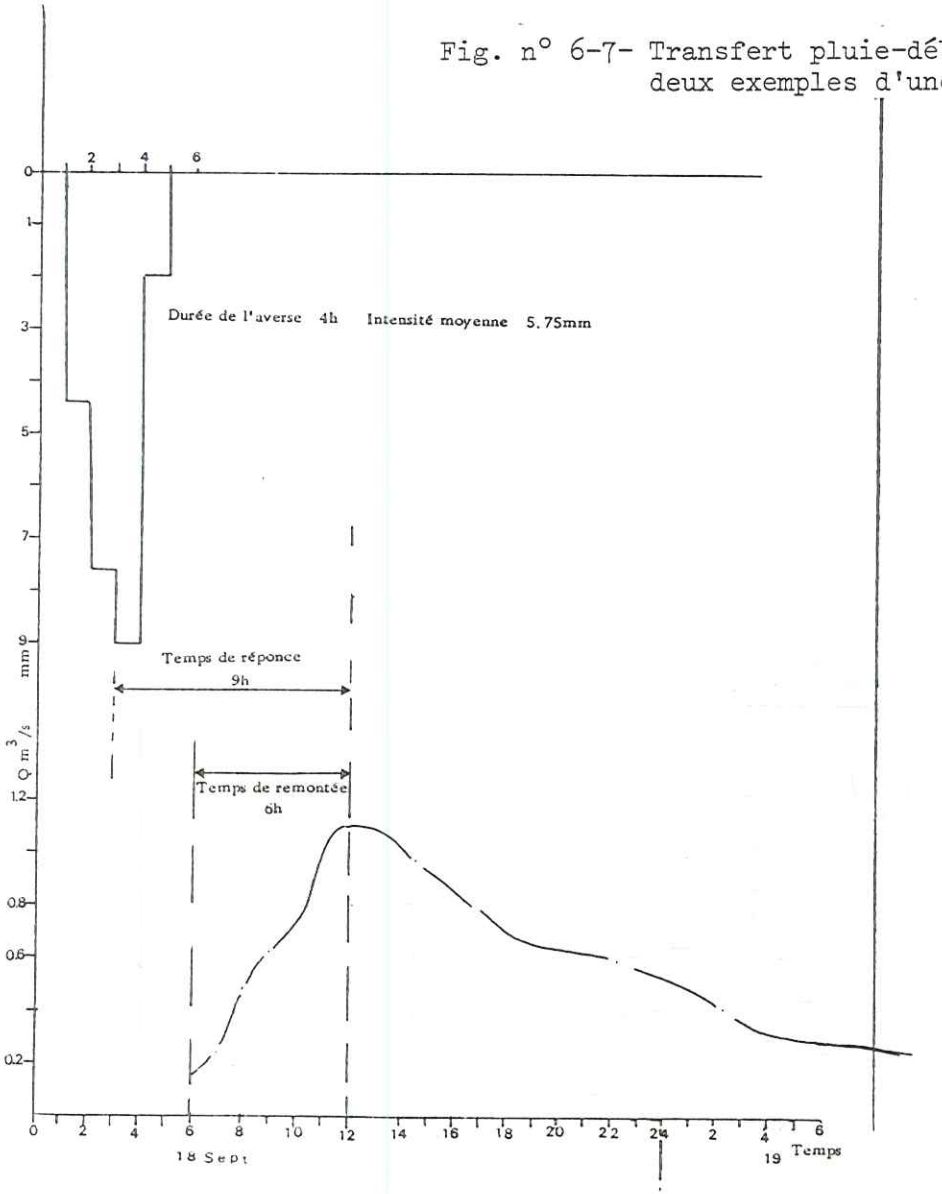
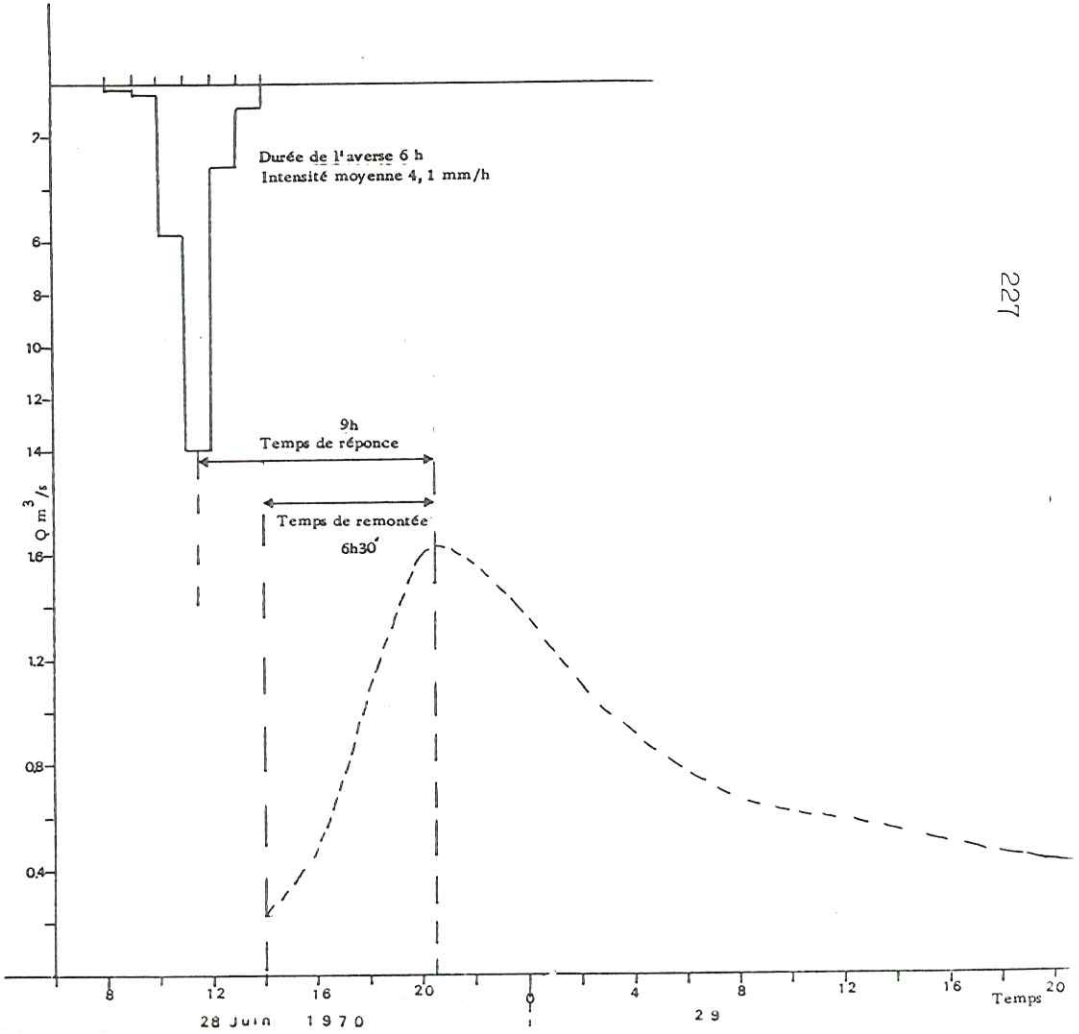


Fig. n° 6-7- Transfert pluie-débit - réponse positive - deux exemples d'une averse isolée.





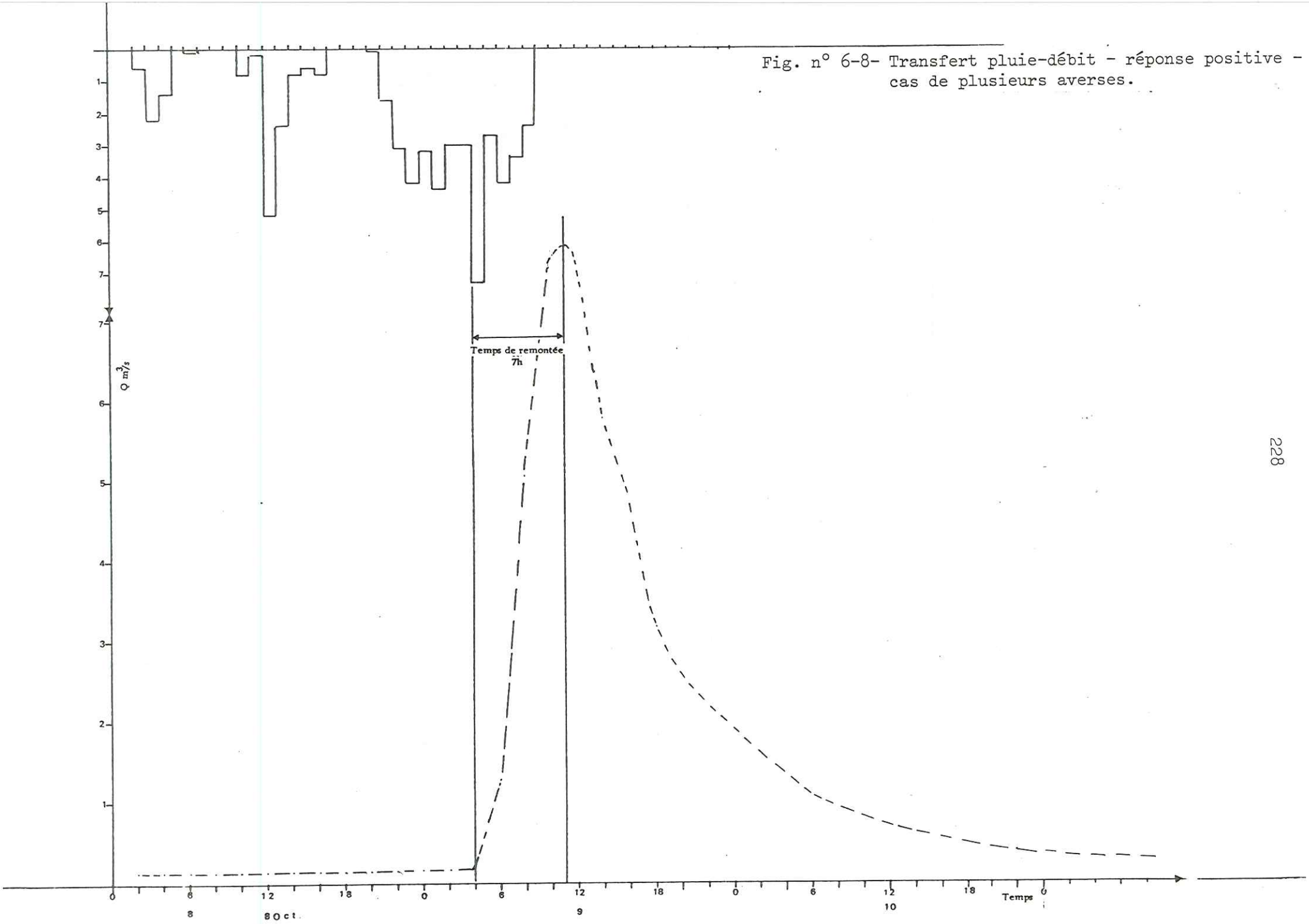


Fig. n° 6-8- Transfert pluie-débit - réponse positive - cas de plusieurs averses.

du Germe variaient entre 0.090 et 0.150 m^3/s. Ces averses de durées et d'intensités différentes sont séparées par un intervalle de quelques heures.

La première averse a amené 4.3 mm tandis que la deuxième a amené 10.8 mm. Ces deux averses n'ont pas provoqué de changement sensible de débit. Cela en raison de leurs faibles intensités.

La troisième averse a déclenché une crue dont le débit est passé de 0.110 m^3/s à 7.88 m^3/s après un temps de remontée de 7 h.

En considérant que la troisième averse qui a amené 45.4mm d'eau(soit l'équivalent de 68100 m^3)a provoqué l'écoulement de 32 800 m^3, le coefficient d'infiltration sera de l'ordre de 48 % (Fig. n° 6-8).

6.2.4.2.3. Autres cas. A présent nous présentons l'effet de deux averses ou plutôt d'une seule averse étant donné que le temps qui les sépare n'est que d'une heure. Cette averse est caractérisée par une durée très longue(36 heures)et continue. L'hydrogramme obtenu est caractérisé par une durée très remontée de 12 h. Le volume obtenu est de 52 000 m^3. On remarque que la réaction est lente comme le montre aussi le temps de remontée. Cela peut être expliqué par la faible intensité de l'averse qui est compensée par la longue durée. La figure n° 6-9 nous montre le cas de deux crues engendrées par des averses successives. La première averse a engendré la première crue caractérisée par un temps de remontée de l'ordre de 12 h et un débit de pointe de 3.2 m^3/s. Cette averse a duré 20 heures environ. Quelques heures plus tard,une autre averse s'amorce pour engendrer une crue plus forte ou le débit atteint 4.20 m^3/s, tandis que le temps de remontée était de l'ordre de 4 h.

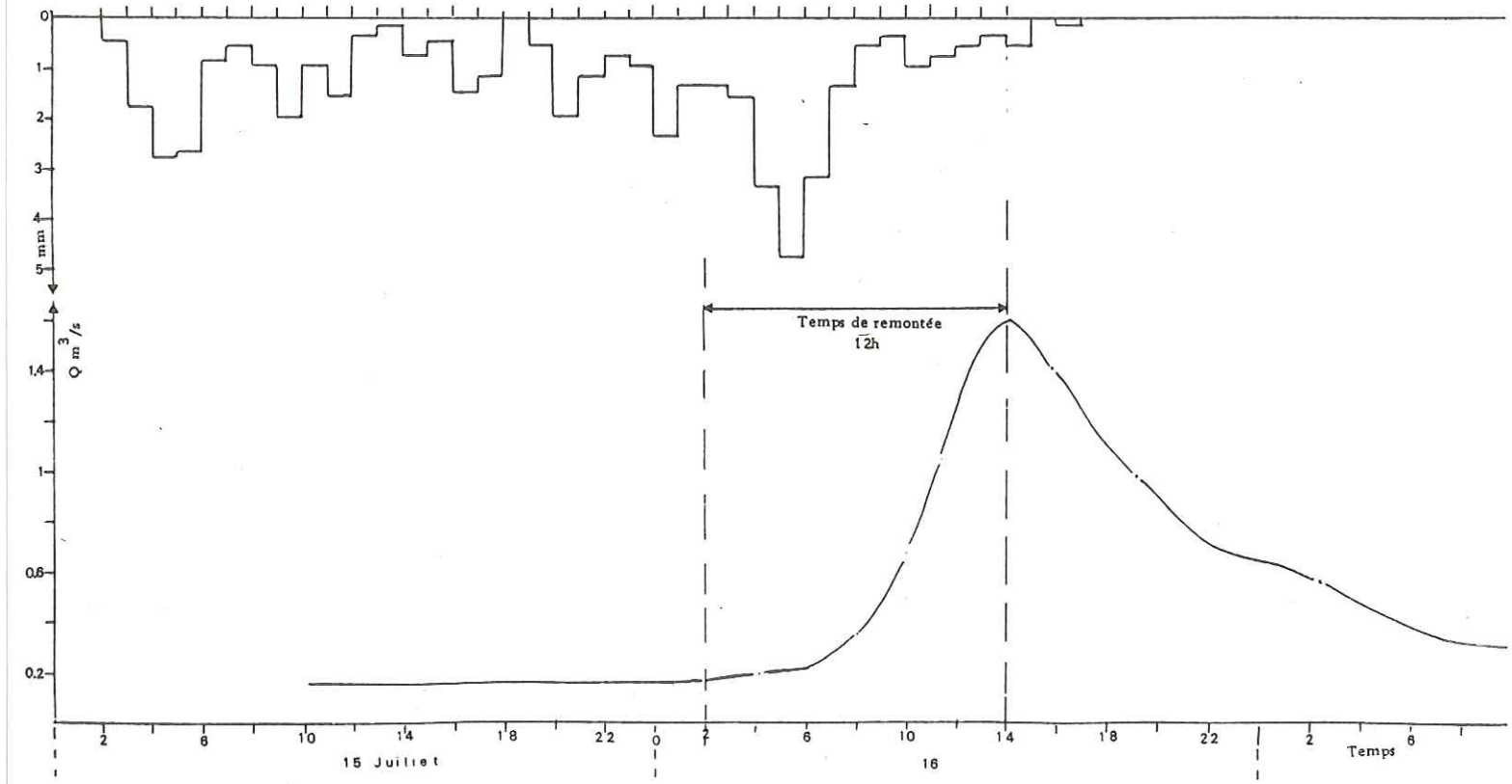
Le rapport entre le volume d'eau écoulé et le volume d'eau précipitéenous donne une valeur moyenne du coefficient d'infiltration qui est égal ici à $\frac{173000\ m^3}{830000\ m^3} = 21\ \%$.

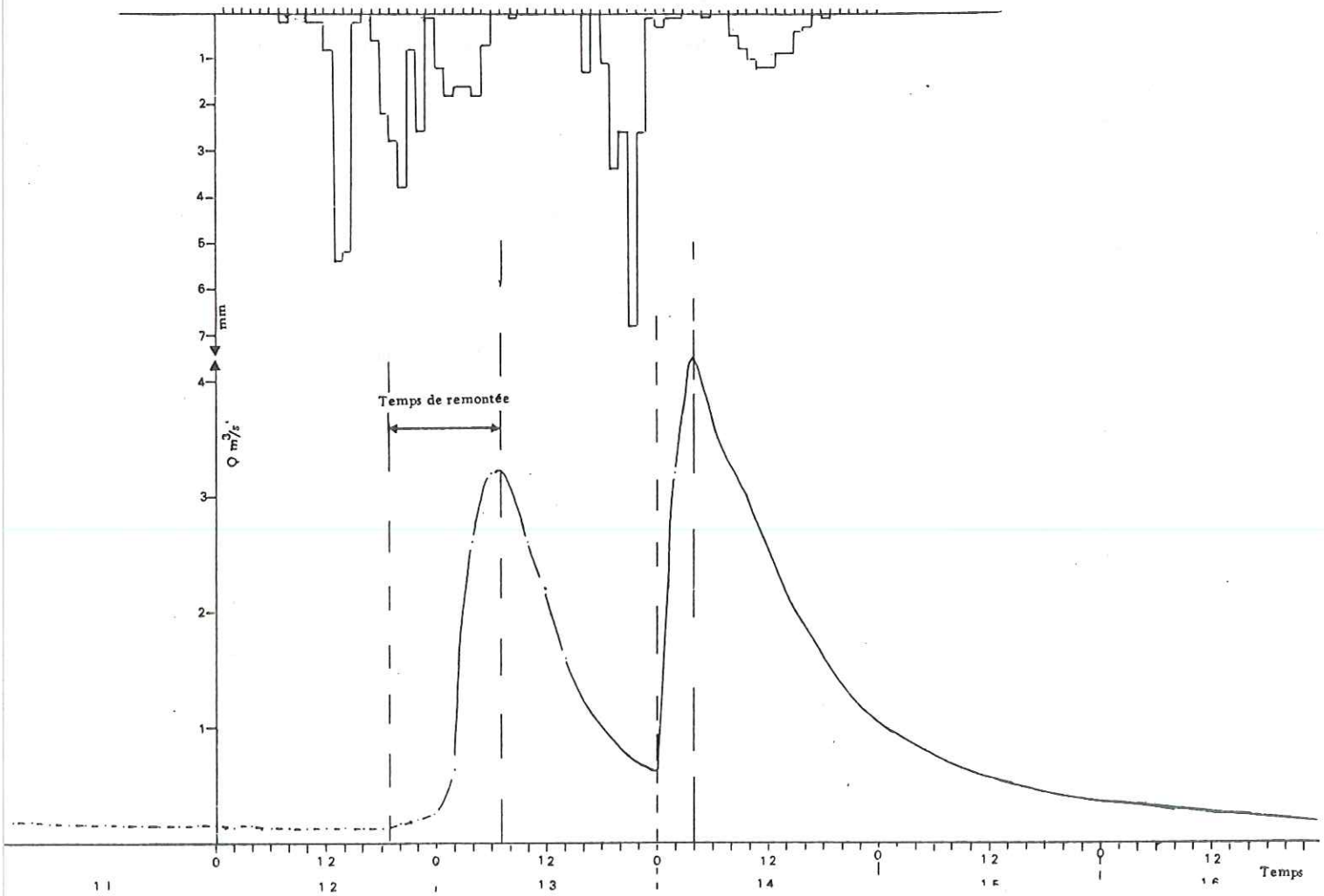
A noter que dans le calcul du volume précipitée on a tenu compte de la somme des deux averses. Le calcul appliqué à la deuxième crue nous amène à un coefficient d'infiltration plus élevé.

6.2.5. CONCLUSION

Les exemples traités précédemment donnent quelques renseignements intéressants. Tout d'abord se trouve confirmée l'idée émise plusieurs fois durant cette étude selon laquelle la relation entre pluie-débit est conditionnéepar de nombreux facteurs. Parmi les facteurs que cette étude met en relief nous citons l'intensité et la durée de l'averse, l'état de remplissage du karst avant l'averse.

Fig. n° 6-9- Transfert pluie-débit - réponse positive - cas différents.





Elle nous a permis aussi de préciser les temps de remontée qui varient entre 5h30' et 12 h selon les cas, ainsi que les temps de réponse qui varient entre 7 h et 9 h. A noter que le temps de remontée est plus faible que le temps de décrue ce qui rend l'hydrogramme dissymétrique.

L'intérêt de la méthode employée provient également de la détermination du coefficient d'infiltration malgré l'estimation de surface du bassin à 15 km^2. Les valeurs du coefficient varient entre 10 % et 48 %. Signalons que si on tient compte des exemples où la réaction du karst est presque nulle, on aura des valeurs du coefficient très faibles.

Le manque d'un réseau de pluviographes ne nous permet pas de préciser l'homogénéité ni la répartition spatiale de l'averse.

Dans les exemples étudiés on a éliminé l'effet de la neige qui peut compliquer la relation en retenant la pluie tombée ou en donnant de l'eau par la fonte. Ce phénomène a été mis en évidence dans l'étude statistique pluie-débit.

Le manque de renseignements poussés ne nous a pas permis de déterminer quelques caractéristiques d'une averse comme la plus efficace, l'averse unitaire.

Dans nos calculs on s'est basé sur la hauteur totale de l'averse.

En conclusion les renseignements concernant les caractéristiques du karst tirés de ces exemples sont très intéressants et semblent très proches de la réalité.

6.3. ESSAI DE DÉTERMINATION DU COEFFICIENT D'INFILTRATION

6.3.1. INTRODUCTION

Nous avons précédemment présenté la relation pluie-débit sous deux aspects. Premièrement sous l'aspect statistique en utilisant la méthode de régression linéaire; dans cette méthode la surface du bassin versant n'intervenait pas directement. Deuxièmement sous l'aspect du transfert précipitation-débit par l'étude simultanée de l'hydrogramme et du hyétogramme correspondant. L'application a été faite pour le sous-bassin du Germe délimité à la station des Cuves de Sassenage. Dans ce cas la surface du sous-bassin a été estimée à 15 km^2.

Nous allons maintenant essayer de chiffrer le coefficient d'infiltration c'est-à-dire le pourcentage de la pluviométrie qui pénètre dans le sous-sol en comparant les volumes d'eaux écoulées et les volumes d'eaux précipitées Cette comparaison nécessite la connaissance de la surface du bassin versant.

6.3.2. QUELQUES FACTEURS INFLUANT SUR L'INFILTRATION

Nous supposons que les volumes d'eaux écoulées mesurés aux stations de jaugeage proviennent des précipitations uniquement. Cela signifie que le phénomène bien connu de condensation de la vapeur d'eau qui contribue pour une part plus ou moins considérable à l'approvisionnement des eaux souterraines n'est pas pris en considération faute de données le concernant. Il s'ensuit que l'on commet une certaine erreur sur l'estimation des débits d'entrée et par conséquent du coefficient d'infiltration mais cette erreur ne doit pas être très importante. Des recherches visant à éclaircir ce phénomène en le déterminant quantitativement se révèleraient extrêmement intéressantes dans l'avenir.

Un autre facteur d'augmentation du volume écoulé annuel correspond aux puits à neige et aux glacières qui alimentent les eaux souterraines d'une manière continue toute l'année.

Ce phénomène, déjà mentionné précedemment, reste à définir quantitativement mais s'il peut engendrer des variations interannuelles, il ne doit pas avoir une influence très marquée sur la précision du bilan.

Nous admettons donc que la totalité du volume d'eau écoulée correspond à l'alimentation par l'infiltration; cette hypothèse amène à considérer le ruissellement comme pratiquement nul.

A noter que les facteurs physiques et climatologiques de notre bassin qui conditionnent le ruissellement ne sont pas d'ailleurs favorables à son développement. Le ruissellement est donc très faible, le réseau hydrographique témoigne de cette faiblesse.

Dès maintenant précisons donc qu'en ne tenant pas compte de ces phénomènes, malgré leur faible importance, l'ordre de grandeur de l'infiltration sera obtenu avec une certaine marge d'erreur.

6.3.3. DELIMITATION DU BASSIN VERSANT

Parmi les nombreux problèmes du karst, le plus important reste celui de la délimitation du bassin versant qui est particulièrement délicate du fait de la non-concordance entre bassin versant topographique et bassin d'alimentation réel.

La délimitation des zones d'alimentation nécessite de très nombreuses expériences de traçage et pendant des périodes différentes.

Il faut souligner également que les expériences de traçage permettent seules bien souvent de déterminer le sens d'écoulement des eaux souterraines et par conséquent les périmètres d'alimentation . On ne doit pas oublier que certaines circulations peuvent changer de direction selon les conditions hydrauliques existant aux différentes périodes de l'année. Il en résulte une fois de plus une imprécision qu'il n'est guère possible de faire disparaître totalement, mais à l'échelle de l'année ces changements n'ont peut-être pas une importance considérable car durant les périodes de fortes infiltrations, les directions d'écoulement doivent statistiquement rester assez homogènes. C'est ce qui nous permet de délimiter les surfaces de nos bassins versants entre des valeurs maximales et minimales assez peu différentes.

La connaissance de la structure géologique permet encore d'améliorer cette délimitation.

6.3.3.1. Première estimation de la surface des bassins versants

Rappelons tout d'abord que le bassin du Furon regroupe deux sous-bassins, celui du Bruyant et celui de Germe. Faute de connaître le débit du Furon à l'exutoire (en raison du barrage d'Engins et du canal) nous ne pouvons pas parler de tout le bassin versant du Furon; par contre on peut parler du bassin du Furon à Engins étant donné qu'on possède une station de mesure à cet endroit. Nos calculs seront donc consacrés à la surface du bassin du Furon à Engins y compris le sous bassin du Bruyant puis aux deux sous-bassins du Bruyant et du Germe indépendamment.

Pour déterminer l'ordre de grandeur de la surface minimale du bassin du Furon à Engins et des sous-bassins du Bruyant et du Germe nous allons supposer que le taux d'infiltration est de 100% ce qui nous permet de calculer la surface minimale d'après l'équation simple suivante :

$$\text{Surface en } m^2 = \frac{\text{Volume d'eau annuel écoulée en } m^3}{\text{Précipitations annuelles en m}}$$

Le volume d'eau écouléeannuel en m^3 sera obtenu pour les trois stations par multiplication du débit moyen en m^3/s par le nombre de secondes dans l'année.

Précipitations annuelles en m : pour ce terme nous allons choisir parmi les trois méthodes utilisées les valeurs les plus élevées (méthode des moyennes arithmétiques).

Dans nos calculs nous utilisons les années hydrologiques et non pas les années calendaires en raison des conditions climatiques régnant sur le bassin et surtout du régime des précipitations qui s'accompagne d'un stockage très inégal de celles-ci sous forme de neige pendant les mois de Novembre et Décembre.

Nous considérons donc que l'année hydrologique débute au premier novembre et se termine au 31 Octobre.

L'application de cette équation aux diverses années d'études nous donne les résultats regroupés dans le tableau n° 6-10.

LE FURON A ENGINS									
ANNEE	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	Moy.
Débit en m^3/s	-	1.38	0.951	0.768	0.822	0.852	1.25	0.795	0.974
Vol. eau écoulée en m3	-	43520.10^3	29991.10^3	24220.10^3	25923.10^3	26869.10^3	39420.10^3	25071.10^3	30717.10^3
Précipitations annuelles en m	-	1.660	1.218	1.182	1.266	1.283	1.513	1.146	1.324
Surface estimée en km2	-	26.2	24.6	20.5	20.9	20.9	26.1	21.8	23.2
BRUYANT									
ANNEE	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	Moy.
Débit en m^3/s	-	0.569	0.388	0.336	0.307	0.318	(0.523)	(0.324)	0.395
Vol. eau écoulée en m3	-	17944.10^3	12236.10^3	10596.10^3	9682.10^3	10028.10^3	16493.10^3	10218.10^3	12457.10^3
Précipitations en m	-	1.660	1.218	1.182	1.266	1.283	1.513	1.146	1.324
Surface estimée en km2	-	10.8	10.05	9	8.2	7.8	10.9	8.9	9.4
GERME (Cuves de Sassenage)									
ANNEE	1969	1070	1971	1972	1973	1974	1975	1976	Moy.
Débit en m^3/s	0.586	0.877	0.434	0.391	0.570	(0.510)	0.636	0.320	0.541
Vol. eau écoulée en m3	18480.10	27657.10^3	13687.10^3	12331.10^3	17976.10^3	16083.10^3	20057.10^3	10092.10^3	17061.10^3
Précipitations annuelles en m	1.426	1.660	1.218	1.182	1.266	1.283	1.513	1.146	1.324
Surface estimée en km2	13	16.7	11.2	10.4	14.2	12.5	13.3	8.8	12.9

NB : Les résultats entre parenthèses ont été estimés.

Tableau n° 6-10 - Valeurs estimées des surfaces

L'analyse de ce tableau appelle quelques commentaires.

1) La surface du bassin du Furon à Engins ne peut pas être inférieure à 20.5 km^2 et est sûrement supérieure à 26.2 km^2.

2) La surface du sous-bassin du Bruyant ne peut être inférieure à 7.8 km^2 mais elle est sûrement supérieure à 10.9 km^2.

3) La surface du sous-bassin du Germe ne peut pas être inférieure à 8.8 km^2 mais est sûrement supérieure à 16.7 km^2.

En effet étant donné que la valeur de l'infiltration ne peut pas être égale à 100 %,on déduit que la surface réelle des bassins est sûrement plus élevée que ces chiffres dans la mesure où les précipitations n'ont pas été sous-estimées.

Les valeurs obtenues sont à comparer à celles calculées par planimétrage des bassins définis en fonction de la géologie, de la topographie et des résultats des expériences de coloration, qui sont les plus vraisemblables.

Le Furon à Engins	33 km^2
Le Bruyant	10-15 km^2
Le Germe	15-17 km^2

Pour les calculs nous prenons 33 km^2 pour le Furon, 12 km^2 pour le Bruyant et 15 km^2 pour le Germe. Ces chiffres nous semblent les plus proches de la réalité.

6.3.4. PREMIERE ESTIMATION DE L'INFILTRATION

Les surfaces les plus probables des bassins étant ainsi définies,ainsi que la pluviométrie annuelle,nous pouvons essayer de chiffrer l'infiltration selon les équations suivantes et à l'échelle annuelle (année hydrologique).

L'équation utilisée : $I = \frac{Q \times t}{S} \times 1000$

I = hauteur d'eau infiltrée en mm

Q = débit moyen annuel en m^3/s

t = temps en secondes = $31536\ 10^3$

S = surface du bassin en m^2

Le rapport entre la hauteur d'eau infiltrée et la hauteur d'eau tombée nous donne le pourcentage ou coefficient d'infiltration.

Signalons que cette équation simple tient compte des considérations précédentes surtout de celle qui dit que le volume d'eau infiltréeest dû uniquement aux préciptations.

Le terme concernant les variations des réserves et qui fait partie du bilan hydrologique n'est pas présenté dans cette équation étant donné que les variations des réserves d'une année à l'autre ne doivent pas être importantes parce que le karst ne possède qu'une capacité de stockage très limitée dans le temps. L'ordre de grandeur des volumes des réserves calculé à partir des courbes de tarissement le prouve.

De même on remarque que le karst possède une mémoire courte à l'échelle du mois. Cela explique que la période de non-précipitation influence fortement les débits surtout si cette période dure longtemps.

L'application de cette équation a été faite pour les trois stations et pour toutes les années d'études , les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau n° 6-11.

LE FURON A ENGINS					LE BRUYANT					LE GERME (Cuves de Sassenage)				
	Débit	P	I	%		Débit	P	I	%		Débit	P	I	%
Année	m^3/s	mm	mm		Année	m^3/s	mm	mm		Année	m^3/s	mm	mm	
1969	-	-	-	-	1969	-	-	-	-	1969	0.586	1426	1232	86
1970	1.38	1660	1318	79	1970	0.569	1660	1495	90	1970	0.877	1660	1844	?
1971	0.951	1218	909	75	1971	0.388	1218	1020	84	1971	0.434	1218	912	75
1972	0.768	1182	734	62	1972	0.336	1182	883	75	1972	0.391	1182	822	70
1973	0.822	1266	786	62	1973	0.307	1266	807	64	1973	0.570	1266	1198	95
1974	0.852	1283	814	63	1974	0.318	1283	836	65	1974	(0.510)	1283	1072	84
1975	1.25	1513	1194	79	1975	(0.523)	1513	1374	91	1975	0.636	1513	1337	88
1976	0.794	1146	759	66	1976	(0.324)	1146	851	74	1976	0.320	1146	673	59
Moy	0.974	1324	930	69	Moy	0.395	1324	1038	78	Moy	0.541	1337		80
Surface = 33 km^2					Surface = 12 km^2					Surface = 15 km^2				

Tableau n° 6-11 - Valeurs estimées de l'infiltration

On remarque tout d'abord que les valeurs des coefficients d'infiltration obtenues sont fortes et que les valeurs propres au bassin du Furon à Engins sont moins élevées et ne présentent pas de variations aussi marquées d'une année à l'autre que celles des sous-bassins du Bruyant et du Germe.

Cela peut être expliqué par :

1) Les surfaces sous-estimées des sous-bassins donnent des valeurs élevées.

2) L'augmentation du volume écoulé dû aux erreurs sur les mesures des débits, ou à une suralimentation par des fuites, est variable d'une année à l'autre. Ceci peut expliquer les valeurs élevées et leurs variations d'une année à l'autre.

3) Les précipitations sous-estimées provoquant aussi un tel phénomène.

4) L'inégale répartition de la nature des terrains favorables à l'infiltration pour les différents bassins et sous-bassins (Lapiaz de Sornin ou de Moucherotte, Val de Lans, Vallon du haut Furon) peut aussi contribuer à une explication des variations du coefficient d'infiltration d'un bassin à l'autre

5) A signaler que la taille du bassin atténue les erreurs et les fluctuations.

On constate aussi que les valeurs des coefficients d'infiltration calculés à l'échelle annuelle sont plus élevées que les coefficients d'infiltration calculés à l'échelle de l'averse. Cette différence vient de ce que les averses choisies se situent toutes en période chaude ou l'évapotranspiration est maximale.

Mais au point de vue bilan général ces averses ne représentent qu'une faible part des précipitations annuelles. L'essentiel de l'infiltration est dû à la fonte plus ou moins brutale de la neige qui provoque un écoulement souterrain très important durant une période relativement courte (trois mois environ). Ce volume d'eau dépasse quelquefois la moitié du volume total écoulé durant l'année. Il faut noter que la présence pendant plusieurs mois du manteau neigeux favorise la sublimation.

A noter aussi que le calcul de l'infiltration à l'échelle du mois n'est pas valable car le stockage des précipitations sous forme de neige perturbe complètement la corrélation pluie-débit. On obtient des valeurs très faibles pour les mois neigeux (novembre, décembre, janvier,,) et des valeurs très fortes pour les mois de fonte des neiges (mars, avril, mai...). Pour les mois où la neige n'intervient pas le calcul du coefficient est possible. En détaillant chaque cas on aboutit aux explications suivantes :

1) Cas du Bruyant : On a supposé que la surface du Bruyant ne peut pas être inférieure à 7.8 km^2 mais elle est supérieure à 10.9 km^2. L'étude topographique ne peut pas expliquer l'ordre de grandeur de ces chiffres car elle donne des chiffres inférieurs. Cela nous amène donc à un recours à la géologie et au plateau du Moucherotte - Pic Saint-Michel, cette surface nous semble probable. Le développement du réseau souterrain de ce plateau consolide notre choix. Mais cela n'a pas été encore prouvé ni par la coloration ni par la spéléologie.

Une surface de 12 km^2 pour le Bruyant nous semble vraisemblable. Ne pouvant pas augmenter la surface du Bruyant on est obligé pour expliquer les valeurs élevées du coefficient d'infiltration d'admettre des erreurs sur les mesures des débits qui sont probables en raison des problèmes posés par la station ou une sous-estimation des précipitations qui est aussi probable.

En écartant les valeurs trop élevées (1970,1975) on aboutit à un coefficient d'infiltration moyen de l'ordre de 72 %.

2) Cas du Germe : Tout d'abord on remarque que l'année 1970 présente des valeurs exceptionnelles par rapport aux autres années. Pour avoir une moyenne plus ou moins homogène et représentative nous ne tenons pas compte de ces valeurs. Cela nous amène à dire que la surface minimale est de 8.8 km^2 et que la surface réelle est supérieure à 14.2 km^2. L'expérience de coloration que nous avons réaliséea prouvé une suralimentation de ce sous-bassin par le Furon. Cela augmente donc le volume écoulé et par conséquent augmente la valeur du coefficient d'infiltration.

En admettant que la surface de 15 km^2 estimée et utilisée pour le calcul est insuffisante et en adoptant 17 km^2 on peut diminuer le coefficient d'infiltration jusqu'à 71 % de moyenne.

6.3.5 . DEUXIEME ESTIMATION DE L'INFILTRATION

L'estimation de l'infiltration précédente était basée sur deux facteurs, les précipitations et les volumes d'eaux écoul et en utilisant la surface du bassin. Maintenant nous allons essayer d'estimer l'infiltration à partir du bilan hydrologique simplifié $P = E + I$ ou $I = P - E$.

P = précipitations annuelles en mm

I = Infiltration annuelle en mm

E = Evapotranspiration annuelle en mm

Dans cette équation aussi, le ruissellement est supposé pratiquement nul. L'élément nouveau ici est l'évapotranspiration qui a été étudié dans le chapitre de climatologie selon différentes méthodes. La précision sur l'évaluation de ce paramètre est de l'ordre $\pm$ 20 %. Il se présente donc comme un terme très délicat à évaluer.

Précisons aussi que l'évapotranspiration est relative à un point et non pas à un bassin ; une extrapolation provoque donc forcément des erreurs.

Pour nos calculs nous allons utiliser les valeurs des différentes méthodes (Turc, Coutagne, Thornthwaite). A signaler que dans cette formule la surface des bassins et le débit n'interviennent pas.

Les valeurs obtenues en appliquant les différentes méthodes sont regroupées dans le tableau suivant.

Année	P mm	E mm	I mm	%	P mm	E mm	I mm	%	P mm	E mm	I mm	%
1969	1366	440	926	68	1366	410	956	70	1366	436	830	61
1970	1573	450	1123	71	1573	419	1154	73	1573	520	1053	67
1971	1185	442	743	63	1185	423	762	64	1185	486	699	59
1972	1185	448	737	62	1185	430	755	64	1185	543	642	54
1973	1250	445	805	64	1250	423	827	66	1250	520	730	58
1974	1455	461	994	68	1455	435	1020	70	1455	542	913	63
1975	1419	463	956	67	1419	440	979	69	1419	537	882	62
1976	1162	456	706	61	1162	444	718	62	1162	543	619	53
E	Selon TURC				Selon Coutagne				Selon Thornthwaite			

Tableau n°6-12 - Estimation de l'infiltration à partir de l'équation du bilan simplifié.

6.3.5.1 DISCUSSION DES RESULTATS

Précisons que cette équation ne nous donne que l'ordre de grandeur du coefficient d'infiltration moyen de tout le bassin et non pas celui des sous-bassins séparément car les données limitées sur les précipitations et les températures ne le permettent pas.

En résumant les résultats du tableau on voit que les valeurs des coefficients d'infiltration ne présentent pas pour les trois méthodes utilisées des variations considérables d'une année à l'autre.

Les deux méthodes de Turc et de Coutagne donnent des résultats très proches: 66 % en moyenne pour Turc et 67 % pour Coutagne. Tandis que la méthode de Thornthwaite donne une valeur moyenne de 60 %.

Nous allons adopter les valeurs données par la méthode de Turc. Ce choix a été conditionné par les résultats de l'étude intitulée " Déficit d'écoulement et évapotranspiration dans les Alpes du Nord. (J.C. Fourneaux et J. Sarrot-Reynauld) (1977) " Les travaux menés dans cette région depuis maintenant une dizaine d'années montrent que,des formules proposées, celle de Turc paraît s'adapter le mieux aux conditions climatiques ".

Les valeurs obtenues selon cette méthode varient entre 61 % et 71 %. A noter que le phénomène de sublimation de la neige qui augmente les valeurs de l'évapotranspiration et par conséquent diminue le coefficient d'infiltration n'est pas pris en considération.

Par contre l'utilisation de l'évapotranspiration obtenue en tenant compte du gradient thermique fait augmenter le coefficient de l'infiltration.

En résumé,plusieurs facteurs interviennent dans cette estimation mais l'ordre de grandeur de ce coefficient à l'échelle de l'année et dans le karst nous paraît possible et,pour pouvoir tenir compte des différents facteurs,une valeur du coefficient d'infiltration comprise entre 60 % et 70 % nous semble très probable.

6.4. CONCLUSION

Dans les chapitres précédents nous avons traité des précipitations et des débits ainsi que d'autres facteurs climatiques indépendamment. Dans ce chapitre nous avons essayé de mettre en relief la relation pluie-débit en utilisant trois méthodes d'analyse que nous résumons ainsi.

Tout d'abord précisons que nous avons considéré que les volumes d'eaux écoulées mesurés aux stations de mesure proviennent uniquement des précipitations, ce qui nous permet de remplacer le terme débit par infiltration. La relation devient pluie-infiltration.

- Méthode de régression linéaire. La relation entre pluie-débit est évidente étant donné que le débit représente la part des précipitations infiltrées. Cette relation paraît simple puisqu'une augmentation de précipitation engendre une augmentation de débit. Mais les nombreux facteurs qui peuvent influencer ce phénomène le rendent complexe. Il nous semble illusoire d'espérer déterminer tous ces facteurs. Dans cette méthode nous avons tenu compte des facteurs climatiques ayant le plus d'influence et dont nous possédons des données pour pouvoir tenir compte du maximum de facteurs, nous avons traité les valeurs par étapes.

La méthode de régression linéaire nous a permis de confirmer l'irrégularité des débits et l'influence des saisons sur les débits. L'influence de la neige est donc confirmée. Le rôle de la température dans le processus de fonte des neiges est mis en évidence. La variable représentant les précipitations mensuelles du mois est la plus représentative. Elle nous a permis l'estimation la plus probable du débit grâce aux équations de la régression.

- La deuxième méthode d'étude du transfert précipitations-débits d'un réseau karstique nous a permis de sentir l'influence des précipitations sur le débit à l'échelle de l'averse grâce à l'étude de l'hydrogramme et de l'hyétogramme. Elle a mis l'accent sur quelques caractéristiques du karst en déterminant le temps de réponse qui est de l'ordre de quelques heures ainsi que le temps de montée. Cela confirme l'idée déjà énoncée concernant le faible pouvoir de ce karst de stocker l'eau.

De même elle donne une idée sur la vitesse d'infiltration qui est grande.

L'étude de plusieurs exemples nous a permis de constater que plusieurs facteurs peuvent conditionner cet événement. Une réaction nulle du débit vis-à-vis d'une averse peut être expliquée par des causes diverses; intensité, homogénéité, durée de l'averse, ainsi que l'état du karst avant l'averse, l'évapotranspiration, etc...

La 2ème méthode nous a permis aussi de chiffrer l'ordre de grandeur de l'infiltration qui varie entre 10 % et 48 %. Cela après avoir estimé la surface du bassin versant.

- La troisième méthode d'essai de détermination du coefficient d'infiltration

nous a permis de chiffrer le coefficient d'infiltration à l'échelle annuelle grâce d'une part à une estimation de la surface la plus probable du bassin à partir de la topographie, de la géologie ainsi que de la méthode statistique et d'autre part à une simplification du bilan hydrologique.

En se basant sur l'équation $I = \frac{Q \times t}{S} \times 100$, on a pu avoir une estimation de l'infiltration des bassins et des sous-bassins avec une moyenne de 67 % pour le Furon , 72 % pour la surface du Bruyant et 80 % pour le Germe correspondant à une estimation de la surface à 15 km^2, et une valeur de 71 % pour une surface de 17 km^2.

La méthode du bilan hydrologique simplifié consiste à retrancher uniquement de la valeur des précipitations les valeurs de l'évapotranspiration; la hauteur d'eau restante correspond à la part de l'infiltration.

Les valeurs moyennes du coefficient d'infiltration pour tout le bassin varient entre 60 % et 67 % selon la formule utilisée pour le calcul de l'évapotranspiration. La formule de Turc est la plus représentative de l'évapotranspiration de notre bassin; le coefficient correspondant est alors de 66 %.

D'une manière générale une valeur du coefficient comprise entre 60 % et 70 % nous semble très probable et acceptable.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Malgré les progrès et l'évolution des recherches sur les milieux karstiques, beaucoup de problèmes restent à résoudre.

De nombreuses études hydrogéologiques concernant le karst ont en effet plus ou moins échoué car elles n'ont pas pris en considération la complexité des phénomènes et des facteurs qui entrent en jeu. Ces échecs proviennent aussi soit d'observations insuffisantes soit d'extrapolations à l'échelle régionale de données ponctuelles ou de l'attribution d'une portée trop générale à un événement déterminé dans le temps.

Une étude hydrogéologique valable nécessite donc une coordination de toutes les méthodes : climatologie, hydrologie, hydrogéologie, géomorphologie etc... C'est ce que nous avons essayé de faire dans notre étude afin d'arriver à déterminer les caractéristiques importantes de notre karst et surtout l'infiltration, en exploitant à fond toutes les données existantes.

Le phénomène d'infiltration est rendu complexe par les facteurs multiples qui le conditionnent et il nous semble presque impossible de décomposer totalement le mécanisme de ce phénomène, d'où l'intérêt d'une explication même si elle n'est pas totale. Dans nos recherches, nous avons réservé une bonne place à l'étude des précipitations, en raison d'une part de l'importance qu'elles occupent dans toute étude hydrogéologique et d'autre part du manque des données représentatives, dues au nombre limité des stations pluviométriques.

L'utilisation des méthodes statistiques nous a permis d'améliorer les données concernant la pluviométrie, les débits, les températures, d'estimer les données manquantes et de montrer les relations existantes entre ces différents facteurs. L'inexistence d'un véritable gradient altimétrique de précipitation, ainsi que le manque de stations pluviométriques à haute altitude ne nous ont pas permis de déterminer exactement la quantité d'eau précipitée, ni la hauteur de neige qui ont un rôle important dans le régime des débits.

Ce fait est la cause principale des erreurs qui peuvent intervenir dans nos calculs du bilan et dans l'estimation de l'infiltration.

L'étude des débits à différentes échelles, consacrée au Furon et aux émergences du Bruyant et des uves de Sassenage a mis en évidence l'irrégularité de ce régime. Cette irrégularité est moins marquée à l'échelle annuelle qu'à l'échelle mensuelle, journalière ou instantanée. L'influence de la fonte des neiges sur ce facteur est très visible, les hautes eaux se situant à cette période.

L'étude des débits nous a permis de déterminer quelques caractéristiques du karst . En particulier,la variabilité des débits montre bien l'importance des gros chenaux dans notre massif et la capacité des réserves apparait faible ce qui entraîne la gravité d'un étiage trop long, mais la répartition assez régulière des précipitations à l'échelle mensuelle rend ce phénomène rare.

Nous avons pu montrer aussi grâce à l'étude de très nombreuses courbes de

tarissement et pour les trois stations de mesures que notre bassin comportait des possibilités de stockages limitées.

La contribution apportée à la connaissance du système karstique de notre bassin par la détermination du temps de réponse et du temps de remontée des crues provoquées par des averses isolées qui sont de l'ordre de quelques heures, résulte de l'analyse directe des relations pluie-débit. Quoi qu'il en soit les volumes d'eaux écoulées mesurés représentent sensiblement la part des précipitations infiltrées.

Grâce à l'étude des fissures, on a pu estimer l'ordre de grandeur de la perméabilité des calcaires du plateau de Sornin (10^{-7} m/s) ainsi que le sens d'écoulement des eaux souterraines correspondant au sens de la perméabilité maximale et à un drainage du plateau de Sornin par les Cuves de Sassenage.

La méthode utilisée prouve le rôle important des fissures et des fractures dans l'orientation de l'écoulement et il est souhaitable de pouvoir réaliser une étude plus détaillée dans l'avenir couvrant tout le bassin versant du Furon.

D'une manière générale, la notion du bassin versant est difficile à concrétiser dans un massif karstique en raison des pertes et des apports qui ne sont probablement ni permanents ni constants. Cela veut dire que l'aire d'alimentation ou plus clairement la surface d'infiltration n'a pas la même extension à tous les instants, certains secteurs pouvant participer à l'alimentation de façon permanente alors que d'autres n'interviennent que temporairement.

Dans le massif étudié, le bassin versant réel est mal délimité. Les expériences de traçages déjà utilisées nous ont permis de déterminer un sens d'écoulement des eaux souterraines et par conséquent un périmètre d'alimentation mais cela n'est valable qu'à un moment donné et il est possible et probable que les directions et modes d'écoulement varient beaucoup au cours de l'année dans notre système karstique à la différence de ce qui se passe en milieux poreux.

Le choix des limites du bassin versant que nous avons fait tient compte des résultats de toutes les données géologiques et des résultats d'expériences de coloration disponibles mais nous avons vu que se pose encore malgré tout le problème de savoir si l'extrémité sud du bassin versant du Furon participe de façon permanente ou non à l'alimentation de ce cours d'eau.

De même, on ne peut affirmer définitivement que le plateau de St Nizier participe de façon constante à l'alimentation du Germe. Il serait donc nécessaire pour l'avenir de réaliser de nouvelles colorations à différentes périodes de l'année. Ce n'est qu'alors que l'on pourra améliorer la délimitation du bassin versant, mais on devra peut-être alors introduire une notion de fluctuation de la surface du bassin en fonction de la période considérée. Ceci entraîne que l'on ne peut définir que les valeurs extrêmes des données d'entrée et que, s'il convient de réduire au maximum l'écart de la fourchette entre ces valeurs extrêmes, il est impossible et non souhaitable de le supprimer totalement ce qui entraînera l'existence également d'une

fourchette dans laquelle se situeraient les données de sortie, c'est-à-dire les valeurs de l'infiltration.

Le coefficient d'infiltration peut prendre des valeurs extrêmement variables selon l'échelle de temps considérée. Comme nous l'avons constaté par le calcul, les facteurs jouant à l'échelle de l'averse n'ont pas les mêmes effets qu'à l'échelle mensuelle ou annuelle.

C'est ainsi que les variations d'une année à l'autre du coefficient d'infiltration ne sont pas très marquées. Cela a été prouvé par l'étude des débits dont les variations du module d'une année à l'autre sont faibles. L'erreur commise sur le coefficient d'infiltration annuelle nous semble donc petite.

La présence du manteau neigeux pendant plusieurs mois ainsi que la fonte des neiges qui dure aussi plusieurs mois rendent le calcul du coefficient d'infiltration à l'échelle mensuelle sans intérêt. Par contre le calcul est possible pour les autres mois.

Les valeurs du coefficient d'infiltration proposées par les auteurs dans différents massifs calcaires présentent des variations considérables qui s'expliquent d'une part par les conditions climatiques extrêmement différentes qui règnent sur ces bassins et d'autre part par les incertitudes dues aux valeurs utilisées. Toutes ces conditions ont amené les auteurs à donner des fourchettes plus ou moins serrées de ce coefficient et non pas des valeurs précises. Mais pour tous les massifs étudiés, les valeurs du coefficient d'infiltration sont élevées.

Nous constatons que les facteurs jouant un rôle dans le karst sont très nombreux et variables. Un phénomène de compensation des erreurs peut intervenir dans les calculs en raison du nombre considérable des facteurs qui entrent en jeu mais vouloir expliquer le mécanisme de l'écoulement dans un karst donné par des équations et des lois définies pour le karst en général nous semble vain étant donné que chaque karst est un cas spécial qui ne réagit pas de la même façon vis-à-vis de l'influence extérieure.

Le karst est un milieu hétérogène et anisotrope. Les phénomènes hydrogéologiques sont influencés par cette hétérogénéité et par l'hétérogénéité climatique. Le karst subit donc une double influence.

C'est en raison de la multitude des facteurs qui entrent en jeu et qui sont liés à ces hétérogénéités qu'il ne s'est pas avéré possible de réaliser un modèle dont l'établissement aurait nécessité des données dont nous ne disposons pas et des simplifications très importantes entraînant le risque que le modèle ne traduise plus la réalité des phénomènes.

Toutes les méthodes utilisées durant cette étude conduisent toutefois à des résultats convergents qui paraissent donc permettre de définir valablement les caractéristiques du système étudié.

Bien que notre travail n'ait pas rés lu tous les problèmes qui se sont présentés en cours d'étude nous pensons qu'il a contribué à une connaissance du système karstique de notre bassin en déterminant plusieurs caractéristiques et,malgré les simplifications réalisées,nous pensons que les résultats concernant le coefficient d'infiltration sont acceptables.

ABREVIATIONS

B.R.G.M.	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
B.S.N.S.N.	Bulletin de la Société Neuchatelloise des Sciences Naturelles
C.R.A.S.	Compte Rendu de l'Académie des Sciences (Paris)
C.R.S.G.F.	Compte Rendu de la Société Géologique Française (Paris)
D.D.A.	Direction Départementale de l'Agriculture
E.D.F.	Electricité de France
E.N.S.H.G.	Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique de Grenoble
S.G.C.A.F.	Spéléo-Groupe du Club Alpin Français
S.R.A.E.	Service Régional de l'Aménagement des Eaux

BIBLIOGRAPHIE

ACTES DU PREMIER COLLOQUE D'HYDROLOGIE EN PAYS CALCAIRE - (1971) - Besançon 8/9 Octobre *Extrait des Annales Scientifiques de l'Université de Besançon. Géologie, 3è série, fasc. 15, 348 p.*

ARNAUD C.L., LUCAS K.L. - (1972) - Contribution à l'étude du plateau de Sornin-Vercors Isère. *Etude phototectonique. Photo Interprétation : 72-2.*

ARNAUD H. - (1965) - Contribution à l'étude géologique du Vercors méridional. *Grenoble Institut de Géologie. - 77 p. Thèse de 3è Cycle.*

ARNAUD H. - (1978) - Principales données structurales et lithologiques influant sur les circulations souterraines et les phénomènes karstiques du Vercors. *p. 13-28, in " Grottes et scialet du Vercors, Inventaire spéléologique, Tome 1, Vercors méridional, Grenoble, Comité Départemental de spéléologie de l'Isère (1978). 274 p.*

ARNAUD VANNEAU A., ARNAUD H. - (1976) - L'évolution paléogéographique du Vercors au Barrémien et à l'Aptien inférieur (chaines subalpines septentrionales). *Géologie Alpine, t.52, p. 5-30.*

ASSOCIATION INTERNATIONALE D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE UNESCO - (1967) - Hydrologie des roches fissurées. Hydrology of fractured rocks. *Actes du Colloque de Dubrovnik - Proccedings of the Dubrovnik Symposium - Octobre 1965. s.l. Unesco, 1967 - T1 : 420 p., T II : 423-690.*

BAKALOWICZ M., OBERLIN G. - (1972) - Pour une méthodologie des évaluations de l'évapotranspiration. *Journal of hydrology n° 15, p. 187-191.*

BAKALOWICZ M. - (1973) - Les grandes manifestations hydrologiques des karsts dans le monde. *Spelunca n° 2, p. 38.40.*

BARBIER J.L. - (1971) - Décrue et tarissement d'un aquifère karstique des eaux de la Luire Bornillon - Vercors - Drôme. *C.R.A.S. - Paris t. 272, p.2860-2863.*

BARBIER J.L. - (1972) - Etude hydrogéologique de la haute vallée de la Vernaison et de ses bordures. *Grenoble, Institut de Géologie. - 135 p. Thèse de 3ème Cycle.*

BARBIER R. - (1960) - Le rôle des paléokarsts dans la formation des réseaux karstiques actuels et leurs répercussions sur l'hydrogéologie de ces régions. *C.R. Soc. Géol. , fr.3, p. 59-60.*

BARBIER R. -(1960) - Les conditions géologiques de la chute de Sassenage près de Grenoble. *Bull.Soc.Géol. Fr. 7ès., t.II. p. 824-830.*

BELLAMY J. -(1963) - Contribution à l'étude géologique du Vercors septentrional. *Grenoble, Institut de Géologie., 90 p. - Thèse de 3ème Cycle.*

BERKALOFF E. - (1967) - Limite de validité des formules courantes de tarissement du débit. *Chron. Hydrogéol., B.R.G.M.- III, n° 10, p. 31-41.*

BLACHE J.-(1925) - Relief préalpin et relief jurassien.*Annales de géographie , t.*XXXIV, *n° 191, p. 398-412.*

BLANCHARD R. - (1911) - Esquisse géographique des préalpes de la Drôme - 71 p.

BOURGIN A. - (1941) - La Bourne et ses affluents souterrains. *Revue de Géographie alpine, t.29, fasc 1, p. 39.*

BLACHE J. -(1931) - Les massifs de la Grande Chartreuse et du Vercors. *Etude géographique; T.I, Géographie physique (Thèse, lettres ,Grenoble, Allier)*

BOIS Ph. - (1977) - Hydrologie générale 2è Année. *Grenoble E.N.S.H., 155 p.*

BROUILLARD J.F. -(1975) - Notes sur l'utilisation de la spectrofluorimétrie en hydrologie . *Spelunca n° 1, p. 33-34.*

BRUN F., DUMAS G. -(1974) - Etude de la protection contre les crues dans le bassin de l'Orb. *Houille Blanche n° 415, p. 279-290.*

BULLETIN ANNUEL DU GROUPE SPELEO DE GRENOBLE. *Compte rendus des activités du S.G.C.A.F. de 1971-1977.*

BULLETIN DU CENTRE D'HYDROGEOLOGIE - (1976) - Université de Neuchâtel, Institut de Géologie *N° 1 Septembre 1976 - 142 p.*

CADOUX J., LAVIGNE J., POTIE L., MATHIEU G. - (1955) - Opération 1000 , *Grenoble, Arthaud , 264 p.*

CASTANY G.L. -(1967) - Traité pratique des eaux souterraines. *2è ed., Paris, Dunod, 659 p.*

CASTANY G. -(1967) - Introduction à l'étude des courbes de tarissement. *Chronique d'hydrogéologie (B.R.G.M.) n° 10, p. 23-30.*

CASTANY G., MARGAT J. - (1977) - Dictionnaire français d'hydrogéologie. *Orléans, B.R.G.M., 249 p.*

CHARRIERE R. - (1974) - Perfectionnements à la mesure de traceurs fluorescents, applications à l'hydrogéologie. *Grenoble, Institut de géologie, 197 p., Thèse de 3è Cycle.*

CHOPPY J. - (1964) - Les types de cavités du Vercors. *Spelunca 4è série, mémoires n° 4. p. 50-56.*

COLLOQUE SUR L'HYDROGEOLOGIE KARSTIQUE DU MASSIF DU VERSORS, GRENOBLE, 16 Nov. 1968. *Trav. du Lab. Géol. Grenoble. mém. n° 8, t. I,II.*

CONSTANTINIDIS D. - (1978) - Hydrodynamique d'un système aquifère hétérogène. Hydrogéologie de la Thessalie orientale. *Grenoble, Institut de Géologie. - 288 p. Thèse Docteur es science.*

CONSTANTINIDIS D., SARROT-REYNAULD J. - (1978) - Comparaison des méthodes de détermination du coefficient d'emmagasinement des nappes aquifères. Applications aux formations alluviales et karstiques de Thessalie orientale (Grèce). *103è Congrès des Sociétés Savantes - Nancy - fasc. IV, p.153-164.*

CORBEL J. - (1956) - Le karst du Vercors - *Revue de Géographie de Lyon, vol.XXXI, n°3, pp. 221-241.*

CORBEL J. - (1957) - Karst haut-alpins - *Revue de Géographie de Lyon, vol XXXII, n° 2, pp. 135-158.*

DEBELMAS J. - (1965) - Quelques observations nouvelles sur l'extrémité N. orientale du massif du Vercors. *Trav. Lab. Géol. Grenoble. Tome 41, p. 275-281.*

DEBELMAS J. - (1966) - Structure géologique du massif du Moucherotte (Vercors-Isère). *Trav. Lab. Géol. Grenoble. Tome 42. p. 110-116.*

DEBELMAS J. ed. - (1970) - Alpes et Dauphiné, Guides géologiques régionaux. *Paris, Masson, 213 p.*

DEBELMAS J. - (1974) - Géologie de la France . Tome 2 : les chaînes plissées du cycle alpin et leur avant pays. *Paris, ed. Doin, 540 p.*

DELSOL F. - (1976) - L'évolution du manteau neigeux et le déclenchement des avalanches. *La Houille Blanche, n° 617, p. 485-488.*

DERRUAU M. - (1962) - Précis de géomorphologie - *Paris, Masson - 3è ed., 415 p.*

DEUXIEME COLLOQUE D'HYDROLOGIE EN PAYS CALCAIRE - (1976) - Besançon-Neuchâtel 7/10 Octobre. *Annales Scientifiques de l'Université de Besançon, 3è série, Géologie, fasc 25, 1976. 435 p.*

DOUGUEDROIT A., DE SAINTIGNON M.F. - (1970) - Méthodes d'étude de la décroissance des températures en montagne : exemple des Alpes françaises du Sud. *Revue de géographiealpine LVIII, p. 453-472.*

DROGUE C. - (1971) - Coefficient d'infiltration ou infiltration efficace sur les roches calcaires. *Actes Colloq. Hydrologie en pays calcaire, Besançon, Ann. Sci. Univ. Besançon, 3è série. Fasc 15, p. 121-130.*

DROGUE C. - (1972) - Analyse statistique des hydrogrammes de décrues des sources karstiques. *Journal of hydrology. Vol. XV, n° 1, p. 49-68.*

DROGUE C., GUILBOT A. - (1977) - Représentativité d'un bassin témoin en hydrogéologie karstique. Application à la modélisation des écoulements souterrains d'un aquifère de grande extension. *Journal of hydrology, 32, p57-70.*

DUBAND D. - (1978) - Hydrologie statistique approfondie. *Grenoble E.N.S.H. Pag.milt.*

DUBREUIL P. - (1974) - Initiation à l'analyse hydrologique - *Paris, Masson . - 216 p.*

FOURNEAUX J.C. - (1975) - Etude des échanges nappe-rivière. La nappe de la plaine de l'Isère dans l'ombilic de Grenoble. *Grenoble, Institut de Géologie, 327 p. - Thèse de Doctorat d'Etat.*

FOURNEAUX J.C., SARROT-REYNAULD J. - (1977) - Déficit d'écoulement et évapotranspiration dans les Alpes du Nord. *102è Congrès national des Sociétés Savantes. Limoges, Sciences, fasc. 11, p. 215-226.*

FRANCISS F.O. - (1970) - Contribution à l'étude du mouvement de l'eau à travers les milieux fissurés. *Grenoble, Institut Géologie, Pag. mult. Thèse de Docteur ingénieur.*

GALABOV M. - (1972) - Sur l'expression mathématique des hydrogrammes des sources et le pronostic du débit. *Bulletin du B.R.G.M. , III, n° 2, p. 51-57.*

GEZE R. - (1965) - Les conditions hydrogéologiques des roches calcaires. *Chronique d'hydrogéologie, n° 7, p. 9-39.*

GIGNOUX M., MORET L. -(1952) - Géologie Dauphinoise. Initiation à la géologie par l'étude des environs de Grenoble. *Paris , Masson 383 p.*

GRILLOT J.C., DROGUE C. - (1977) - Sur le rôle de la fracturation dans l'organisation de certains phénomènes karstiques souterrains. *Norois, n° 95, bis nov. p.11-21.*

GROUPE CHADULE - (1974) - Initiation aux méthodes statistiques en géographie. *Paris, Masson, 192 p.*

GUILCHER A. - (1965) - Précis d'hydrologie marine et continentale. *Paris, Masson, 390 p.*

GUILLOT P.L. - (1969) - Quatre conférences sur la prévision hydrologique. *96 p.*

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGISTS ASSOCIATION INTERNATIONALE DES HYDROGEOLOGUES - (1977) - *Mémoires. Vol. XIII - part papers -Birmingham Congress - United Kingdom - 24-30 July 1977 - paeg mult.*

JAIL M., MARCHINI J. - (1967-1976) - Observations météorologiques - dans le département de l'Isère pour les années 1967-1976. *Revue de géographie alpine.*

JAIL M. - (1971) - La trombe d'eau du 5 Juillet 1971. *Revue de geographie alpine LIX, p. 593-600.*

JAMIER D. - (1976) - Etude de la fissuration de l'hydrogéologie et de la Géochimie des eaux profondes des massifs de l'Arpille et du Mont Blanc. *Neuchatel, Institut de Géologie, 153 p. Thèse Doctorat d'Etat.*

JEKHOWSKY B. de - (1977) - Eléments de statistique à l'usage des géologues. *Paris, ed. Technip. 407 p.*

JEREMIE J.J. - (1976) - Contribution à l'étude des paramètres hydrologiques de la région lémanique. *Paris, Université Pierre et Marie Curie. Paris VI, 247 p. - Thèse de 3è Cycle.*

KIRALY L. - (1969) - Anisotropie et hétérogénéité de la perméabilité dans les calcaires fissurés. *Eclogae geol. helv., 62/2, p. 613-619.*

KIRALY L. - (1970) - L'influence de l'hétérogénéité et de l'anisotropie de la perméabilité sur les système d'écoulement. *Bull. ver. schweiz. Pétrol. Géol. U. Ing. Vol. 37, NV 91, oct. S. p. 50-57.*

KIRALY L. - (1975) - Rapport sur l'état actuel des connaissances dans le domaine des caractères physiques des roches karstiques. *Intern. Union. of géol. scient B., 3, I AH, p. 53-67.*

KYROUSSIS J. - (1979) - Infiltration et alimentation des aquifères alluviaux. Détermination du coefficient d'infiltration dans la coombe de Savoie. *Grenoble, Institut de Géologie., 240p. - Thèse de 3è Cycle.*

LAFOSSE, BARTALA, LABADENX - (1968) - Par régional du Vercors. Inventaire des ressources en eau superficielle et souterraine. Inventaire des ressources d'A.E.P. et d'assainissement. *Lyon S.R.A.E.*

LEMORDANT Y. - (1977) - Infiltration et transfert des eaux souterraines en pays karstique. Le plateau du Mont Revard (Savoie). *Grenoble, Institut de Géologie. 203 p. Thèse de 3è Cycle.*

LETOURNEUR J., MICHEL R. - (1971) - Géologie du génie civil, *Paris; A.Colin, 727 p. Collection U : série " Géologie".*

LISMONDE B., FRACHET J.M. avec collaboration TURQUIN M.J.,BOCQUCTA - (1979) - Grottes et scialets du Vercors. *Tome 2 - Vercors Nord. Grenoble, Comité départemental de spéléologie de l'Isère. - 345 p.*

LLIBOUTRY L. - (1964-1965) - Traité de glaciologie. *Tome I : Glace, neige, hydrologie nivale - 1964 - . 428 p. Tome II : Glaciers, variations du climat, sols gelés - 1965 - 430-1046 p. , Paris, Masson.*

LOUP J. - (1969) - L'hydrologie karstique du Vercors. *Revue de géographie alpine LVII, p. 329-332*

LOUP J. - (1974) - Les eaux terrestres. Hydrologie continentale. *Paris. Masson, 175p. Co-l. initiation aux études de géographie.*

LUPARINI V. - (1975) - Etude hydrogéologique du massif du Dévoluy (Hautes-Alpes) *Grenoble, Institut de Géologie, 134 p. Thèse de 3è Cycle.*

MAIRE R. - (1976) - Recherches géomorphologiques sur les karsts hauts-alpins des massifs du plateau du Haut-Giffre, des Diablerets et de l'Oberland occidental. *Nice, Institut de Géologie, 458 p.*

MAIRE R. - (1978) - Eléments de karstalogie - *Lyon, Ecole française de Spéléologie, 69 p.*

MALENFANT M., MONJUVENT G. - (1978) - Les gisements du Paléolithique inférieur du val de Lans(Vercors, Isère) et leur cadre morpho-géologique. Conséquences paléogéographiques et chronologiques. *Géologie alpine. Tome 54, p. 125- 146.*

MANGIN A. -(1970) - Contribution à l'étude des aquifères karstiques à partir des courbes de décrue et tarissement. *Annales de spéléologie, Tome 25, fasc.9, p. 581-609.*

MANGIN A. - (1971) - Etude des débits classés d'exutoires karstiques portant sur un cycle hydrologique. *Annales de spéléologie. Tome 26. n° 2, p. 283.329.*

MANGIN A. - (1974-1975) - Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. *Annale de spéléologie.*
Tome 29 n° 3 - 1974 - pp. 283-332.
Tome 29 n° 1 - 1974 - pp. 495-601
Tome 30 n° 1 - 1975 - pp. 21-124

MANGIN A., MOLINARI J., PALOC H. - (1976) - Les traceurs en hydrogéologie karstique leur apport à la connaissance des réservoirs aquifères calcaires. *La Houille Blanche, n° 314, p.261-267.*

MARJOLET G., SALSO J. - (1978) - Le système karstique de la source du Lez Hérault. *Revue géographique des pays méditerranéens .Tome 32 / 1-2 - p. 71-83.*

Mcw HORTER P.B., SUNADA D.K. - (1977) - Ground water hydrology and hydraulics. *Fort collins, water Resources Publications, 290 p.*

MELANGES OFFERTS PAR SES AMIS ET DISCIPLES A MAURICE PARDE - (1968) - Hydrologic , *Gap, Ed. Ophrys, 781 p.*

METEOROLOGIE NATIONALE - Relevés pluviométrique et thermométriques.

MIJATOVIC B. - (1974) - Détermination de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement par la courbe de tarissement dans les aquifères karstiques. *Assoc. Internationale Hydrogéologues Congrès Montpellier p. 225-230.*

MONJUVENT G. - (1971) - Le Drac morphologie,stratigraphie et chronologie quaternaires d'un bassin alpin. *Paris, Université Paris VII, 433 p.*

MURRAY R. SPIEEGEL - (1978) - Théorie et applications de la statistique . *Série SCHAUM.*

OBERT L., DUVALL W.I. - (1967) - Rock mechanics and the design of structures in rock. *New York, John wiley, and sons., 650 p.*

PASQUIER C. - (1975) - Contribution à l'étude des bassins karstiques de la région de Champlive-Doubs- *Besançon, Institut de Géologie - Thèse de 3è Cycle.*

PEGUY P. - (1970) - Précis de climatologie. *Paris, Masson, 2è ed. 468 p.*

PHIENBOUPHA B. - (1977) - Analyse des débits de l'Isère essai de prévision par modèle statistique. *Grenoble. U.S.M. et I.N.P.G. - 95 p. Thèse 3è Cycle.*

REMENIERAS G. - (1976) - L'hydrologie de l'Ingénieur . *Paris, Eyrolles, 2è ed. 456 p.*

ROCHA M., FRANCISS F.O. - (1977) - Determination of permeability in anisotropic rocks. Masses from integral samples. *Rocks mechanisc 9, p. 67-93.*

ROCHE M. - (1963) - Hydrologie de surface.*Paris, Ed. Gauthier Villard, 431 p.*

SAUTY J.P. - (1977) - Contribution à l'identification des paramètres de dispersion dans les aquifères par interprétation des expériences de traçage. *Grenoble, U.S.M., E.N.G. , 157 p. + annexes- Thèse de Docteur Ingénieur.*

SARROT-REYNAULD J. - (1962) - Hydrogéologie karstique dans le massif du Vercors. *In mémoire du congrès de l'association internationale des hydrogéologues. Athènes . p. 321-329.*

SARROT-REYNAULD J. FOURNEAUX J.Cl. - (1976) - Comparaison des types de circulation dans les massifs karstiques des chaines subalpines françaises à partir des études hydrogéologiques et des traçages récents. *2è colloque Hydrologie - Pays calcaires - Annales scientifiques Univ. Besançon, Géologie, fasc 25 - 3è série. p. 369-379.*

SARROT-REYNAULD J., ZAMANKHAN M. - (1976) - Caractéristiques hydrodynamiques des calcaires de la région de Chiraz (Iran). Analyse de la fissuration et du mode de tarissement des sources karstiques du bassin du Moharlu. *2è colloque Hydrologie Pays calcaires scientifiques . Univ. Besançon géologie, fasc. 25, 3è série, p. 381-389.*

SCHOELLER H. - (1962) - Les eaux souterraines, hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources. *Paris, Masson, 642 p.*

SCHOELLER H. - (1967) - Hydrodynamique dans le karst (écoulement et emmagasinement) *Chronique d'hydrogéologie, B.R.G.M. n° 10, p. 7-21.*

SCHULZ E.F. - (1976) - Problems in applied hydrology - *fort collins (Colorado) -Water resources publications - 501 p.*

SERRA-TOSIO - (1968) - Sels minéraux dissous et densités des populations de Chironomides dans les cours d'eau de montagne. *Grenoble. Trav. Lab. hydrobiologic.*

SERRA-TOSIO B.- (1973) - Etude d'un cours d'eau : le Furon (Vercors). *Formation permanente écologie, Lab. de zoologie de l'U.S.M.G.*

SIMEONI G.P. - (1976) - Utilisation des traceurs fluorescents dans l'étude du mouvement des eaux souterraines karstiques. *dito 54 , p.77-83.*

SPIEGEL M.R. - (1978) - Théorie et applications de la statistique, 875 exercices résolus. *Mc Graw-Hill., 358 p. Série schaum.*

TALOUR B. - (1976) - Hydrogéologie karstique du massif du Grand Som (Chartreuse-Isère). *Grenoble, Institut de Géologie, 166 p. - Thèse de 3è Cycle.*

TERMINOLOGIE - (1970) - Recommandations concernant la description des surfaces de discontinuité. *Revue de l'Industrie Minérale numéro spécial 15 Juillet.*

THEROND R. - (1973) - Recherche sur l'étanchéité des lacs de barrage en pays karstiques. *444 p. n° 16 - Paris, Eyrolles.*

TIERCELIN J.R. - (1973) - Modèles probabilistes en hydrologie. *La Houille Blanche n° 7, p. 547-552.*

VANCON J.P. - (1966) - Méthode d'études des débits par corrélation. *Bull. Ass. Inter. hydro. sci., X1,3, p. 17-25.*

VINTER J.P. - (1973) - Etude hydrogéologique du synclinal d'Autrans-Méaudre. Massif du Vercors. *Grenoble, Institut de Géologie, 151 p., Thèse de 3è Cycle.*

ZAMANKHAN M., SARROT-REYNAULD J. - (1978) - Phénomènes karstiques, âge et mode de circulation des eaux dans les calcaires Asmari-Djahrom de la région de Chiraz (Iran). *103è Congrès national des Sociétés savantes, Nancy, 1978, fasc. IV, p. 165-176.*

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Fig. n° 1-1 - Cadre géographique 9
Fig. n° 1-2 - Courbe hypsométrique du bassin versant du Furon 11

CHAPITRE II

Fig. n° 2-1 - Carte géologique simplifiée 15
Fig. n° 2-2 - Diagramme d'orientation des fractures % en longueurs cumulées.. 28

CHAPITRE III

Fig. n° 3-1 - Distribution normale des totaux annuels de précipitations à Villard-de-Lans, Engins et Autrans 35
Fig. n° 3-2 - Résultats de la régression linéaire entre les précipitations annuelles à Engins (x) et les précipitations annuelles à Villard-de-Lans (y) 38
Fig. n° 3-3 - Résultats de la régression linéaire entre les précipitations annuelles à Engins (x) et les précipitations mensuelles à Autrans (y) 38
Fig. n° 3-4 - Variations des précipitations annuelles années aux cinq stations (1969-1976) 39
Fig. n° 3-5 - Répartitions saisonnières des précipitations saisons astronomiques et météorologiques 41
Fig. n° 3-6 - Résultats de la régression linéaire appliquée aux précipitations mensuelles des trois stations, Engins, Autrans , Villard-de-Lans 45
Fig. n° 3-7 - Répartition des totaux mensuels de précipitations à Engins, (1920- 1976)..... 46
Fig. n° 3-8 - Evolution des précipitations mensuelles à la station d'Engins (1969-1976) 46
Fig. n° 3-9 - Précipitations mensuelles à Engins 47
Fig. n° 3-10- Distribution moyenne des précipitations journalières à la station d'Engins (1969-1976) 50
Fig. n° 3-11- Régime moyen des précipitations journalières à la station d'Engins (1969-1976) 50
Fig. n° 3-12- Courbes des isohyètes du bassin du Furon année (1970) 53
Fig. n° 3-13- Courbes des isohyètes du bassin du Furon année (1974) 54
Fig. n° 3-14- Courbes des isohyètes du bassin du Furon année (1976) 55
Fig. n° 3-15- Construction des polygones selon Thiessen 57
Fig. n° 3-16- Courbes des températures mensuelles à la station d'Autrans 61
Fig. n° 3-17- Courbes des températures mensuelles à la station de Villard-de-Lans 61
Fig. n° 3-18- Courbes ombrothermiques selon Gaussen 66
Fig. n° 3-19- Climogrammes de l'année moyenne (1969-1976)..... 67
Fig. n° 3-20- Gradient thermique mensuel - année moyenne (59-76) 69
Fig. n° 3-21- Répartition mensuelle des chutes de neige 74
Fig. n° 3-22- Hauteur moyenne de la neige 1969-1976 à Autrans 74
Fig. n° 3-23- Bilan moyen annuel de l'eau selon Thornthwaite (année moyenne 1969-1976)..... 86

CHAPITRE IV

Fig. n° 4-1 - Répartition spatiale des stations de jaugeages 92
Fig. n° 4-2 - Courbes de tarage de la station d'Engins (Le Furon)..... 94
Fig. n° 4-3 - Courbes de tarage de la station du Bruyant 95
Fig. n° 4-4 - Courbes de tarage de la station du Germe 96
Fig. n° 4-5 - Profil longitudinal du Furon et du Bruyant 99
Fig. n° 4-6 - Débits moyens journaliers du Furon à Engins année humide (1970). 102
Fig. n° 4-7 - Evolution des débits mensuels à la station d'Engins (juillet 69-décembre 76)..... 104
Fig. n° 4-8 - Evolution moyenne des débits mensuels du Furon à Engins (70-76). 104
Fig. n° 4-9 - Courbe des débits cumulés du Furon à Engins (Juillet 1969 - Décembre 1976) 107
Fig. n° 4-10- Caractéristiques du régime du Furon à Engins - Courbe des débits classés (1970-1976) 108
Fig. n° 4-11- Débits moyens journaliers du Bruyant - Année humide (1970)..... 118
Fig. n° 4-12- Résultats de la régression linéaire entre les débits mensuels du Furon (x) et les débits mensuels du Bruyant (y) 119
Fig. n° 4-13- Caractéristiques du régime du Bruyant courbe des débits classés (1970-1975) 122
Fig. n° 4-14- Esquisse morphologique de la zone d'étude -Sornin-Sassenage-.... 123
Fig. n° 4-15- Débits moyens journaliers du Germe - Année humide (1970)..... 125
Fig. n° 4-16- Débits moyens journaliers du Germe - Année sèche (1970) 126
Fig. n° 4-17- Evolution moyenne des débits mensuels station du Germe (69-76).. 129
Fig. n° 4-18- Evolution moyenne des débits mensuels à la station du Germe (69-76). Coefficient mensuel des débits 129
Fig. n° 4-19- Caractéristiques du régime du Germe - Courbe des débits classés (1969-1976) 131
Fig. n° 4-20- Variations des débits mensuels aux trois stations de mesures.... 134
Fig. n° 4-21- Variations des débits annuels aux trois stations de mesures 136
Fig. n° 4-22- Ajustement d'une loi de Gumbel aux débits maxiamux annuels du Furon 138
Fig. n° 4-23- Ajustement d'une loi de Gumbel aux débits maximaux mensuels du Furon 140
Fig. n° 4-24- Ajustement des débits mensuels sur papier Gausso-logarithmique.. 140
Fig. n° 4-25- Ajustement des débits des pointes des crues sur papier Gausso-logarithmique 144
Fig. n° 4-26- Crues de fonte des neiges des années 1970, 1971, 1973 147
Fig. n° 4-27- Crues de fonte des neiges des années 1974,1975, 1976 148
Fig. n° 4-28- Puits à neige 150
Fig. n° 4-29- Crues du Bruyant et du Germe 151

CHAPITRE V

Fig. n° 5-1 - Courbe de restitution (Germe)..... 165
Fig. n° 5-2 - Carte montrant les sens de l'écoulement d'après les expériences de traçages 167
Fig. n° 5-3 - Courbes schématiques de décrue et de tarissement - Signification de Qro et Qo chez Mangin et Maillet 171
Fig. n° 5-4 - Variations du coefficient de tarissement aux trois stations..... 182
Fig. n° 5-5 - Calcul du coefficient de tarissement selon Maillet, Tison et Mangin (le Furon à Engins)..... 183
Fig. n° 5-6 - Calcul du coefficient de tarissement selon Maillet, Tison et Mangin (Bruyant) 184
Fig. n° 5-7 - Calcul du coefficient de tarissement selon Maillet, Tison et Mangin (Germe)..... 185
Fig. n° 5-8 - Contribution à l'étude du plateau Sornin-Vercors étude phototectonique 187
Fig. n° 5-9 - Distribution de la perméabilité 194
Fig. n° 5-10- Carte d'égales perméabilités 196

CHAPITRE VI

Fig. n° 6-1 - Résultats de la régression linéaire entre les débits observés (y) et les débits estimés (y') du Furon (étape des mois)..... 214
Fig. n° 6-2- Résultats de la régression linéaire entre les débits observés (y) et les débits estimés (y') du Germe (étape du mois)..... 216
Fig. n° 6-3 - Les diverses caractéristiques de l'hydrogramme-type..... 220
Fig. n° 6-4 - Méthodes de séparation de l'écoulement de base 222
Fig. n° 6-5 - Transfert pluie-débit - réponse nulle 224
Fig. n° 6-6 - Transfert pluie-débit - réponse positive - cas d'une averse isolée 226
Fig. n° 6-7 - Transfert pluie-débit - réponse positive - deux exemples d'une averse isolée 227
Fig. n° 6-8 - Transfert pluie-débit - réponse positive - cas de plusieurs averses 228
Fig. n° 6-9 - Transfert pluie-débit - débit réponse positive - cas différent. 230

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

Tableau n° 1-1 : Répartition altimétrique et fréquences altimétriques des surfaces 10

CHAPITRE II

Tableau n° 2-1 : Tableau synoptique des assises barrémo-bédouliennes du Vercors montrant la position des treizes membres qui les constituent..18

CHAPITRE III

Tableau n° 3-1 : Précipitations annuelles à Engins, Autrans, Villard-de-Lans 1920-1976 33
Tableau n° 3-2 : Quelques valeurs caractéristiques des précipitations..... 34
Tableau n° 3-3 : Recurrence théorique des valeurs extrêmes des précipitations à Engins, Autrans et Villard-de-Lans 36
Tableau n° 3-4 : Les précipitations annuelles extrêmes à Engins, Autrans, Villard-de-Lans- Quantiles caractéristiques 36
Tableau n° 3-5 : Totaux annuels et moyenne trentenaire aux trois stations..... 37
Tableau n° 3-6 : Répartitions saisonnières des précipitations (saisons astronomiques et météoriques) aux trois stations Autrans, Engins, Villard-de-Lans (Mairie) 1969-1976 et pourcentage 40
Tableau n° 3-7 : Totaux mensuels des précipitations aux trois stations et pourcentage correspondant 42
Tableau n° 3-8 : Les coefficients pluviométriques mensuels relatifs à Autrans, Engins, Villard-de-Lans (Mairie) 1969-1976 43
Tableau n° 3-9 : Distribution des totaux mensuels de précipitations de 1920 à 1976..... 44
Tableau n° 3-10 : Evolution des précipitations mensuelles à la station d'Engins (1969-1976) 48
Tableau n° 3-11 : Fréquence des précipitations journalières (en nombre de jours sur 8 ans) à la station d'Engins 48
Tableau n° 3-12 : Régime moyen des précipitations journalières à la station d'Engins 49
Tableau n° 3-13 : Stations retenues pour tracer les isohyètes..... 51
Tableau n° 3-14 : Valeurs des précipitations annuelles calculées selon la méthode des isohyètes 52
Tableau n° 3-15 : Résultats de la construction des polygones selon Thiessen.... 56
Tableau n° 3-16 : Précipitations annuelles calculées selon la moyenne arithmétique 56
Tableau n° 3-17 : Valeurs des précipitations annuelles selon les trois méthodes de calcul 58
Tableau n° 3-18 : Valeurs des précipitations relevées dans quelques stations... 58
Tableau n° 3-19 : Moyennes mensuelles et annuelles des températures minimales et maximales quotidiennes à Autrans 60
Tableau n° 3-20 : Moyennes mensuelles et annuelles des températures minimales et maximales quotidiennes à Villard-de-Lans 62
Tableau n° 3-21 : Comparaison entre la température annuelle des années 1969-1976 et la température annuelle moyenne 1959-1976 63
Tableau n° 3-22 : Valeurs extrêmes des températures 64
Tableau n° 3-23 : Valeurs du gradient thermique 68
Tableau n° 3-24 : Valeurs mensuelles du gradient thermique année moyenne(59-76) 69
Tableau n° 3-25 : Variations mensuelles du gradient thermique 70
Tableau n° 3-26 : Valeurs des températures moyennes mensuelles calculées d'après le gradient thermique 71

Tableau n° 3-27 : Nombre mensuel de jours de gel aux stations d'Autrans et de Villard-de-Lans 72
Tableau n° 3-28 : Hauteur mensuelle (en cm) de la neige tombée (cumul des hauteurs quotidiennes)..... 73
Tableau n° 3-29 : Hauteurs moyennes mensuelles tombées et les hauteurs d'eau équivalentes 75
Tableau n° 3-30 : Durée mensuelle et annuelle d'insolation 75
Tableau n° 3-31 : Valeurs de l'évapotranspiration selon la formule de Turc..... 77
Tableau n° 3-32 : Valeurs de l'évapotranspiration selon la formule de Coutagne 78
Tableau n° 3-33 : Valeurs de l'évapotranspiration selon la deuxième formule de Coutagne 78
Tableau n° 3-34 : Valeurs de l'évapotranspiration selon Thornthwaite..... 80
Tableau n° 3-35 : Valeurs de l'évapotranspiration annuelle obtenues par les différentes méthodes 80
Tableau n° 3-36 : Bilan de l'eau d'après Thornthwaite -Année 1969 82
Tableau n° 3-37 : " " " " " 1970 82
Tableau n° 3-38 : " " " " " 1971 83
Tableau n° 3-39 : " " " " " 1972 83
Tableau n° 3-40 : " " " " " 1973 84
Tableau n° 3-41 : " " " " " 1974 84
Tableau n° 3-42 : " " " " " 1975 85
Tableau n° 3-43 : " " " " " 1976 85
Tableau n° 3-44 : Bilan de l'eau d'après Thornthwaite -Année moyenne 69-76... 86

CHAPITRE IV

Tableau n° 4-1 : Débits minimaux et maximaux instantanés du Furon (1969-1976) 100
Tableau n° 4-2 : Débits journaliers classés du Furon (1970-1976) 103
Tableau n° 4-3 : Débits moyens mensuels du Furon à Engins 1969-1976..... 105
Tableau n° 4-4 : Coefficients mensuels de débits de l'année moyenne 70-76... 105
Tableau n° 4-5 : Débits caractéristiques du Furon à Engins 1970-1976 106
Tableau n° 4-6 : La production énergétique en MWH de l'usine de Sassenage et le volume d'eau turbiné correspondant en $10^3 m^3$..... 110
Tableau n° 4-7 : Les volumes d'eaux écoulés et turbinés en $10^3 m^3$..... 110
Tableau n° 4-8 : Volumes d'eau entrant et sortant de la retenue en $10^3 m^3$.... 112
Tableau n° 4-9 : Débits mensuels et annuels du Furon en m^3/s 112
Tableau n° 4-10 : Débits instantanés du Bruyant en m^3/s 114
Tableau n° 4-11 : Résultats de la régression linéaire 115
Tableau n° 4-12 : Débits journaliers classés du Bruyant (1970-1974)..... 116
Tableau n° 4-13 : Débits mensuels du Bruyant en m^3/s (1969-1974)..... 117
Tableau n° 4-14 : Débits mensuels estimés du Bruyant en m^3/s 120
Tableau n° 4-15 : Débits annuels du Bruyant en m^3/s (1970-1974)..... 120
Tableau n° 4-16 : Débits caractéristiques du Bruyant en m^3/s 121
Tableau n° 4-17 : Débits instantanés du Germe en m^3/s..... 124
Tableau n° 4-18 : Débits journaliers classés du Germe cuves de Sassenage 1969-1976 (nombre de jours)..... 127
Tableau n° 4-19 : Débits mensuels du Germe en m^3/s (1969-1976) 128
Tableau n° 4-20 : Coefficients mensuels de débits (année moyenne 1969-1976) 130
Tableau n° 4-21 : Débits moyens annuels en m^3/s du Germe 1969-1976 130
Tableau n° 4-22 : Débits caractéristiques du Germe - Cuves de Sassenage : 1969-1976, en m^3/s 132
Tableau n° 4-23 : Débits mensuels estimés au Germe en m^3/s 133
Tableau n° 4-24 : Matrice des coefficients de corrélation 135
Tableau n° 4-25 : Débits annuels en m^3/s observés aux trois stations 135
Tableau n° 4-26 : Valeurs maximales annuelles des débits moyens journaliers.. 139

Tableau n° 4-27 : Crues mensuelles en m^3/s du Furon à Engins..... 141
Tableau n° 4-28 : Valeurs croissantes des débits mensuels et leurs fréquences cumulées 142
Tableau n° 4-29 : Les pointes des crues en m^3/s mesurées à la station d'Engins... 143
Tableau n° 4-30 : Valeurs croissantes des pointes des crues et leurs fréquences cumulées 145
Tableau n° 4-31 : Durée et volume d'eau écoulé des fontes des neiges 1969-1976 146

CHAPITRE V

Tableau n° 5-1 : Résultats de l'étude des courbes de tarissement du Furon à Engins 176
Tableau n° 5-2 : Résultats de l'étude des courbes de tarissement du Germe 177
Tableau n° 5-3 : Résultats de l'étude des courbes de tarissement du Bruyant 178
Tableau n° 5-4 : Valeurs du volume de l'infiltration (Le Furon à Engins)..... 179
Tableau n° 5-5 : Valeurs du volume de l'infiltration (Le Germe - Cuves de Sassenage)..... 180
Tableau n° 5-6 : Valeurs du volume de l'infiltration (Le Bruyant)..... 181
Tableau n° 5-7 : Valeurs de la perméabilité (moy, max, min)..... 193

CHAPITRE VI

Tableau n° 6-1 : Résultats de la régression linéaire multiple (station d'Engins) 209
Tableau n° 6-2 : Résultats de la régression linéaire multiple (station du Bruyant)..... 210
Tableau n° 6-3 : Résultats de la régression linéaire multiple (station du Germe) 211
Tableau n° 6-4 : Eléments statistiques essentiels de la régression (Furon à Engins)..... 213
Tableau n° 6-5 : Résultats de la régression des différentes combinaisons de variables (Furon à Engins) 215
Tableau n° 6-6 : Equations de régression des variables les plus explicatives (Furon à Engins) 215
Tableau n° 6-7 : Eléments statistiques essentiels de la régression (station du Germe) 217
Tableau n° 6-8 : Résultats de la régression des différentes combinaisons de variables (station du Germe) 218
Tableau n° 6-9 : Equations de régression des variables les plus explicatives (Germe)..... 219
Tableau n° 6-10 : Valeurs estimées des surfaces 234
Tableau n° 6-11 : Valeurs estimées de l'infiltration 236
Tableau n° 6-12 : Estimation de l'infiltration à partir de l'équation du bilan simplifié 238

ANNEXES

I - DEBITS JOURNALIERS AUX TROIS STATIONS'

II - DESCRIPTION DU PREMIER PROGRAMME UTILISE ET UN EXEMPLE.

III - QUELQUES EXEMPLES DU DEUXIEME PROGRAMME UTILISE .

I - DEBITS JOURNALIERS AUX TROIS STATIONS .

DEBITS JOURNALIERS DU FURON(A ENGINS) EN M^3/S 1969.

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	------	------	------	------	------	------	.730	.340	.560	.260	.180	.430
2	------	------	------	------	------	------	.695	.340	.480	.260	.180	.440
3	------	------	------	------	------	------	.955	.340	.570	.240	.180	.420
4	------	------	------	------	------	------	1.400	.320	.440	.240	.180	.625
5	------	------	------	------	------	------	.900	.300	.365	.230	.170	.540
6	------	------	------	------	------	------	.790	.280	.370	.230	.170	.500
7	------	------	------	------	------	------	2.130	.280	.440	.230	.170	.470
8	------	------	------	------	------	------	2.050	.280	.440	.230	.180	.440
9	------	------	------	------	------	------	1.440	.260	.390	.230	.170	.395
10	------	------	------	------	------	------	1.350	.260	.380	.220	.220	.290
11	------	------	------	------	------	------	1.500	.280	.340	.220	.200	.370
12	------	------	------	------	------	------	1.150	.260	.320	.200	.225	.370
13	------	------	------	------	------	1.770	.965	.240	.300	.200	1.480	.370
14	------	------	------	------	------	1.010	.820	.260	.470	.200	2.740	.340
15	------	------	------	------	------	.790	.715	.425	.390	.200	1.120	.340
16	------	------	------	------	------	.680	.630	.395	.340	.200	.670	.340
17	------	------	------	------	------	.680	.575	.320	.320	.200	.525	.340
18	------	------	------	------	------	1.730	.540	.300	.930	.200	.440	.540
19	------	------	------	------	------	6.170	.470	.260	.650	.200	.380	.895
20	------	------	------	------	------	2.590	.440	.240	.490	.180	.350	.615
21	------	------	------	------	------	1.620	.420	.240	.415	.180	.330	.515
22	------	------	------	------	------	1.120	.540	.240	.370	.180	.850	.480
23	------	------	------	------	------	1.230	.565	.260	.340	.180	.770	.435
24	------	------	------	------	------	6.160	.440	.260	.320	.180	2.290	.400
25	------	------	------	------	------	3.250	.420	.240	.300	.180	1.940	.390
26	------	------	------	------	------	2.140	.390	.240	.280	.180	1.120	.380
27	------	------	------	------	------	1.540	.370	.960	.280	.180	.785	.370
28	------	------	------	------	------	1.220	.340	.560	.280	.180	.650	.370
29	------	------	------	------	------	.980	.340	.390	.260	.180	.595	.370
30	------	------	------	------	------	.815	.370	.330	.260	.180	.535	.350
31	------	------	------	------	------	------	.340	.955	------	.180	------	.340
MOY	------	------	------	------	------	------	.799	.344	.403	.204	.660	.439

DEBITS JOURNALIERS DU FURON A (ENGINS) EN M^3/S 1970.

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.330	1.100	.860	2.370	2.260	2.740	.905	.230	.180	.280	.230	1.110
2	.310	2.030	.790	1.980	2.140	2.710	.775	.230	.180	.240	.220	.875
3	.380	8.830	.790	1.440	2.550	2.550	.700	.230	.170	.230	.220	.850
4	.350	7.390	.695	1.160	3.150	2.150	.615	.230	.170	.260	.220	2.240
5	2.080	3.520	.650	.950	3.830	1.800	.570	.230	.170	.260	.220	1.690
6	1.770	2.600	.565	.840	4.130	1.750	.500	.220	.170	.230	.220	1.120
7	.940	2.130	.500	.845	4.590	1.500	.440	.220	.160	.200	.220	.930
8	.760	1.630	.500	.920	4.180	1.230	.420	.220	.160	.285	.210	.755
9	3.100	1.420	.470	.830	3.510	1.600	.390	.230	.160	3.860	.200	.606
10	6.460	1.400	.440	.730	8.270	1.390	.340	.230	.160	1.660	.200	.550
11	6.290	1.710	.420	.725	5.670	1.090	.340	.220	.170	.630	.180	.510
12	4.580	1.570	.420	.905	3.830	.970	.340	.200	.170	.430	.180	.470
13	2.660	1.480	.420	7.260	3.580	.920	.320	.200	.160	.340	.915	.490
14	2.100	1.270	.440	5.550	4.800	.790	.320	.200	.160	.290	2.350	.540
15	1.990	1.030	.440	3.260	6.950	.870	.340	.200	.175	.260	1.020	.540
16	2.220	.835	.420	3.510	6.660	.980	.475	.200	.360	.250	.650	.480
17	1.960	.780	.420	5.540	5.170	.880	.390	.200	.225	.235	.590	.445
18	1.540	.795	.540	7.770	4.380	.930	.340	.200	.185	.230	1.060	.420
19	1.320	.680	.735	10.610	3.760	.770	.320	.215	.170	.220	1.770	.390
20	1.110	.730	.585	9.090	3.980	2.470	.320	.330	.165	.245	2.140	.370
21	.985	1.060	.800	5.500	3.740	1.610	.300	.260	.160	.230	1.410	.370
22	.880	1.770	1.170	4.060	3.190	1.060	.300	.230	.160	.230	1.250	.340
23	.790	2.550	2.900	5.720	2.650	.820	.260	.220	.160	.230	.940	.340
24	.720	2.870	3.390	7.890	3.040	.680	.260	.200	.160	.220	.800	.320
25	.660	2.340	3.710	7.380	3.900	.600	.240	.200	.150	.220	.750	.320
26	.615	1.700	2.990	8.270	4.610	.690	.240	.180	.150	.220	.640	.300
27	.880	1.290	3.320	5.090	3.840	.890	.240	.180	.150	.230	.590	.300
28	1.100	1.020	2.580	3.050	3.330	1.770	.240	.180	.150	.230	.550	.300
29	.925	------	2.000	2.610	3.000	1.880	.240	.200	.150	.230	.870	.300
30	1.090	------	1.670	2.370	3.120	1.120	.240	.200	.195	.230	1.780	.280
31	1.590	------	2.000	------	2.740	------	.240	.180	------	.230	------	.280
MOY	1.690	2.050	1.210	3.940	4.020	1.370	.386	.215	.174	.424	.753	.607

DEBITS JOURNALIERS DU FURON (A ENGINS) EN M^3/S 1971.

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.260	.830	.320	1.880	3.440	1.070	.585	.240	.220	.180	.170	.240
2	.260	.600	.300	2.080	10.880	1.060	.540	.240	.220	.180	.170	.240
3	.260	.500	.300	2.070	6.850	1.150	.485	.240	.220	.180	.170	.240
4	.260	.440	.280	2.740	2.910	1.050	.470	.240	.220	.170	.170	.240
5	.240	.400	.280	2.660	2.740	.945	.470	.240	.200	.180	.170	.270
6	.240	.390	.280	2.950	2.660	1.610	.430	.240	.200	.180	.180	.245
7	.230	.390	.260	3.000	2.640	2.310	.420	.240	.200	.180	.180	.230
8	.230	.390	.240	3.370	2.640	1.640	.390	.240	.200	.180	.170	.230
9	.230	.370	.240	3.470	2.590	1.350	.370	.230	.200	.170	.230	.230
10	.230	.370	.240	3.670	2.420	3.020	.345	.230	.220	.170	.220	.230
11	.230	.370	.230	4.290	3.190	3.380	.340	.245	.200	.170	.200	.230
12	.240	.340	.230	4.240	2.970	3.470	.615	.355	.200	.170	.200	.230
13	.240	.340	.230	4.130	2.660	2.610	.900	.280	.200	.170	.200	.230
14	.240	.340	.240	4.120	2.470	2.010	.465	.260	.200	.215	.200	.230
15	.240	.340	.320	3.970	1.950	3.750	.410	.240	.200	.230	.200	.240
16	.240	.340	.300	3.650	1.550	2.630	.380	.240	.180	.180	.200	.280
17	.230	.320	.280	3.280	1.340	2.130	.375	.240	.180	.180	.200	.300
18	.230	.350	.530	2.720	1.160	1.600	.430	.240	.180	.180	.240	.300
19	.230	.340	1.420	2.700	1.050	1.280	.450	.230	.180	.170	.620	.300
20	.240	.320	1.870	2.880	.905	1.090	.400	.230	.180	.170	.395	.555
21	.260	.320	2.250	3.030	.810	.935	.370	.230	.180	.170	.285	.865
22	.280	.320	1.180	3.050	.775	.805	.350	.230	.180	.170	.580	1.010
23	.260	.320	.555	3.930	.940	.730	.320	.230	.180	.170	.350	1.040
24	.500	.320	.790	8.480	2.470	.730	.320	.230	.180	.170	.300	.825
25	.540	.320	.890	5.380	2.430	.930	.300	.230	.180	.170	.265	.605
26	.470	.320	1.280	2.960	1.820	2.090	.280	.230	.180	.170	.240	.470
27	.720	.320	.920	2.570	2.480	1.440	.280	.230	.180	.170	.260	.540
28	.640	.320	.760	3.210	2.430	.980	.260	.220	.180	.170	.260	.540
29	.500	------	.720	4.980	2.110	.765	.260	.220	.180	.170	.260	.500
30	.635	------	.950	3.410	1.580	.625	.260	.220	.180	.170	.240	.470
31	1.030	------	1.430	------	1.280	------	.240	.220	------	.170	------	.390
MOY	.343	.380	.649	3.500	2.520	1.640	.404	.240	.193	.177	.251	.400

DEBITS JOURNALIERS DU FURON A(ENGINS) EN M^3/S 1972.

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.345	.230	.750	1.490	1.590	1.580	.420	.230	.370	.220	.590	.585
2	.325	.230	.750	3.550	1.750	1.150	.340	.230	.320	.220	.420	.600
3	.320	.785	.740	3.490	1.890	1.390	.305	.230	.260	.220	.350	.680
4	.300	2.460	.690	3.580	2.100	1.150	.280	.230	.240	.220	.320	2.760
5	.280	1.570	.615	6.690	2.030	1.060	.280	.230	.240	.200	.300	1.870
6	.280	1.620	.540	2.800	1.920	2.390	.260	.220	.375	.200	.260	1.150
7	.280	2.740	.540	2.400	1.730	2.320	.240	.220	.495	.200	.240	.880
8	.260	2.440	.570	2.880	1.720	1.580	.240	.220	.775	.200	.240	.870
9	.295	1.830	.600	2.510	1.870	1.310	.260	.220	.425	.200	.240	1.700
10	.390	1.230	.680	2.050	1.780	1.310	.260	.220	.350	.200	.230	1.260
11	.420	1.430	.750	1.900	1.510	2.160	.260	.220	.340	.585	.420	.920
12	.420	2.040	.920	1.740	1.240	2.070	.260	.200	.320	1.260	.505	.750
13	.500	1.270	1.100	1.580	.920	1.310	.240	.200	.320	.600	.605	.630
14	.500	.960	1.390	1.470	.830	.970	.240	.230	.300	.390	1.720	.560
15	.470	.760	1.670	1.470	1.170	.790	.230	.230	.300	.305	2.590	.500
16	.440	.700	1.710	1.260	1.100	.720	.230	.230	.280	.265	1.590	.470
17	.500	1.180	1.860	1.060	.880	.640	.230	.230	.280	.245	1.050	.440
18	.420	3.410	1.780	.920	.880	.540	.230	.230	.260	.240	1.660	.420
19	.340	2.320	1.790	.880	1.010	.470	.305	.220	.260	.230	1.400	.390
20	.320	1.600	1.680	.880	1.600	.390	.240	.220	.240	.220	.930	.370
21	.340	1.270	1.530	1.060	2.410	.390	.240	.220	.240	.220	.790	.370
22	.320	1.170	1.500	1.200	2.150	.370	.280	.200	.230	.200	.970	.340
23	.300	1.100	1.700	1.260	2.300	.340	.280	.200	.230	.200	1.060	.340
24	.300	1.010	1.900	1.200	2.340	.320	.280	.200	.230	.200	1.150	.320
25	.280	1.070	2.130	1.100	1.930	.320	.260	.200	.230	.200	.830	.320
26	.300	.960	2.310	.875	1.910	.320	.240	.200	.230	.200	.640	.320
27	.240	.920	1.970	.920	2.170	.320	.230	.200	.230	.250	.540	.320
28	.240	.835	1.350	.830	1.390	.320	.230	.250	.220	1.430	.500	.320
29	.240	.750	1.200	.795	1.170	.315	.230	.320	.220	.760	.470	.320
30	.240	------	1.350	1.240	1.200	.725	.230	.320	.220	.560	.470	.300
31	.250	------	1.520	------	1.240	------	.300	.260	------	.600	------	.300
	.337	1.380	1.280	1.840	1.600	.968	.263	.227	.301	.363	.769	.690

DEBITS JOURNALIERS DU FURON A(ENGINS) EN M^3/S 1973

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.300	.280	.360	2.010	7.050	.370	.280	.830	.320	.310	.280	.290
2	.300	.280	.280	2.150	8.060	.350	.260	.795	.320	.310	.280	.280
3	.300	.280	.280	2.150	7.620	.340	.255	.720	.320	.350	.280	.335
4	.280	.280	.280	1.310	5.270	.330	.260	.670	.320	.350	.280	.430
5	.280	.280	.320	1.210	4.960	.320	.230	.630	.310	.330	.280	.280
6	.280	.280	.320	1.680	2.860	.375	.230	.620	.310	.320	.290	.280
7	.260	.280	.370	2.180	2.250	.425	.230	.595	.310	.310	.310	.320
8	.260	.320	.340	1.990	1.790	.370	.220	.560	.290	.310	.290	.685
9	.240	.320	.320	1.400	1.510	.370	.220	.530	.290	.310	.280	.560
10	.240	.280	.320	1.000	1.670	.350	.220	.520	.280	.290	.280	.425
11	.240	.280	.320	.820	2.020	.325	.220	.510	.280	.290	.280	.380
12	.265	.280	.320	.750	1.300	.325	.240	.455	.280	.290	.280	.380
13	.265	.280	.320	.680	1.080	.320	.260	.420	.280	.300	.270	.370
14	.240	.280	.320	.700	1.100	.280	.280	.420	.280	.405	.800	.640
15	.240	.280	.320	.830	.990	.260	.810	.660	.280	.655	2.210	1.160
16	.260	.280	.320	1.010	.850	.260	1.280	.500	.280	1.200	1.010	.590
17	.300	.280	.320	1.480	.795	.260	3.150	.440	.290	1.190	.700	.485
18	.280	.280	.320	2.200	.705	.240	1.320	.420	.530	.635	.530	.420
19	.280	.280	.390	1.960	.680	.240	.690	.410	.390	.490	.430	.410
20	.260	.260	.430	1.200	.640	.465	.525	.385	.325	.420	.380	.540
21	.240	.240	.645	.950	.685	.580	1.750	.370	1.920	.370	.360	1.150
22	.240	.240	.970	.940	.720	.420	6.590	.370	.725	.345	.340	.880
23	.240	.260	1.420	1.270	.570	2.230	2.500	.350	.480	.330	.330	.770
24	.240	.260	1.740	1.630	.480	2.130	4.680	.350	.390	.320	.320	.840
25	.240	.260	1.730	1.640	.435	1.040	8.960	.330	.370	.320	.320	.735
26	.260	.260	1.400	1.670	.405	.605	6.840	.320	.350	.310	.320	.575
27	.240	.320	1.560	2.260	.390	.425	3.080	.320	.330	.310	.310	.490
28	.280	.335	2.340	3.300	.430	.340	2.200	.320	.330	.290	.290	.440
29	.260	------	2.420	5.040	.485	.320	1.510	.320	.320	.290	.290	.420
30	.260	------	1.780	5.500	.420	.305	1.150	.320	.310	.290	.290	.400
31	.260	------	1.640	------	.405	------	.990	.320	------	.290	------	.380
MOY	.262	.280	.781	1.760	1.890	.499	1.660	.477	.394	.404	.430	.540

DEBITS JOURNALIERS DU FURON A(ENGINS) EN M^3/S 1974

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.380	.470	.405	2.080	.505	.900	.795	.320	.410	1.640	1.190	3.660
2	.370	.500	.400	1.900	.470	.630	.585	.320	.410	1.220	1.150	2.490
3	.350	.600	.390	1.860	.500	.530	.500	.320	1.910	.970	1.080	1.830
4	.350	.590	.380	1.620	.640	.480	.460	.320	1.650	.925	1.030	1.530
5	.330	.620	.380	1.650	.720	.520	.440	.320	.810	.925	.985	1.560
6	.360	2.570	.370	1.360	.805	.630	.420	.315	1.680	.770	.920	1.400
7	.355	1.660	.370	1.030	.720	.590	.420	.310	1.520	.780	.895	1.310
8	.480	.980	.390	1.040	.570	.525	.400	.310	.870	.900	.855	1.290
9	.830	.780	.430	1.060	.610	.485	.380	.310	.650	1.060	.840	1.250
10	1.210	.810	.480	1.060	.865	.480	.370	.310	.585	.980	.860	1.230
11	.985	1.260	.540	.940	2.270	.470	.370	.310	.530	.920	1.070	1.130
12	1.250	2.220	.580	.885	1.860	.470	.370	.310	.480	.805	1.020	1.050
13	1.320	1.630	.620	.820	1.750	.470	.370	.310	.440	.710	1.240	.910
14	1.070	1.150	.620	.770	1.340	.440	.410	.305	.420	.655	1.500	.800
15	.840	.960	.590	.740	1.050	.425	.380	.300	.400	.625	2.490	.740
16	.975	.860	4.090	.655	.870	.410	.370	.300	.400	.590	2.460	.685
17	1.110	.800	7.880	.570	.845	.400	.380	.295	.380	.570	1.650	1.200
18	.780	.760	4.350	.510	.745	.425	.380	.295	.380	.570	1.680	1.710
19	.620	.680	5.260	.470	.650	.420	.380	.298	.375	4.320	2.170	1.130
20	.555	.605	5.600	.450	.595	.400	.380	.310	.370	10.620	1.580	.825
21	.520	.570	5.260	.450	.565	.400	.370	.295	.370	4.340	1.950	.750
22	.490	.520	3.450	.495	.540	.400	.370	1.250	.370	1.750	2.030	.700
23	.480	.490	2.850	.470	.520	.380	.350	2.100	.360	1.400	2.790	.850
24	.450	.470	2.590	.470	.470	.380	.330	1.660	.450	1.360	2.560	1.520
25	.440	.440	2.270	.440	.440	.380	.350	.690	1.250	1.360	2.210	1.520
26	.430	.440	2.060	.420	.420	.380	.340	.510	2.130	1.330	2.850	2.070
27	.410	.420	1.930	.420	.400	.405	.335	.435	1.480	1.330	11.570	3.000
28	.385	.420	1.910	.420	.470	.400	.325	.410	5.690	1.420	10.150	3.220
29	.410	------	2.070	.530	.490	2.130	.320	.380	3.380	1.490	4.440	2.940
30	.430	------	2.050	.560	.450	1.680	.320	.380	2.130	1.310	3.200	2.280
31	.480	------	2.040	------	.480	------	.320	.450	------	1.270	------	1.720
MOY	.627	.867	2.020	.872	.762	.568	.396	.476	1.080	1.580	2.350	1.566

DEBITS JOURNALIERS DU FURON A(ENGINS) EN M^3/S 1975

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	1.420	2.190	.335	.675	2.040	3.990	.485	.320	.410	.990	.565	1.500
2	1.160	1.730	.375	.605	2.180	2.250	.445	.320	.435	.660	[illegible]	[illegible]
3	1.030	1.370	.410	.435	2.040	1.610	.415	.320	1.230	.530	.350	1.330
4	.920	1.160	.430	.580	1.460	1.270	.910	.330	.790	.500	.505	1.420
5	.835	1.030	.390	.545	1.210	1.070	2.200	.325	.600	.470	.470	[illegible]
6	.770	.895	.350	.530	1.150	.950	1.570	.320	.555	.450	.470	[illegible]
7	1.110	.840	.350	.475	1.180	.850	1.080	.320	2.580	.415	.440	[illegible]
8	2.280	.795	.510	.470	1.240	.780	.830	.305	1.540	.410	.415	1.050
9	1.410	.750	.850	.485	1.260	.730	.685	.410	.970	.410	.410	[illegible]
10	1.090	.720	.680	.480	1.400	.690	.590	1.020	.770	.410	.410	[illegible]
11	.960	.705	.580	.455	3.280	.640	.600	.515	.710	.410	.410	.845
12	.835	.690	.585	.750	2.730	.640	.545	.390	.800	.390	.400	[illegible]
13	.760	.660	.580	1.490	2.030	.640	.465	.330	1.290	.405	.540	.850
14	.705	.570	.640	2.390	1.750	.640	.440	.305	3.200	.380	.820	.840
15	.645	.535	.640	5.520	1.570	.655	.447	.290	9.320	.375	.775	.820
16	.640	.490	.625	6.250	1.820	1.070	.417	.320	3.120	.380	4.270	1.290
17	.650	.445	.595	4.230	1.770	1.110	.417	.290	2.080	.890	3.550	4.460
18	.700	.440	.575	4.580	1.680	1.610	.430	.265	1.640	1.830	1.790	2.340
19	.720	.425	.545	5.540	1.570	1.180	.400	.260	1.390	1.260	1.330	1.630
20	.640	.420	.500	4.960	1.270	.885	.375	.260	1.300	1.230	1.230	[illegible]
21	.615	.410	.470	5.470	1.290	.730	.360	.260	1.070	1.130	4.280	[illegible]
22	.590	.390	.505	5.240	2.140	.670	.345	.425	.840	1.030	2.390	[illegible]
23	.580	.345	.535	5.190	2.830	.650	.340	.505	.720	.975	1.630	.940
24	.760	.340	.490	4.370	1.670	.725	.340	.480	.680	.915	1.300	.870
25	1.260	.340	.480	3.780	1.260	.640	.320	.360	.640	.815	1.090	[illegible]
26	2.380	.330	.570	3.380	1.460	.555	.290	.325	.600	.690	.960	.720
27	1.710	.325	.740	2.900	1.640	.495	.290	.325	.550	.600	.915	.670
28	1.610	.325	.830	2.730	1.300	.445	.300	.320	.500	.565	.890	.640
29	8.630	------	.820	2.600	1.120	.630	.320	.415	.470	.450	1.420	.600
30	4.760	------	.750	2.500	1.250	.585	.320	.585	.805	.525	1.850	.880
31	2.840	------	.715	------	2.080	------	.320	.470	------	.500	------	.370
MOY	1.450	.702	.563	2.660	1.700	.980	.558	.377	1.390	.677	1.220	[illegible]

DEBITS JOURNALIERS DU FURON A(ENGINS) EN M^3/S 1976

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.535	.340	1.320	2.040	1.210	.415	.275	.125	1.640	.460	.655	1.700
2	.500	.330	1.290	2.330	1.350	.410	.255	.120	.775	.440	.560	2.760
3	.500	.325	1.220	2.150	1.490	.400	.240	.120	.715	.480	.650	1.770
4	.500	.395	1.160	2.300	1.710	.380	.230	.115	.700	1.300	.870	1.390
5	.475	.670	1.070	2.720	1.780	.350	.230	.110	.505	2.140	.920	1.150
6	.470	.510	.950	2.760	1.860	.330	.210	.110	.400	1.170	1.350	1.040
7	.455	.440	.840	3.010	1.710	.300	.310	.105	.320	.850	3.760	1.340
8	.440	.450	.756	2.020	1.510	.260	.230	.105	.260	.690	2.020	1.410
9	.440	.465	.650	1.470	1.350	.260	.540	.130	.330	.580	1.920	1.680
10	.440	.440	.600	1.260	1.140	.260	.325	.145	2.390	.515	6.500	2.820
11	.440	.440	.580	1.160	1.090	.250	.240	.125	1.040	.500	5.320	2.180
12	.435	.440	.585	1.090	1.040	.240	.260	.120	1.150	1.930	2.740	1.610
13	.425	.520	.645	1.100	.920	.230	.235	.120	4.290	2.260	2.440	1.340
14	.420	.560	.610	1.100	.845	.230	.185	.110	1.760	1.380	2.180	1.170
15	.410	.480	.605	1.080	.815	.230	.170	.120	2.520	1.420	1.820	1.050
16	.400	.445	.690	.960	.765	.230	.155	.130	2.170	1.130	1.560	.965
17	.360	.455	.755	1.040	.735	.230	.140	.130	1.400	.975	1.360	.890
18	.320	.550	.910	1.290	.670	.230	.255	.120	1.090	.850	1.180	.890
19	.305	.600	1.330	1.410	.670	.215	.480	.105	.900	1.070	1.080	1.290
20	.275	.650	1.600	1.430	.640	.200	.425	.100	.745	1.060	.990	1.160
21	.260	.745	1.420	1.480	.585	.290	.335	.100	.640	.895	.930	1.010
22	.320	.750	1.260	1.760	.550	.290	.290	.100	.565	.765	.870	.910
23	.370	.720	1.100	1.710	.520	.290	.260	.100	.500	.680	.800	.835
24	.395	.805	.990	1.390	.500	.280	.220	.130	.460	.595	.760	.805
25	.380	.855	.925	1.200	.500	.270	.180	.120	.425	.550	.685	.770
26	.380	.900	.975	1.190	.465	.355	.160	.120	.410	.500	.700	.715
27	.380	1.020	1.110	1.430	.450	.300	.140	.110	.375	.470	.705	.660
28	.380	1.130	1.150	1.740	.440	.240	.140	.110	.345	.450	.670	.605
29	.340	1.260	1.260	1.520	.505	.300	.135	.270	.580	.470	.640	.570
30	.340	------	1.490	1.260	.490	.315	.130	.790	.575	.910	.685	.710
31	.385	------	1.670	------	.440	------	.130	.605	------	.795	------	1.470
MOY	.402	.610	1.020	1.610	.928	.286	.242	.159	.999	.904	1.580	1.250

DEBITS JOURNALIERS DU BRUYANT EN M^3/S 1969.

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	------	------	------	------	2.590	.250	.380	.175	.500	.115	.070	.250
2	------	------	------	------	2.690	.250	.345	.175	.410	.115	.070	.225
3	------	------	------	------	2.880	.225	.310	.175	.470	.115	.070	.225
4	------	------	------	------	2.510	.225	.430	.175	.330	.115	.070	.225
5	------	------	------	------	2.160	.345	.345	.175	.260	.090	.070	.220
6	------	------	------	------	3.290	.310	.380	.150	.250	.090	.070	.200
7	------	------	------	------	2.550	.460	1.100	.150	.250	.090	.070	.175
8	------	------	------	------	1.630	.725	.840	.150	.250	.080	.070	.175
9	------	------	------	------	1.870	.625	.640	.135	.235	.080	.070	.170
10	------	------	------	------	2.080	.475	.610	.150	.210	.080	.135	.150
11	------	------	------	1.910	1.810	.960	.695	.150	.180	.080	.093	.150
12	------	------	------	2.100	1.570	1.370	.590	.135	.175	.080	.115	.150
13	------	------	------	1.860	1.570	.900	.505	.135	.150	.080	1.000	.150
14	------	------	------	1.000	1.330	.585	.415	.115	.230	.080	1.320	.135
15	------	------	------	.790	1.040	.485	.345	.370	.225	.080	.680	.135
16	------	------	------	.960	.850	.410	.310	.380	.200	.080	.450	.135
17	------	------	------	1.020	.685	.410	.310	.280	.200	.080	.320	.135
18	------	------	------	.790	.585	.685	.280	.250	.670	.080	.265	.139
19	------	------	------	.685	.500	3.170	.450	.200	.460	.080	.220	.175
20	------	------	------	.630	.450	1.160	.250	.175	.320	.080	.200	.175
21	------	------	------	.630	.415	.690	.200	.150	.260	.080	.200	.175
22	------	------	------	1.560	.380	.565	.235	.150	.225	.080	.805	.150
23	------	------	------	2.080	.380	.680	.310	.135	.210	.080	.655	.150
24	------	------	------	1.120	.345	3.380	.225	.135	.190	.080	.965	.135
25	------	------	------	1.390	.345	1.810	.200	.115	.175	.070	.670	.135
26	------	------	------	4.090	.310	.820	.200	.115	.175	.070.	.520	.135
27	------	------	------	4.170	.280	.660	.175	.625	.150	.070	.380	.135
28	------	------	------	5.140	.250	.570	.175	.450	.150	.070	.310	.135
29	------	------	------	3.570	.225	.480	.175	.295	.135	.070	.280	.135
30	------	------	------	2.960	.260	.420	.225	.235	.135	.070	.275	.135
31	------	------	------	------	.310	------	.200	.755	------	.070	------	.135
MOY	1.230	.803	.382	.225	.259	.083	.350	.163				

DEBITS JOURNALIERS DU BRUYANT EN M^3/S 1970.

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.115	.290	.215	.420	1.540	1.840	.465	.115	.100	.173	.110	.620
2	.115	.400	.215	.380	1.690	1.830	.410	.115	.100	.125	.110	.465
3	.115	1.860	.215	.350	2.010	1.690	.360	.100	.100	.110	.110	.390
4	.115	2.020	.215	.290	1.580	1.490	.320	.110	.090	.145	.110	.910
5	.635	1.180	.195	.290	2.070	1.180	.290	.110	.090	.188	.110	.780
6	.510	.765	.195	.260	2.200	1.160	.270	.110	.090	.125	.100	.565
7	.280	.655	.175	.235	2.410	.950	.260	.110	.090	.100	.100	.475
8	.210	.575	.175	.235	2.360	.785	.235	.110	.090	.205	.100	.390
9	.695	.540	.175	.235	2.190	.940	.220	.110	.090	2.100	.100	.340
10	1.880	.490	.175	.215	2.870	.810	.215	.110	.090	1.030	.100	.300
11	1.890	.450	.175	.215	2.360	.690	.195	.110	.090	.510	.085	.275
12	1.650	.390	.175	.195	2.030	.620	.195	.100	.100	.385	.085	.250
13	.940	.340	.175	1.170	2.070	.545	.195	.100	.090	.280	.650	.220
14	.720	.300	.175	1.170	2.410	.460	.175	.100	.090	.220	1.440	.220
15	.720	.260	.175	.735	2.980	.440	.195	.100	.090	.190	.600	.200
16	.650	.235	.175	.835	2.770	.570	.275	.100	.300	.160	.425	.200
17	.600	.235	.155	1.410	2.530	.560	.260	.090	.140	.140	.340	.175
18	.510	.215	.155	2.030	2.330	.600	.215	.100	.110	.120	.720	.160
19	.435	.215	.155	3.110	2.180	.500	.195	.100	.100	.120	1.210	.160
20	.405	.215	.155	2.540	2.180	1.350	.175	.220	.100	.120	1.290	.140
21	.360	.195	.175	1.620	2.180	.790	.175	.145	.100	.120	.620	.140
22	.320	.215	.250	1.690	1.920	.565	.155	.120	.090	.120	.505	.140
23	.285	.265	.800	2.540	1.580	.475	.155	.110	.090	.110	.430	.140
24	.260	.480	.830	2.630	1.930	.435	.140	.110	.090	.110	.385	.120
25	.235	.420	.800	2.330	2.290	.410	.140	.110	.090	.110	.365	.120
26	.235	.315	.690	2.830	2.520	.360	.140	.100	.090	.120	.325	.120
27	.420	.260	.745	2.510	2.320	.450	.130	.100	.090	.140	.300	.120
28	.540	.235	.640	2.090	2.120	.970	.110	.100	.090	.140	.300	.120
29	.450	------	.500	1.710	1.940	.960	.110	.100	.050	.140	.560	.110
30	.400	------	.420	1.670	1.990	.545	.110	.100	.055	.120	1.060	.100
31	.345	------	.420	------	1.770	------	.115	.100	------	.120	------	.100
MOY	.551	.501	.319	1.260	2.170	.832	.213	.110	.099	.255	.425	.276

DEBITS JOURNALIERS DU BRUYANT EN M^3/S 1971.

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.080	.110	.060	.650	2.640	.480	.360	.095	.065	.055	.045	.080
2	.080	.080	.060	.755	2.010	.440	.320	.095	.065	.055	.045	.080
3	.080	.080	.060	.745	1.580	.490	.280	.095	.065	.055	.045	.080
4	.060	.060	.060	.785	1.210	.420	.260	.095	.065	.055	.045	.080
5	.060	.060	.060	.820	1.230	.380	.240	.095	.065	.055	.045	.080
6	.060	.060	.060	.955	1.250	.660	.210	.080	.065	.055	.045	.080
7	.060	.110	.060	1.100	1.330	.930	.210	.080	.055	.055	.045	.080
8	.060	.110	.040	1.310	1.380	.650	.180	.080	.055	.055	.045	.080
9	.060	.110	.040	1.470	1.260	.625	.180	.080	.055	.055	.085	.080
10	.060	.110	.040	1.590	1.140	1.510	.165	.080	.055	.055	.080	.080
11	.080	.110	.025	1.840	1.390	1.390	.155	.080	.055	.055	.065	.080
12	.080	.110	.025	1.900	1.140	1.500	.190	.255	.055	.055	.065	.080
13	.080	.110	.025	2.020	1.140	1.080	.450	.115	.055	.055	.065	.080
14	.080	.110	.040	2.050	.940	.735	.230	.100	.055	.077	.065	.080
15	.080	.110	.060	2.130	.750	1.450	.180	.095	.055	.105	.065	.095
16	.060	.110	.040	2.070	.635	.980	.180	.080	.055	.065	.065	.110
17	.060	.080	.040	1.980	.590	.770	.155	.080	.055	.065	.068	.130
18	.060	.060	.040	1.680	.540	.625	.235	.080	.055	.055	.150	.130
19	.060	.060	.078	1.750	.490	.570	.290	.080	.055	.055	.310	.110
20	.060	.060	.185	1.960	.460	.520	.220	.080	.055	.055	.175	.270
21	.060	.060	.320	2.050	.420	.460	.180	.080	.055	.055	.110	.450
22	.060	.060	.195	2.260	.380	.405	.155	.080	.055	.055	.210	.530
23	.060	.060	.140	2.510	.375	.385	.155	.065	.055	.055	.160	.565
24	.060	.060	.110	2.370	.980	.570	.130	.065	.055	.055	.100	.440
25	.080	.060	.110	1.420	.950	.510	.130	.065	.055	.055	.088	.325
26	.080	.060	.190	1.020	.675	1.080	.110	.065	.055	.055	.080	.255
27	.080	.060	.155	1.150	.805	.780	.100	.065	.055	.045	.080	.240
28	.080	.060	.140	1.980	.880	.565	.095	.065	.055	.045	.080	.240
29	.060	------	.140	1.660	.790	.470	.095	.065	.055	.045	.080	.215
30	.060	------	.190	1.880	.630	.390	.095	.065	.055	.045	.080	.185
31	.110	------	.420	------	.550	------	.095	.065	------	.045	------	.165
MOY	.069	.082	.103	1.600	.985	.727	.195	.086	.057	.056	.090	.180

DEBITS JOURNALIERS DU BRUYANT EN M^3/S 1972.

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.130	.065	.155	.845	.980	.485	.290	.090	.430	.055	.450	.380
2	.130	.065	.155	1.870	1.110	.445	.220	.090	.255	.055	.340	.380
3	.110	.066	.155	2.010	1.230	.415	.190	.090	.200	.055	.295	.450
4	.095	.340	.155	1.990	1.330	.420	.180	.090	.180	.055	.230	1.350
5	.095	.250	.155	2.750	1.310	.410	.180	.110	.185	.055	.180	.775
6	.095	.335	.155	1.610	1.230	1.580	.150	.110	.415	.055	.130	.530
7	.095	.920	.130	1.280	1.080	.940	.150	.110	.550	.045	.130	.435
8	.095	.805	.130	1.800	1.120	.600	.150	.110	.755	.045	.130	.500
9	.095	.605	.110	1.310	1.210	.470	.130	.230	.420	.045	.130	.865
10	.095	.425	.110	.935	1.160	.400	.130	.320	.310	.045	.130	.620
11	.110	.360	.110	.795	1.010	.960	.130	.320	.320	.440	.240	.455
12	.110	.390	.115	.600	.790	1.150	.130	.290	.230	.980	.310	.420
13	.130	.305	.190	.470	.580	.570	.110	.290	.180	.610	.520	.350
14	.130	.250	.225	.440	.480	.440	.110	.290	.150	.380	.985	.320
15	.130	.210	.380	.480	.490	.380	.110	.290	.150	.260	1.280	.320
16	.110	.205	.430	.420	.440	.380	.110	.290	.150	.150	.760	.320
17	.110	.180	.570	.360	.385	.340	.110	.350	.130	.110	.625	.320
18	.110	.370	.590	.350	.440	.302	.110	.350	.130	.110	.600	.320
19	.095	.285	.630	.320	.565	.275	.130	.350	.130	.070	.575	.320
20	.095	.260	.650	.310	.970	.240	.110	.350	.130	.070	.450	.320
21	.095	.230	.640	.400	1.310	.210	.110	.320	.130	.070	.380	.320
22	.080	.210	.620	.500	1.210	.200	.110	.290	.130	.070	.490	.320
23	.080	.210	.760	.570	1.370	.180	.110	.150	.130	.070	.490	.200
24	.080	.210	.890	.550	1.420	.180	.110	.130	.090	.070	.490	.130
25	.080	.210	1.020	.535	1.190	.150	.090	.090	.070	.070	.490	.130
26	.080	.200	1.080	.455	1.180	.150	.090	.090	.070	.070	.490	.110
27	.080	.180	.920	.505	1.360	.150	.090	.230	.070	.130	.490	.110
28	.080	.180	.710	.445	.870	.150	.090	.230	.070	.880	.450	.110
29	.080	.155	.650	.445	.760	.170	.090	.320	.070	.480	.380	.110
30	.065	------	.735	.745	.825	.455	.090	.350	.055	.360	.380	.110
31	.065	------	.855	------	.600	------	.090	.255	------	.450	------	.110
0												
1	.098	.292	.457	.870	.968	.440	.129	.222	.210	.207	.434	.371
2												

DEBITS JOURNALIERS DU BRUYANT EN M/S .3 1973.

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.090	.045	.055	.320	2.460	.230	.180	.320	.090	.180	.090	.110
2	.090	.045	.055	.320	2.610	.230	.150	.290	.090	.130	.090	.110
3	.090	.045	.055	.320	2.700	.180	.130	.290	.090	.180	.090	.110
4	.090	.045	.055	.320	2.300	.150	.130	.260	.090	.190	.090	.110
5	.090	.045	.055	.320	2.340	.150	.130	.230	.090	.180	.090	.110
6	.090	.045	.055	.370	1.530	.180	.110	.230	.070	.180	.110	.110
7	.090	.045	.055	.440	1.010	.260	.110	.230	.070	.180	.130	.110
8	.090	.055	.055	.520	.645	.230	.110	.200	.070	.180	.130	.130
9	.070	.055	.055	.490	.520	.200	.090	.200	.070	.180	.110	.130
10	.055	.055	.055	.350	.585	.180	.090	.180	.070	.180	.090	.130
11	.055	.055	.055	.350	.790	.180	.070	.180	.070	.180	.090	.130
12	.055	.055	.055	.350	.580	.150	.070	.180	.070	.180	.070	.130
13	.055	.055	.055	.350	.500	.150	.070	.150	.070	.180	.090	.130
14	.055	.055	.055	.320	.520	.150	.070	.150	.070	.255	.430	.130
15	.055	.055	.055	.230	.495	.110	.420	.300	.070	.470	.890	.130
16	.055	.055	.055	.200	.440	.110	.850	.200	.070	.775	.460	.130
17	.055	.055	.055	.320	.420	.110	1.270	.150	.090	.460	.370	.130
18	.055	.055	.055	.320	.385	.110	.575	.130	.365	.350	.310	.110
19	.055	.055	.055	.350	.380	.110	.415	.130	.220	.280	.235	.110
20	.055	.055	.070	.350	.380	.310	.350	.110	.230	.230	.190	.110
21	.055	.055	.115	.290	.400	.350	.755	.110	1.120	.180	.180	.110
22	.055	.055	.220	.230	.420	.345	1.550	.110	.390	.150	.180	.110
23	.055	.055	.310	.230	.365	.970	.685	.110	.280	.130	.180	.110
24	.055	.055	.365	.260	.350	.650	1.450	.110	.220	.110	.180	.110
25	.055	.055	.385	.290	.320	.425	2.240	.110	.180	.110	.150	.110
26	.055	.055	.330	.320	.275	.350	1.530	.110	.180	.110	.130	.110
27	.045	.055	.265	.565	.260	.350	.820	.110	.180	.110	.130	.110
28	.045	.055	.410	1.430	.230	.350	.555	.110	.180	.090	.130	.110
29	.045	------	.480	1.890	.290	.230	.470	.110	.180	.090	.130	.110
30	.045	------	.375	1.980	.260	.230	.415	.110	.180	.090	.110	.110
31	.045	------	.320	------	.230	------	.360	.090	------	.090	------	.110
MOY	.063	.053	.151	.480	.806	.258	.523	.171	.174	.206	.189	.116

DEBITS JOURNALIERS DU BRUYANT M/S .3 1974.

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.090	.260	.130	.860	.185	.400	.300	.064	.320	.510	.690	1.230
2	.090	.260	.130	.810	.185	.270	.245	.064	.320	.390	.630	1.110
3	.070	.260	.130	.860	.200	.215	.210	.064	.280	.320	.630	1.010
4	.070	.260	.130	.810	.280	.210	.160	.084	.280	.320	.630	1.050
5	.070	.260	.130	.810	.320	.210	.135	.135	.280	.350	.565	1.050
6	.070	.290	.130	.810	.395	.210	.115	.185	.280	.320	.565	1.050
7	.070	.290	.130	.630	.350	.210	.098	.280	.280	.280	.565	1.050
8	.110	.290	.130	.565	.260	.185	.098	.510	.245	.245	.565	1.050
9	.200	.290	.130	.565	.310	.160	.098	.920	.245	.245	.565	1.050
10	.200	.290	.110	.565	.490	.135	.084	1.230	.210	.210	.565	.980
11	.200	.290	.110	.510	1.130	.135	.072	1.410	.210	.210	.630	.980
12	.350	.290	.110	.510	.940	.135	.072	1.300	.210	.185	.630	.980
13	.450	.290	.110	.510	.940	.135	.072	1.180	.185	.160	.670	.920
14	.380	.290	.110	.450	.810	.135	.072	1.110	.160	.160	.850	.920
15	.350	.290	.110	.400	.610	.115	.072	1.050	.135	.160	1.580	.920
16	.380	.290	1.310	.360	.510	.098	.072	.980	.115	.160	1.590	.920
17	.420	.200	1.710	.320	.510	.098	.072	.920	.115	.160	1.200	.920
18	.380	.180	1.470	.280	.450	.135	.072	.860	.098	.160	1.250	.920
19	.290	.180	1.590	.245	.320	.135	.072	.810	.098	.775	1.250	.860
20	.290	.180	1.410	.210	.320	.135	.072	.750	.098	2.650	1.110	.860
21	.290	.130	1.230	.210	.280	.098	.064	.690	.084	2.010	1.110	.860
22	.290	.130	1.110	.210	.280	.098	.064	.630	.084	1.300	1.170	.860
23	.290	.130	.810	.210	.250	.098	.064	.565	.084	1.050	1.350	.860
24	.290	.130	.920	.185	.210	.098	.064	.510	.084	.920	1.270	.860
25	.290	.130	1.180	.185	.210	.098	.064	.450	.320	.920	1.180	.810
26	.260	.130	1.290	.185	.160	.098	.064	.450	.840	.920	1.350	.810
27	.260	.132	1.410	.185	.160	.135	.064	.400	.640	.860	3.130	.865
28	.260	.130	1.530	.185	.185	.135	.064	.400	1.610	.810	2.850	1.340
29	.260	------	1.230	.185	.210	1.400	.064	.360	1.520	.810	1.930	1.680
30	.260	------	1.050	.245	.210	.630	.064	.360	.810	.750	1.340	1.460
31	.260	------	.920	------	.210	------	.064	.320	------	.690	------	1.050
MOY	.243	.224	.710	.436	.383	.212	.096	.614	.341	.613	1.110	1.010

1968

DEBITS JOURNALIERS DU GERME(CUVES DE SASSENAGE) M^3/S

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT	OCT.	NOV.	DEC.
1	------	------	------	------	------	------	------	.110	.660	.620	.150	.240
2	------	------	------	------	------	------	------	.110	.370	.420	2.710	.220
3	------	------	------	------	------	------	------	1.000	2.480	.360	5.050	.220
4	------	------	------	------	------	------	------	.240	3.270	.280	4.010	.200
5	------	------	------	------	------	------	------	.170	1.560	.240	2.200	.210
6	------	------	------	------	------	------	------	.150	.620	.220	1.100	.200
7	------	------	------	------	------	------	------	4.000	.480	.200	.900	.180
8	------	------	------	------	------	------	------	.560	.360	.710	.620	.180
9	------	------	------	------	------	------	------	.480	.280	1.190	.560	.180
10	------	------	------	------	------	------	------	.820	.240	.420	.480	.170
11	------	------	------	------	------	------	------	.900	.240	.320	.420	.160
12	------	------	------	------	------	------	------	.420	.240	.240	.360	.160
13	------	------	------	------	------	------	------	.440	.220	.220	.320	.160
14	------	------	------	------	------	------	------	6.100	.200	.200	.280	.160
15	------	------	------	------	------	------	------	2.200	1.820	.200	.240	.150
16	------	------	------	------	------	------	------	.900	.960	.180	.240	.150
17	------	------	------	------	------	------	------	5.050	.560	.180	.240	.150
18	------	------	------	------	------	------	------	3.150	.420	.180	.240	.150
19	------	------	------	------	------	------	------	1.100	.320	.170	.220	.150
20	------	------	------	------	------	------	------	.620	.240	.170	.220	.150
21	------	------	------	------	------	------	------	.420	.240	.170	.220	.140
22	------	------	------	------	------	------	------	.320	3.950	.160	.220	.130
23	------	------	------	------	------	------	------	.280	.990	.160	.220	.240
24	------	------	------	------	------	------	------	.240	.940	.160	.940	1.200
25	------	------	------	------	------	------	------	.220	.620	.170	1.660	8.600
26	------	------	------	------	------	------	------	.200	.420	.160	.560	7.720
27	------	------	------	------	------	------	------	.200	.360	.160	.420	2.200
28	------	------	------	------	------	------	------	.180	.320	.150	.360	.900
29	------	------	------	------	------	------	------	.180	.490	.150	.320	.560
30	------	------	------	------	------	------	------	.210	.650	.150	.280	.360
31	------	------	------	------	------	------	------	3.310	------	.150	------	.320
MOY	.090	.200	.180	.270	.480	.320	.180	1.090	.810	.270	.860	.330

1969

DEBITS JOURNALIERS DU GERME(CUVES DE SASSENAGE) M^3/S

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.240	.200	.200	.210	2.660	.200	.285	.185	.140	.120	.090	.185
2	.220	.180	.180	.305	2.720	.180	.240	.170	.140	.120	.090	.180
3	.200	.180	.180	.225	2.830	.170	.585	.205	.140	.120	.090	.170
4	.180	.170	.200	.240	2.800	.255	1.840	.180	.130	.110	.090	.230
5	.180	.160	.200	.370	2.580	.295	.585	.160	.130	.110	.090	.245
6	.170	.160	.180	.280	3.480	.320	.420	.150	.140	.110	.070	.205
7	.170	.150	.170	.390	3.300	.770	1.260	.150	.140	.110	.090	.190
8	.180	.150	.170	.635	2.470	1.190	.900	.150	.180	.110	.145	.180
9	.170	.140	.160	.950	2.730	.750	.585	.150	.150	.110	.170	.170
10	.170	.140	.180	1.350	2.700	.345	1.180	.140	.150	.110	.200	.170
11	.160	.140	.180	1.620	2.200	1.880	1.120	.140	.150	.110	.160	.160
12	.170	.140	.195	1.780	2.230	2.210	.620	.140	.140	.110	.150	.160
13	.310	.140	.390	1.560	2.070	.795	.470	.140	.130	.090	.170	.160
14	.350	.140	1.790	.585	1.480	.550	.365	.140	.160	.090	2.430	.160
15	.505	.130	1.390	.395	1.010	.385	.280	.155	.160	.090	.590	.160
16	.380	.130	.600	1.940	.770	.310	.240	.150	.150	.090	.275	.160
17	.260	.120	.710	1.280	.600	.405	.240	.160	.150	.090	.210	.160
18	.270	.110	.840	.580	.475	1.580	.220	.150	.600	.090	.180	.215
19	.400	.120	.635	.430	.390	4.830	.200	.140	.260	.090	.160	.470
20	.310	.320	.610	.340	.330	1.930	.200	.140	.190	.090	.160	.270
21	.240	.305	.625	.335	.290	.795	.180	.130	.165	.090	.160	.220
22	.220	.230	.550	1.700	.280	.530	.400	.130	.150	.090	.275	.200
23	.220	.205	.380	1.530	.250	.690	.410	.130	.140	.090	.285	.180
24	.280	.445	.350	.825	.240	4.810	.210	.130	.140	.110	.615	.180
25	.265	.420	.240	1.650	.240	2.580	.185	.130	.140	.110	.650	.180
26	.230	.360	.220	.260	.230	1.160	.170	.130	.130	.110	.425	.180
27	.220	.280	.220	3.540	.210	.700	.170	.815	.130	.110	.285	.170
28	.220	.220	.200	3.200	.200	.520	.160	.230	.130	.110	.240	.170
29	.220	------	.185	3.100	.180	.395	.160	.170	.120	.110	.220	.170
30	.220	------	.180	3.050	.205	.330	.530	.150	.120	.110	.205	.160
31	.200	------	.180	------	.240	------	.220	.140	------	.110	------	.160
MOY	.243	.200	.403	1.160	1.370	1.060	.470	.173	.163	.104	.300	.185

1970

DEBITS JOURNALIERS DU GERME(CUVES DE SASSENAGE) M^3/S

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.150	.520	.290	.570	.660	4.000	.280	.130	.130	.440	.130	.840
2	.150	.365	.250	.540	.635	4.170	.240	.130	.120	.180	.140	.420
3	.150	4.700	.240	.445	1.160	3.620	.220	.130	.120	.190	.150	.345
4	.150	4.090	.225	.365	2.880	2.600	.200	.130	.110	.270	.150	2.930
5	.560	2.070	.210	.320	3.500	2.030	.180	.130	.110	.210	.140	1.590
6	.645	1.080	.200	.250	3.580	2.070	.180	.130	.110	.190	.130	.760
7	.330	.680	.190	.295	4.040	2.270	.170	.120	.110	.170	.150	.470
8	.250	.525	.180	.390	3.500	2.230	.170	.120	.110	.150	.140	.350
9	.370	.450	.180	.360	2.620	2.700	.170	.195	.110	3.580	.140	.280
10	2.180	.420	.180	.320	5.800	2.320	.160	.160	.110	.755	.140	.25[illegible]
11	3.330	.530	.170	.320	3.520	1.850	.160	.140	.120	.260	.140	.230
12	3.400	.570	.170	.360	3.280	1.570	.160	.130	.135	.200	.140	.220
13	.930	.510	.170	6.030	3.450	1.230	.155	.130	.110	.170	.790	.200
14	.615	.440	.180	3.360	4.700	.965	.150	.130	.110	.160	2.390	.200
15	.570	.350	.180	2.200	5.500	.750	.160	.130	.110	.150	.630	.200
16	.650	.290	.170	2.130	5.170	.635	.815	.130	.380	.140	.300	.165
17	.570	.250	.170	3.380	4.950	.570	.320	.120	.155	.140	.230	.180
18	.480	.240	.200	4.060	4.370	.520	.205	.120	.130	.130	.530	.170
19	.375	.235	.410	5.380	4.300	.870	.185	.130	.120	.130	1.890	.170
20	.325	.235	.285	4.050	4.460	3.410	.170	.470	.110	.130	2.220	.160
21	.285	.400	.305	2.750	3.800	1.280	.165	.200	.110	.150	1.030	.160
22	.250	.690	.470	2.300	3.050	.640	.160	.160	.110	.140	.850	.160
23	.230	1.030	1.500	2.980	2.450	.440	.150	.140	.110	.140	.520	.160
24	.220	1.480	1.750	3.600	3.130	.375	.150	.132	.110	.140	.435	.150
25	.200	1.110	2.050	3.530	4.260	.305	.140	.120	.110	.140	.380	.150
26	.200	.615	1.350	3.750	4.960	.265	.140	.120	.090	.160	.315	.150
27	.230	.445	1.600	2.530	4.650	.240	.140	.120	.090	.170	.280	.150
28	.340	.340	.980	1.670	4.280	.660	.140	.120	.090	.170	.280	.150
29	.305	------	.625	.970	3.930	.605	.140	.120	.090	.170	.510	.150
30	.300	------	.485	.720	4.200	.330	.130	.120	.140	.160	2.300	.140
31	.770	------	.480	------	3.880	------	.130	.140	------	.150	------	.140
MOY	.629	.898	.511	2.000	3.700	1.520	.195	.145	.122	.305	.587	.368

1971

DEBITS JOURNALIERS DU GERME(CUVES DE SASSENAGE) M^3/S

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.110	.210	.120	.540	4.650	.310	.220	.100	.077	.075	.075	.130
2	.110	.180	.120	.650	2.190	.245	.195	.100	.075	.075	.060	.130
3	.100	.150	.120	.700	1.790	.210	.180	.100	.075	.075	.060	.130
4	.100	.150	.120	.745	1.330	.230	.170	.100	.075	.060	.060	.130
5	.100	.140	.120	.820	1.120	.220	.200	.080	.075	.060	.060	.130
6	.100	.140	.120	.840	1.160	.435	.725	.080	.075	.060	.060	.130
7	.100	.140	.110	1.170	1.120	1.030	.215	.080	.075	.060	.060	.130
8	.080	.140	.110	1.470	1.280	.550	.180	.080	.075	.060	.060	.130
9	.080	.140	.110	1.690	1.140	.370	.175	.080	.060	.060	.350	.130
10	.100	.130	.100	1.870	1.100	1.200	.150	.080	.210	.060	.160	.130
11	.100	.130	.100	1.970	1.120	1.530	.140	.080	.450	.060	.135	.130
12	.100	.130	.100	1.990	.850	1.630	.140	.255	.135	.060	.120	.130
13	.100	.130	.110	1.990	.890	.910	.140	.130	.110	.060	.120	.130
14	.100	.130	.120	1.930	.870	.570	.130	.100	.085	.755	.110	.130
15	.100	.120	.120	1.970	.590	1.870	.130	.100	.080	.680	.110	.140
16	.100	.120	.130	1.830	.500	1.350	.130	.100	.080	.160	.110	.150
17	.100	.120	.130	1.720	.425	.810	.120	.080	.075	.130	.130	.165
18	.100	.120	.135	1.470	.365	.580	.120	.080	.075	.110	.420	.165
19	.080	.145	.455	1.550	.310	.535	.130	.080	.075	.098	.670	.150
20	.120	.140	.765	1.730	.265	.415	.120	.080	.075	.080	.320	.250
21	.130	.140	1.000	1.750	.230	.330	.120	.080	.075	.080	.180	.520
22	.150	.140	.520	1.970	.200	.270	.110	.080	.063	.075	.405	.650
23	.160	.130	.330	3.080	.235	.230	.110	.080	.060	.075	.200	.515
24	.310	.130	.280	2.940	1.110	.210	.110	.080	.060	.075	.165	.395
25	.340	.130	.250	1.680	.880	.220	.110	.075	.075	.075	.145	.310
26	.310	.130	.450	1.250	.520	.970	.110	.097	.075	.075	.140	.230
27	.370	.130	.400	1.550	.820	.700	.110	.350	.075	.075	.140	.220
28	.310	.130	.295	2.410	.970	.400	.100	.130	.150	.075	.140	.195
29	.220	------	.230	1.850	.860	.280	.100	.105	.115	.075	.140	.195
30	.190	------	.240	2.520	.555	.255	.100	.085	.085	.075	.130	.180
31	.220	------	.355	------	.380	------	.100	.080	------	.075	------	.165
MOY	.151	.135	.247	1.650	.962	.630	.158	.103	.098	.113	.168	.207

1972

DEBITS JOURNALIERS DU GERME(CUVES DE SASSENAGE) M/S

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.198	.130	.240	1.010	1.120	.515	.425	.130	.230	.100	.250	.335
2	.183	.135	.240	1.770	1.260	.450	.600	.120	.190	.100	.205	.360
3	.213	.170	.240	1.680	1.440	.420	.390	.120	.155	.100	.170	.440
4	.197	.430	.230	1.510	1.360	.410	.280	.130	.135	.100	.153	1.800
5	.182	.450	.225	1.750	1.740	.390	.235	.125	.130	.100	.135	1.100
6	.180	.370	.225	1.370	1.200	1.230	.225	.120	.195	.095	.125	.675
7	.167	1.050	.270	1.430	1.330	.760	.210	.120	.260	.090	.120	.450
8	.165	1.010	.280	1.820	1.410	.595	.195	.120	.625	.090	.120	.370
9	.167	.725	.270	1.230	1.310	.445	.180	.120	.230	.090	.120	.740
10	.183	.640	.270	.980	1.270	.350	.180	.120	.275	.090	.120	.570
11	.195	.570	.250	.900	1.090	1.040	.180	.120	.590	.090	.610	.410
12	.195	.865	.240	.800	.850	1.020	.180	.120	.230	.110	.445	.340
13	.195	.569	.330	.650	.580	.560	.160	.120	.195	.120	.440	.285
14	.195	.465	.390	.620	.450	.390	.150	.120	.175	.095	1.460	.255
15	.195	.390	.580	.750	.570	.340	.150	.125	.180	.090	1.750	.235
16	.195	.320	.630	.695	.580	.300	.150	.172	.165	.090	.895	.222
17	.180	.295	.740	.550	.480	.290	.150	.580	.165	.090	.735	.210
18	.180	.935	.660	.455	.505	.270	.150	.225	.153	.090	1.460	.200
19	.165	.845	.695	.420	.615	.240	.190	.215	.150	.090	.970	.195
20	.165	.545	.695	.390	1.030	.235	.295	.180	.130	.090	.590	.185
21	.165	.430	.695	.465	1.440	.225	.180	.150	.130	.090	.510	.180
22	.150	.390	.720	.725	1.190	.215	.160	.140	.120	.090	.720	.180
23	.150	.360	.870	.870	1.200	.210	.150	.130	.120	.090	.830	.165
24	.150	.310	.935	.760	1.410	.195	.150	.130	.120	.100	.850	.165
25	.150	.300	1.110	.740	1.340	.195	.185	.120	.110	.090	.480	.165
26	.150	.300	1.200	.530	1.300	.180	.160	.120	.120	.090	.350	.155
27	.150	.270	1.090	.620	1.300	.870	.150	.120	.105	.105	.275	.150
28	.150	.255	.670	.535	.860	.910	.150	.120	.100	.450	.240	.150
29	.130	.240	.540	.485	.725	.405	.150	.140	.100	.290	.233	.150
30	.130	------	.670	.945	.820	.820	.130	.150	.100	.240	.225	.130
31	.130	------	.865	------	.685	------	.130	.150	------	.230	------	.130
MOY	.171	.475	.550	.915	1.050	.483	.205	.151	.189	.122	.520	.359

1973

DEBITS JOURNALIERS DU GERME(CUVES DE SASSENAGE) M^3/S

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.130	.150	.125	.510	2.300	.310	.230	1.130	1.010	.070	.080	.050
2	.125	.145	.125	.555	2.570	.280	.210	1.050	.335	.080	.070	.050
3	.120	.130	.125	.745	2.700	.255	.200	.965	.180	.103	.070	.050
4	.120	.130	.135	.450	2.510	.240	.190	.900	.140	.185	.070	.040
5	.120	.135	.165	.400	2.450	.230	.183	.845	.100	.150	.100	.040
6	.120	.157	.170	.415	2.310	.265	.180	.795	.100	.105	.230	.040
7	.120	.150	.225	.430	1.670	.445	.170	.710	.080	.178	.270	.050
8	.110	.150	.200	.450	1.030	.295	.170	.590	.080	.545	.140	.330
9	.100	.165	.182	.470	.840	.370	.235	.440	.080	.223	.100	1.480
10	.100	.160	.180	.490	.650	.285	.185	.270	.080	.175	.085	.730
11	.100	.150	.180	.510	1.250	.240	.165	.270	.080	.130	.080	.280
12	.100	.150	.170	.535	1.070	.620	.165	.270	.080	.100	.080	.215
13	.100	.150	.180	.565	1.140	.805	.150	.190	.085	.083	.080	.160
14	.100	.165	.165	.595	1.290	.450	.150	.190	.090	.985	2.610	.250
15	.100	.165	.155	.620	1.280	.300	.895	.190	.094	2.370	4.560	1.750
16	.100	.150	.150	.650	1.190	.245	.955	.155	.100	3.150	3.310	.975
17	.105	.135	.150	.775	1.170	.220	1.910	.140	.070	2.900	2.080	.554
18	.110	.130	.180	.645	1.060	.205	.730	.140	2.700	1.710	1.230	.320
19	.110	.130	.195	.523	1.100	.195	.410	.140	2.110	1.130	.023	.270
20	.105	.120	.185	.356	.950	.355	.285	.130	.202	.795	.554	.260
21	.105	.120	.235	.300	.910	.610	1.090	.120	3.490	.440	.285	.554
22	.110	.120	.340	.300	.920	.301	6.240	.110	2.460	.220	.195	.770
23	.110	.130	.460	.442	.835	2.580	3.110	.100	1.060	.190	.165	.770
24	.110	.140	.590	.600	.690	1.710	5.180	.100	.495	.150	.140	1.040
25	.110	.150	.695	.500	.530	.880	6.710	.100	.400	.140	.125	1.080
26	.110	.140	.550	.512	.465	.550	4.560	.090	.235	.105	.120	.556
27	.115	.130	.475	.995	.412	.370	2.720	.080	.100	.100	.100	.270
28	.180	.125	.780	1.960	.365	.296	1.900	1.990	.070	.100	.080	.260
29	.160	------	1.010	2.230	1.060	.265	1.530	2.240	.060	.095	.070	.210
30	.150	------	.720	2.160	.540	.240	1.060	.600	.060	.080	.060	.196
31	.145	------	.515	------	.370	------	.930	1.680	------	.080	------	.215
MOY	.116	.142	.314	.690	1.210	.480	1.380	.539	.541	.544	.599	.446

1975

DEBITS JOURNALIERS DU GERME (CUVES DE SASSENAGE) M^3/S

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.435	.990	.140	.225	1.320	1.770	.175	.080	.196	.500	.770	[illegible]
2	.400	.800	.168	.200	1.380	1.300	.160	.080	.180	.215	.77[illegible]	.5[illegible]
3	.400	.590	.225	.200	1.210	.980	.155	.080	.790	.182	.420	.315
4	.390	.485	.215	.200	1.090	.720	.310	.080	.315	.158	.340	[illegible]
5	.390	.405	.180	.185	.760	.590	1.510	.079	.210	.135	.265	.645
6	.390	.350	.158	.180	.620	.530	.990	.076	.165	.120	.230	.540
7	.390	.310	.158	.185	.650	.465	.520	.076	1.650	.120	.202	.475
8	.740	.300	.330	.180	.880	.405	.340	.076	1.160	.118	.195	.408
9	1.500	.300	.550	.222	1.070	.370	.280	.080	.580	.108	.177	.340
10	1.050	.295	.570	.255	1.110	.340	.245	.590	.350	.100	.176	.310
11	.705	.260	.385	.220	1.690	.310	.220	.190	.280	.100	.175	.290
12	.555	.260	.313	.240	1.630	.280	.220	.125	.460	.100	.166	[illegible]
13	.415	.260	.270	.455	1.360	.260	.175	.105	1.130	.100	.660	.280
14	.315	.245	.270	.855	1.240	.250	.180	.090	1.370	.095	.865	.244
15	.300	.225	.290	1.650	1.250	.280	.160	.105	2.710	.090	.710	.230
16	.300	.200	.280	1.700	1.360	.910	.145	.240	1.400	.087	1.410	.232
17	.305	.182	.260	1.620	1.310	.800	.137	.135	1.000	.315	1.470	1.110
18	.330	.176	.255	1.610	1.330	.620	.130	.115	.650	1.330	1.060	.820
19	.370	.176	.235	1.700	1.350	.520	.130	.120	.470	1.090	.740	.505
20	.310	.176	.210	1.700	1.290	.370	.130	.088	.390	1.000	.950	.390
21	.310	.158	.185	1.730	1.320	.310	.130	.084	.320	.775	1.490	.310
22	.290	.152	.176	1.750	1.580	.270	.120	.630	.275	.730	1.040	.275
23	.260	.152	.180	1.780	1.760	.260	.118	.650	.260	.630	.760	[illegible]
24	.260	.152	.180	1.730	1.200	.290	.115	.480	.235	.620	.545	.230
25	.295	.140	.178	1.700	.930	.270	.109	.250	.210	.545	.425	[illegible]
26	.870	.135	.200	1.650	1.070	.240	.102	.175	.190	.440	.370	[illegible]
27	.760	.135	.295	1.550	.970	.220	.100	.133	.176	.400	.320	[illegible]
28	.640	.135	.300	1.460	.810	.195	.100	.118	.158	.370	.320	[illegible]
29	1.600	------	.300	1.500	.720	.180	.092	.122	.140	.340	.525	[illegible]
30	1.610	------	.275	1.420	.970	.185	.084	.165	.200	.360	.735	.132
31	1.280	------	.250	------	1.070	------	.082	.160	------	.340	------	[illegible]
MOY	.586	.291	.257	1.000	1.170	.483	.241	.180	.587	.37[illegible]	.609	[illegible]

1976

DEBITS JOURNALIERS DU GERME (CUVES DE SASSENAGE) M^3/S

0	JAN.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
1	.118	.067	.415	1.030	.605	.137	.063	.055	.730	.135	.200	[illegible]
2	.118	.065	.415	1.110	.715	.125	.062	.055	.220	.130	.176	1.230
3	.117	.064	.415	1.050	.780	.130	.064	.054	.315	.140	.178	.855
4	.109	.063	.400	1.100	1.010	.120	.067	.047	.290	.360	.240	.570
5	.108	.073	.360	1.240	1.090	.105	.064	.045	.150	1.220	.290	.430
6	.118	.085	.320	1.360	1.130	.090	.062	.045	.110	.480	.430	.360
7	.118	.078	.270	1.500	1.080	.087	.078	.045	.078	.280	1.190	.410
8	.118	.077	.230	1.110	.960	.077	.081	.045	.067	.210	.865	.505
9	.115	.125	.180	.690	.850	.073	.067	.045	.081	.160	.605	.630
10	.104	.137	.165	.480	.720	.075	.064	.047	1.150	.120	1.580	1.280
11	.118	.125	.155	.410	.680	.076	.061	.056	.380	.120	1.540	1.020
12	.125	.140	.160	.410	.760	.074	.060	.052	.357	.545	1.110	.730
13	.124	.220	.155	.490	.580	.068	.082	.050	1.520	.760	.950	.540
14	.120	.355	.170	.520	.430	.066	.066	.050	.670	.440	1.040	.420
15	.118	.230	.200	.390	.395	.066	.062	.050	.910	.650	.815	.360
16	.105	.165	.295	.325	.400	.064	.060	.050	1.000	.395	.620	.320
17	.100	.145	.830	.500	.395	.064	.057	.061	.700	.285	.533	.275
18	.095	.180	.840	.920	.340	.064	.062	.055	.400	.240	.480	.230
19	.087	.200	.585	.890	.330	.064	.140	.050	.270	.725	.430	.355
20	.084	.210	.385	.870	.295	.065	.089	.049	.207	.510	.390	.385
21	.082	.240	.340	1.070	.240	.064	.078	.048	.180	.350	.340	.315
22	.077	.245	.275	1.240	.220	.066	.062	.047	.156	.290	.300	.270
23	.077	.210	.290	1.090	.195	.065	.057	.046	.176	.240	.270	.250
24	.080	.230	.260	.810	.180	.063	.055	.046	.176	.210	.245	.231
25	.080	.245	.230	.550	.175	.066	.055	.046	.156	.180	.235	.230
26	.080	.240	.260	.440	.185	.063	.055	.045	.152	.176	.250	.210
27	.078	.265	.315	.530	.190	.062	.055	.045	.133	.158	.260	.200
28	.078	.315	.360	.855	.165	.061	.055	.045	.130	.152	.255	.185
29	.070	.380	.430	.800	.140	.076	.055	.046	.155	.135	.230	[illegible]
30	.070	------	.620	.540	.230	.068	.055	.308	.178	.217	.235	.152
31	.070	------	.800	------	.175	------	.055	.250	------	.230	------	.152
MOY	.098	.178	.359	.810	.505	.078	.066	.064	.373	.330	.543	[illegible]

II - DESCRIPTION DU PREMIER PROGRAMME UTILISE ET UN EXEMPLE .

FORTRAN P1 CAMBRIDGE MONITOR SYSTEM

```
      SUBROUTINE CORRE (N,M,IC,X,XBAR,STD,RX,R,B,D,T)
      DIMENSION X(1),XBAR(1),STD(1),RX(1),R(1),B(1),D(1),T(1)
      DO 100 J=1,M
      B(J)=0.0
100   T(J)=0.0
      K=(M*M+M)/2
      DO 102 I=1,K
102   R(I)=0.0
      FN=N
      L=0
      IF(IC) 105,127, 105
105   DO 108 J=1,M
      DO 107 I=1,N
      L=L+1
107   T(J)=T(J)+X(L)
      XBAR(J)=T(J)
108   T(J)=T(J)/FN
      DO 115 I=1,N
      JK=0
       L=I-N
      DO 110 J=1,M
      L=L+N
      D(J)=X(L)-T(J)
110   B(J)=B(J)+D(J)
      DO 115 J=1,M
      DO 115 K=1,J
      JK=JK+1
115   R(JK)=R(JK)+D(J)*D(K)
      GO TO 205
127   IF(N-M) 130, 130, 135
130   KK=N
      GO TO 137
135   KK=M
137   DO 140 I=1,KK
      CALL DATA (M,D)
      DO 140 J=1,M
      T(J)=T(J)+D(J)
      L=L+1
140   RX(L)=D(J)
      FKK=KK
      DO 150 J=1,M
      XBAR(J)=T(J)
150   T(J)=T(J)/FKK
      L=0
      DO 180 I=1,KK
      JK=0
      DO 170 J=1,M
      L=L+1
170   D(J)=RX(L)-T(J)
      DO 180 J=1,M
      B(J)=B(J)+D(J)
      DO 180 K=1,J
      JK=JK+1
180   R(JK)=R(JK)+D(J)*D(K)
      IF(N-KK) 205, 205, 185
185   KK=N-KK
      DO 200 I=1,KK
      JK=0
      CALL DATA (M,D)
      DO 190 J=1,M
      XBAR(J)=XBAR(J)+D(J)
      D(J)=D(J)-T(J)
190   B(J)=B(J)+D(J)
      DO 200 J=1,M
      DO 200 K=1,J
      JK=JK+1
200   R(JK)=R(JK)+D(J)*D(K)
205   JK=0
      DO 210 J=1,M
      XBAR(J)=XBAR(J)/FN
      DO 210 K=1,J
      JK=JK+1
210   R(JK)=R(JK)-B(J)*B(K)/FN
      JK=0
      DO 220 J=1,M
      JK=JK+J
220   STD(J)=SQRT(ABS(R(JK)))
      DO 230 J=1,M
      DO 230 K=J,M
      JK=J+(K*K-K)/2
      L=M*(J-1)+K
      RX(L)=R(JK)
      L=M*(K-1)+J
      RX(L)=R(JK)
      IF(STD(J)*STD(K)) 225, 222, 225
222   R(JK)=0.0
      GO TO 230
225   R(JK)=R(JK)/(STD(J)*STD(K))
230   CONTINUE
      FN=SQRT(FN-1.0)
      DO 240 J=1,M
240   STD(J)=STD(J)/FN
      L=-M
      DO 250 I=1,M
      L=L+M+1
250   B(I)=RX(L)
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE ORDER (M,R,NDEP,K,ISAVE,RX,RY)
      DIMENSION R(1),ISAVE(1),RX(1),RY(1)
      MM=0
      DO 130 J=1,K
      L2=ISAVE(J)
      IF(NDEP-L2) 122, 123, 123
122   L=NDEP+(L2*L2-L2)/2
      GO TO 125
123   L=L2+(NDEP*NDEP-NDEP)/2
125   RY(J)=R(L)
      DO 130 I=1,K
      L1=ISAVE(I)
      IF(L1-L2) 127, 128, 128
127   L=L1+(L2*L2-L2)/2
      GO TO 129
128   L=L2+(L1*L1-L1)/2
129   MM=MM+1
 130  RX(MM)=R(L)
      ISAVE(K+1)=NDEP
      RETURN
      END
      SUBROUTINE MULTR(N,K,XBAR,STD,D,RX,RY,ISAVE,B,SB,T,ANS)
      DIMENSION XBAR(1),STD(1),D(1),RX(1),RY(1),ISAVE(1),B(1),SB(1),T(1)
     *,ANS(1)
      MM=K+1
      DO 100 J=1,K
 100  B(J)=0.0
      DO 110 J=1,K
      L1=K*(J-1)
      DO 110 I=1,K
      L=L1+I
 110  B(J)=B(J)+RY(I)*RX(L)
      RM=0.0
      BO=0.0
      L1=ISAVE(MM)
      DO 120 I=1,K
      RM=RM+B(I)*RY(I)
      L=ISAVE(I)
      B(I)=B(I)*(STD(L1)/STD(L))
 120  BO=BO+B(I)*XBAR(L)
      BO=XBAR(L1)-BO
      SSAR=RM*D(L1)
 122  RM=SQRT(ABS(RM))
      SSDR=D(L1)-SSAR
      FN=N-K-1
      SY=SSDR/FN
      DO 130 J=1,K
      L1=K*(J-1)+J
      L=ISAVE(J)
125   SB(J)=SQRT( ABS((RX(L1)/D(L))*SY))
130   T(J)=B(J)/SB(J)
135   SY=SQRT( ABS(SY))
      FK=K
      SSARM=SSAR/FK
      SSDRM=SSDR/FN
      F=SSARM/SSDRM
      ANS(1)=BO
      ANS(2)=RM
      ANS(3)=SY
      ANS(4)=SSAR
      ANS(5)=FK
      ANS(6)=SSARM
      ANS(7)=SSDR
      ANS(8)=FN
      ANS(9)=SSDRM
      ANS(10)=F
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE MINV(A,N,D,L,M)
      DIMENSION A(1),L(1),M(1)
      D=1.0
      NK=-N
      DO 80 K=1,N
      NK=NK+N
      L(K)=K
      M(K)=K
      KK=NK+K
      BIGA=A(KK)
      DO 20 J=K,N
      IZ=N*(J-1)
      DO 20 I=K,N
      IJ=IZ+I
10    IF(ABS(BIGA)-ABS(A(IJ))) 15,20,20
15    BIGA=A(IJ)
      L(K)=I
      M(K)=J
20    CONTINUE
      J=L(K)
      IF(J-K) 35,35,25
25    KI=K-N
      DO 30 I=1,N
      KI=KI+N
      HOLD=-A(KI)
      JI=KI-K+J
      A(KI)=A(JI)
30    A(JI)=HOLD
35    I=M(K)
      IF(I-K) 45,45,38
38    JP=N*(I-1)
      DO 40 J=1,N
      JK=NK+J
      JI=JP+J
      HOLD=-A(JK)
      A(JK)=A(JI)
40    A(JI)=HOLD
45    IF(BIGA) 48,46,48
46    D=0.0
      RETURN
48    DO 55 I=1,N
      IF(I-K) 50,55,50
50    IK=NK+I
      A(IK)=A(IK)/(-BIGA)
55    CONTINUE
      DO 65 I=1,N
      IK=NK+I
      HOLD=A(IK)
      IJ=I-N
      DO 65 J=1,N
      IJ=IJ+N
      IF(I-K) 60,65,60
60    IF(J-K) 62,65,62
62    KJ=IJ-I+K
      A(IJ)=HOLD*A(KJ)+A(IJ)
65    CONTINUE
      KJ=K-N
      DO 75 J=1,N
      KJ=KJ+N
      IF(J-K) 70,75,70
70    A(KJ)=A(KJ)/BIGA
75    CONTINUE
      D=D*BIGA
      A(KK)=1.0/BIGA
80    CONTINUE
      K=N
100   K=(K-1)
      IF(K) 150,150,105
105   I=L(K)
      IF(I-K) 120,120,108
108   JQ=N*(K-1)
      JR=N*(I-1)
      DO 110 J=1,N
      JK=JQ+J
      HOLD=A(JK)
      JI=JR+J
      A(JK)=-A(JI)
110   A(JI)=HOLD
120   J=M(K)
      IF(J-K) 100,100,125
125   KI=K-N
      DO 130 I=1,N
      KI=KI+N
      HOLD=A(KI)
      JI=KI-K+J
      A(KI)=-A(JI)
130   A(JI)=HOLD
      GO TO 100
150   RETURN
      END
```

NUMBER OF OBSERVATIONS N= 89
NUMBER OF VARIABLES M= 7
NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES TO BE
INCLUDED IN THE FORTHCOMING REGRESSION K= 6
THE SUBSCRIPT NUMBERS OF K INDEPENDENT VARIABLES
IN ASCENDING ORDER AND THE SUBSCRIPT NUMBER OF
THE DEPENDENT VARIABLE ISAVE(.)= 2 3 4 5 6
THE SUBSCRIPT NUMBERS OF K INDEPENDENT VARIABLES
IN ASCENDING ORDER AND THE SUBSCRIPT NUMBER OF
THE DEPENDENT VARIABLE ISAVE(.)= 7 1

THE MATRIX CONTAINING DATA

	1	2	3	4	5	6	7
1969 A	0.344	0.799	92.000	141.000	110.000	13.700	12.300
S	0.403	0.344	88.000	92.000	83.000	12.100	10.800
O	0.204	0.403	3.000	88.000	2.000	9.400	8.500
N	0.660	0.204	187.000	3.000	181.000	2.900	1.900
D	0.439	0.660	115.000	187.000	118.000	-5.400	-6.500
1970 J	1.690	0.439	108.000	115.000	109.000	0.600	0.0
F	2.050	1.690	269.000	108.000	265.000	-0.600	-1.700
M	1.210	2.050	172.000	269.000	185.000	-1.700	-3.100
A	3.940	1.210	230.000	172.000	233.000	2.800	1.300
M	4.020	3.940	105.000	230.000	100.000	8.300	6.900
J	1.370	4.020	122.000	105.000	139.000	13.700	12.300
J	0.386	1.370	44.000	122.000	60.000	14.600	13.300
A	0.215	0.386	76.000	44.000	79.000	14.900	13.500
S	0.174	0.215	71.000	76.000	77.000	12.700	11.400
O	0.424	0.174	120.000	71.000	114.000	7.600	6.700
N	0.753	0.424	126.000	120.000	122.000	4.500	3.700
D	0.607	0.753	89.000	126.000	91.000	-2.200	-2.900
1971 J	0.343	0.607	86.000	89.000	79.000	-2.100	-3.000
F	0.380	0.343	47.000	86.000	49.000	-0.600	-1.700
M	0.649	0.380	165.000	47.000	164.000	-2.400	-3.900
A	3.500	0.649	157.000	165.000	164.000	7.100	5.700
M	2.520	3.500	148.000	157.000	137.000	9.800	8.400
J	1.640	2.520	172.000	148.000	182.000	11.700	10.400
J	0.404	1.640	45.000	172.000	66.000	16.200	14.800
A	0.240	0.404	70.000	45.000	79.000	17.100	15.900
S	0.193	0.240	42.000	70.000	48.000	11.300	10.100
O	0.177	0.193	32.000	42.000	37.000	8.600	7.600
N	0.251	0.177	178.000	32.000	168.000	0.100	-1.000
D	0.405	0.251	8.000	178.000	12.000	-0.400	-0.800
1972 J	0.337	0.405	80.000	8.000	82.000	-1.100	-1.900
F	1.380	0.337	185.000	80.000	181.000	1.900	0.800
M	1.280	1.380	69.000	185.000	64.000	3.400	2.040
A	1.840	1.280	106.000	69.000	116.000	4.400	2.900
M	1.600	1.840	65.000	106.000	86.000	8.300	6.800
J	0.968	1.600	129.000	65.000	136.000	11.500	10.200
J	0.263	0.963	44.000	129.000	72.000	14.300	12.900
A	0.227	0.263	82.000	44.000	106.000	13.100	11.600
S	0.301	0.227	57.000	82.000	66.000	8.700	7.200
O	0.363	0.301	58.000	57.000	93.000	7.700	6.700
N	0.769	0.363	123.000	85.000	127.000	4.100	3.300
D	0.690	0.769	55.000	123.000	56.000	2.100	2.100
1973 J	0.262	0.690	81.000	55.000	88.000	-0.700	-1.100
F	0.280	0.262	92.000	81.000	109.000	-3.000	-4.300
M	0.781	0.280	34.000	92.000	42.000	-0.400	-2.000
A	1.760	0.781	93.000	34.000	116.000	1.800	0.200
M	1.890	1.760	72.000	93.000	77.000	11.000	9.700
J	0.499	1.890	118.000	72.000	144.000	13.200	11.800
J	1.660	0.499	267.000	118.000	260.000	14.700	13.300
A	0.477	1.660	49.000	267.000	61.000	16.500	15.100
S	0.394	0.477	84.000	49.000	109.000	13.200	12.100
O	0.404	0.394	61.000	84.000	77.000	7.200	6.400
N	0.403	0.404	84.000	61.000	92.000	3.300	2.700
D	0.540	0.403	68.000	84.000	75.000	-0.700	-1.500
1974 J	0.627	0.540	73.000	68.000	75.000	2.500	1.900
F	0.867	0.627	123.000	73.000	127.000	1.100	-0.100
M	2.020	0.867	81.000	128.000	84.000	4.000	2.700
A	0.872	2.020	42.000	81.000	43.000	5.300	3.900
M	0.762	0.872	83.000	42.000	89.000	8.600	7.100
J	0.568	0.762	112.000	83.000	115.000	11.700	10.300
J	0.396	0.568	61.000	112.000	63.000	14.800	13.600
A	0.476	0.396	123.000	61.000	145.000	15.800	14.600
S	1.080	0.476	189.000	123.000	190.000	10.900	9.600
O	1.580	1.080	177.000	189.000	185.000	1.900	0.500
N	2.350	1.580	237.000	177.000	244.000	2.900	1.800
D	1.560	2.350	91.000	237.000	96.000	1.100	0.200
1975 J	1.450	1.560	138.000	91.000	140.000	2.500	1.800
F	0.702	1.450	16.000	138.000	21.000	1.900	1.100
M	0.563	0.702	124.000	16.000	129.000	0.400	-1.100
A	2.660	0.563	89.000	124.000	94.000	4.300	2.800
M	1.700	2.660	180.000	89.000	161.000	8.900	7.500
J	0.980	1.700	83.000	180.000	107.000	11.400	10.000
J	0.558	0.980	64.000	83.000	71.000	15.400	14.000
A	0.377	0.558	127.000	64.000	137.000	15.900	14.700
S	1.390	0.377	217.000	127.000	218.000	13.900	12.900
O	0.677	1.390	75.000	217.000	95.000	6.600	5.700
N	1.220	0.677	171.000	75.000	168.000	2.400	1.400
D	1.160	1.220	91.000	171.000	79.000	-1.100	-1.900
1976 J	0.402	1.160	24.000	91.000	28.000	-0.400	-1.100
F	0.610	0.402	91.000	24.000	96.000	1.700	1.000
M	1.020	0.610	78.000	91.000	78.000	2.100	0.800
A	1.610	1.020	69.000	78.000	83.000	4.600	3.100
M	0.928	1.610	24.000	69.000	29.000	10.100	8.500
J	0.296	0.923	74.000	24.000	59.000	14.700	13.100
J	0.242	0.286	105.000	74.000	102.000	15.600	14.100
A	0.159	0.242	131.000	105.000	121.000	13.600	12.200
S	0.999	0.159	161.000	131.000	161.000	10.800	9.500
O	0.904	0.999	125.000	161.000	142.000	8.500	7.500
N	1.580	0.904	152.000	125.000	167.000	1.700	0.600
D	1.250	1.580	95.000	152.000	97.000	0.200	-0.300

1) Débits mensuels en m3/s du mois (m).

2) Débits mensuels en m3/s du mois (m - 1).

3) Précipitations mensuelles en mm du mois (m) calculées selon la méthode de Thiessen.

4) Précipitations mensuelles en mm du mois (m - 1) calculées selon la méthode de Thiessen.

5) Précipitations mensuelles en mm du mois (m) calculées selon la moyenne arithmétique des trois stations (Autrans, Villard-de-Lans, Engins).

6) Températures moyennes mensuelles en degré calculées selon la moyenne arithmétique des deux stations (Autrans et Villard-de-Lans).

7) Températures moyennes mensuelles en degré calculées en tenant compte du gradient thermique.

INTERCORRELATIONS AMONG INDEPENDENT VARIABLES

1.000	0.106	0.477	0.113	0.103	0.093
0.106	1.000	0.105	0.984	-0.082	-0.092
0.477	0.105	1.000	0.119	-0.054	-0.055
0.113	0.984	0.119	1.000	-0.040	-0.051
0.103	-0.082	-0.054	-0.040	1.000	0.999
0.093	-0.092	-0.055	-0.051	0.999	1.000

INTERCORRELATIONS OF INDEPENDENT VARIABLES WITH DEPENDENT VARIABLES

0.519
0.481
0.425
0.470
-0.158
-0.174

THE INVERSE OF INTERCORRELATIONS AMONG INDEPENDENT VARIABLES

1.387	-0.352	-0.667	0.312	-5.159	4.971
-0.352	33.477	0.659	-33.014	11.044	-9.568
-0.667	0.659	1.345	-0.754	2.769	-2.607
0.312	-33.014	-0.754	33.620	-15.127	13.717
-5.159	11.043	2.769	-15.126	440.775	-439.348
4.971	-9.567	-2.607	13.716	-439.348	439.012

MEANS AND STANDARD DEVIATION OF ALL VARIABLES

0.961	0.808
0.956	0.808
103.640	56.105
104.461	56.057
109.348	54.025
6.574	6.045
5.415	5.905

REGRESSION COEFFICIENTS AND THEIR STANDARD DEVIATIONS

0.364	0.088
0.009	0.006
0.003	0.001
-0.004	0.006
0.493	0.210
-0.515	0.215

OTHER INFORMATIONS

INTERCEPT	= -0.6006028E 00
MULTIPLE CORRELATION COEFFICIENT	= 0.7352662E 00
STANDARD ERROR OF ESTIMATE	= 0.5675502E 00
SUM OF SQUARES ATTRIBUTABLE TO REGRESSION (SSAR)	= 0.3108394E 02
DEGRESS OF FREEDOM ASSOCIATED WITH SSAR	= 0.6000000E 01
MEAN SQUARE OF SSAR	= 0.5180656E 01
SUM OF SQUARES OF DEVIATIONS FROM REGRESSIONS (SSDR)	= 0.2641328E 02
DEGRESS OF FREEDOM ASSOCIATED WITH SSDR	= 0.8200000E 02
MEAN SQUARE OF SSDR	= 0.3221132E 00
F-VALUE	= 0.1608333E 02

III - QUELQUES EXEMPLES DU DEUXIEME PROGRAMME UTILISE .

FUPON JOB 2222

VARIANCE - COVARIANCE MATRIX

VARIABLE	DEB1	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.65328E 00	0.33916E 00	0.21632E 02	0.19858E 02	-0.83513E 00
DEB2	0.33916E 00	0.65270E 00	0.45842E 01	0.21932E 02	0.46433E 00
PRE1	0.21632E 02	0.45842E 01	0.31280E 04	0.30272E 03	-0.26120E 02
PRE2	0.19858E 02	0.21932E 02	0.30272E 03	0.30672E 04	-0.67395E 01
TEMP	-0.83513E 00	0.46433E 00	-0.26120E 02	-0.67395E 01	0.34915E 02

FUPON JOB 2222

SUMMARY STATISTICS NO.OF CASES= 89

	VARIABLE	LOW	HIGH	AVERAGE	STD. DEV.	VARIANCE
1	DEB1	0.15900E 00	0.40200E 01	0.96116E 00	0.80832E 00	0.65338E 00
2	DEB2	0.15900E 00	0.40200E 01	0.95609E 00	0.80790E 00	0.65270E 00
3	PRE1	0.30000E 01	0.26900E 03	0.10394E 03	0.55928E 02	0.31280E 04
4	PRE2	0.30000E 01	0.26900E 03	0.10333E 03	0.55382E 02	0.30672E 04
5	TEMP	-0.30000E 01	0.17100E 02	0.66954E 01	0.59089E 01	0.34915E 02

FUPON JOB 2222

MATRIX OF CORRELATION COEFFICIENTS

VARIABLE	DEB1	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.10000E 01	0.51936E 00	0.47850E 00	0.44360E 00	-0.17485E 00
DEB2	0.51936E 00	0.10000E 01	0.10145E 00	0.49018E 00	0.97265E-01
PRE1	0.47850E 00	0.10145E 00	0.10000E 01	0.97732E-01	-0.79038E-01
PRE2	0.44360E 00	0.49018E 00	0.97732E-01	0.10000E 01	-0.20591E-01
TEMP	-0.17485E 00	0.97265E-01	-0.79038E-01	-0.20591E-01	0.10000E 01

FUPON JOB 2222

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.6947
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0736
MULTIPLE R	0.5193
MULTIPLE RSQR	0.2697

VARIABLE ENTERED DEB2

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
DEB2	0.5196	0.0916	0.5193	0.5193	0.0916
CONSTANT	0.4643				

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.82221E 02	0.82221E 02	
REGRESSION	1	0.15509E 02	0.15509E 02	0.32135E 02
ERROR	87	0.41988E 02	0.48262E 00	

FUPON JOB 2222

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.6047
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0641
MULTIPLE R	0.6730
MULTIPLE RSQR	0.4529

VARIABLE ENTERED PRE1

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
DEB2	0.4759	0.0802	0.5389	0.4757	0.0801
PRE1	0.0062	0.0011	0.5006	0.4302	0.0801
CONSTANT	-0.1402				

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.82221E 02	0.82221E 02	
REGRESSION	2	0.26043E 02	0.13021E 02	0.35602E 02
ERROR	86	0.31454E 02	0.36575E 00	

EURO'' JOB 2222

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.5971
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0622
MULTIPLE R	0.7002
MULTIPLE RSQR	0.4903

VARIABLE ENTERED PRE2

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
DEB2	0.3680	0.0890	0.4090	0.3678	0.0890
PRE1	0.0060	0.0011	0.5040	0.4194	0.0779
PRE2	0.0032	0.0012	0.2615	0.2223	0.0889

CONSTANT -0.3561

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.82221E 02	0.82221E 02	
REGRESSION	3	0.28195E 02	0.93984E 01	0.27262E 02
ERROR	85	0.29302E 02	0.34473E 00	

EURO.. JOB 2222

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.5726
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0606
MULTIPLE R	0.7217
MULTIPLE RSQR	0.5209

VARIABLE ENTERED TEMP

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
TEMP	-0.0242	0.0104	-0.2450	-0.1769	0.0763
DEB2	0.3941	0.0875	0.4407	0.3939	0.0875
PRE1	0.0058	0.0011	0.5004	0.4042	0.0763
PRE2	0.0030	0.0012	0.2516	0.2073	0.0870

CONSTANT -0.1736

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.82221E 02	0.82221E 02	
REGRESSION	4	0.29954E 02	0.74885E 01	0.22837E 02
ERROR	84	0.27543E 02	0.32790E 00	

JOB 2222 PAGE

EUROP

VARIANCE - COVARIANCE MATRIX

VARIABLE	DEB1	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.81954E 00	0.41446E 00	0.21619E 02	0.27088E 02	0.15229E 01
DEB2	0.41446E 00	0.66857E 00	0.62499E 01	0.25892E 02	0.14834E 01
PRE1	0.21619E 02	0.52499E 01	0.32922E 04	0.23832E 03	-0.37774E 01
PRE2	0.27088E 02	0.25892E 02	0.23832E 03	0.33069E 04	0.10856E 02
TEMP	0.15229E 01	0.14834E 01	-0.37774E 01	0.10856E 02	0.12393E 02

JOB 2222 PAGE

EUROP

SUMMARY STATISTICS NO.OF CASES= 51

	VARIABLE	LOW	HIGH	AVERAGE	STD. DEV.	VARIANCE
1	DEB1	0.25100E 00	0.40200E 01	0.12380E 01	0.90529E 00	0.81954E 00
2	DEB2	0.17700E 00	0.39400E 01	0.10432E 01	0.81766E 00	0.66857E 00
3	PRE1	0.80000E 01	0.26900E 03	0.10733E 03	0.57290E 02	0.32922E 04
4	PRE2	0.30000E 01	0.26900E 03	0.10252E 03	0.57506E 02	0.33069E 04
5	TEMP	-0.30000E 01	0.11000E 02	0.25627E 01	0.35205E 01	0.12393E 02

JOB 2222 PAGE

EUROP

MATRIX OF CORRELATION COEFFICIENTS

VARIABLE	DEB1	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.10000E 01	0.55992E 00	0.41685E 00	0.52033E 00	0.47795E 00
DEB2	0.55992E 00	0.10000E 01	0.11204E 00	0.55066E 00	0.51533E 00
PRE1	0.41685E 00	0.11204E 00	0.10000E 01	0.72337E-01	-0.18728E-01
PRE2	0.52033E 00	0.55066E 00	0.72337E-01	0.10000E 01	0.53672E-01
TEMP	0.47795E 00	0.51533E 00	-0.18728E-01	0.53672E-01	0.10000E 01

JOB 2222 PAGE

EUROP

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.7576
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.1060
MULTIPLE R	0.5599
MULTIPLE RSQR	0.3135

VARIABLE ENTERED DEB2

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
DEB2	0.6199	0.1310	0.5599	0.5599	0.1183

CONSTANT 0.5913

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.78174E 02	0.78174E 02	
REGRESSION	1	0.12846E 02	0.12846E 02	0.22378E 02
ERROR	49	0.28130E 02	0.57408E 00	

JOB 2222 PAGE

EUROP

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.6911
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0967
MULTIPLE R	0.6637
MULTIPLE RSQR	0.4405

VARIABLE ENTERED PRE1

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
DEB2	0.5754	0.1202	0.5681	0.5197	0.1096
PRE1	0.0084	0.0017	0.4301	0.3896	0.1096

CONSTANT 0.0295

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.78174E 02	0.78174E 02	
REGRESSION	2	0.18853E 02	0.90263E 01	0.18896E 02
ERROR	48	0.22926E 02	0.47763E 00	

EUROP JOB 2222 PAGE

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.6569
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0919
MULTIPLE R	0.7106
MULTIPLE RSQR	0.5049

VARIABLE ENTERED TEMP

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
TEMP	0.0765	0.0309	0.3394	0.2975	0.1202
DEB2	0.4028	0.1339	0.4017	0.3638	0.1209
DEB1	0.0060	0.0016	0.4730	0.3816	0.1036

CONSTANT -0.0255

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.78174E 02	0.78174E 02	
REGRESSION	3	0.20692E 02	0.68976E 01	0.15982E 02
ERROR	47	0.20284E 02	0.43157E 00	

EUROP JOB 2222 PAGE

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.5761
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0806
MULTIPLE R	0.7920
MULTIPLE RSQR	0.6273

VARIABLE ENTERED PRE2

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
TEMP	0.1123	0.0286	0.5005	0.4368	0.1113
DEB2	0.0527	0.1480	0.0524	0.0476	0.1337
DEB1	0.0061	0.0014	0.5320	0.3876	0.0909
PRE2	0.0069	0.0017	0.4971	0.4426	0.1139

CONSTANT -0.4836

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.78174E 02	0.78174E 02	
REGRESSION	4	0.25705E 02	0.64264E 01	0.19357E 02
ERROR	46	0.15271E 02	0.33198E 00	

EUROP JOB 2222 PAGE

VARIANCE - COVARIANCE MATRIX

VARIABLE	DEB1	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.19896E 00	0.16868E 00	0.19204E 02	0.10454E 02	-0.34989E 00
DEB2	0.16868E 00	0.62439E 00	0.29564E 01	0.17120E 02	0.26218E 00
PRE1	0.19204E 02	0.29564E 01	0.29671E 04	0.39582E 03	-0.11798E 02
PRE2	0.10454E 02	0.17120E 02	0.39582E 03	0.28260E 04	-0.28144E 02
TEMP	-0.34989E 00	0.26218E 00	-0.11798E 02	-0.28144E 02	0.11154E 02

EUROP JOB 2222 PAGE

SUMMARY STATISTICS NO.OF CASES= 38

	VARIABLE	LOW	HIGH	AVERAGE	STD. DEV.	VARIANCE
1	DEB1	0.15900E 00	0.16600E 01	0.58952E 00	0.44605E 00	0.19896E 00
2	DEB2	0.15900E 00	0.40200E 01	0.83915E 00	0.79018E 00	0.62439E 00
3	PRE1	0.30000E 01	0.26700E 03	0.99394E 02	0.54471E 02	0.29671E 04
4	PRE2	0.24000E 02	0.26700E 03	0.10307E 03	0.53160E 02	0.28260E 04
5	TEMP	0.19000E 01	0.17100E 02	0.12242E 02	0.33398E 01	0.11154E 02

EUROP JOB 2222 PAGE

MATRIX OF CORRELATION COEFFICIENTS

VARIABLE	DEB1	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.10000E 01	0.47857E 00	0.79041E 00	0.44087E 00	-0.23487E 00
DEB2	0.47857E 00	0.10000E 01	0.66363E-01	0.40756E 00	0.99347E-01
PRE1	0.79041E 00	0.66363E-01	0.10000E 01	0.13669E 00	-0.64851E-01
PRE2	0.44087E 00	0.40756E 00	0.13669E 00	0.10000E 01	-0.15851E 00
TEMP	-0.23487E 00	0.99347E-01	-0.64851E-01	-0.15851E 00	0.10000E 01

EUROP JOB 2222 PAGE

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION 0.2770
STANDARD ERROR OF THE MEAN 0.0449
MULTIPLE R 0.7904
MULTIPLE RSQR 0.6247

VARIABLE ENTERED PRE1

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
PRE1	0.0064	0.0008	0.7904	0.7904	0.1020

CONSTANT -0.0538

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.13206E 02	0.13206E 02	
REGRESSION	1	0.45991E 01	0.45991E 01	0.59936E 02
ERROR	36	0.27624E 01	0.76734E-01	

EUROP JOB 2222 PAGE

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION 0.2014
STANDARD ERROR OF THE MEAN 0.0326
MULTIPLE R 0.8984
MULTIPLE RSQR 0.8071

VARIABLE ENTERED DEB2

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
DEB2	0.2416	0.0419	0.6971	0.4280	0.0743
PRE1	0.0062	0.0006	0.8659	0.7620	0.0743

CONSTANT -0.2334

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.13206E 02	0.13206E 02	
REGRESSION	2	0.59418E 01	0.29709E 01	0.73235E 02
ERROR	35	0.14198E 01	0.40566E-01	

EURON JOB 2222 PAGE

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.1741
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0292
MULTIPLE R	0.9273
MULTIPLE RSQR	0.8598

VARIABLE ENTERED TEMP

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
TEMP	-0.0309	0.0086	-0.5230	-0.2314	0.0646
DER2	0.2552	0.0365	0.7678	0.4529	0.0646
DRE1	0.0061	0.0005	0.3927	0.7453	0.0645

CONSTANT 0.1470

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.13206E 02	0.13206E 02	
REGRESSION	3	0.63302E 01	0.21100E 01	0.69558E 02
ERROR	34	0.10313E 01	0.30335E-01	

EURON JOB 2222 PAGE 1

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.1652
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0268
MULTIPLE R	0.9368
MULTIPLE RSQR	0.8776

VARIABLE ENTERED PRE2

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
TEMP	-0.0270	0.0083	-0.4891	-0.2022	0.0627
DER2	0.2195	0.0382	0.7064	0.3888	0.0679
DRE1	0.0059	0.0005	0.9002	0.7309	0.0615
DRE2	0.0012	0.0005	0.3559	0.1504	0.0687

CONSTANT 0.0109

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.13206E 02	0.13206E 02	
REGRESSION	4	0.64609E 01	0.16152E 01	0.59179E 02
ERROR	33	0.90069E 00	0.27293E-01	

BRUYANT JOB 2222 PAGE

VARIANCE - COVARIANCE MATRIX

VARIABLE	DER1	DER2	PRE1	PRE2	TEMP
DER1	0.15354E 00	0.76467E-01	0.87344E 01	0.10713E 02	-0.12976E-01
DER2	0.76467E-01	0.15253E 00	0.24386E 01	0.88394E 01	0.59924E 00
PRE1	0.87344E 01	0.24386E 01	0.23936E 04	0.41555E 03	-0.57038E 02
PRE2	0.10713E 02	0.88394E 01	0.41555E 03	0.52983E 04	0.14147E 01
TEMP	-0.12976E-01	0.59924E 00	-0.57038E 02	0.14147E 01	0.35576E 02

BRUYANT JOB 2222 PAGE

SUMMARY STATISTICS NO.OF CASES= 65

	VARIABLE	LOW	HIGH	AVERAGE	STD. DEV.	VARIANCE
1	DER1	0.53000E-01	0.21700E 01	0.38979E 00	0.39185E 00	0.15354E 00
2	DER2	0.53000E-01	0.21700E 01	0.38579E 00	0.39056E 00	0.15253E 00
3	PRE1	0.30000E 01	0.26900E 03	0.10380E 03	0.58158E 02	0.23936E 04
4	PRE2	0.30000E 01	0.26900E 03	0.10303E 03	0.57430E 02	0.52983E 04
5	TEMP	-0.30000E 01	0.17100E 02	0.66184E 01	0.59645E 01	0.35576E 02

BRUYANT JOB 2222 PAGE

MATRIX OF CORRELATION COEFFICIENTS

VARIABLE	DER1	DER2	PRE1	PRE2	TEMP
DER1	0.10000E 01	0.49964E 00	0.38319E 00	0.47666E 00	-0.55519E-02
DER2	0.49964E 00	0.10000E 01	0.10734E 00	0.39408E 00	0.25723E 00
PRE1	0.38319E 00	0.10734E 00	0.10000E 01	0.12439E 00	-0.16439E 00
PRE2	0.47666E 00	0.39408E 00	0.12439E 00	0.10000E 01	0.41299E-02
TEMP	-0.55519E-02	0.25723E 00	-0.16439E 00	0.41299E-02	0.10000E 01

BRUYANT JOB 2222 PAGE

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DER1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.3421
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0424
MULTIPLE R	0.4996
MULTIPLE RSQR	0.2496

VARIABLE ENTERED DER2

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
DER2	0.5012	0.1094	0.4996	0.4996	0.1091

CONSTANT 0.1963

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.98755E 01	0.98755E 01	
REGRESSION	1	0.24532E 01	0.24532E 01	0.20960E 02
ERROR	63	0.73738E 01	0.11704E 00	

BRUYANT JOB 2222 PAGE

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DER1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.3186
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0395
MULTIPLE R	0.5996
MULTIPLE RSQR	0.3595

VARIABLE ENTERED PRE1

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
DER2	0.4653	0.1025	0.4992	0.4638	0.1022
PRE1	0.0029	0.0006	0.3826	0.3334	0.1022

CONSTANT -0.0228

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.98755E 01	0.98755E 01	
REGRESSION	2	0.35330E 01	0.17665E 01	0.17401E 02
ERROR	62	0.62540E 01	0.10181E 00	

BRUYANT JOB 2222 PAGE

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.3016
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0374
MULTIPLE R	0.6596
MULTIPLE RSQR	0.4351

VARIABLE ENTERED PRE2

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
DEB2	0.3492	0.1052	0.3910	0.3481	0.1049
PRE1	0.0020	0.0006	0.3765	0.3084	0.0971
PRE2	0.0020	0.0007	0.3437	0.3005	0.1051

CONSTANT -0.1718

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.98755E 01	0.98755E 01	
REGRESSION	3	0.42766E 01	0.14255E 01	0.15667E 02
ERROR	61	0.55504E 01	0.90991E-01	

BRUYANT JOB 2222 PAGE

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.3035
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0376
MULTIPLE R	0.6614
MULTIPLE RSQR	0.4375

VARIABLE ENTERED TEMP

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
TEMP	-0.0033	0.0067	-0.0644	-0.0513	0.1027
DEB2	0.3655	0.1107	0.3918	0.3643	0.1104
PRE1	0.0020	0.0006	0.3611	0.2988	0.0996
PRE2	0.0020	0.0007	0.3379	0.2955	0.1062

CONSTANT -0.1456

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.98755E 01	0.98755E 01	
REGRESSION	4	0.42997E 01	0.10749E 01	0.11668E 02
ERROR	60	0.55274E 01	0.92123E-01	

GERME JOB 2222 PAGE

VARIANCE - COVARIANCE MATRIX

VARIABLE	DEB1	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.27583E 00	0.14515E 00	0.11234E 02	0.94208E 01	0.15603E 00
DEB2	0.14515E 00	0.27935E 00	0.30066E 01	0.12062E 02	0.87414E 00
PRE1	0.11234E 02	0.30066E 01	0.31673E 04	0.18789E 03	-0.14167E 02
PRE2	0.94208E 01	0.12062E 02	0.18789E 03	0.31783E 04	0.21742E 02
TEMP	0.15603E 00	0.87414E 00	-0.14167E 02	0.21742E 02	0.34643E 02

GERME JOB 2222 PAGE

SUMMARY STATISTICS NO.OF CASES= 88

	VARIABLE	LOW	HIGH	AVERAGE	STD. DEV.	VARIANCE
1	DEB1	0.64000E-01	0.37000E 01	0.52748E 00	0.52520E 00	0.27583E 00
2	DEB2	0.64000E-01	0.37000E 01	0.53472E 00	0.52854E 00	0.27935E 00
3	PRE1	0.30000E 01	0.26900E 03	0.10531E 03	0.56279E 02	0.31673E 04
4	PRE2	0.30000E 01	0.26900E 03	0.10561E 03	0.56375E 02	0.31783E 04
5	TEMP	-0.33000E 01	0.17100E 02	0.64613E 01	0.58858E 01	0.34643E 02

GERME JOB 2222 PAGE

MATRIX OF CORRELATION COEFFICIENTS

VARIABLE	DEB1	DEB2	PRE1	PRE2	TEMP
DEB1	0.10000E 01	0.52289E 00	0.38008E 00	0.31817E 00	0.50477E-01
DEB2	0.52289E 00	0.10000E 01	0.10107E 00	0.40482E 00	0.28099E 00
PRE1	0.38008E 00	0.10107E 00	0.10000E 01	0.59219E-01	-0.42770E-01
PRE2	0.31817E 00	0.40482E 00	0.59219E-01	0.10000E 01	0.65523E-01
TEMP	0.50477E-01	0.28099E 00	-0.42770E-01	0.65523E-01	0.10000E 01

GERME JOB 2222 PAGE

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.4502
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0479
MULTIPLE R	0.5228
MULTIPLE RSQR	0.2734

VARIABLE ENTERED DEB2

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
DEB2	0.5195	0.0913	0.5228	0.5228	0.0919

CONSTANT 0.2496

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.24485E 02	0.24485E 02	0.32362E 02
REGRESSION	1	0.65614E 01	0.65614E 01	
ERROR	86	0.17436E 02	0.20274E 00	

GERME JOB 2222 PAGE

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.4179
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0445
MULTIPLE R	0.6177
MULTIPLE RSQR	0.3816

VARIABLE ENTERED PRE1

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
DEB2	0.4863	0.0851	0.5264	0.4894	0.0857
PRE1	0.0030	0.0008	0.3858	0.3306	0.0857

CONSTANT -0.0575

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.24485E 02	0.24485E 02	0.26226E 02
REGRESSION	2	0.91576E 01	0.45788E 01	
ERROR	85	0.14840E 02	0.17459E 00	

GERME JOB 2222 PAGE

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.4161
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0443
MULTIPLE R	0.6274
MULTIPLE RSQR	0.3936

VARIABLE ENTERED PRE2

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
DEB2	0.4392	0.0926	0.4586	0.4410	0.0932
PRE1	0.0030	0.0007	0.3868	0.3283	0.0854
PRE2	0.0011	0.0008	0.1397	0.1201	0.0929

CONSTANT -0.1478

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.24485E 02	0.24485E 02	
REGRESSION	3	0.94473E 01	0.31491E 01	0.18179E 02
ERROR	84	0.14550E 02	0.17322E 00	

GERME JOB 2222 PAGE

REGRESSION ANALYSIS

DEPENDENT VARIABLE	DEB1
RESIDUAL STANDARD DEVIATION	0.4169
STANDARD ERROR OF THE MEAN	0.0444
MULTIPLE R	0.6313
MULTIPLE RSQR	0.3986

VARIABLE ENTERED TEMP

VARIABLE	B - COEF	STD ERROR OF B	PARTIAL-R	BETA-COEF	STD ERROR OF BETA
TEMP	-0.0065	0.0079	-0.0904	-0.0736	0.0890
DEB2	0.4610	0.0968	0.4631	0.4639	0.0974
PRE1	0.0030	0.0008	0.3820	0.3231	0.0858
PRE2	0.0010	0.0008	0.1353	0.1160	0.0932

CONSTANT -0.1083

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

SOURCE	D.F.	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F
MEAN	1	0.24485E 02	0.24485E 02	
REGRESSION	4	0.95563E 01	0.23915E 01	0.13754E 02
ERROR	83	0.14431E 02	0.17387E 00	

Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le 7 décembre 1979

Le Président de la thèse

R. MICHEL

Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le 10 décembre 1979

Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE DE GRENOBLE

Dr Gr. CAU