



HAL
open science

Régime des eaux souterraines dans les massifs calcaires : hydrogéologie du secteur sud-est du massif des Bauges (Savoie), bassins versants du Ternèze et du Nant d'Aillon- Alpes françaises

Gilbert Zamolo

► **To cite this version:**

Gilbert Zamolo. Régime des eaux souterraines dans les massifs calcaires : hydrogéologie du secteur sud-est du massif des Bauges (Savoie), bassins versants du Ternèze et du Nant d'Aillon- Alpes françaises. Hydrologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1980. Français. NNT : . tel-00575522

HAL Id: tel-00575522

<https://theses.hal.science/tel-00575522>

Submitted on 10 Mar 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

**Régime des eaux souterraines dans les massifs calcaires.
Hydrogéologie du secteur Sud-Est du massif des Bauges (Savoie).
Bassins versants du Ternèze et du Nant d'Aillon.**

par Gilbert ZAMOLO

Soutenue le 26 juin 1980 devant la Commission d'Examen

R. BARBIER	Professeur à l'U.S.M.G.	Président
J. SARROT-REYNAULD	Professeur à l'U.S.M.G.	Rapporteur
B. DOUDOUX	Maître-Assistant à l'Université de Savoie	Examineur
J.C. FOURNEAUX	Maître-Assistant à l'U.S.M.G.	Examineur
P. MOREL	Ingénieur D.D.A. Savoie	Examineur

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
MÉDICALE DE GRENOBLE

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

**Régime des eaux souterraines dans les massifs calcaires.
Hydrogéologie du secteur Sud-Est du massif des Bauges (Savoie).
Bassins versants du Ternèze et du Nant d'Aillon.**

par Gilbert ZAMOLO

Soutenue le 26 juin 1980 devant la Commission d'Examen

R. BARBIER	Professeur à l'U.S.M.G.	Président
J. SARROT-REYNAULD	Professeur à l'U.S.M.G.	Rapporteur
B. DOUDOUX	Maître-Assistant à l'Université de Savoie	Examineur
J.C. FOURNEAUX	Maître-Assistant à l'U.S.M.G.	Examineur
P. MOREL	Ingénieur D.D.A. Savoie	Examineur

UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE
ET MÉDICALE DE GRENOBLE

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

Régime des eaux souterraines dans les massifs calcaires.
Hydrogéologie du secteur Sud-Est du massif des Bauges (Savoie).
Bassins versants du Ternèze et du Nant d'Aillon.

par Gilbert ZAMOLO

Soutenue le 26 juin 1980 devant la Commission d'Examen

R. BARBIER	Professeur à l'U.S.M.G.	Président
J. SARROT-REYNAULD	Professeur à l'U.S.M.G.	Rapporteur
B. DOUDOUX	Maître-Assistant à l'Université de Savoie	Examineur
J.C. FOURNEAUX	Maître-Assistant à l'U.S.M.G.	Examineur
P. MOREL	Ingénieur D.D.A. Savoie	Examineur

R E M E R C I E M E N T S

Au terme de cette étude, j'éprouve un agréable plaisir à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé dans sa réalisation.

Monsieur le Professeur R. BARBIER qui me fait l'honneur de présider le Jury.

Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAUD qui m'a confié ce travail et m'a fait part de ses critiques lors de la rédaction de ce mémoire.

Monsieur J.C. FOURNEAUX, Maître-Assistant, pour ses remarques et son dévouement dans la résolution des questions matérielles et financières durant cette étude.

Monsieur B. DOUDOUX, Maître Assistant à l'Université de Savoie, qui m'a initié à la géologie et fait profiter de ses connaissances sur le massif des Bauges.

Monsieur P. MOREL, Ingénieur à la Direction Départementale de l'Agriculture de la Savoie, qui a bien voulu faire partie de ce jury.

Monsieur G. NICOUD, pour les observations et avis qu'il a formulés lors de nos différents entretiens.

Monsieur D. JAMLER, pour ses remarques lors de l'examen des résultats de l'étude fissurale du Margériaz.

Monsieur J. ROCHAT, qui m'a permis d'analyser les échantillons d'eau dans le Laboratoire d'Hydrologie de la Faculté de Pharmacie de Grenoble.

Monsieur A. MONNET, qui a relevé pendant dix huit mois le poste pluviométrique et thermométrique de la Thuile et Monsieur E. TRAVERS, qui a bien voulu s'occuper deux fois par mois de la station limnimétrique du Villaret.

Les membres du Spéléo-Club de Savoie et mes camarades de l'Institut Dolomieu pour l'aide efficace qu'ils m'ont apportée durant l'expérience de multitraçage dans la vallée des Aillons.

Monsieur M. RAVOIRE, mon beau-père, dont les talents bricoleurs ont souvent été mis à rudes épreuves dans l'installation du matériel. Je le remercie également de m'avoir accompagné, à ski, dans tout le massif, excepté à la pointe de la Galoppaz où nous ferons prochainement une randonnée exceptionnelle.

Mes parents, pour le soutien et l'aide précieuse qu'ils m'ont apportés durant mes années d'études.

Annick, pour l'intérêt porté à ce travail et qui m'a encouragé en acceptant gentiment les sacrifices imposés.

à Annick,

à Thomas.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

But et origine de l'Etude	1
Cadre géographique	3
Cadre géologique	5

1ère PARTIE - GEOLOGIE DU SE DU MASSIF DES BAUGES 9

CHAPITRE 1 : Géologie du substratum 11

I.1. Lithologie et stratigraphie 11

I.1.1. Le Jurassique supérieur 11

I.1.2. Le Crétacé inférieur 12

I.1.2.1. Berriasien 12

I.1.2.2. Valanginien 13

I.1.2.3. Hauterivien 13

I.1.2.4. Barrémien-Aptien 14

I.1.2.5. Albien 14

I.1.3. Le Crétacé supérieur 14

I.1.4. Le Tertiaire 15

I.1.4.1. Eocène inférieur 15

I.1.4.2. Eocène moyen et supérieur 15

I.1.4.3. Priabonien-Oligocène-Aquitainien 15

I.2. Rôle hydrologique des formations 16

I.2.1. Le Jurassique supérieur 16

I.2.2. Le Crétacé 17

I.2.2.1. L'ensemble marneux 17

I.2.2.2. Les calcaires urgoniens 18

I.2.2.3. Albien 21

I.2.2.4. Sénonien 21

I.2.3. Le Tertiaire 21

I.3. Conclusion 22

CHAPITRE 2 : Tectonique 23

II.1. Introduction 23

II.2. Histoire géologique de la région 23

II.3. Les structures et les grands accidents les affectant 25

II.3.1. Le Nord du secteur étudié 28

II.3.1.1. Anticlinal du Margériaz 28

II.3.1.2. Synclinal des Aillons 28

II.3.1.3. Structures étagées du massif du Colombier 29

II.3.1.4. Anticlinal du Mont Pelat 30

II.3.2. Le Sud du secteur étudié 30

II.3.2.1. Le massif de Curienne 31

II.3.2.2. Anticlinal de Montgelaz 31

II.3.2.3. Synclinorium de la Thuile 31

II.3.2.4. Anticlinal du Mont Charvet 32

II.4. Rôle hydrologique	32	I.3. Multitraçage du "synclinal des Aillons"	75
II.4.1. Les structures	32	I.3.1. Les anciennes expériences	75
II.4.2. Les grands accidents	34	I.3.2. Le multitraçage de juin 1978	75
II.4.3. La fissuration	35	I.3.2.1. Buts	76
II.4.3.1. Relevé des fissures	36	I.3.2.2. Situation hydrométéorologique	76
II.4.3.2. Rappel des calculs de perméabilité	36	I.3.2.3. L'expérience	76
II.4.3.3. Résultats	39	I.3.3. Résultats	79
II.4.3.4. Comparaison avec les cavités karstiques	42	I.3.3.1. L'uranine	79
II.5. Conclusion	44	I.3.3.2. La Rhodamine Wt	83
CHAPITRE 3 : Géologie du Quaternaire	45	I.3.3.3. La Rhodamine B	83
III.1. Etudes antérieures	45	I.3.3.4. Le Dichromate de sodium	85
III.2. Description des faciès du Quaternaire glaciaire, résultats de l'étude sédimentologique et morphologique des dépôts	45	I.3.4. Circulations souterraines dans le "synclinal des Aillons"	87
III.2.1. Les glaciers Rissiens dans notre secteur	45	I.3.4.1. Massif du Margériaz	87
III.2.2. L'interstade Riss-Würm	46	I.3.4.2. Massif du Colombier	87
III.2.3. Le glacier würmien alpin	46	I.4. Les traçages simples	88
III.2.3.1. Les moraines frontales et latérales	46	I.4.1. le traçage du Ruisseau de la Cochette	88
III.2.3.2. Les terrasses fluvio-glaciaires	48	I.4.1.1. But	88
III.2.4. Les glaciers locaux	58	I.4.1.2. Réalisation	88
III.3. Dépôts quaternaires non glaciaires	59	I.4.1.3. Résultats et conclusion	89
III.3.1. Les cônes de déjection	59	I.4.2. Traçage d'Arvey	90
III.3.2. Cônes de déjection mixtes	59	I.4.2.1. But	90
III.3.3. Les éboulis et éboulements	59	I.4.2.2. Réalisation	90
III.3.4. Les glissements de terrain	60	I.4.2.3. Résultats et conclusion	91
III.3.5. Les marais	60	I.4.3. Traçage de la Savojarde	92
III.4. Les stades de retrait glaciaires	61	I.4.3.1. But	92
III.4.1. Le glacier würmien avant son retrait	61	I.4.3.2. Réalisation	93
III.4.2. Les stades de retrait sur le rebord Sud du massif des Bauges.	61	I.4.3.3. Résultats	94
III.4.3. La vallée des Aillons	65	I.4.3.4. Conclusion	95
CONCLUSION A L'ETUDE GEOLOGIQUE	67	I.5. Conclusion sur les traçages	97
2ème PARTIE - HYDROGEOLOGIE	69	CHAPITRE II. Les bassins versants étudiés	99
CHAPITRE 1 : Les traçages	71	II.1. Bassin versant du Ternèze à l'amont du Pont de Boyat	99
I.1. Introduction	71	II.1.1. Limites du bassin versant	99
I.2. Méthodologie des traceurs	71	II.1.1.1. Géographiques	99
I.2.1. Les traceurs	71	II.1.1.2. Réelles	99
I.2.2. Choix des traceurs utilisés	72	II.1.2. Caractéristiques morphométriques	99
I.2.3. Analyse des traceurs	73	II.1.2.1. Indice compacité rectangle équivalent	100
I.2.3.1. Les traceurs fluorescents	73	II.1.2.2. Répartition hypsométrique	101
I.2.3.2. Les traceurs salins	73	II.1.2.3. Altitude moyenne et médiocre	101
I.2.4. Exploitation des résultats	74	II.1.2.4. Indice de pente	101
I.2.4.1. La distribution des temps de séjour	74	II.1.2.5. Réseau hydrographique	104
I.2.4.2. Le taux de restitution	74	II.1.3. Caractéristiques géologiques	106
		II.1.4. Végétation et activités humaines	107
		II.2. Les bassins versants du Nant d'Aillon	107
		II.2.1. Limites des bassins versants	107
		II.2.1.1. A l'amont du Pont du Villaret	108
		II.2.1.2. A l'amont de la station du Cimeteret	108

II.2.2. Caractéristiques morphométriques	109
II.2.2.1. Indice de compacité rectangle équivalent	109
II.2.2.2. Répartition hypsométrique	109
II.2.2.3. Altitude moyenne et médiane	114
II.2.2.4. Indice de pente	114
II.2.2.5. Réseau hydrographique	114
II.2.3. Caractéristiques géologiques	117
II.2.4. Végétation active humaine	119
II.3. <u>Les bassins versants karstiques</u>	119
II.3.1. L'exurgence du Pissieux	120
II.3.1.1. Limites du bassin versant	120
II.3.1.2. Caractéristiques	120
II.3.2. Exurgences de Fontaine Noire	122
II.3.2.1. Limites du bassin versant	122
II.3.2.2. Caractéristiques	123
II.3.3. Sources des Faverges - Pré Paissard	124
II.3.4. Sources d'Arbin	125
II.4. <u>Conclusion</u>	127
<u>CHAPITRE 3 - Les données climatologiques</u>	128
III.1. <u>Le réseau météorologique</u>	128
III.1.1. Le réseau en place	128
III.1.2. Les postes de mesures complémentaires durant l'étude	128
III.1.3. Correction des tubes totalisateurs pour cette étude	131
III.2. <u>Les précipitations</u>	132
III.2.1. Les anciens relevés	132
III.2.1.1. Pluviométrie annuelle	132
III.2.1.2. Pluviométrie mensuelle	135
III.2.1.3. Pluviométrie moyenne durant la période 1959-1978	140
III.2.1.4. Précipitations moyennes sur les bassins versants (période 1959-1978)	140
III.2.2. Précipitations durant la période d'étude	144
III.2.2.1. Comparaison entre les relevés journaliers de la Thuile et ceux d'Aillon-le-Jeune	144
III.2.2.2. Comparaison entre les précipitations de l'année d'étude et d'une année moyenne (1959-1978)	145
III.2.2.3. Données mensuelles sur le secteur étudié	146
III.2.2.4. Les gradients altimétriques	148
III.2.3. Carte pluviométrique	151
III.2.4. Précipitations moyennes sur les bassins versants	151
III.2.5. Lamme d'eau moyenne tombée sur les bassins versants étudiés.	154

III.3. <u>Les températures</u>	155
III.3.1. Températures moyennes annuelles	156
III.3.1.1. Les données	156
III.3.1.2. Les gradients	156
III.3.1.3. Les températures moyennes annuelles sur les bassins versants	158
III.3.2. Températures moyennes mensuelles	158
III.3.2.1. Températures moyennes mensuelles à Challes-les-Eaux	158
III.3.2.2. Températures moyennes mensuelles pendant la période d'étude.	159
III.3.2.3. Gradients mensuels de températures	160
III.3.2.4. Températures moyennes mensuelles sur les bassins versants	161
III.4. <u>Humidité relative</u>	161
III.5. <u>L'insolation</u>	162
III.6. <u>L'évapotranspiration</u>	162
III.6.1. Evapotranspiration réelle selon la formule de Turc	162
III.6.2. Déficit d'écoulement	163
III.6.2.1. Selon Coutagne	163
III.6.2.2. Selon Serra	164
III.6.3. Evapotranspiration potentielle selon la formule de Thornwhaite	165
III.6.4. Evapotranspiration selon la formule de Primault	166
III.6.5. Evapotranspiration moyenne sur les bassins versants étudiés	166
III.6.5.1. Période d'étude (1978)	166
III.6.5.2. Période 1959-1978.	167
<u>CHAPITRE 4 - Hydrologie</u>	168
IV.1. <u>Mesure de la lame d'eau écoulée sur le bassin versant du Ternèze</u>	168
IV.1.1. Courbe de tarage	168
IV.1.2. Débitmétrie	170
IV.1.2.1. Débits moyens journaliers	170
IV.1.2.2. Débits moyens mensuels et annuels	170
IV.1.2.3. Débits caractéristiques	173
IV.1.3. Remarque sur les débits	173
IV.1.4. Calcul de la lame d'eau écoulée	174
IV.1.5. Les eaux souterraines du bassin versant	175
IV.2. <u>Mesure de la lame d'eau écoulée sur les bassins versants du Nant d'Aillon</u>	179
IV.2.1. Courbes de tarage	179
IV.2.1.1. Station du Villaret	181
IV.2.1.2. Station du Cimeteret	181

IV.2.2. Débitmétrie	181
IV.2.2.1. Débits moyens journaliers	181
IV.2.2.2. Débits moyens mensuels et annuel	184
IV.2.2.3. Débits caractéristiques	184
IV.2.3. Remarque sur les débits	187
IV.2.4. Calcul de la lame d'eau écoulée	189
IV.2.5. Les eaux souterraines du bassin versant	190
IV.3. <u>La lame d'eau écoulée à l'exsurgence du Pissieux</u>	193
IV.3.1. Mesure des débits par différence	193
IV.3.2. Débitmétrie	195
IV.3.2.1. Débits moyens journaliers	195
IV.3.2.2. Débits moyens mensuels	195
IV.3.2.3. Débits caractéristiques	196
IV.3.3. Remarque sur les débits	196
IV.3.4. Etude des débits classé selon la méthode de Mangin	198
IV.3.5. Calcul de la lame d'eau écoulée	203
IV.3.6. Etude des courbes de tarissement	203
CHAPITRE 5 - Approche des bilans hydrologiques des bassins versants étudiés.	206
V.1. <u>Les différents termes des bilans hydrologiques</u>	206
V.2. <u>Bilans hydrologiques des bassins versants étudiés</u>	206
V.2.1. Bassins versants du Ternèze	206
V.2.2. Bassins versants du Nant d'Aillon	207
V.2.3. Bassin versant de l'exsurgence du Pissieux	209
V.3. <u>Bilans hydrologiques minima et maxima</u>	209
V.3.1. Précisions sur les différents termes	209
V.3.2. Calcul des valeurs extrêmes des bilans hydrologiques	210
V.3.2.1. Bassins versants du Ternèze	210
V.3.2.2. Bassins versants du Nant d'Aillon	211
V.3.2.3. Bassin versant de l'exsurgence du Pissieux	212

3ème PARTIE - ETUDE HYDROCHIMIQUE.

CHAPITRE 1 : Les méthodes d'études.	215
I.1. <u>Les paramètres physiques</u>	218
I.1.1. La température	218
I.1.2. Le débit	218
I.1.3. La résistivité	218
I.1.4. Le pH	218
I.1.5. La turbidité	218
I.2. <u>Les paramètres chimiques</u>	219
I.2.1. La volumétrie (ou titrimétrie)	219
I.2.1.1. Dureté totale ou titre hydrotimétrique total	219
I.2.1.2. L'alcalinité	220
I.2.1.3. Les chlorures	220

I.2.2. La Colométrie	221
I.2.3. La spectrométrie	221
CHAPITRE 2 : Analyse des précipitations atmosphériques	222
CHAPITRE 3 : Analyses des sources	225
III.1. <u>Caractères généraux des émergences</u>	225
III.1.1. Relation résistivité minéralisation totale	225
III.1.2. Relation résistivité TH	225
III.1.3. Relation température altitude de l'émergence	225
III.2. <u>Les sources du rebord de la plaine de l'Isère</u>	226
III.2.1. Les sources d'Arbin	226
III.2.2. La source de la Ferme de Lourdens	239
III.2.3. Les sources de Lourdens	241
III.2.4. Les sources du Boisset	245
III.2.5. Conclusion	246
III.3. <u>Les sources du bassin versant de Ternèze</u>	247
III.3.1. Le source de Le Bois	247
III.3.2. Les sources de la Touvière	250
III.3.3. Les sources du Rocher du Gros Molard	252
III.3.4. La source du Couzat	254
III.3.5. La source de la Rongère	257
III.3.6. La source de Combe Noire	259
III.3.7. Les sources des Pichards	263
III.3.8. Les sources des Fontanettes	265
III.3.9. La source minérale de Morion	267
III.3.10. Conclusion sur les sources du bassin versant du Ternèze	269
III.4. <u>Les sources du bassin versant de la Reysse</u>	270
III.4.1. La source des Côtes de Marles	270
III.4.2. La source des chalets de l'Allier	270
III.4.3. Conclusion	271
III.5. <u>Les sources du bassin versant du Nant d'Aillon</u>	272
III.5.1. Emergences karstiques des calcaires urgoniens	272
III.5.1.1. La source du Pissieux	273
III.5.1.2. La source de Fontaine Noire	277
III.5.1.3. Les sources de Pré Paissard Faverges	284
III.5.1.4. La source du Martinet (ruines)	286
III.5.2. Les autres émergences	287
III.5.2.1. Les sources du substratum	287
III.5.2.1.1. La source du Martinet n° 1	287
III.5.2.1.2. La source du Martinet n° 2	288
III.5.2.1.3. La source de la Daube	289
III.5.2.2. Les sources des terrains quaternaires	290
III.5.2.2.1. La source de Combaveyre	290
III.5.2.2.2. Les sources des Folliets	291
III.5.2.2.3. La source de Penon	292
III.5.2.2.4. La source de Sainte Blaise	293
III.5.2.2.5. La source des Ginets	293

III.5.3. Conclusion sur les sources du bassin versant du Nant d'Aillon	294
III.6. <u>Les sources situées au Nord du bassin versant du Nant d'Aillon</u>	295
III.6.1. La source du Lot du Bois	295
III.6.2. La source de la scierie de Leyat	297
III.7. <u>Conclusion sur l'étude hydrochimique des sources</u>	298
III.7.1. Les sources du Jurassique supérieur	298
III.7.2. Les sources de l'Urgonien	298
III.7.3. Les sources du Sénonien	299
III.7.4. Les sources du Tertiaire	302
III.7.5. Les sources des cônes de déjection mixtes	302
III.7.6. Les sources des éboulis	302
III.7.7. Les sources des dépôts fluvio-glaciaires	302
<u>CHAPITRE 4 : Etude physicochimique des ruisseaux</u>	302
IV.1. <u>Le ruisseau de Ternèze au Pont du Boyat</u>	303
IV.2. <u>Le ruisseau de Nécuidet</u>	305
IV.3. <u>L'exutoire du Lac de la Thuile</u>	307
IV.4. <u>Le ruisseau de la Reysse</u>	309
IV.5. <u>Le Nant d'Aillon au Pont du Villaret</u>	310
IV.6. <u>Bilan hydrochimique</u>	312
IV.6.1. Transport dissous	313
IV.6.2. Approche de l'érosion chimique	314
IV.7. <u>Conclusion à l'étude physicochimique des ruisseaux</u>	314
CONCLUSION A L'ETUDE HYDROCHIMIQUE	316
CONCLUSIONS GENERALES	317
ANNEXES	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
BIBLIOGRAPHIE	

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

BUT ET ORIGINE DE L'ETUDE.

Notre étude, qui a débuté en juillet 1977, a été tout d'abord principalement dirigée vers le bassin versant du ruisseau du Ternèze et du massif de la Thuile à l'Est de Chambéry.

Il s'agissait de préciser les relations hydrogéologiques pouvant exister entre cette petite région et les vallées de l'Isère - Combe de Savoie la limitant au Sud. L'équipement hydrologique et météorologique a été installé dans ce secteur en fonction de ces recherches à effectuer.

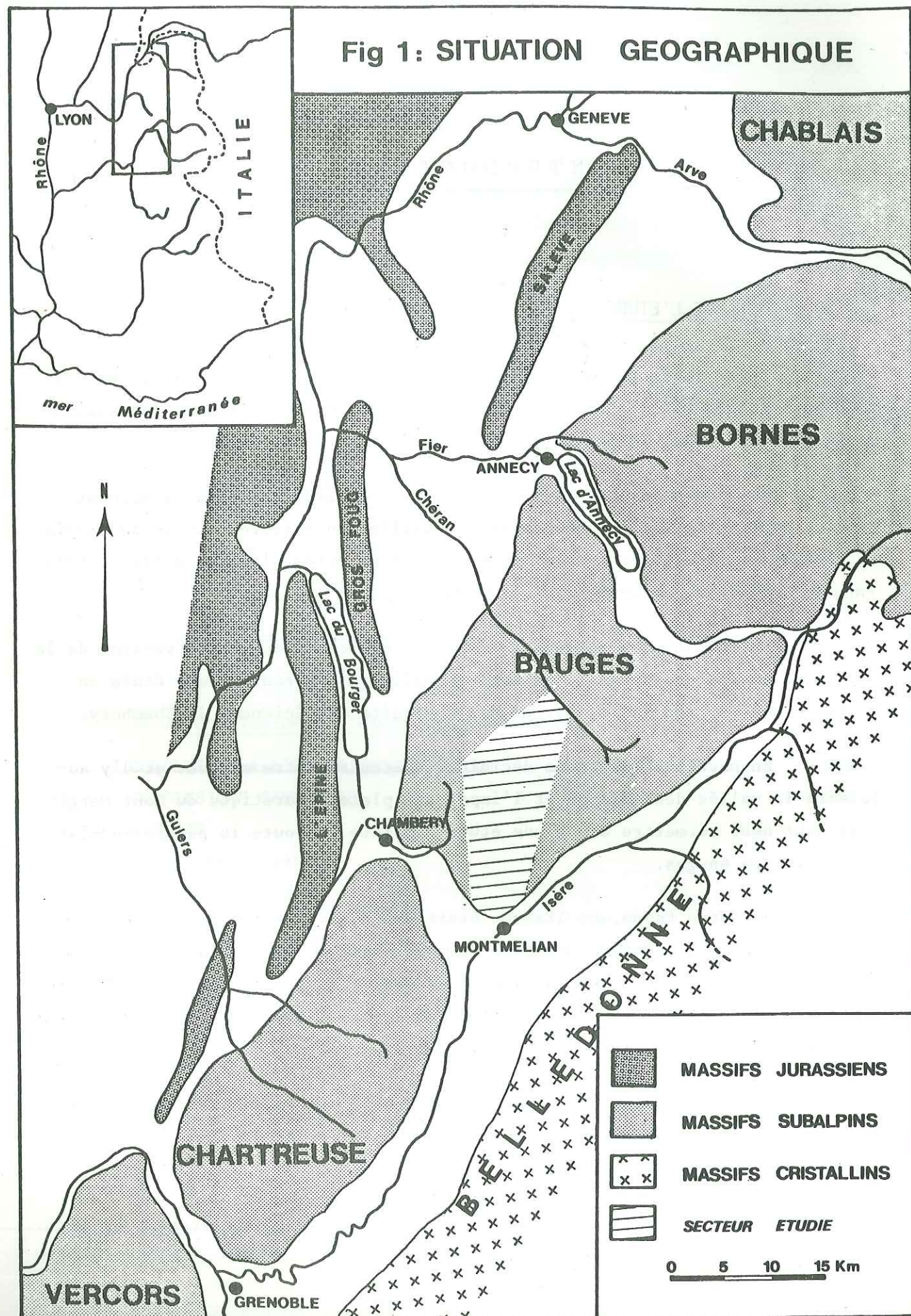
Le ruisseau du Ternèze fait partie également du bassin versant de la Laysse et du Lac du Bourget, qui sert actuellement de cadre à une étude en cours de réalisation par G. Nicoud de la Faculté des Sciences de Chambéry.

En novembre 1977 nous décidions d'étendre notre secteur et d'y adjoindre la vallée des Aillons et l'important plateau karstique du Mont Margé-riaz pour nous permettre ainsi une étude complète de toute la partie Sud-Est du massif des Bauges.

De cette façon, une liaison était établie entre les différents travaux hydrogéologiques effectués dans le massif par G. Nicoud (Haute Vallée du Chéran), Y. Lemordant (Plateau du Mont Revard), M. Lepiller à l'Est (Semnoz), Benedetti Crouzet (Bassin versant à l'Ouest du Lac d'Annecy au Nord), et dans la plaine de l'Isère au Sud par J.C. Fourneaux.

Mais nous avons rencontré quelques difficultés dans l'installation de l'équipement hydrologique de cette vallée des Aillons, qui n'a pu être réalisée qu'au mois de janvier 1978.

Au cours de cette étude, nous allons examiner successivement la géologie de la région, son hydrogéologie ainsi qu'une étude hydrochimique se rapportant aux principales émergences.



CADRE GEOGRAPHIQUE.

Le massif des Bauges appartient aux chaînes calcaires subalpines septentrionales qui constituent les reliefs les plus occidentaux des Alpes. Situé entre les massifs de Chartreuse au Sud et des Bornes au Nord, il forme un ensemble géographique bien individualisé.

Ce massif des Bauges est limité sur chacun de ses côtés par de larges vallées : cluse de Chambéry à Montmélian au Sud-Ouest, cluse de Ugine-Annecy au Nord, dépression molassique d'Aix-les-Bains-Annecy à l'Ouest et sillon subalpin de Montmélian à Ugine à l'Est.

Le secteur étudié localisé dans la partie méridionale de ce massif est limité :

- au Nord, par la vallée du Chéran ;
- au Sud-Ouest et au Sud-Est, par la cluse de Chambéry-Montmélian et par la vallée de l'Isère ;
- à l'Ouest, par les vallées de la Leysse et du ruisseau de Saint François ;
- à l'Est, par la vallée du ruisseau des Grands Prés ou de Sainte Reine.

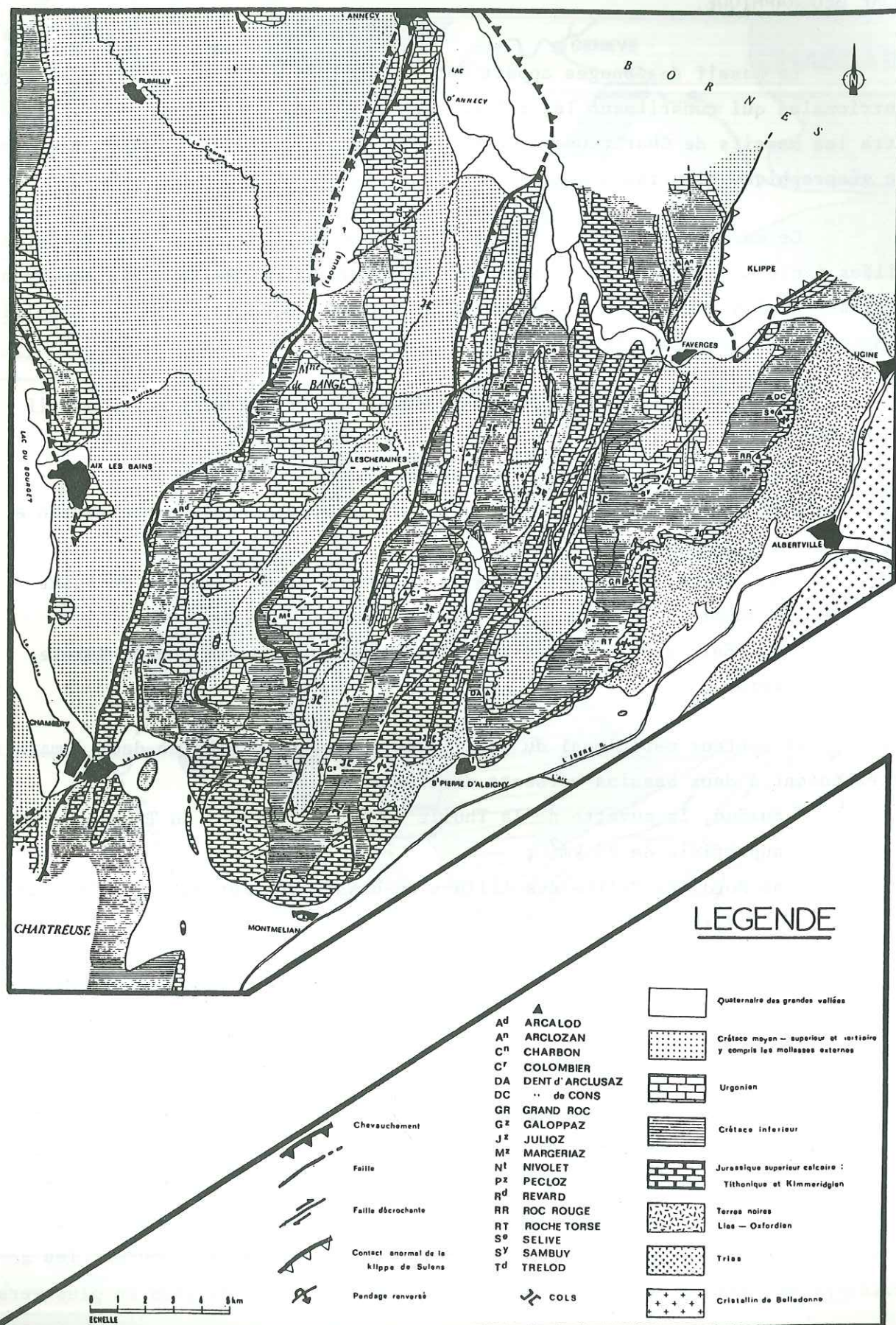
Ce secteur méridional du massif des Bauges se divise en deux domaines correspondant à deux bassins versants distincts :

- au Sud, la cuvette de la Thuile au bassin versant du Ternèze d'une superficie de 25 km² ;
- au Nord, la vallée des Aillons ou bassin versant du Nant d'Aillon d'une superficie de 60 km².

Tous deux se rapportent au bassin Rhodanien soit par l'intermédiaire de la Leysse et du Lac du Bourget pour le premier, soit par le Chéran pour le second.

Du point de vue des activités économiques et humaines, les Bauges très isolées subissent un handicap par rapport aux vallées environnantes. Seule la cluse du Chéran permet un accès facile vers l'intérieur du massif. Les cols de Plaimpalais et des Prés offrent depuis la région chambérienne un accès plus difficile, surtout en hiver. L'élevage et l'industrie du bois demeurent les activités principales de la vallée des Aillons qui s'oriente de plus en plus vers

Fig 2 : Carte géologique simplifiée du Massif des Bauges
(d'après Doudoux B.)



le tourisme estival et surtout hivernal. L'extension des installations de sports d'hiver se heurte malgré tout aux difficiles problèmes des stations à basses altitudes.

La région de la Thuile, moins isolée, est directement accessible depuis Chambéry. Ses seules activités sont l'élevage et le tourisme estival.

Les sources les plus importantes de notre secteur d'étude sont des émergences de type karstique. Elles sont situées sur la limite sud du massif des Bauges en bordure de la plaine de l'Isère (sources d'Arbin) et dans la vallée des Aillons (Pissieux, Fontaine Noire, Lot du Bois, Faverges, Pré Paissard).

CADRE GEOLOGIQUE (Figure 2).

La structure géologique et l'érosion glaciaire ont conditionné le modelé topographique de l'intérieur du massif des Bauges qui se présente comme une suite de vallées sensiblement parallèles orientées S-SW - N-NE. Elles viennent se raccorder à la vallée transversale du Chéran qui draine toute la partie interne du massif.

La structure géologique consiste en une série de plis parallèles orientés S-SW - N-NE, déversés vers le Nord-Ouest dont les flancs inverses sont très laminés, voire même inexistant. Les flancs normaux très étendus constituent une série de vastes plateaux calcaires (M^t Revard, Semnoz, M^t Margériaz) où les circulations et phénomènes karstiques sont très développés.

La vallée du nant d'Aillon, installée au coeur d'un de ces plis synclinaux, est bordée à l'Ouest par le monoclin du Mont Margériaz et à l'Est par le Mont Colombier formé d'une succession de plis étagés. Les deux affluents du nant sont logés dans les terrains du Crétacé inférieur, fortement érodés, de l'anticlinal qui borde tout l'Est du secteur étudié.

Le synclinal des Aillons se poursuit au Sud jusqu'au dessus du village de la Thuile. Les terrains calcaires du Jurassique supérieur sous-jacent viennent constituer le rebord sud du massif des Bauges. La vallée du Ternèze et la cuvette de la Thuile sont installées dans les terrains néocomiens largement dégagés par l'érosion.

Le Quaternaire recouvre abondamment le secteur avec des dépôts glaciaire et périglaciaire du glacier alpin de l'Isère. Du point de vue strati-

graphique seuls les dépôts du Würm sont largement conservés.

L'étude géologique de ce mémoire comprendra trois parties :

- la géologie du substratum ;
- la Tectonique ;
- l'étude des formations quaternaires.

1ère PARTIE

LA GEOLOGIE DU S.E. DU MASSIF DES BAUGES

- Géologie du substratum.
- Tectonique.
- Etude du Quaternaire

1ère Partie : La géologie du S.E. du massif des Bauges

Les études géologiques effectuées sur le massif des Bauges sont maintenant nombreuses.

Les plus anciennes remontent à 1900-1913 avec Lugeon M. et Révil J. Les noms de Lemoine, Perrier R., Doudoux B., Gidon P., Gidon M. reviennent le plus souvent dans les différentes publications concernant le massif.

Des études directement liées à notre secteur sont à attribuer à M. Gidon (1964) pour le bord subalpin au Sud de la Thuile, à B. Doudoux (1963) pour le massif de Curienne et à R. Perrier (1958) pour le "synclinal des Aillons.

D'autre part, B. Doudoux a bien voulu mettre à notre disposition des levés récents effectués dans le synclinal d'Aillon le Jeune et du pic de la Sauge.

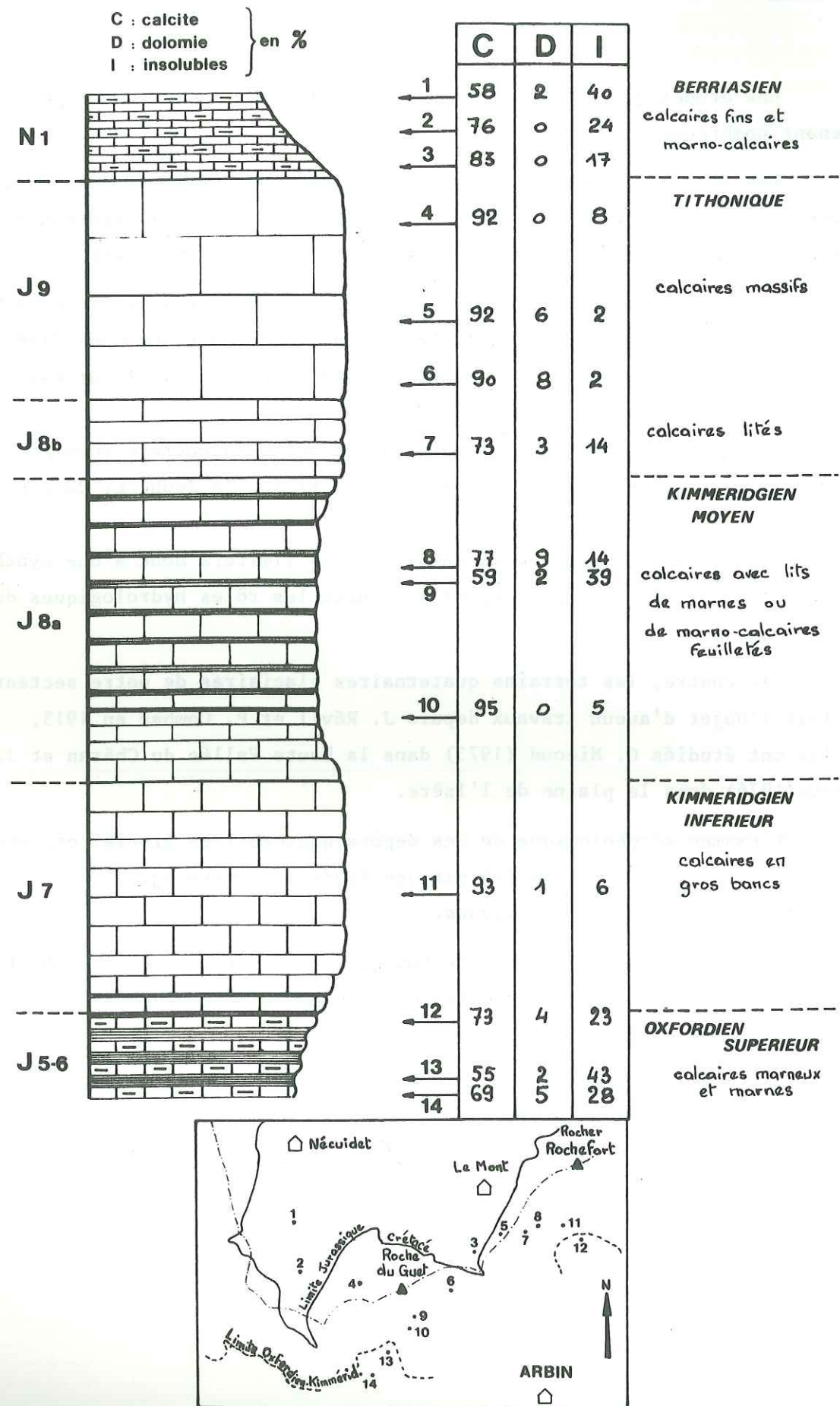
Notre étude géologique du substratum se limitera donc à une synthèse lithologique et stratigraphique, en indiquant les rôles hydrologiques de chaque formation.

Par contre, les terrains quaternaires glaciaires de notre secteur n'ont fait l'objet d'aucun travaux depuis J. Révil et P. Combaz en 1913, seuls les ont étudiés G. Nicoud (1973) dans la Haute Vallée du Chéran et J.C. Fourneaux (1976) dans la plaine de l'Isère.

L'examen morphologique de ces dépôts quaternaires glaciaires, précisé par photos aériennes et complété par une étude sédimentologique a constitué l'essentiel de nos travaux géologiques.

D'autre part, le chapitre tectonique comportera une analyse de la fissuration de la vaste dalle monoclinale calcaire du Margérian.

Fig 3
Carbonatimétrie et lithologie du Jurassique supérieur



CHAPITRE I. GEOLOGIE DU SUBSTRATUM.

I.1. LITHOLOGIE ET STRATIGRAPHIE.

Le massif des Bauges a subi à des époques variables en différents points, des vicissitudes de sédimentation. Alors que la bordure occidentale de ce massif révèle des faciès subalpins à tendances jurassiennes plus littorales, l'intérieur présente des faciès plus profonds à caractères nettement subalpins. Ceci est bien marqué par la répartition des faciès des horizons allant du Berriasien moyen au Valanginien supérieur ; puissants et calcaires à l'Ouest ils se réduisent et deviennent plus marneux et monotones à l'Est.

Pour certaines formations nous observerons donc leurs faciès propres à chacun des massifs (Margériaz, Colombier, Thuile).

La région est schématiquement formée d'un ensemble de barres calcaires (Jurassique, Valanginien supérieur, Urgonien) séparées par des niveaux marneux (Berriasien, Valanginien inférieur, Hauterivien).

En raison des structures tectoniques, les formations les plus anciennes sont plus facilement observables au Sud du secteur et les plus récentes au Nord.

Dans l'examen des formations, des plus anciennes aux plus récentes, il est quelquefois difficile de paralléliser la stratigraphie détaillée et la lithologie. Nous nous sommes donc efforcés de regrouper les faciès en vue de constituer des ensembles hydrologiques.

I.1.1. Le Jurassique supérieur (fig. 3).

Il est facilement observable sur le bordure sud du massif de la Thuile et surtout sur les flancs de la Roche du Guet dominant la vallée de Montmélian.

Il est schématiquement formé d'un ensemble basal marneux et marno-calcaire plus difficilement visible et d'un ensemble supérieur calcaire.

L'ensemble basal d'âge oxfordien supérieur est composé de marnes et marno-calcaires bleus en petits bancs souvent sujets aux plissements et aux ravinements. Il constitue également le coeur des anticlinaux jurassiques crevés par l'érosion.

L'ensemble supérieur calcaire débute par une puissante falaise de

calcaires lithographiques en bancs demi-métriques ou métriques d'âge kimméridgien inférieur, oxfordien terminal. Il est surmonté du kimméridgien moyen légèrement plus marneux et en bancs moins épais formant un talus boisé sous les pentes de la Roche du Guet. Puis, terminant cette falaise vient le tithonique avec sa puissante masse de calcaires clairs ou gris à pâte fine.

A l'Est du secteur dans les massifs du Mont Pelat au Mont Charvet la subdivision devient plus difficile. Seule une puissante falaise de calcaires clairs en gros bancs est visible dans cette région.

D'un point de vue lithologique nous avons donc regroupé sous un même ensemble toutes ces formations supérieures à dominante calcaire qui apparaissent comme une seule et même unité hydrologique.

Sur la figure 3 parallèlement à la lithologie du Jurassique supérieur et du Berriasien nous avons indiqué les résultats des analyses carbonatimétriques effectuées sur les différents horizons.

On remarque dans ces résultats les fortes proportions de calcite (> 90%) dans les calcaires massifs du Tithonique et les calcaires en gros bancs du kimméridgien inférieur et de la base du kimméridgien moyen (échantillons 4, 5, 6, 10 et 11). Ces calcaires contiennent entre 0 et 8% de dolomie et la part des éléments insolubles ne dépasse pas 6%.

Les niveaux de calcaires marneux du Crétacé inférieur et du Jurassique supérieur ont des proportions de calcite compris entre 70 et 80%. Ces calcaires marneux, qui s'intercalent dans l'Oxfordien supérieur et le Kimméridgien moyen, et à la base du Berriasien présentent une proportion en éléments insolubles comprise entre 14 et 28% (échantillons 2, 7, 8, 12 et 14). Ces niveaux contiennent de la dolomie parfois en quantité importante (jusqu'à 8% pour l'échantillon 8).

Les niveaux de marnes de l'oxfordien supérieur et du kimméridgien moyen ainsi que les marno-calcaires du Berriasien sont pauvres en calcite (50 à 60%) (échantillons 1, 9, 13). La part des insolubles est grande (40%) et les teneurs en dolomie sont très faibles (2%).

I.1.2. Le Crétacé inférieur :

I.1.2.1. Le Berriasien :

Il est largement présent dans tout le secteur sud du massif de la Thuile. Une observation détaillée y est toutefois difficile en raison de

l'abondante végétation. Il est formé d'une puissante série de marno-calcaires fins et de calcaires sombres en bancs décimétriques. Les interbancs marneux deviennent plus nombreux lorsqu'on se rapproche des marnes valanginiennes.

I.1.2.2. Le Valanginien :

Les faciès jurassiens sont à leur limite orientale, dans le secteur étudié. Bien que les faciès calcaires soient encore présents, on se rapproche de plus en plus des faciès alpins épais et monotones que l'on rencontre à l'Est.

Dans le massif de la Thuile, le Valanginien est représenté par une forte épaisseur de 200m environ de marnes franches bleues puis ocrées surmontées par des calcaires marneux graveleux roussâtres, en bancs décimétriques alternant avec des marnes feuilletées. Puis viennent les calcaires bicolores à patine rousse, appartenant au Valanginien supérieur formant un léger ressaut dans la topographie.

Sous le Margéraz, par contre, ces calcaires bicolores ont un développement plus conséquent et forment d'importants escarpements sous les cimes urgoniens et dans le cirque de la Fougère.

Sous le Colombier et dans la combe de Lourdens, l'épaisseur de ces calcaires est considérablement réduite, seuls les faciès marneux prédominent.

I.1.2.3. L'Hauterivien :

La séparation Valanginien supérieur, Hauterivien et Barrémien inférieur est quelquefois difficile à observer. Des faciès calcaires bicolores à silex ou noduleux se retrouvent un peu partout dans ces formations des chaînons les plus externes des Bauges.

On peut malgré tout distinguer dans le chaînon de la Galoppaz et au Margéraz la succession suivante : Calcaires marneux bleus et marnes avec fréquentes intercalations de calcaires bicolores, puis des marnes feuilletées avec des bancs de calcaires marneux à débits caractéristiques en boules. Le passage au Barrémien se fait progressivement par des bancs plus calcaires. Les lits de marnes sont très riches en Oursins (*Toxaster*) et en Ostreïdés (*Exogyra*).

Notons enfin que la puissance de cet ensemble qui atteint 100 à 150m au Margéraz s'accroît considérablement dans la vallée de La Fullie où il

atteint 300 à 350m. Cet Hauterivien est souvent recouvert d'argile jaune d'altération et d'une forte épaisseur d'éboulis urgoniens qui contrarie l'examen lithologique détaillé.

I.1.2.4. Barrémien et Aptien :

Sous leur faciès urgonien, ils constituent une puissante série de calcaires mal lités qui forment les sommets les plus importants du secteur étudié (Mont Margérian, Mont Colombier, Mont de la Buffe, Pointe de la Galopaz) et de tout le massif des Bauges en général.

C'est dans le massif du Colombier que la coupe apparaît la plus typique avec à la base des calcaires à Serpules encore bien lités, puis des calcaires bleutés à bancs plus compacts de la masse urgonienne inférieure. Vient ensuite après la couche à Orbitolines bien caractéristique, les gros bancs décimétriques de calcaires blancs de l'Urgonien supérieur. La puissance totale est de l'ordre de 250m.

Dans les autres massifs, les faciès deviennent plus nombreux et diversifiés, avec même des niveaux gréseux ou pseudoconglomératiques sur les pentes orientales du Margérian. Ces variations de faciès caractérisent bien ces formations pararécifales.

I.1.2.5. "Albien" :

C'est dans le synclinal du Colombier que cet Albien est le mieux observable. Nous sommes ici encore une fois à la limite entre des faciès occidentaux "verts" et des faciès orientaux "Noirs". Il se compose de bancs de grès bleus durs alternant avec des niveaux plus marneux rappelant les faciès internes et de grès verts glauconieux avec stratifications entrecroisées du faciès externe. R. Perrier considère ce grès comme des dépôts de dunes littorales caractérisant donc une émergence à cette époque. Sa puissance totale ne dépasse pas 30m.

Dans le synclinal de Combe Noire cet Albien, plus discret, se présente souvent sous sa forme altérée d'humus sableux brun ocre.

I.1.3. Le Crétacé supérieur :

Le seul représentant du Crétacé supérieur dans le secteur étudié est le Sénonien.

Particulièrement érodé, il n'est d'ailleurs présent que sur le flanc Est du synclinal d'Aillon de la vallée du Chéran au Pic de la Sauge ainsi que dans les synclinaux du Mont Colombier.

Il est formé à sa base par des niveaux pseudoconglomératiques à galets gréseux et glauconieux avec lits de silex noirs puis par des calcaires blanc-jaune lithographiques en petits bancs qui s'assombrissent et deviennent plus marneux vers le haut.

Sa puissance est de l'ordre de 250 à 300m dans le flanc est du synclinal d'Aillon le Jeune. Au Mont Colombier il est pincé dans les synclinaux à soubassement urgonien et fortement érodé.

I.1.4. Le Tertiaire :

Durant tout le Tertiaire les faciès continentaux lacustres, saumâtres et marins vont alterner sur tout le massif, témoins des premiers mouvements orogéniques affectant les chaînes subalpines du Nord.

I.1.4.1. L'Eocène inférieur :

Durant l'Eocène inférieur, toute la région était émergée. C'est à cette époque qu'une intense érosion déblaie les calcaires sénoniens ; la karstification des calcaires urgoniens débute. On relève la présence de dépôts continentaux formés de grès grossiers remplissant les fissures de l'Urgonien. Ces dépôts, fréquents sur le plateau de la Féclaz-Les Déserts, sont plus rares dans le synclinal des Aillons.

I.1.4.2. L'Eocène moyen et supérieur : Yprésien Lutétien.

A cette période notre région est à la limite des rivages des mers nummulitiques. Il va s'en suivre une multitude de variations de faciès : tantôt profonds, tantôt littoraux, les dépôts seront transgressifs sur toutes les formations précédemment décrites, du Crétacé supérieur à l'Urgonien.

Il est marin à sa base, avec des calcaires gréseux blancs à nombreux gisements de grandes nummulites. Il est surmonté par des calcaires et des marnes lacustres. Sa puissance totale est faible (10m). Dans notre secteur il n'est présent que sur le flanc est du synclinal d'Aillon.

I.1.4.3. Le Priabonien - Oligocène-Aquitainien.

Le Priabonien inférieur est représenté par des couches fluviolacus-

tres, peu développées dans la partie nord du synclinal d'Aillon. Par contre, au Sud (Synclinal de la Pointe de la Galoppaz - Combe Noire), ces dépôts sont plus importants et formés de grès roussâtres alternant avec des conglomérats gréseux, des marnes blanchâtres et des calcaires à pâte fine crème ou chocolat.

Puis viennent les calcaires gréseux à petites nummulites d'âge Priabonien supérieur et, enfin, les marnes feuilletées brunes à patine bleu-tée ou marnes à Meletta, bien visibles au col des Prés et d'une puissance relativement importante (80 à 100m).

La partie supérieure des marnes à Meletta, déjà d'âge oligocène, s'enrichit progressivement en bancs gréseux pour passer aux grès des Aillons (ou grès des Déserts), visibles tout le long des lits du ruisseau du col des Prés et du Nant d'Aillon.

Ces grès sont constitués par une alternance de bancs verts et durs avec des niveaux sableux mal consolidés et des marnes. La puissance de ces grès est de l'ordre de 200m.

Ces grès des Aillons passent vers le haut discrètement et progressivement à la molasse rouge aquitaniennne laguno-lacustre. Elle est formée d'une alternance de grès verts ou rouges grossiers et de couches d'argiles bariolées. Son épaisseur est modeste dans notre secteur, car elle est pincée dans le coeur du synclinal.

I.2. ROLE HYDROLOGIQUE DES FORMATIONS.

Le précédent examen des différents faciès va nous permettre de définir maintenant les capacités hydrologiques de toutes les formations et en fonction de leur puissance, de leur disposition géologique d'établir leur rôle dans l'hydrogéologie du secteur étudié.

I.2.1. Le Jurassique supérieur :

La série basale marneuse est imperméable dans notre secteur vis-à-vis de l'importante masse calcaire sus-jacente. Elle représente le niveau de base géologique de toutes les sources d'Arbin et de Cruet.

La série calcaire a, au contraire, un rôle hydrologique important. Malgré les fortes proportions de calcaires purs des différents niveaux (voir

fig. 3), il semble que de véritables réseaux karstiques profonds (type urgonien) ne puissent pas s'y être développés, excepté dans la barre de calcaires du Tithonique supérieur où l'on observe des poches karstiques mises à jour par l'érosion. Les alternances marneuses de faible épaisseur, mais fréquentes, ainsi que la disposition géologique de ces formations s'opposent à de tels réseaux.

Malgré tout, et comme nous le verrons plus loin, le comportement karstique des sources d'Arbin (variabilité des débits = 75) montre que, dans ce cas, les interstrates et surtout les fractures auront une importance considérable dans les circulations.

I.2.2. Le Crétacé :

Nous y distinguerons schématiquement deux grands ensembles : les séries marneuses du Crétacé inférieur imperméables en grand, du fait de leur nature, et le puissant ensemble de calcaires à faciès urgonien où vont se développer la majorité des aquifères à caractères karstiques de la vallée des Aillons.

I.2.2.1. L'ensemble marneux :

Le Berriasien par sa lithologie ne donne lieu qu'à des circulations réduites. C'est le cas à Nécuidet et au village des Combes, avec des sources superficielles liées à la fracturation et aux niveaux les plus calcaires qui ne dépassent guère l'ordre du litre/seconde.

Malgré tout, les niveaux inférieurs de ce Berriasien plus calcaires, participent à l'alimentation des calcaires tithoniques sous-jacents. A la roche du Guet et au Roc de Torméry, on y observe de vastes entonnoirs de dissolution avec "pertes", au contact du Tithonique. L'une de ces "pertes" a fait l'objet d'un traçage dont nous reparlerons ultérieurement. Il faut donc noter que ce berriasien a un rôle hydrologique évidemment incomparable face au Tithonique, mais qui, pour cette zone, ne doit pas être négligé.

Tout l'ensemble marneux du Valanginien où est logé le petit lac de la Thuile peut être considéré comme imperméable. Il détermine l'apparition des émergences à la base des éboulis au Sud-Est du Pic de la Sauge et dans le lac.

Les niveaux calcaires ont des possibilités hydrologiques plus marquées mais, en raison de leurs dispositions géologiques, ils ne sont pas des

aquifères importants bien que la source de Rossillon au Nord du Mont Margé-riaz qui atteint 5 l/s, émerge de ces calcaires.

Y. Lemordant (1977) a démontré le rôle hydrologique complexe de l'Hauterivien dans le plateau du Mont Revard, Montagne de Banges à l'Ouest du massif des Bauges où il est le siège de circulations quelquefois très importantes. La perméabilité en grand de cette formation, lorsque les grandes fractures le permettent, paraît maintenant certaine et la possibilité de voir se développer des réseaux karstiques dans les parties supérieures est également visible dans notre secteur par l'examen des gouffres du Margé-riaz. Développés principalement dans les calcaires urgoniens, ils atteignent, pour la plupart d'entre eux, les niveaux supérieurs de l'Hauterivien (Tanne G Cher, Tannes des Squelettes, Tanne aux cochons, Tanne aux Enfers).

Malgré tout, en raison de conditions géologiques défavorables, l'Hauterivien de notre secteur, excepté dans sa partie supérieure, peut être considéré comme imperméable vis-à-vis des calcaires urgoniens sus-jacents.

On y note également des circulations très réduites dans les niveaux les plus calcaires comme aux chalets de la Buffe.

1.2.2.2. Les calcaires urgoniens :

La perméabilité en grand des calcaires urgoniens est généralisée dans tous les massifs subalpins et l'étude de notre secteur ne fait que confirmer le caractère hydrologique important de cette formation.

Les gouffres ou tannes du massif du Margé-riaz sont bien connus des spéléologues régionaux depuis de nombreuses années et les campagnes de topographie et exploration en profondeur du réseau s'opèrent régulièrement.

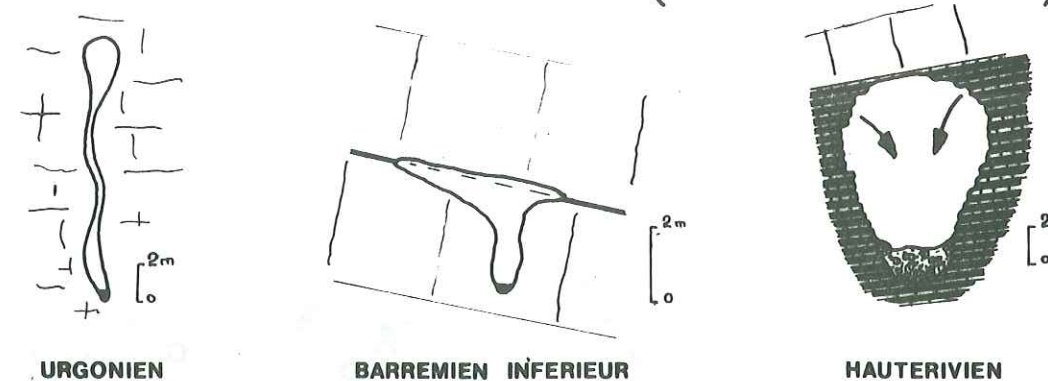
Du fait de la structure monoclinale et de l'intense fracturation, les calcaires urgoniens du massif du Margé-riaz ont subi d'importantes dissolutions.

Les réseaux karstiques :

Plus de 120 cavités ont été ainsi recensées sur toute la surface du plateau, 10 d'entre elles ont des développements intéressants, totalisant près de 20 km de galeries pénétrables connues à ce jour. Tous les grands gouffres présentent des similitudes, car les coupes transversales des galeries sont caractéristiques de la formation qu'elles occupent (fig. 4) : les traversées dans l'Urgonien se font par des méandres étroits, sinueux et hauts

Fig 4 : Profils schématiques des cavités karstiques

(d'après Spéleo Club de Savoie)



(20m) les interbancs sont rares, les diaclases ont un rôle prédominant ; dans le Barrémien inférieur ces méandres sont plus larges mais plus bas (interbancs plus fréquents, la galerie se positionne dans l'interbanc). Dans l'Hauterivien supérieur se développent de grandes salles aux parois arrondies, car instables, et au fond garni d'éboulis.

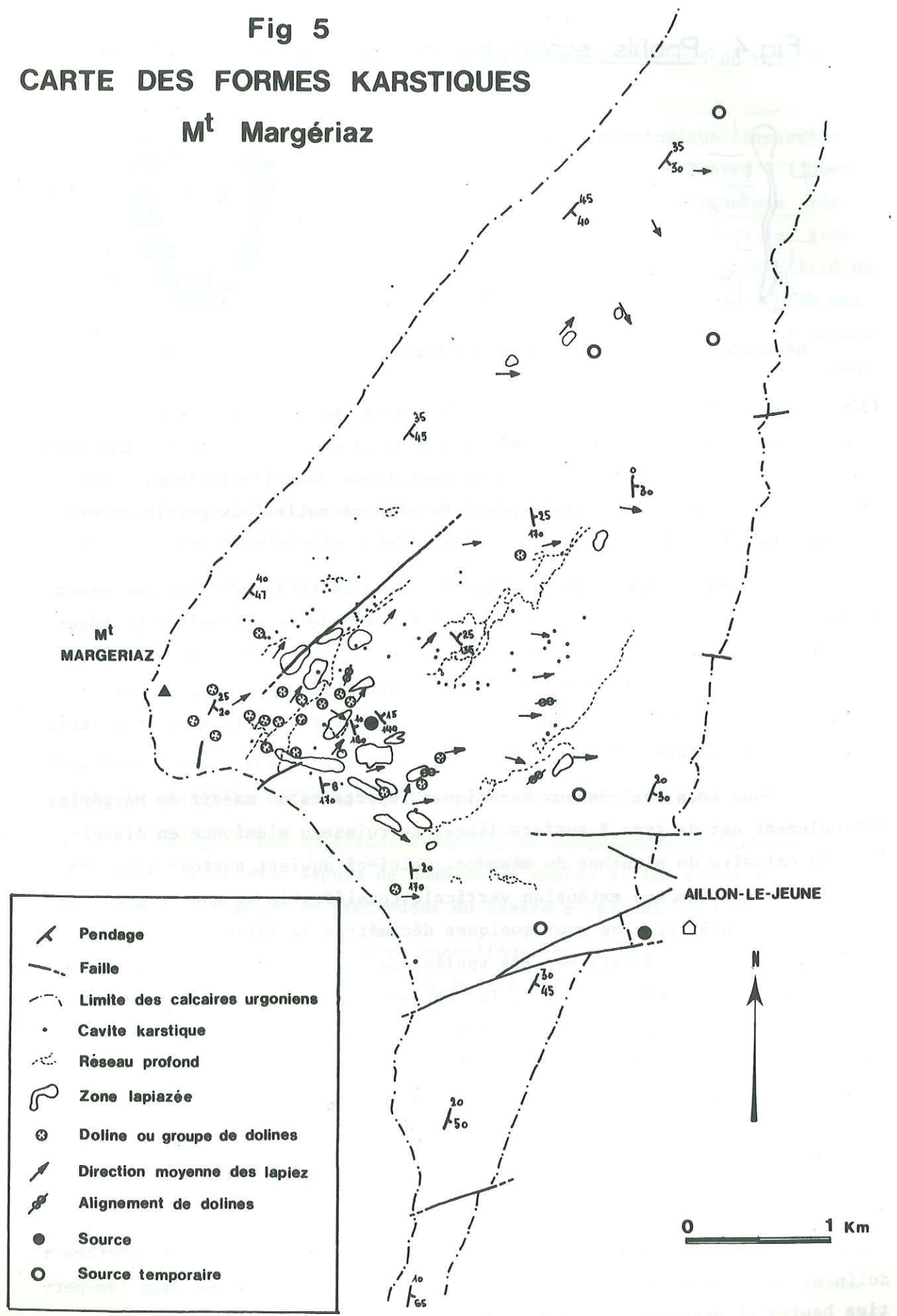
Toutes les galeries ne comportent pas de ruisseau. Nous parlerons ainsi de réseau "fossile" ou inactif, où l'érosion ne se poursuit plus régulièrement en opposition au réseau "vivant" ou actif, où les dissolutions et effondrements continuent de se manifester. Dans les réseaux actifs, les circulations pourront être de deux types : l'écoulement se fera soit en galerie noyée, soit à surface libre.

Dans tous les réseaux karstiques importants du massif du Margé-riaz l'écoulement est de type à surface libre. Le ruisseau s'enfonce en dissolvant le calcaire du plancher du méandre. Celui-ci aquiert, surtout dans les calcaires urgoniens, une extension verticale considérable et une largeur réduite (20m de haut et plus pour quelques décimètres de large). Les qualificatifs qui leur sont donnés par les spéléologues les caractérisent bien (méandre du diable, méandre dément ...). Certaines salles pourront être malgré tout noyées lors de crues importantes, du fait que leur issue est obstruée par des éboulis ou qu'elle est trop étroite. Les deux cas s'opposent à l'écoulement rapide de l'eau.

La surface de la zone noyée n'est vraiment visible qu'à l'exsurgence du Pissieux (au Nord du Margé-riaz), où les spéléologues ont reconnu par plongée un puits vertical de plus de 50m.

On note également un grand nombre de formes karstiques de surface : dolines, zones de profond lapiez et puits à neige fort répandus dans les parties hautes et dégagées du plateau (voir. Fig. 5).

Fig 5
CARTE DES FORMES KARSTIQUES
M^t Margérianz



Comme le massif du Margérianz, le massif du Colombier possède également un réseau karstique mais certainement moins développé. On n'y observe aucune cavité karstique pénétrable, excepté le puits vertical de la grotte du nant de Rossane, véritable piézomètre naturel.

En plus des circulations karstiques importantes, on peut observer des circulations réduites dans les niveaux plus poreux ou plus fracturés qui donnent naissance à de petites sources dont le débit est de l'ordre du litre /minute (l/mn), comme la source des chalets de Margérianz, utilisée pour l'alpage estival.

Les principales émergences karstiques étudiées et issues de cet ensemble urgonien seront la source du Pissieux à l'aval du Cimeteret, le Lot du Bois au Nord du Margérianz, Fontaine Noire au Sud du Mont Nau et Faverges et Pré Paissard à l'Ouest du Colombier.

I.2.2.3. L'Albien :

Les niveaux inférieurs, de par leur nature lithologique marneuse, peuvent être considérés comme imperméables. Par contre, les dépôts gréseux supérieurs plus poreux alimentent de petites sources locales (sources des chalets de la Bottière).

Le ruisseau relativement faible de cet ensemble ne lui permet pas d'avoir un rôle hydrologique important.

I.2.2.4. Le Sénonien :

Sa capacité hydrologique est modeste. Sa nature à tendance argileuse et son litage fin limitent les dissolutions et, de ce fait, une karstification étendue. Les circulations se feront principalement dans les zones fracturées et dans les interbancs ; les débits atteignent quelques litres/seconde.

I.2.3. Le Tertiaire :

La lithologie du Tertiaire fait apparaître des niveaux de calcaires perméables en grand (Lutétien-Priabonien), alternant avec des niveaux marneux imperméables.

Les calcaires, malgré leur capacité de milieu perméable ne présentent pas de niveaux aquifères importants en raison de leur épaisseur ré-

duite et de leur discontinuité et disposition géologiques. Ils ne donnent en conséquence que quelques petites sources de l'ordre du litre/seconde.

Quant aux grès, leur matrice argileuse les rend imperméables et ils ne donnent que des suintements dans les parties les plus sableuses mal consolidées.

Les grès molassiques sont de même imperméables et jouent le rôle d'écran aux circulations urgoniennes de l'exurgence karstique du Lot du Bois.

Une exception doit tout de même être faite pour les conglomérats Priaboniens de la Galoppaz qui contiennent un niveau aquifère intéressant avec les sources des Fontanettes (plusieurs litres/seconde).

I.3. CONCLUSION.

Notre étude des lithofaciès nous a permis de distinguer deux grands ensembles aquifères prédominants.

Les calcaires du Jurassique supérieur, bien développés au Sud du secteur étudié (massif de la Thuile), présentent des circulations souterraines importantes voir même karstiques (sources d'Arbin).

Les masses de calcaires urgoniens, bien représentées au Nord du secteur dans le massif du Margérian et du Colombier, sont le siège de réseaux karstiques importants (sources du Pissieux, du Lot du Bois, de Fontaine Noire).

D'autres niveaux aquifères, plus modestes, seront présents localement dans les calcaires valanginiens, sénoniens et tertiaires. Toutes ces sources seront étudiées physiquement et chimiquement dans un chapitre ultérieur.

CHAPITRE II. LA TECTONIQUE.

II.1. INTRODUCTION.

A côté du rôle important de la lithologie des diverses formations dans leur comportement hydrologique, il convient également d'examiner la nature des structures géologiques qui vont déterminer les sens des écoulements souterrains.

Les grandes lignes de la géologie de notre secteur sont bien connues depuis M. Lugeon. Les travaux de R. Perrier (1958) ont permis de déchiffrer les structures du massif du Colombier et ceux de B. Doudoux (1963) celles du massif de Curienne. Les études de M. Gidon (1964) ont mis à jour la complexité du massif de la Thuile et de sa bordure orientale.

Nous nous limiterons donc à une description détaillée de ces structures.

Notre étude tectonique sera plus axée sur la fissuration du massif du Margérian dont la grande dalle monoclinale se prêtait particulièrement bien à une telle étude de surface.

II.2. HISTOIRE GEOLOGIQUE DE LA REGION.

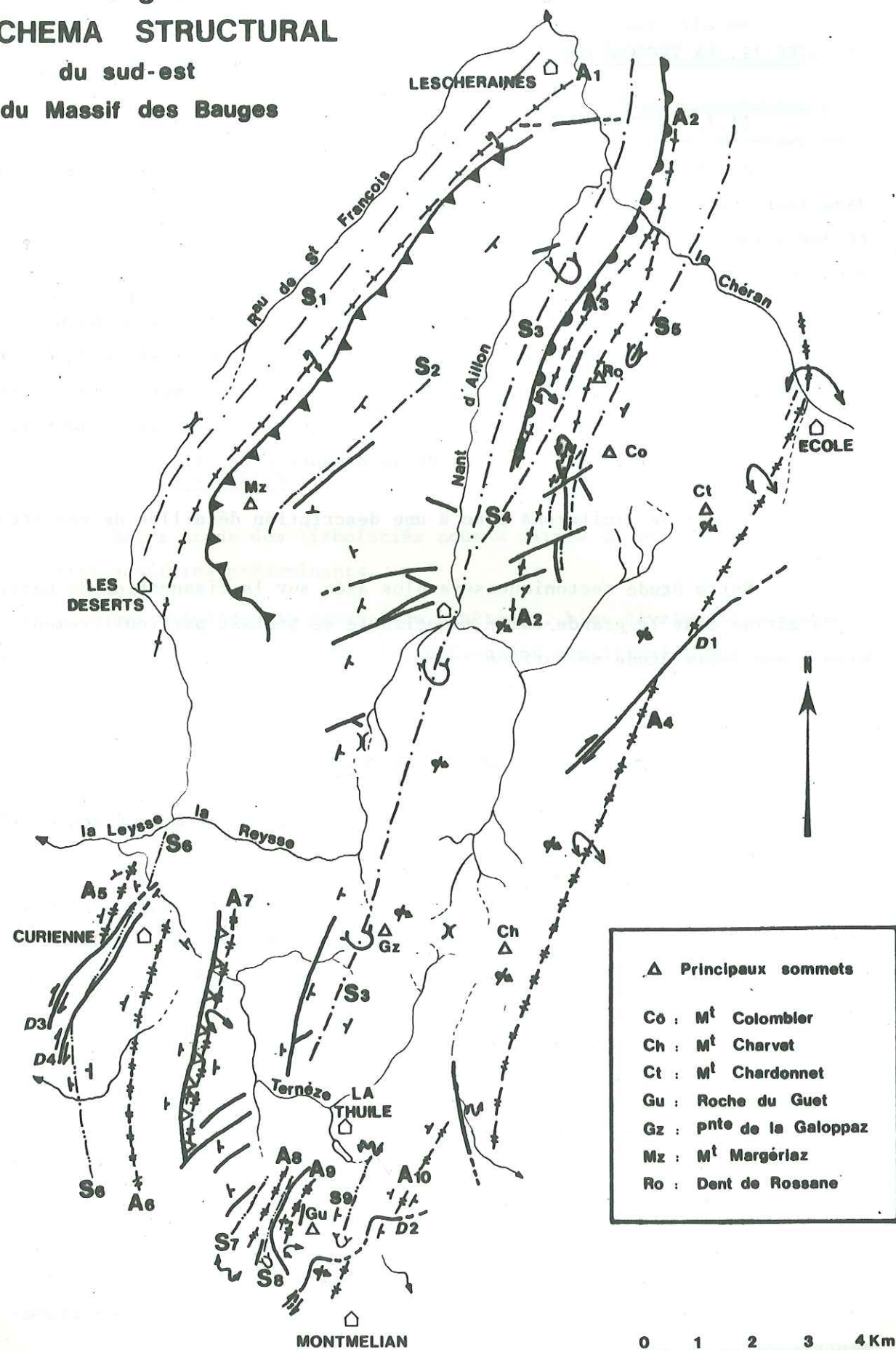
La sédimentation est tranquille jusqu'à l'Eocène, mais demeure liée à la proximité des rivages jurassiens.

A l'Eocène inférieur, l'émersion qui s'étend à toute la région est marquée par une érosion intense, la karstification atteint les couches supérieures des calcaires urgoniens. On assiste alors aux premiers mouvements importants sous forme d'un soulèvement général de tous les massifs, sans plissements importants. Aucune discordance angulaire importante ne marque le passage des calcaires urgoniens et sénoniens aux calcaires nummulitiques.

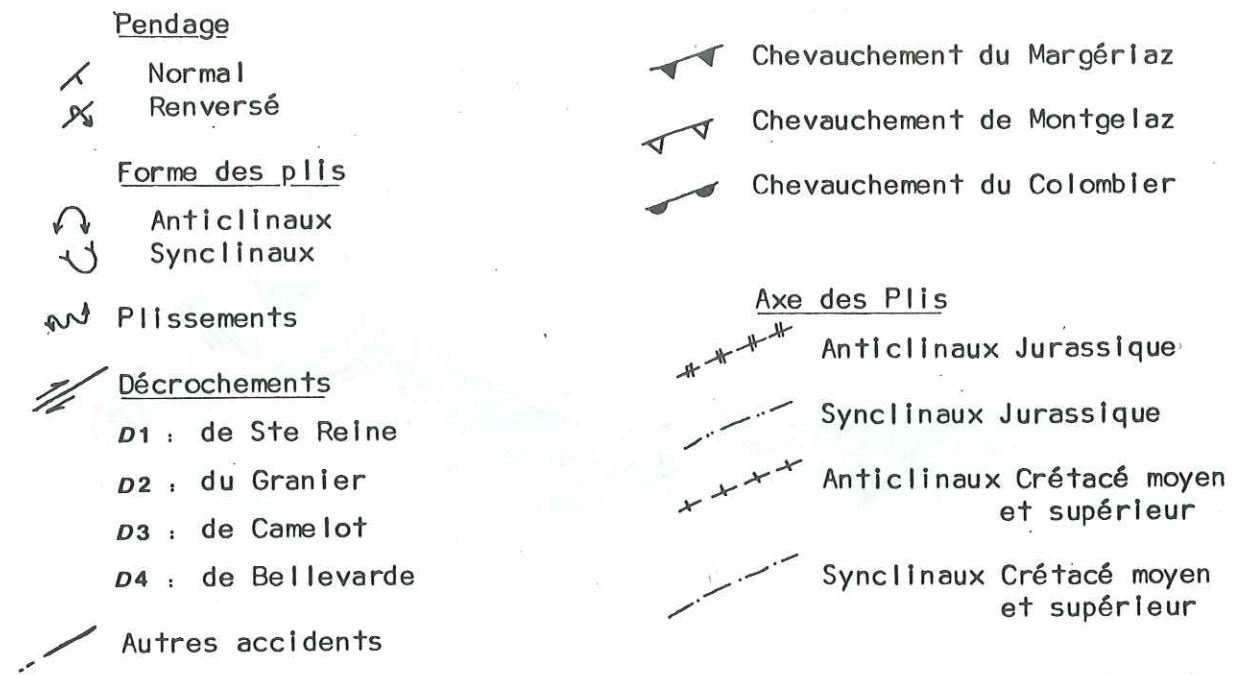
Durant l'Eocène et le début de l'Oligocène, on assiste à des mouvements de reculs et d'avancées marines vers l'Ouest, comme en témoignent les dépôts lacustres, saumâtres ou marins de cette période.

A la fin du Miocène, les plissements importants de direction N20° modèlent le massif des Bauges et lui donnent son aspect actuel. Des structures chevauchantes sont également contemporaines de cette phase. Des mouvements tardifs se manifestent par des accidents verticaux.

Fig 6
SCHEMA STRUCTURAL
du sud-est
du Massif des Bauges



LEGENDE DU SCHEMA STRUCTURAL



II.3. LES STRUCTURES ET LES GRANDS ACCIDENTS LES AFFECTANT. Figure 6 et Figure 7.

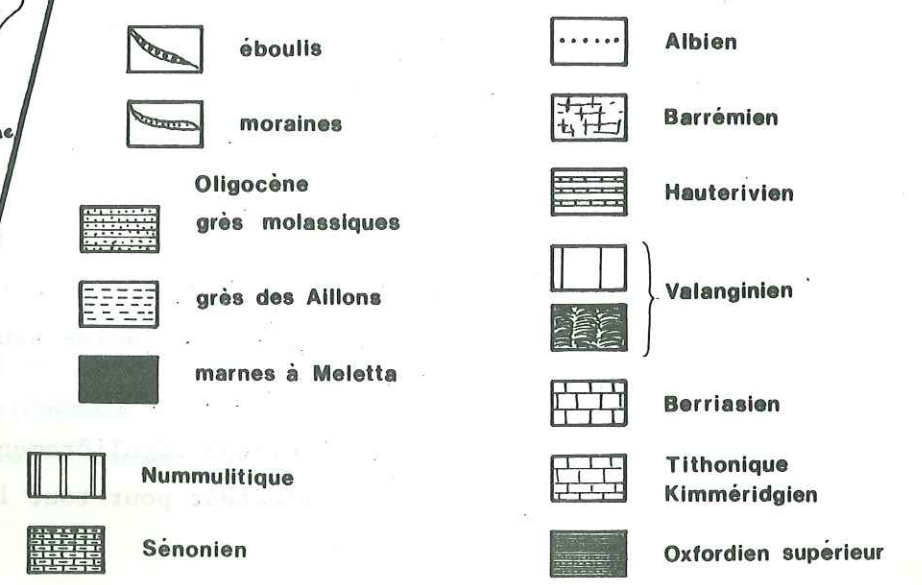
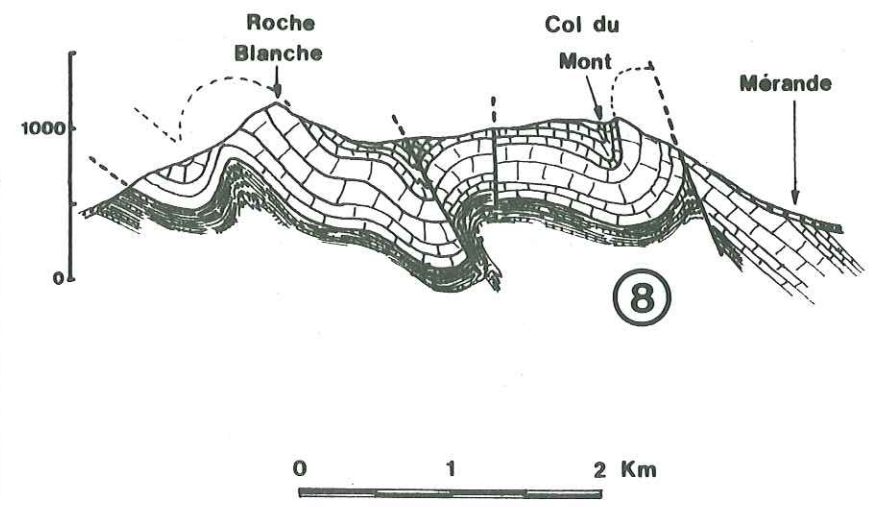
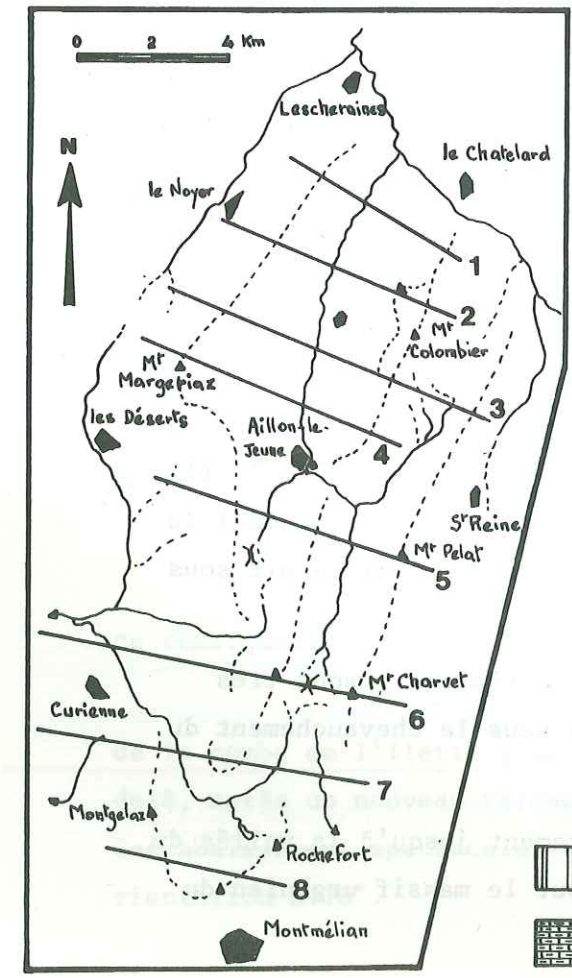
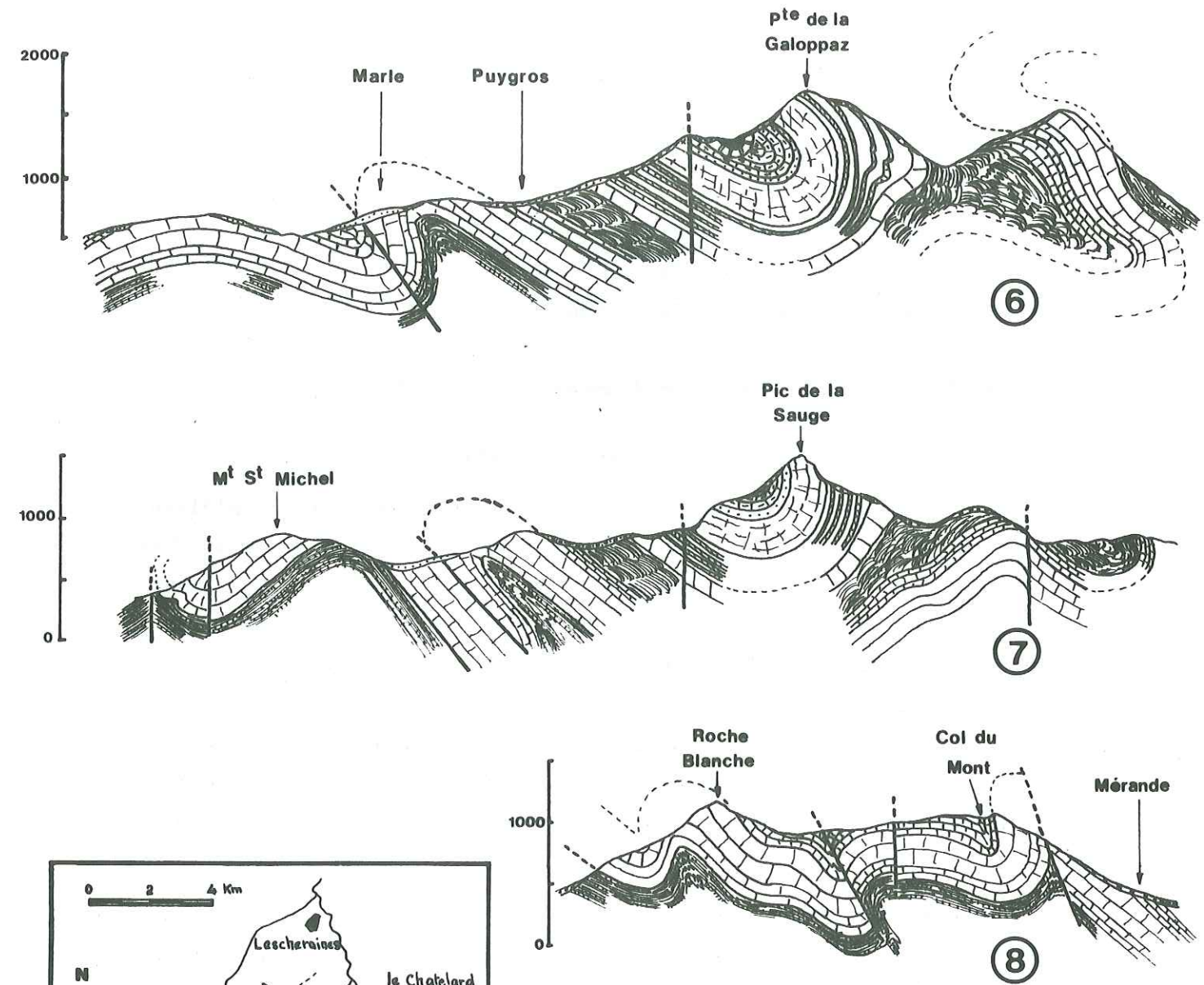
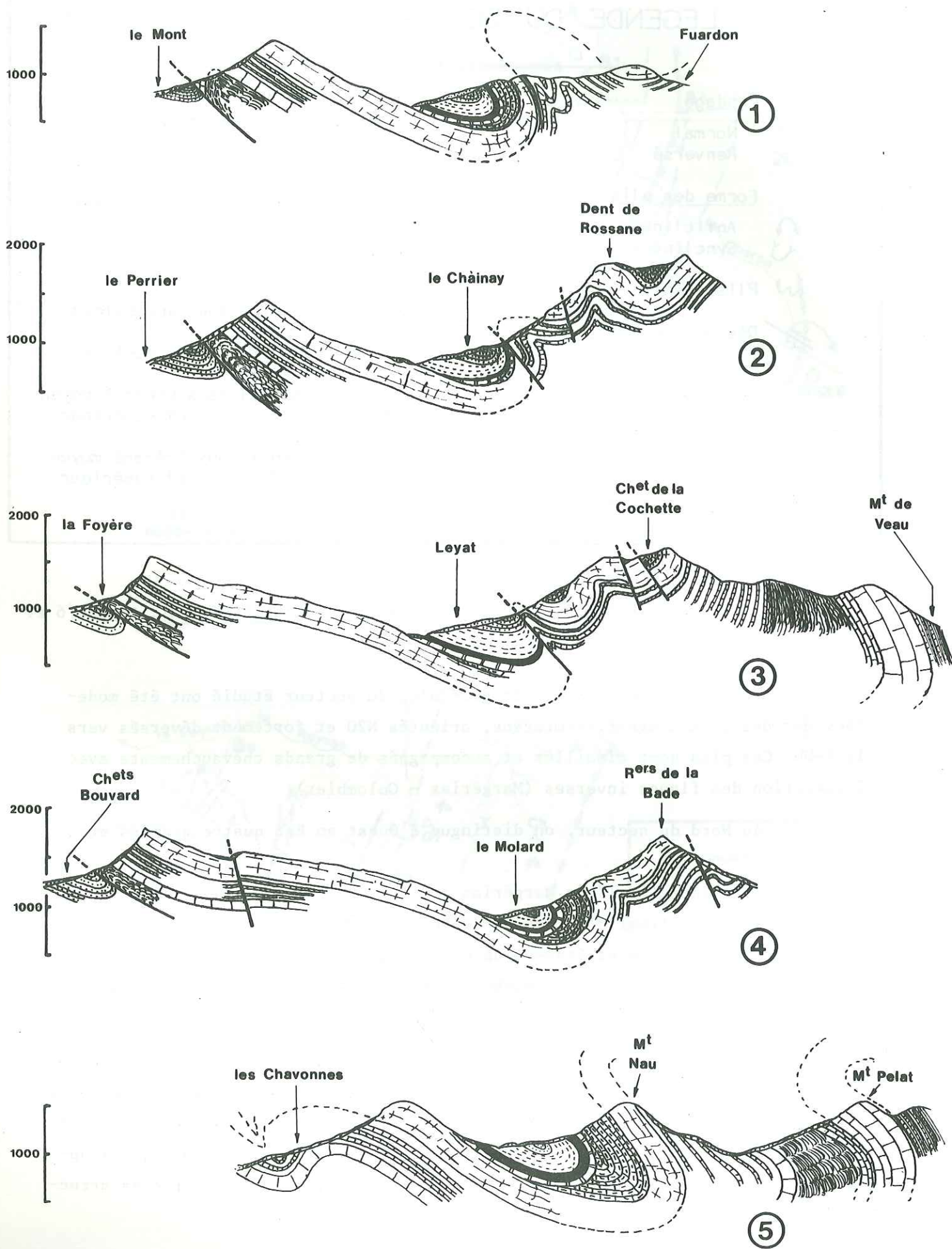
Les formes des structures générales du secteur étudié ont été modélées par des plis d'âge fini-miocène, orientés N20 et fortement déversés vers le N-NW. Ces plis sont cisailés et accompagnés de grands chevauchements avec disparition des flancs inverses (Margériaz - Colombier).

Au Nord du secteur, on distingue d'Ouest en Est quatre grandes structures :

- l'"Anticlinal" du Margériaz ;
 - le synclinal d'Aillon-le-Jeune ;
 - les structures étagées du massif du Colombier.
- Ces trois premières structures concernent des terrains crétacés.
- l'anticlinal Jurassique supérieur du Mont Pelat.

Au Sud du secteur et du fait de l'érosion de la carapace crétacée une seule structure crétacée subsiste. C'est le synclinal perché de la pointe de la Galoppaz-Combe Noire, prolongement du synclinal d'Aillon-le-Jeune. L'anticlinal Jurassique du Mont Pelat se poursuit vers le Sud jusqu'au Mont Charvet. Il apparaît, outre cet anticlinal, jusqu'à la cluse de Chambéry, une série de struc-

Fig 7 : Coupes s riees _ sud-est du Massif des Bauges



tures jurassiques nouvelles, constituées par un faisceau de plis disharmoniques. Ces plis s'enfilent et disparaissent en plongeant vers le Nord sous les synclinaux d'Aillon-le-Jeune et des Déserts et sous l'anticlinal du Margérian. Ces structures formées de Jurassique supérieur sont d'Ouest en Est :

- les anticlinaux du massif de Curienne ;
- l'anticlinal de Montgelaz ;
- le vaste synclinorium de la Thuile.

II.3.1. Le Nord du secteur étudié :

II.3.1.1. "Anticlinal" du Margérian : (A1)

Seul le flanc normal de cet anticlinal est représenté. Il s'élève régulièrement, depuis la vallée du Chéran où il prend naissance, jusqu'au Mont Margérian. Ce flanc Est comporte une ondulation synclinale, du Roc de Margérian jusqu'au village de Rivollin, puis un vaste dôme anticlinal de la forêt de Margérian au Bois de Chavannu. Ces deux dernières structures annexes avec des axes plongeant vers le Nord, auront pourtant une grande importance dans l'écoulement des eaux de ce massif. En effet, le repli synclinal de la combe des Biolles joue le rôle de drain et le bombement anticlinal a déterminé une zone à faibles pentes favorable au développement des plus grands réseaux karstiques.

Notons également que le repli synclinal est bordé à l'Est par une faille N50 à rejet inverse de plus de 50 mètres (Faille Pontille des spéléologues).

Cet anticlinal du Margérian chevauche largement dans sa partie centrale le synclinal des Déserts (S1) tertiaire.

II.3.1.2. Synclinal d'Aillon : (S2)

Il est bien développé dans tout le secteur et se poursuit au Sud par le synclinal de la pointe de Galoppaz - Combe Noire. Au Nord, soit il fusionne, avec le synclinal des Déserts par disparition de l'anticlinal du Margérian pour constituer le synclinal de Leschaux, soit il disparaît sous le chevauchement du Colombier.

C'est un pli déversé où les formations tertiaires y sont très abondantes. Au Nord, son flanc inverse est laminé sous le chevauchement du massif du Colombier.

Ce synclinal dont l'axe plonge régulièrement jusqu'à la vallée du Chéran, représente un important collecteur pour tout le massif urgonien du Margérian.

II.3.1.3. Structures étagées du massif du Colombier :

- Anticlinal d'Aillon-le-Vieux : (A2)

C'est le premier des plis étagés sur le flanc ouest du massif du Colombier. Cet anticlinal formé d'assises du Crétacé inférieur prend naissance au Nord du village de la Bottière. Il chevauche par pli-faille le synclinal d'Aillon-le-Jeune. Son flanc inverse réapparaît au Nord dans le ruisseau du Marié, où ce pli s'intègre peu-à-peu à l'anticlinal de la Dent de Rossane. Le chevauchement, à l'inverse de celui du Margérian, se poursuit au Nord sous l'anticlinal de la Motte (de Lugeon) jusqu'au lac d'Annecy.

- Synclinal de Longe Fullie : (S3)

Né du synclinal d'Aillon-le-Jeune, son axe s'élève en direction du Nord jusque sous la Dent de Rossane.

Il est déversé vers l'W-NW et disparaît au Nord du Ravin de la Lavanche. Bien que sa longueur soit assez réduite, il est évasé et contient du Sénonien dans la combe de Longe Fullie.

- Anticlinal de Rossane : (A3)

Son axe s'élève depuis la vallée du Chéran jusqu'à la Dent de Rossane ; son flanc ouest d'abord vertical se déverse progressivement au niveau du village de la Bottière et par suite de la disparition des deux autres structures précédemment décrites, il vient constituer le rebord du synclinal d'Aillon-le-Jeune. Son flanc Est, au niveau du chalet de Rossane, est accidenté par une faille inverse à regard Est.

Du fait de la présence de son cœur Crétacé inférieur, il marque au Nord une limite entre les deux aquifères urgoniens du synclinal de Longe Fullie et du synclinal du Colombier.

Il se poursuit au Nord du Chéran par l'anticlinal de la Motte.

- Synclinal du Colombier : (S4)

On distingue avec R. Perrier (1958), trois parties dans ce remarquable synclinal perché.

- Une partie nord dont l'axe plonge depuis l'extrémité de la combe de l'Ilette jusqu'au niveau du Chéran. Cet axe se prolonge au delà, après un nouveau relèvement par le synclinal Mont Julioz Entrevernes. Cet abaissement spectaculaire marque le synclinal transverse du Chéran d'orientation N110°.

- Une partie centrale du synclinal, de la Combe de l'Ilette au col du Colombier, dont le fond est horizontal. Cette horizontalité nous indique donc une ligne de séparation des eaux s'écoulant à la fois vers le Nord et vers le Sud dans le synclinal. Nous avons tenté de préciser ces écoulements opposés par un traçage qui n'a malheureusement pu être effectué dans des conditions optimales.

- Une partie méridionale de ce synclinal, dont l'axe plonge vers le Sud et se subdivise en deux branches. Une des ramifications monte en direction des rochers de la Bade, où elle est bordée, à l'Ouest, par une faille normale N170° ; l'autre branche, après un fort plongement d'axe, se termine dans le petit synclinal des chalets de la Bottière à coeur Sénonien qui se relève à son tour vers le Sud.

Ce vaste synclinal du Colombier et le flanc méridional du synclinal d'Aillon-le-Jeune sont hâchés par des accidents cisailants N60 et N80, que l'on retrouve dans le flanc Est de l'anticlinal du Margérian de l'autre côté de la vallée des Aillons.

Il semble, comme nous le verrons par la suite, que ces fractures n'aient pas un rôle important dans les circulations qui parcourent les calcaires urgoniens de ce massif.

II.3.1.4. Anticlinal Jurassique du Mont Pelat : (A4)

Les reliefs du Mont Chardonnet au Mont Pelat, à l'extrémité Est de notre secteur d'étude, sont constitués par les calcaires du Jurassique supérieur du flanc occidental de l'anticlinal du Mont Pelat (anticlinal de Doucy ou zéro de B. Doudoux)

Ce flanc ouest est largement déversé vers le N-NW.

Les combes de Lourdens et du Lindar sont installées dans les assises du Crétacé inférieur du bord W de ce pli, le ruissellement y sera donc abondant.

II.3.2. Le Sud du secteur :

Au Sud du secteur, seul le synclinal d'Aillon-le-Jeune se prolonge au delà du col des Prés pour former le synclinal perché de la Pointe de la Galoppaz. Ce pli est alors déversé vers l'Ouest et accidenté par une faille verticale qui a remonté son flanc occidental.

II.3.2.1. Le massif de Curienne : (A5, A6, S6)

Avec B. Doudoux, nous pouvons distinguer, dans ce massif de Curienne qui forme l'extrémité Ouest de notre secteur, deux anticlinaux à assises jurassiques supérieures : celui de la Roche (A5) au Nord et celui de la Boisserette (A6) au Sud. Ces deux anticlinaux sont décrochés par deux accidents dextres orientés N30, respectivement nommés décrochements de Camelot et de Bellevarde. M. Gidon voit dans ces accidents les prolongements du décrochement du Pas de la Fosse du Nord du massif de la Chartreuse (M. Gidon, 1964).

Plus à l'Est, à l'anticlinal de la Boisserette, fait suite un synclinal à coeur Berriasien, pincé sous le chevauchement de Montgelaz.

II.3.2.2. Anticlinal de Montgelaz :

Seul le flanc normal de cet anticlinal est bien représenté et constitue le chaînon de Montgelaz.

Ce pli, largement déversé vers l'Ouest, chevauche au Nord le petit synclinal à coeur Berriasien précédemment cité et, au Sud, directement l'anticlinal de la Boisserette.

M. Gidon voit dans cet accident le prolongement sud du chevauchement du Margérian. Mais nous avons déjà vu avec R. Perrier que le pli-faille du Mont Margérian passe vers le Sud à une simple ondulation. Il semble donc qu'il n'y ait aucune relation directe entre ces deux accidents et les observations de B. Doudoux (1969) dans les gorges de la Reysse semblent le confirmer.

Cet anticlinal de Montgelaz se prolonge vers le Sud dans le massif de la Chartreuse (M. Gidon, 1964).

II.3.2.3. Synclinorium de la Thuile : (S7, A8, S8, A9, S9, A10)

Faisant suite à l'anticlinal de Montgelaz, une série de plis plus ou moins importants viennent constituer la vaste structure synclinale de la Thuile.

Dans les pentes méridionales du rebord du massif, du Roc de Torméry au Rocher de Rochefort, on peut distinguer ces différentes structures qui sont, d'Ouest en Est :

- le petit synclinal pincé de Montfruitier (S7) ;
- l'anticlinal du Roc de Torméry (A8) ;
- le synclinal des Combés (S8) ;
- l'anticlinal de la Roche du Guet (A9) ;

- le synclinal du Mont (S9) ;
- le dôme anticlinal de Rochefort (A10).

Le flanc Est de l'anticlinal du Roc de Torméry est chevauché par l'important pli-faille de la Roche du Guet. Cet accident se poursuit dans les marnes du Crétacé inférieur jusqu'au Lac de la Thuile.

Le flanc Est de l'anticlinal de la Roche du Guet, plus tranquille, forme une vaste voûte allongée.

L'anticlinal du Rocher de Rochefort est légèrement déversé vers l'Ouest et pince le synclinal du Mont à coeur Berriasien très étroit.

Plus à l'Est, et à la limite du secteur étudié, cet anticlinal est recoupé par une faille verticale abaissant fortement son flanc Est, occupant le vallon du Nant de Cruet.

Toutes ces différentes structures qui forment le massif de La Thuile ont des axes orientés N25° et plongent vers le Nord.

Les anticlinaux de la Roche du Guet et de Rochefort et le synclinal du Mont sont accidentés par un décrochement dextre d'orientation N60 penté Sud-Est de 70°. Cette faille est le prolongement du décrochement du Mont Granier dans le massif de la Chartreuse (M. Gidon, 1964).

II.3.2.4. L'anticlinal du Mont Charvet : (A4)

Prolongeant l'anticlinal du Mont Pelat - Mont Chardonnet déjà cité au Nord, l'anticlinal du Mont Charvet n'est présent dans le secteur étudié que par son flanc Ouest très déversé sur les terrains du Crétacé inférieur.

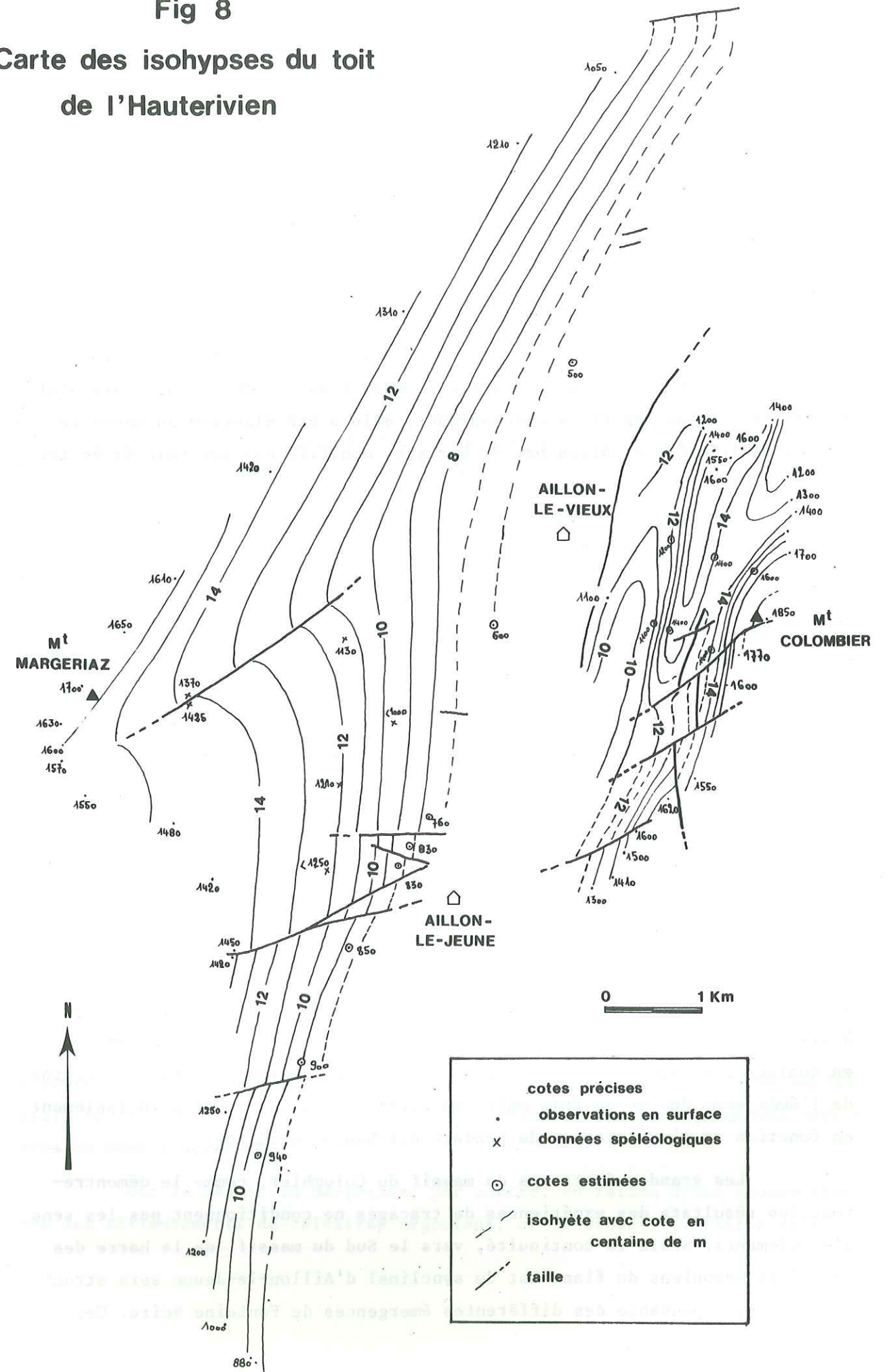
II.4. ROLE HYDROLOGIQUE.

La forme des structures, les grands accidents et la fissuration conditionnent, en général, la direction et le sens des écoulements souterrains.

II.4.1. Les structures : Figure 8.

Les formes anticlinales et synclinales ont un rôle important dans les massifs de calcaires urgoniens très développés au Nord du secteur. Les plis synclinaux jouent le rôle de collecteurs dans les massifs du Margérian et du Colombier. L'abaissement, vers le Nord, en direction du Chéran des axes des synclinaux de la Combe des Biolles, d'Aillon-le-Jeune et du Colombier

Fig 8
Carte des isohypses du toit
de l'Hauterivien



(Combe de l'Ilette) favorise l'alimentation des émergences du Pissieux et de Leyat. Quant à l'abaissement des axes des synclinaux de Longe Fullie et du Colombier, il facilite les écoulements vers le Sud jusqu'aux émergences des Faverges - Pré Paissard et de Fontaine Noire.

Nous avons, grâce à des relevés de terrains et des renseignements spéléologiques, établi la carte des isotypes du toit des calcaires hauteriviens que nous avons considérés comme imperméables en grand dans tout notre secteur d'étude. Cette carte nous indique donc la direction et le sens des écoulements général dans les calcaires urgoniens sus-jacents. La carte demeure malgré tout imprécise au centre du massif du Colombier où, faute d'affleurements et de repères spéléologiques, elle a été élaborée au moyen de coupes au 1/20.000 établies par R. Perrier, modifiée par nos relevés de terrains.

Les traçages permettront de préciser les écoulements supplémentaires qui n'apparaissent pas sur cette carte.

Si ce rôle de drains des structures est bien visible au niveau des massifs urgoniens, il n'en est pas de même si l'on examine les écoulements dans les assises calcaires du Jurassique supérieur du Sud du secteur. En effet, nous avons vu que les différents plis présents sur le rebord subalpin ont des axes plongeant vers le Nord. Or, ce plongement d'axes est contraire à l'écoulement des eaux du massif qui s'effectue vers le Sud, en direction des sources d'Arbin. Il faut donc, dans ce cas, remarquer l'opposition des structures et introduire l'idée que les fractures et fissures auront un rôle plus important.

II.4.2. Les grands accidents :

Les grandes fractures qui affectent tous les massifs urgoniens du secteur n'ont qu'un rôle secondaire dans les circulations souterraines vis-à-vis des structures. Au Nord du massif du Margérian une fracture, mettant en contact les calcaires urgoniens et les grès molassiques, sera à l'origine de l'émergence du Lot du Bois mais les circulations se feront principalement en fonction de l'orientation du pendage des bancs calcaires.

Les grandes fractures du massif du Colombier, comme le démontreront les résultats des expériences de tracages ne conditionnent pas les sens d'écoulements. Seule la continuité, vers le Sud du massif, de la barre des calcaires urgoniens du flanc Est du synclinal d'Aillon-le-Jeune sera structurellement responsable des différentes émergences de Fontaine Noire. Ces

fractures permettront, tout au plus, une continuité entre certaines zones très fracturées des calcaires sénoniens et les calcaires urgoniens.

Dans les assises du Jurassique supérieur, les grands accidents ont un rôle plus complexe. Le décrochement dextre du Granier qui décale les structures du rebord subalpin au Sud du massif du Roc de Torméry au Rocher de Rochefort, draine les eaux issues des calcaires du Jurassique supérieur vers les sources d'Arbin.

Dans le massif de Curienne, les failles décrochantes semblent jouer le rôle d'écran dans les circulations des eaux normales (captage du château à Challes-les-Eaux).

A l'Est du secteur, la faille de Sainte Reine est déjà connue sous son aspect d'écran étanche (G. Nicoud, 1973).

II.4.3. La fissuration :

Les fractures à l'échelle décimétrique et les fissures à l'échelle métrique offriront, par leur discontinuité, des chemins favorables aux écoulements. Ces petits accidents, parfois nombreux, peu à peu sujets aux dissolutions, prennent une importance considérable et sont à l'origine du développement des réseaux karstiques des massifs calcaires.

On peut distinguer parmi ces fractures deux plans de cisaillement et des plans de distension. Les plans de cisaillement forment un angle aigu autour de la contrainte maximale, les plans de distension sont parallèles et perpendiculaires à cette contrainte. Ces derniers sont, en général, plus ouverts que les plans de cisaillement.

Une étude par photos aériennes permet d'examiner la fracturation à l'échelle décimétrique ou hectométrique, tandis qu'une étude plus fine, sur le terrain, permet de mieux connaître la fissuration à l'échelle métrique.

La mise en oeuvre d'une telle étude, dans les calcaires du Jurassique supérieur du Sud du secteur, liée aux émergences d'Arbin s'est révélée impossible en raison d'une importante couverture végétale et d'affleurements médiocres ou même inaccessibles.

Sur le massif du Margérian, par contre, en raison d'une grande étendue des affleurements de calcaires urgoniens, cette étude s'avérerait possible.

II.4.3.1. Relevé des fissures :

Les relevés des fissures ont été répartis sur toute l'étendue de la "dalle" des calcaires urgoniens, excepté la partie Nord où les affleurements, plus limités, se sont révélés médiocres. Tous les points de mesures situés à l'intérieur d'un cercle de 500 mètres de diamètre ont été regroupés en stations.

Le long d'une ficelle tendue sur l'affleurement, nous avons noté dans les meilleurs des cas : la direction, le pendage, la continuité et l'écartement moyen de chaque fissure. C'est écartement a été mesuré grâce à un jeu de cales d'ajustage mécanique ou au double-décimètre. L'écartement moyen de chaque fissure est la moyenne, en tenant compte de la régularité, entre les ouvertures maximales et minimales mesurées sur chaque fissure. Cette opération a été effectuée dans les meilleurs des cas, certaines ouvertures ont dû, malheureusement, être estimées, surtout vers le haut de la dalle où les fissures ont subi de très fortes dissolutions.

Nous avons, ensuite, pour chaque groupe de points ou station, déterminé la direction moyenne et calculé la fréquence et l'ouverture moyenne de chaque famille de fissures.

La fréquence est calculée en fonction de la direction et du pendage de chaque famille de fissure et de l'orientation de la ligne de mesure.

L'ouverture moyenne est calculée par la loi logarithmique des ouvertures :

$$\text{Log } d_i = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Log } d}{n}$$

d_i : ouverture moyenne des fissures de la même famille.

d : ouverture moyenne de chaque fissure.

n : nombre total de fissures de la même famille.

II.4.3.2. Rappel des calculs de perméabilité :

Les calcaires fissurés constituent des milieux aquifères anisotropes et hétérogènes. La circulation de l'eau peut se faire dans les fissures ou le long de leurs plans d'intersections. Elle est régie par la loi expérimentale de Darcy.

$$\vec{V} = - \vec{K} \vec{J}$$

ou \vec{V} : vecteur vitesse de filtration

\vec{K} : perméabilité

$\vec{J} = \text{grad } \phi$: ϕ est le potentiel hydraulique.

Le coefficient de perméabilité K est un tenseur symétrique du second ordre, il transforme linéairement le vecteur gradient ϕ en un vecteur de vitesse de filtration qui, en général, n'est pas parallèle au premier.

D'après L. Kiraly et pour une circulation dans les plans de fissures le tenseur \vec{K}_i pour une famille de fissures planes et parallèles peut être calculé avec les paramètres d'après les levés effectués sur le terrain.

$$\vec{K}_i = \frac{g}{12\gamma} F_i d_i^3 (I - \vec{n}_i \otimes \vec{n}_i) \text{ en ms}^{-1}$$

g : accélération de la pesanteur = 9,81 (ms⁻²)

γ : viscosité cinématique de l'eau 10⁻⁶ (m² s⁻¹)

F_i : Fréquence du groupe de fissures i (m⁻¹)

d_i : ouverture moyenne de chaque famille (m)

I : matrice identique

\vec{n}_i : normale moyenne de la famille de fissures i

Tous les paramètres ont donc été mesurés en surface. Pour chaque famille de fissures, les normales \vec{n} sont représentées par des matrices colonnes dans un système orthonormé de coordonnées.

Si (x , y et z) sont les composantes de ce vecteur n_i (x vers le Nord, y vers l'Est, z vers le haut)

$$\vec{K}_i = \frac{g}{12\gamma} F_i d_i^3 \begin{bmatrix} 1-x^2 & -xy & -xz \\ -xy & 1-y^2 & -yz \\ -xz & -yz & 1-z^2 \end{bmatrix}$$

Pour chaque famille de fissures nous avons calculé une perméabilité équivalente (K_e) qui est, en général, proche de la perméabilité réelle (les termes $K_1 = 1-x^2$; $K_2 = 1-y^2$ et $K_3 = 1-z^2$ étant le plus souvent les plus importants).

Cette perméabilité équivalente est égale à

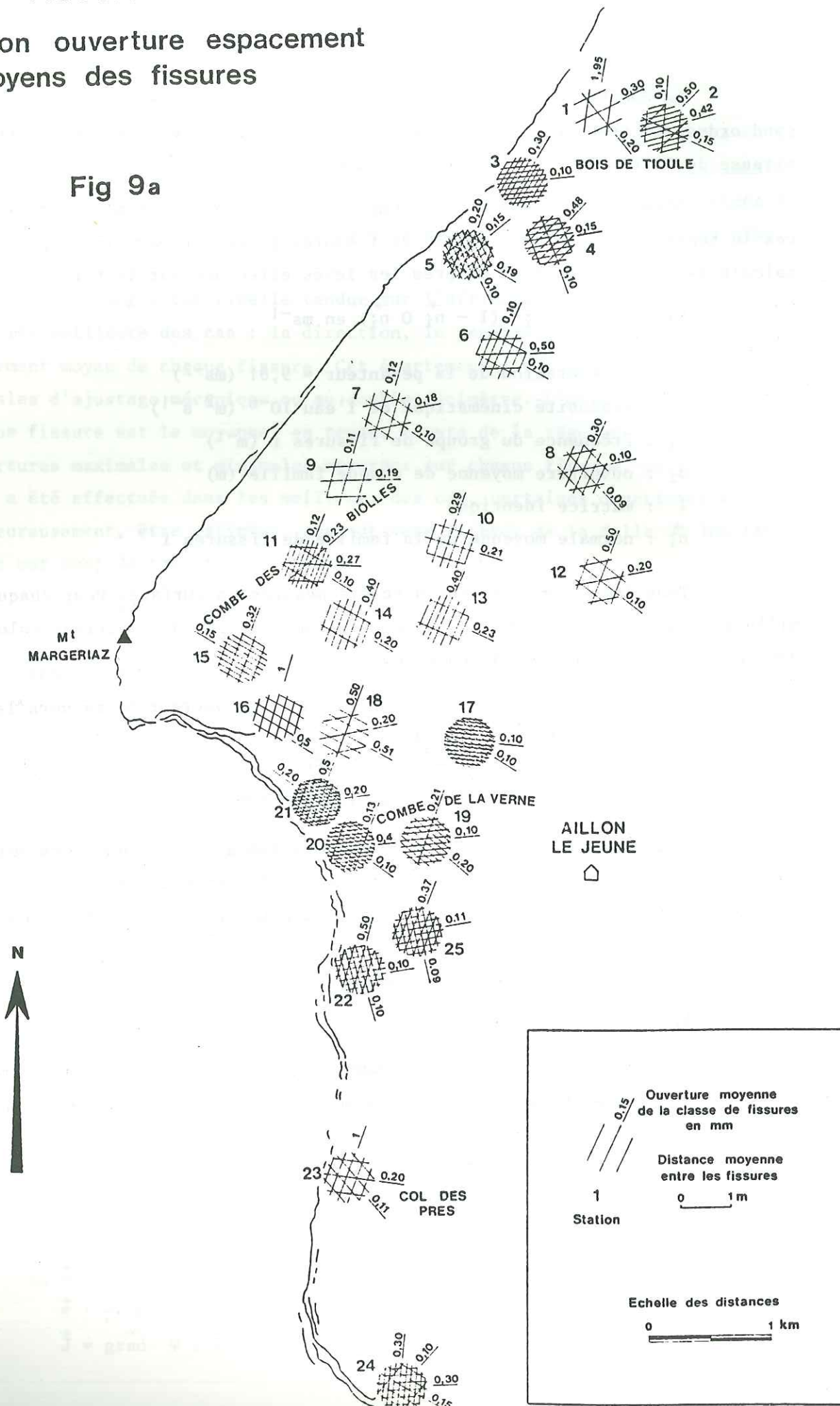
$$K_e = \sqrt[3]{K_1 \times K_2 \times K_3}$$

Sur chaque station et pour chaque famille de fissures nous avons reporté sur la figure 10 les perméabilités équivalentes en échelle logarithmique.

FISSURATION

Orientation ouverture espacement
moyens des fissures

Fig 9a



II.4.3.3. Résultats : Figures 9a, 9b et 10.

En examinant la figure 9a on remarque plusieurs familles de fissures. Chaque famille n'est pas obligatoirement représentée dans chaque station. Dans la figure 9b nous avons regroupé les orientations moyennes de toutes les familles de fissures mesurées sur la dalle.

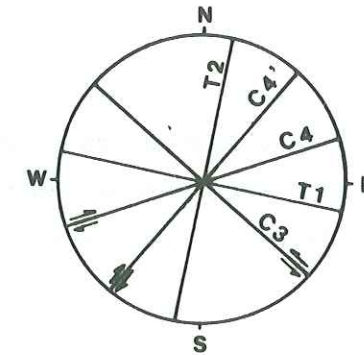


Figure 9b : Orientation des plans moyens des différents systèmes de fissures.

- les fissures d'orientation comprises entre N10 et N30 (T2) et N80-N100 (T1) sont des plans de distension conjugués ; elles sont en général très ouvertes, comportent parfois des recristallisations et sont respectivement parallèles et perpendiculaires aux grandes structures, les plans des fissures T1 peuvent parfois agir en décrochement dextre.

- les fissures d'orientation comprises entre N60-N80 (C4) et N120-N140 (C3) sont des plans de cisaillements. Ces deux systèmes sont conjugués ; le système C4 est dextre et le système C3 est sénestre.

Lorsque la fracturation est très intense ou dans une zone comprise entre deux accidents importants apparaît un nouveau système (C4') de fissures d'orientation N40-N50.

Tous ces plans de cisaillement sont peu ouverts mais parfois très nombreux.

La fréquence étant parfois très élevée pour certaines stations, il devient très difficile de décèler d'autres familles de fissures moins nombreuses.

Il en est ainsi pour la Combe de la Verne où, si aucun grand accident n'est visible en surface, l'anomalie topographique dessinée par cette combe est le résultat d'une multitude de petits accidents cisillant cette portion de la dalle. La fracturation importante ayant hâché ce secteur a favorisé une érosion plus intense créant ainsi cette combe. Seul le bas de la

combe est marqué par un accident important cisailant dextre que l'on peut associer au système C4.

Dans les stations aux alentours de la Combe de la Verne les systèmes de fissures C3 et C4 ont une fréquence importante. Seul un système de distension est ici visible (T2), les nombreuses fissures de cisaillement masquant les fissures de distension (T1) perpendiculaires aux structures.

Au Sud de la Combe de la Verne on remarque deux grands accidents décrochant dextre de type C4. Ces décrochements se poursuivent au-delà de la vallée des Aillons dans le massif du Colombier où un mouvement rotationnel supplémentaire leur donne l'aspect d'accidents cassants verticaux. Les grands accidents cisailants affectant la dalle urgonienne à l'Est et au Sud de la Combe de la Verne sont donc prépondérants par rapport au système C3 sénestre que l'on retrouve uniquement au niveau de la fissuration.

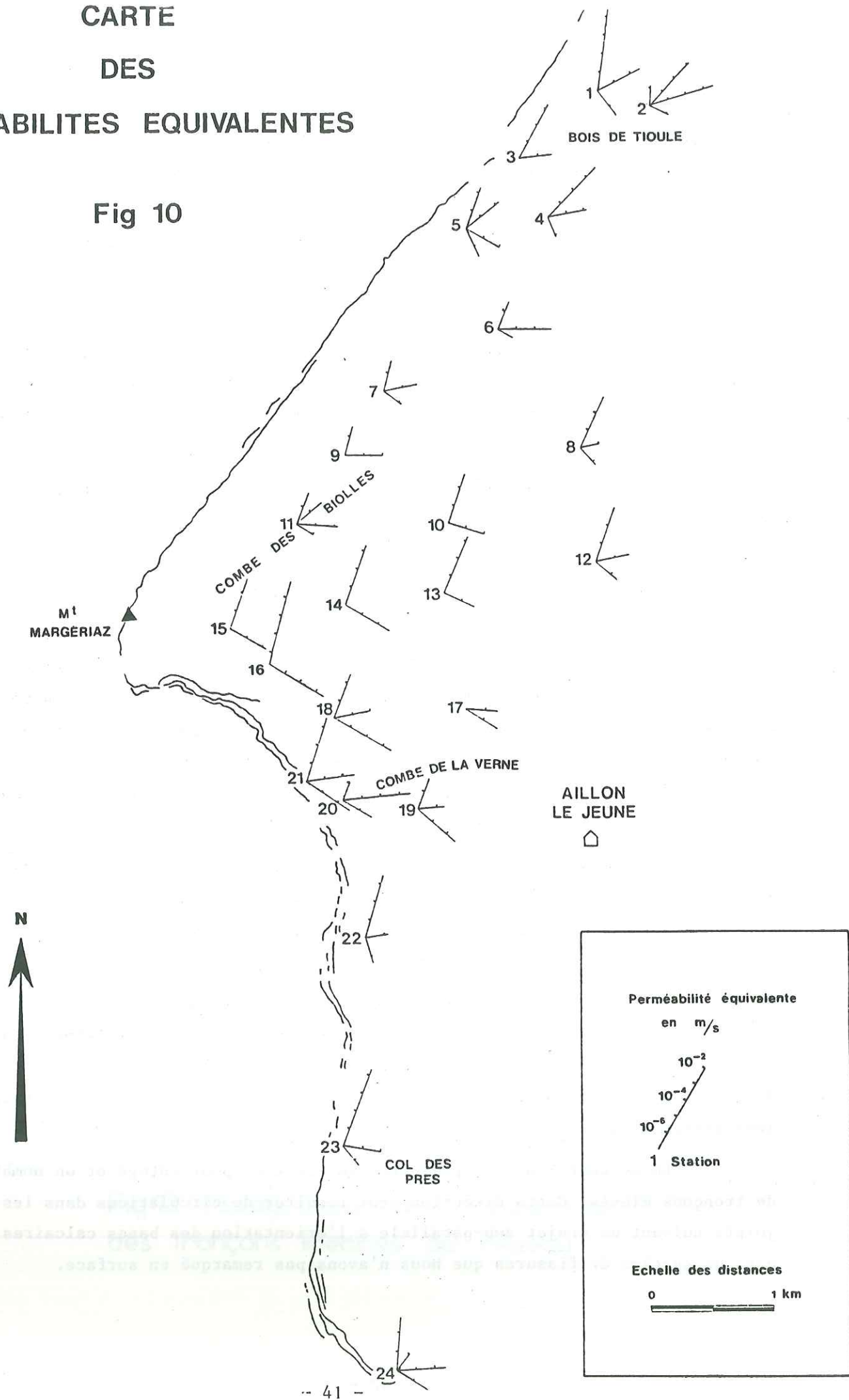
Sur le dôme anticlinal du chalet de Margérianz, la fissuration est plus discrète. On y retrouve les deux systèmes de distension T1 et T2 conjugués. Les plans des familles de fissures T2 sont très ouverts et plus nombreux et nous verrons, plus avant dans ce mémoire, que les principaux grands réseaux karstiques empruntent en grande partie cette direction. Dans la station n° 11 les familles de fissures de cisaillement sont représentées par les trois systèmes C3, C4 et C4'. La direction du système C4' est conforme à l'orientation de la faille H Pontille des spéléologues non visible en surface. Les fissures de distension T2 sont ici très nombreuses. Cela peut être dû en partie à la proximité du rebord de la falaise dominant la Combe des Biolles.

Dans le Bois de Tioule, tout à fait au Nord du Margérianz, on note une prédominance de stations où la fissuration a une fréquence élevée sans toutefois atteindre la fréquence importante vue dans la Combe de la Verne.

Dans ces stations du Nord du Margérianz on retrouve les deux systèmes de fissures C3 et C4 de cisaillement. Apparaît également le système supplémentaire C4' que l'on remarque surtout dans les stations 2 et 5 où la fréquence de fissuration des systèmes C3 et C4 est importante. Le nombre important de fissures de cisaillement dextre qui morcellent cette partie de la dalle pourrait suggérer la présence d'un accident majeur, pourtant l'étude en photos aériennes et sur le terrain ne révèle ici aucune fracture importante. Les mouvements tectoniques se sont traduits par une succession de petits accidents cisailants dextres sans toutefois atteindre le stade du grand décrochement.

CARTE DES PERMEABILITES EQUIVALENTES

Fig 10



Les fissures de distension T2 sont également présentes dans tout ce secteur du Bois de Tioule. L'ouverture moyenne importante de ces plans de distension que l'on note pour la station 1 peut être la conséquence de la proximité du rebord Ouest de la dalle.

Le système de distension T1 est ici peu visible, masqué par le nombre important de fissures de cisaillement.

Les perméabilités équivalentes de la figure 10 ont de fortes valeurs suivant les fissures de direction N20 (T2) pour la partie située au Nord de la Combe de la Verne. Ces perméabilités sont, bien entendu, valables uniquement en surface. Seule une étude dans les cavités karstiques aurait permis d'établir un coefficient de fermeture des fissures en profondeur.

On note dans les plus grands réseaux de la partie Nord du plateau un écoulement général vers le N-NE.

II.4.3.4. Comparaison avec les cavités karstiques : Figures 11 et 12.

Nous avons comparé les résultats des mesures de la fissuration obtenus en surface avec les longueurs cumulées des tronçons rectilignes du réseau de la Tanne aux Cochons choisie en raison de son développement. Les tronçons ont été classés par secteur de 10°. Le nombre de tronçons par secteur a été également indiqué. Toutes les mesures ont été effectuées sur une carte, au 1/1000 du réseau, levée par le spéléoclub de Chambéry.

On peut observer dans ce gouffre des directions préférentielles dans le développement des cavités : une direction N10-N30 très fréquente qui se dégage très nettement et une autre moins fréquente N80-90. Ces orientations représentent les fissures de distension empruntées par le réseau.

Une forte proportion de tronçons N30-50 correspond aux méandres. Ils sont le résultat de la divagation des filets d'eau autour de la ligne de plus grande pente. Les secteurs N50-70 représentent vraisemblablement les fissures de cisaillements. Le nombre de tronçons est important mais les longueurs cumulées restent faibles (6 à 7%).

Le secteur N160-170 présente également un pourcentage et un nombre de tronçons élevés. Cette direction peut résulter de circulations dans les joints suivant un trajet sub-parallèle à l'orientation des bancs calcaires ou dans un système de fissures que nous n'avons pas remarqué en surface.

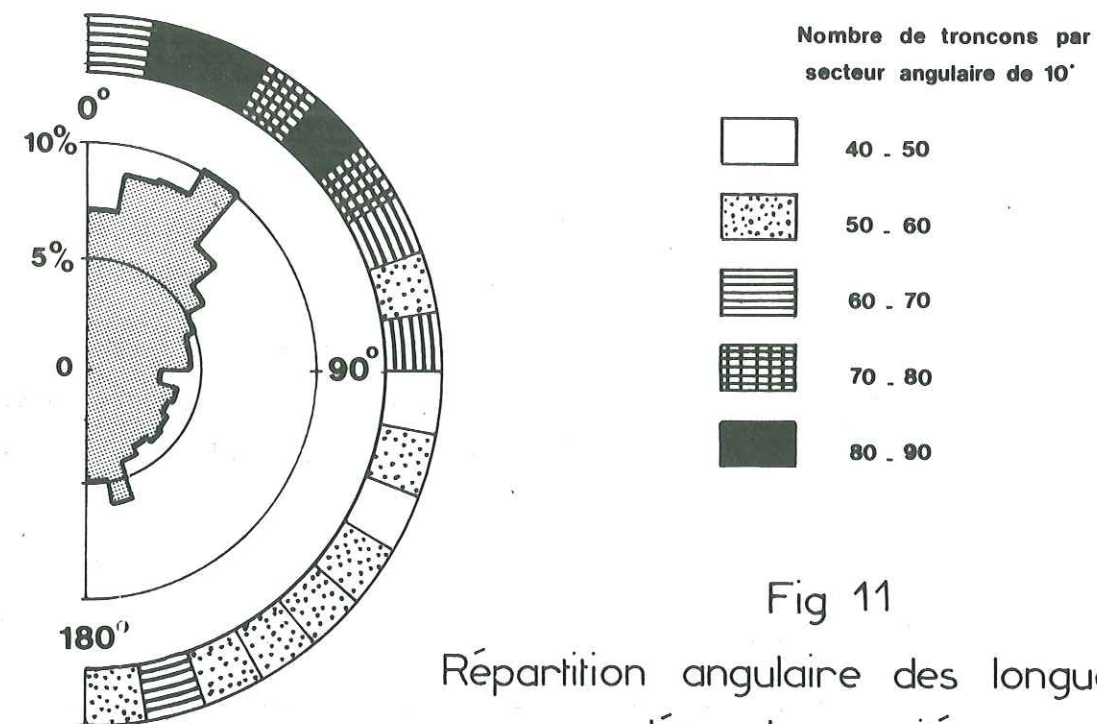


Fig 11
Répartition angulaire des longueurs cumulées des cavités

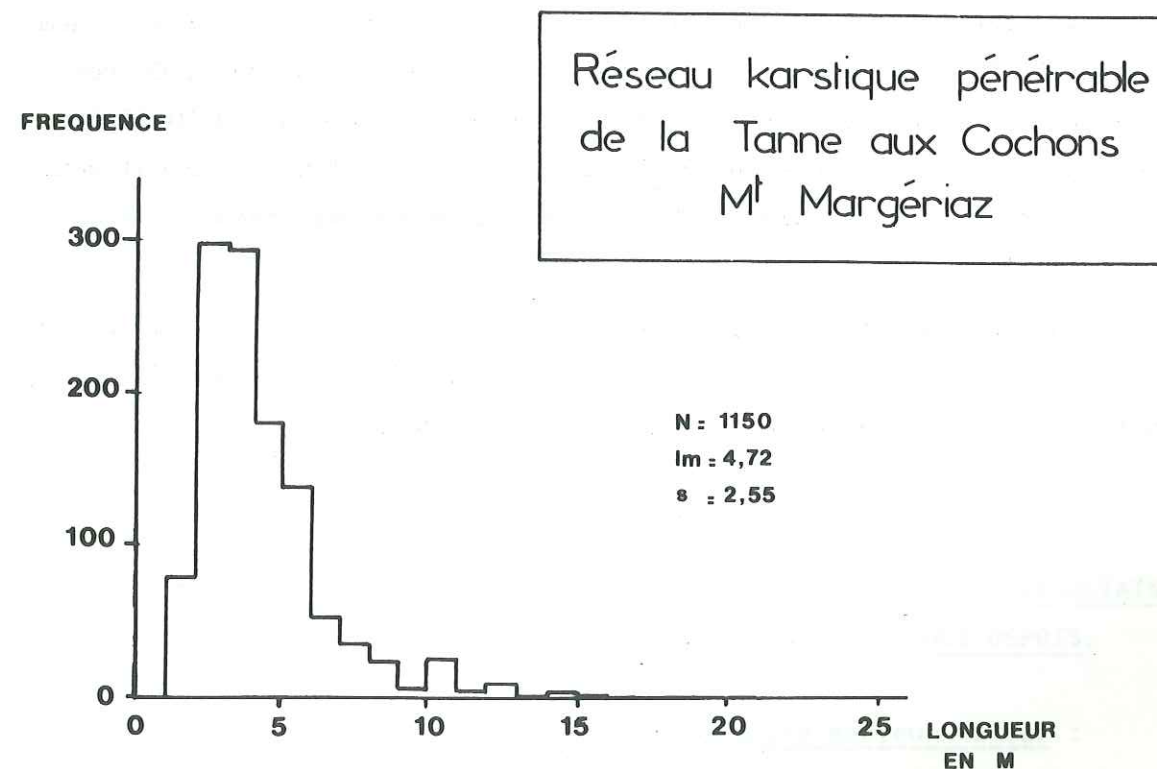


Fig 12 : Histogramme des fréquences des tronçons linéaires du réseau

Dans la Combe de la Verne et au Sud, les orientations des perméabilités équivalentes sont N90 à N110. Les Tannes G. Cher situées dans cette combe se sont développées vers l'Est, extension favorisée par une fracturation N90 et N120 importante et un fort pendage des couches vers l'Est.

L'histogramme des fréquences des tronçons classés d'après leur longueur met en évidence l'importance des cavités de faibles longueurs comprises entre 3 et 5 mètres. Cette distribution présente une analogie avec la loi log normale.

II.5. CONCLUSION.

Après cet examen des formes des différentes structures de la région étudiée, nous avons pu nous rendre compte que leur rôle était très important dans les circulations souterraines des massifs à soubassement de calcaires urgoniens. Les grandes fractures, dans ce cas, ne se présentent pas comme des plans favorables à un cheminement facile des eaux.

Dans les zones sub-tabulaires, toutes les fissures ouvertes et nombreuses sont à l'origine des développements des réseaux karstiques. On retrouve malgré tout dans le plateau du Margérianz une direction N30-40 légèrement dominante. Dans les zones où les bancs sont plus inclinés, l'écoulement se fait suivant la ligne de plus grande pente et, selon les fissures, à direction semblable à cette ligne.

Dans les massifs à dominantes de calcaires du Jurassique supérieur (bordure sud de la cuvette de La Thuile) les écoulements sont plus complexes, liés surtout à la fissuration et aux grandes fractures.

CHAPITRE III. GEOLOGIE DES FORMATIONS QUATERNAIRES.

Les dépôts d'âge quaternaire recouvrent abondamment le substratum de la région étudiée tant dans la vallée du Ternèze que dans celle des Aillons. Mais les affleurements sont rares et souvent dans un état qui rend difficile toute étude sédimentologique et descriptive. C'est pour cette raison que nous nous sommes orientés vers une étude morphologique sur le terrain et en photo aérienne, étude complétée par la description et l'analyse sédimentologique des meilleurs affleurements.

Notre étude du Quaternaire se divisera donc en trois parties :

- un rappel des études antérieures ;
- une description des faciès du Quaternaire, les résultats de l'étude sédimentologique effectués sur les meilleurs affleurements et la morphologie des différents dépôts ;
- une interprétation de la mise en place des dépôts quaternaires.

III.1. ETUDES ANTERIEURES.

Revil et Combaz (1913) ont très largement décrit les dépôts glaciaires et périglaciaires de la région. Ces auteurs, par leurs observations descriptives et morphologiques sur les terrains IV, ont défini des stades de retrait et de récurrence des glaciers alpins ou locaux dans toute la région étudiée. Nous aurons l'occasion de revenir sur leurs observations lors de notre interprétation de la mise en place des dépôts quaternaires.

D'autre part, il faut citer les études du Quaternaire effectuées par G. Nicoud sur la Haute Vallée du Chéran et les travaux de J.C. Fourneaux sur la vallée de l'Isère. Certaines de leurs observations et conclusions concernent également notre secteur.

III.2. DESCRIPTION DES FACIES DES DEPOTS GLACIAIRES, RESULTATS DE L'ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE ET MORPHOLOGIE DES DEPOTS.

III.2.1. Les glaciers Rissien dans notre secteur (Riss) :

Les témoins de cette première glaciation bien que peu nombreux sont représentés, comme l'avait déjà montré P. Combaz, par des blocs ératiques que l'on rencontre dans le massif des Bauges. Dans notre secteur d'étude c'est surtout dans la vallée des Aillons, plateau du Margérianz et pointe de la Galloppaz, jusqu'à une altitude de 1400 mètres, que l'on rencontre ces blocs.

Les Bauges internes ont été envahies par le glacier Rissien à partir des cols du Lindar (1187m) et par le col des Prés (1135m). Ce glacier était une des branches du glacier de l'Isère.

III.2.2. Interstade Riss Würm :

P. Combaz et P. Gidon, dans leur notice sur la carte géologique 1/50.000 feuille Chambéry, ont attribué à cet interstade Riss-Würm les affleurements de poudingues que l'on rencontre à Saint Jean d'Arvey sous le Château des Salins, en rive droite de la Leysse et à la confluence du Ternèze et de la Leysse en rive gauche.

Ce conglomérat est formé de galets roulés et légèrement cimentés en certains points.

L'étude sédimentologique détaillée de ces conglomérats n'a pu être faite. Seule une étude des galets a donné pour indices d'éroulé 165 et d'aplatissement 180 sur la fraction 25-45mm.

Son altitude élevée (500 mètres) et le caractère même de cette formation grossière vont à l'encontre des observations faites dans la vallée de l'Isère. C'est pourquoi nous rattacherons ces alluvions torrentielles à un interstade du Würm.

III.2.3. Glaciers würmiens alpins:

L'extension des glaciers würmiens a été maximum au Würm II avec une altitude maximale proche de 1200 mètres. Cette altitude, qui paraît être un fait certain dans toute la région, implique nécessairement un débordement du glacier sur les Bauges par les cols du Marocaz et des Prés.

Les moraines à éléments cristallins présentes au Col des Prés confirment ce débordement du glacier würmien dans la vallée des Aillons. La langue de glace devait toutefois être réduite en raison de l'altitude de ce col.

Nous allons donc présenter les résultats de l'étude sédimentologique des dépôts que nous avons attribués à ce glacier.

III.2.3.1. Moraine latérale et frontale :

Elles sont bien visibles sous forme de bourrelets dans la vallée du Ternèze où nous avons pu les étudier.

Ces moraines sont très argileuses et caillouteuses avec des éléments

LIEUX	COORDONNEES LAMBERT		
	x	y	z
Le Crouzat	889,65	66,73	810
Les Pachouds	888,43	67,83	800
Entrenants	889,13	67,95	790
La Thuile	890,60	66,53	830
La Boisserette	886,53	67,23	500
Chalet du Fournet (Col des Prés)	890,63	71,35	1040
Coupe du Tiolet	889,15	66,70	770
Coupe de Monthoux	888,80	66,97	780
Coupe de la Touvière	888,70	69,20	750
Coupe du Noyer	888,00	68,70	700
Coupe de Curienne	886,75	69,75	690
Moulin Gas	892,45	75,43	900
Le Charnut	892,05	77,63	900

Tableau 1 : Coordonnées Lambert des lieux de prélèvements pour l'étude sédimentologique.

calcaires et des galets cristallins (granite, quartzite, amphibolite).

Ces moraines peuvent comporter des ébauches de stratification soulignées par des alignements de galets, voire même de grosses lentilles de sable. On remarque ces faits dans la moraine de la carrière sous le village du Crouzat, sur la route qui mène à La Thuile. Il s'agit là de dépôts de chenaux s'écoulant entre la glace et la moraine ou à l'extérieur du bourrelet morainique recouvert ensuite par de la moraine typique.

. Analyses granulométriques.

Cinq analyses granulométriques, dans ces moraines, ont été effectuées sur des échantillons prélevés à la Carrière du Crouzat, aux Pachouds, à Entrenant, à La Thuile et dans le vallon de la Boisserette.

Dans le tableau 1, nous donnons les coordonnées Lambert de tous les lieux dont les dépôts quaternaires glaciaires ont fait l'objet d'une étude sédimentologique.

Les résultats de ces analyses granulométriques peuvent être résumés dans le tableau suivant.

	Crouzat	Pachouds	Entrenants	La Thuile	La Boisserette
Taille des éléments					
< 0,04 mm	5,5%	7,7%	6 %	3 %	14 %
0,04 à 2mm	40 %	30 %	31,5%	27 %	21 %
2 à 10mm	15,5%	19 %	14,5%	29 %	17 %
> 10mm	39 %	43,3%	48 %	41 %	47,5%
Q1 (25%) mm	0,42	0,55	0,73	1,30	0,95
Q2 (50%) mm	2,56	6	7	6,4	9,5
Q3 (75%) mm	28	40	60	25	44
S ₀	8,16	8,53	9,07	4,39	6,81
S	1,79	0,67	0,89	0,79	0,46
Q _d	3,1	3,12	3,25	2,15	3,05

Tableau 2 : indices granulométriques des moraines frontales et latérales.

Ces moraines présentent toutes un mauvais classement. Elles sont moyennement triées. L'indice d'asymétrie montre un classement meilleur dans les éléments grossiers. On remarque également une prédominance des fines dans le bas du bassin versant.

. Comptages pétrographiques.

Les comptages pétrographiques que nous avons réalisés sur ces moraines ont été effectués sur le terrain, sur les affleurements ou dans leur voisinage.

Le nombre des éléments comptés est en moyenne de 200.

Les résultats de ces comptages pétrographiques sont les suivants :

Nature des éléments	Crouzat	Pachouds	Entren.	Thuile	Boisser.	Fournet
Cristallins	13%	9%	8%	12%	5%	4%
Sédimentaires	87%	91%	92%	88%	95%	96%

La moyenne d'éléments cristallins dans les moraines frontales et latérales est de 9,4%. Il faut noter que ce chiffre est représentatif des affleurements étudiés et sa valeur ne peut être un critère représentatif de toutes les moraines würmiennes de la région.

D'autre part, nous avons réalisé des calcimétries sur deux échantillons au moyen d'un calcimètre Bernard.

Les teneurs en CaCO₃ obtenues sur la fraction de 0,100mm du Crouzat et des Pachouds ont été respectivement de 64% et 69%.

Les lentilles de sables contenues dans ces moraines sont à attribuer à des dépôts de chenaux en bordure de ces moraines.

Les indices granulométriques montrent que le sédiment est bien classé et bien trié.

Sables du Crouzat			
		Taille des éléments	
		Q1	0,2
Q2	0,45	0,04 à 2mm	87%
Q3	0,95	2 à 10mm	6%
S ₀	2,18		
S	0,94		
Q _d	1,15		

Tableau 3 : indices granulométriques des sables du Crouzat.

Ces lentilles de sables joueront un rôle dans l'écoulement à l'intérieur de ces moraines.

. Morphologie.

On observe dans la partie basse de la vallée du Ternèze des restes de ces moraines latérales ou frontales. En raison des fortes pentes topographiques où elles sont appliquées, elles sont souvent sujettes à des glisse-

ments de terrains. On peut malgré tout les observer en rive droite du Ternèze sous les villages d'Entrenants et des Poncets où les pentes sont moins fortes. En rive gauche du Ternèze, sous les dalles structurales du Montgelaz, seuls des lambeaux sont conservés au Nord de Monthoux et aux Pachouls.

Dans la vallée des Aillons, un lambeau d'arc morainique est visible au Sud du col des Prés sous les chalets du Molard.

III.2.3.2. Terrasses fluvio-glaciaires :

Le dispositif classique chenal marginal, terrasse fluvio-glaciaire et moraine latérale, est très incomplet dans le secteur du bassin versant du Ternèze. Aussi, pour des raisons de profils topographiques, les moraines latérales de Entrenants et des Poncets adossées aux versants en rive droite du Ternèze n'ont pas une extension suffisante pour avoir créé une dépression susceptible d'être comblée par des dépôts fluviatils.

Par contre, les moraines frontales de Monthoux et les moraines latérales de la Touvière ont formé des dépressions importantes permettant ainsi le dépôt d'alluvions fluviatiles et lacustres.

III.2.3.2.1. La terrasse fluvio-glaciaire du Tiolet :

Bien que les affleurements soient très limités sur ce secteur, nous avons pu étudier deux coupes. L'une, située dans le ruisseau de Nécuidet, l'autre, dans des tranchées faites à Monthoux et au Tiolet. La figure 13 résulte d'une superposition des coupes relevées à différents niveaux dans ces tranchées.

La coupe faite à Monthoux révèle les mêmes dispositions, argile jaune au sommet, passant à la base à des argiles sableuses (figure 14).

L'épaisseur de ces argiles sableuses est très importante ; en effet, elles affleurent également à la Guillère, c'est-à-dire 30 mètres en contrebas de la coupe du Tiolet.

Les indices granulométriques de ces différents terrains sont résumés dans les tableaux suivants :

Taille des particules	Argile jaune T1	Argile sableuse T2	Sable T3
<0,040mm	73%	75%	23%
0,040 à 2mm	27%	22%	73%
>2mm à .0		3%	4%
Q1	0,002	0,0013	0,044
Q2	0,032	0,014	0,055
Q3	0,046	0,044	0,090
S ₀	4,79	5,82	1,43
S	0,089	0,29	1,31
Qd	2,3	2,55	0,52

Tableau 4 : indices granulométriques des argiles et sables de la Terrasse du Tiolet.

Les sédimentométries réalisées sur les argiles ont donné les résultats suivants :

Taille des Particules	T1	T2
< 2 μ	25%	32%
2 à 10 μ	13%	16%
10 à 40 μ	35%	27%

Tableau 5 : Résultats des sédimentométries des argiles du Tiolet.

- Les argiles sableuses sont mal classées et mal triées. Le classement est maximum du côté des grossiers. Le milieu de dépôt était agité et il s'est produit des mélanges entre des courants différents. Les lentilles de sables, par contre, représentent un sédiment bien classé et bien trié, déposé en milieu tranquille.

. Morphologie :

La terrasse fluvio-glaciaire du Tiolet est bien visible sous la colline du Bouchet. Elle a été réentaillée par le ruisseau actuel mais un lambeau subsiste en rive droite du Ternèze ainsi que sous le village de Monthoux. Le vallum morainique est, ici, invisible. Seuls quelques mauvais af-

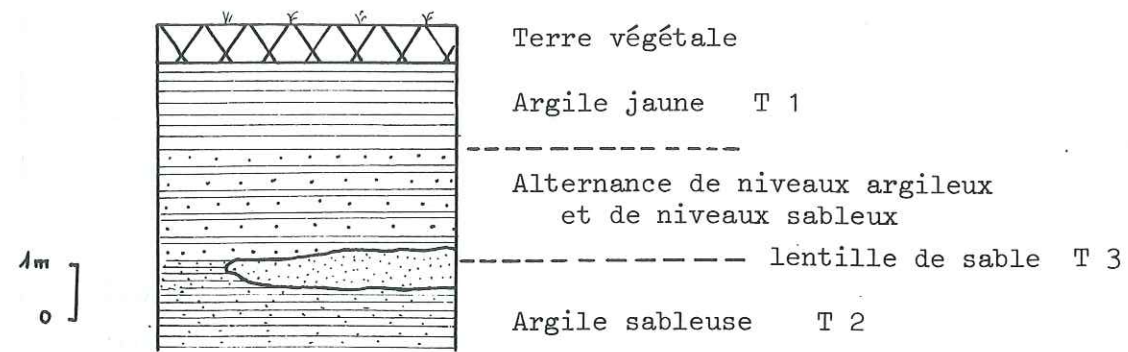


Fig. 13 - Coupe des dépôts quaternaires du Tiolet

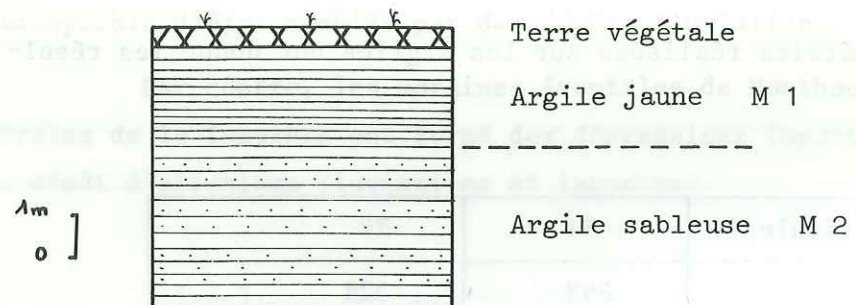


Fig. 14 - Coupe des dépôts quaternaires de Monthoux

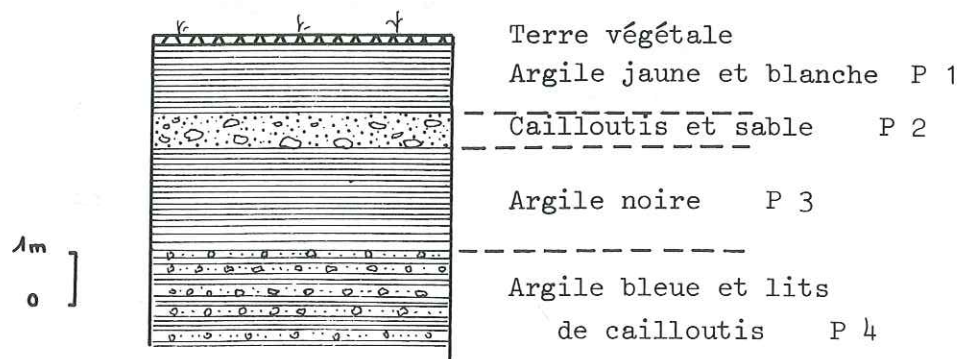


Fig. 15 - Coupe des dépôts quaternaires de la Touvière

fleurements de moraine typique décrite précédemment, au village de Monthoux, peuvent indiquer son emplacement.

	M2 Argile sableuse	M1 Argile
<0,040mm	35%	95%
0,040 à 2mm	65%	5%
<2μ	8%	35%
2 à 10μ	5%	25%
10 à 40μ	22%	35%
Q1	0,032	0,0014
Q2	0,056	0,0055
Q3	0,105	0,032
So	1,81	4,78
S	1,07	1,48
Qd	0,875	2,3

Tableau 6 : indices granulométriques des argiles et sables de la Terrasse du Tiolet à Monthoux.

III.2.3.2.2. Terrasse de Puygros (figure 15) :

Les terrains constituant cette terrasse n'ont pu être correctement observés sur une bonne coupe. Nous avons pu, malgré tout, observer les terrains superficiels dans des tranchées ouvertes près des sources de la Touvière.

Cette coupe a pu être établie en observant les flancs de plusieurs tranchées ouvertes à différents niveaux. Sur la droite de la coupe nous avons indiqué les tranchées successives et leur profondeur.

Les indices granulométriques sont les suivants :

	Argile jaune P1	Cailloutis sable P2	Argile noire P3	Argile bleue P4
<0,04 mm	94%	13%	73%	75%
0,04 à 2mm	16%	18%	27%	22%
2 à 10 mm		23%		3%
>10 mm		46%		
Q1	0,0018	0,0020	0,0013	0,8
Q2	0,009	0,032	0,014	8,5
Q3	0,034	0,046	0,044	15,5
So	4,35	4,79	5,82	4,40
S	0,76	0,089	0,29	0,17
Qd	2,15	2,3	2,55	2,17

Tableau 7 : indices granulométriques des dépôts de la Terrasse de Puygros.

Les sédimentométries effectuées sur la partie < 40 μ des argiles, ont donné les résultats suivants :

	P1	P3	P4
<2 μ	28%	25%	32%
2 à 10 μ	23%	13%	16%
10 à 40 μ	43%	35%	27%

Tableau 8 : résultats des sédimentométries des argiles de la Terrasse de Puygros.

. Morphologie :

La Terrasse de Puygros, bien que très entamée par l'érosion, est reconnaissable entre les villages d'Arvey et Puygros. Il semble que son étendue ne dépassait guère le village de Puygros au Nord. Elle s'étend au S jusqu' au lieu-dit La Touvière. Elle vient se raccorder au cône de déjection torrentiel d'Arvey, à l'Est. Quelques "îlots" de moraine sablo-caillouteuse viennent crever ces dépôts fluvio-glaciaires et lacustres. Notons que dans les argiles APT₁ terminales, nous avons relevé la présence de coquilles de mollusques.

III.2.3.2.3. Terrasse de Curienne, Le Bois, Le Noyer :

La meilleure coupe dans cette terrasse a été relevée au Noyer.

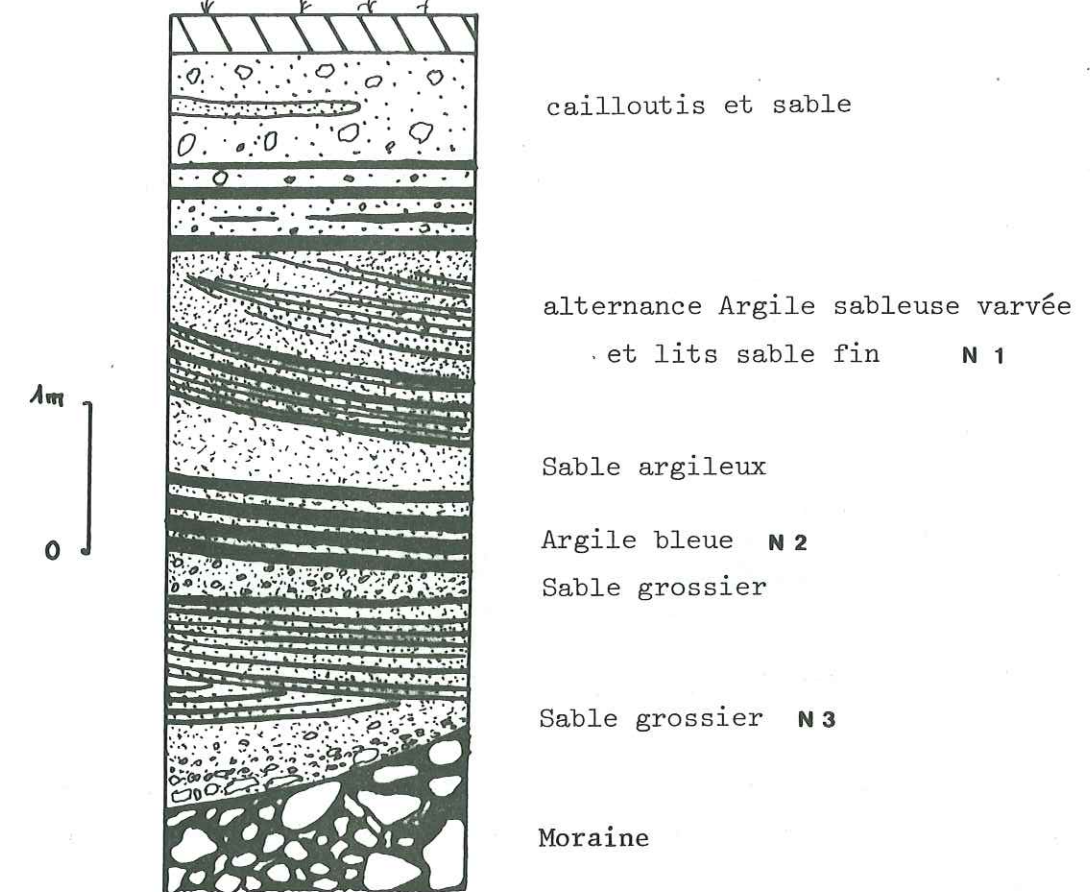


Fig. 16 - Coupe des dépôts quaternaires du Noyer.

Les indices granulométriques sont les suivants :

	Argile sableuse N1	Argile N2	Sable N3
<2 μ	8%	17%	
2 à 10 μ	16%	39%	
10 à 40 μ	39%	38%	
<0,040 μ	63%	94%	2%
0,040 à 2mm	36%	6%	80%
2 à 10mm	1%		18%
>10mm			
Q1	0,0105	0,0025	0,44
Q2	0,035	0,0076	0,90
Q3	0,055	0,033	1,6
So	2,28	3,56	1,91
S	0,47	1,49	0,87
Qd	1,23	1,95	0,95

Tableau 9 : indices granulométriques des dépôts de la Terrasse du Noyer.

Les argiles semblent avoir été déposées en milieu agité alors que, pour les sables le milieu semblait plus tranquille. Les litages entrecroisés révèlent un dépôt deltaïque dans des chenaux.

Les dépôts terrasses de Curienne et du Bois ont été plus difficilement observables.

Pour la terrasse de Curienne nous avons pu observer une coupe au Nord-Est du village.

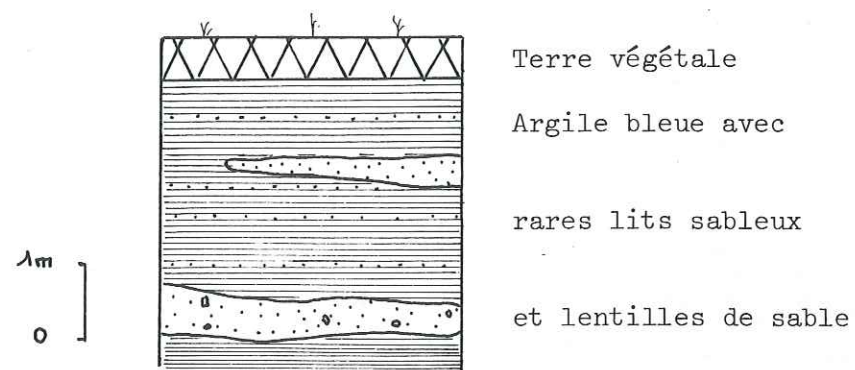


Fig. 17 - Coupe des dépôts quaternaires de Curienne.

Plus au Sud, dans la petite combe de Comblenat, nous avons retrouvé dans les fouilles d'une maison des argiles sableuses, semblables à celles de la coupe de Noyer.

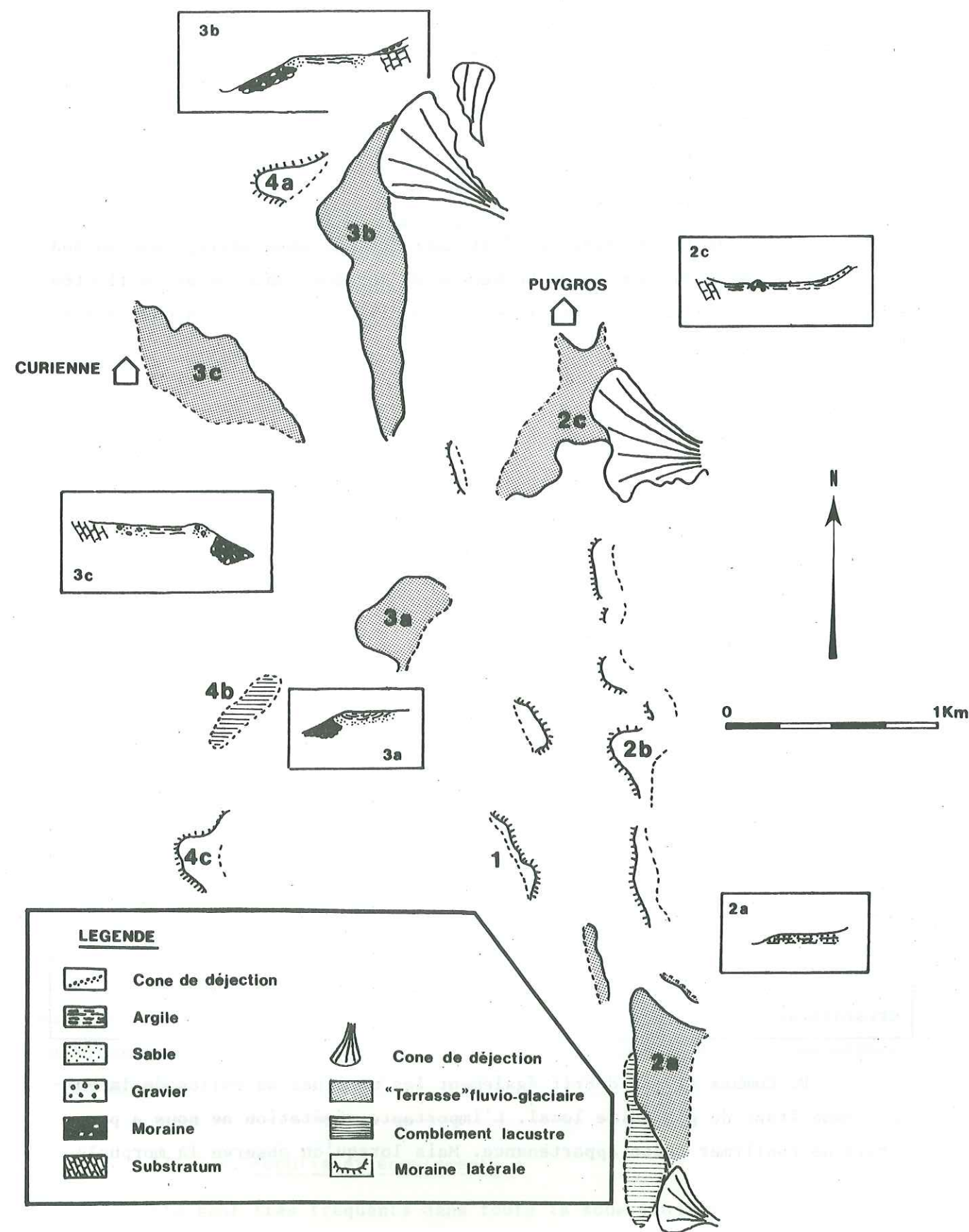
La Terrasse du Bois n'a pu être observée en coupe fraîche. Seuls quelques mauvais affleurements de sables et d'argiles ont pu être remarqués au Sud du village du Bois.

Les indices granulométriques des dépôts de Curienne sont les suivants :

	Argiles bleues	Sables
< 2 μ	29%	
2 à 10 μ	23%	
10 à 40 μ	45%	
> 0,040mm	97%	3%
0,040 à 2mm	3%	97%
Q1	0,0017	0,105
Q2	0,0087	0,13
Q3	0,033	0,18
So	4,41	1,31
S	0,74	1,12
Qd		

Tableau 10 : indices granulométriques des argiles et sables de la Terrasse de Curienne.

Fig 18 : MORPHOLOGIE et COUPES SCHEMATIQUES des dépôts glaciaires, Sud du Massif des Bauges



. Morphologie.

Les terrasses de Curienne, Le Bois et le Noyer sont très bien visibles dans la topographie du secteur. Elles sont toutes les trois à une altitude voisine de 700 mètres. Elles semblent légèrement pentées vers le Nord (5%). Ces trois lambeaux de terrasse semblent appartenir à une seule et unique terrasse fluvio-glaciaire, qui s'étendait de Curienne au village de Marle et au Vernet.

Le Ternèze actuel a profondément entaillé la terrasse et les moraines frontales sous-jacentes.

Aucun vallon morainique n'est correctement observable, sauf au Sud du village de Marle où on note un bombement de moraine sableuse et caillouteuse qui peut être un vallon d'un stade intermédiaire recouvert en partie par les dépôts fluvio-glaciaires.

III.2.4. Glacier local :

Les divers affleurements de formations quaternaires glaciaires visibles autour d'Aillon-le-Jeune présentent les caractères de moraines accumulées par un glacier local. On remarque dans ces dépôts, une part importante d'éléments grossiers noyés dans une matrice peu argileuse et, peu ou pas d'éléments cristallins.

La nature des éléments déterminés par comptage pétrographique sur 200 galets est la suivante :

	Scierie Moulin Gaz	Le Charmut
Calcaires clairs (Sénonien, Urgonien)	58%	68%
Calcaires foncés (Titho. Berriasien)	18,5%	12%
Calcaires marneux	18%	17%
Calcaires gréseux grès	5%	3%
cristallins	0,5%	0%

P. Combaz (1913) décrit également les moraines du vallon de la Fullie comme étant du glaciaire local. L'importante végétation ne nous a pas permis de confirmer cette appartenance. Mais lorsqu'on observe la morpholo-

gie dans ce vallon, on distingue deux lambeaux d'arc morainique concaves vers le haut du vallon.

Le glacier alpin n'ayant pu franchir le col de la Fullie, il semble que l'on soit ici en présence d'un glacier local, issu des pentes du Colombier et occupant tout le vallon de la Fullie.

La combe du Lindar, par contre, contient des moraines à éléments cristallins plus fréquents (entre 2 et 4%).

III.3. LES TERRAINS QUATERNAIRES NON GLACIAIRES.

III.3.1. Les cônes de déjection :

Des cônes de déjection imbriqués dans les dépôts fluvio-glaciaires sont bien visibles sur les terrasses du Puygros et du Bois.

Ils sont contemporains des dépôts des terrasses dont ils ont probablement perturbé la sédimentation.

Ces cônes sont visibles à Marle et à Arvey.

Le cône d'Arvey, où est actuellement installé le village, est contemporain des dépôts de la terrasse de Puygros. Nous avons, dans la coupe de la terrasse d'Arvey décrite précédemment, noté le niveau de cailloutis qui appartient à ce cône.

Aucun argument ne permet de situer le cône de Marle au lieu-dit cimetière des Bêtes, recouvrant la terrasse du Bois-Curienne. Il semble malgré tout, également contemporain de la terrasse.

Un autre cône est visible au Nord du village de Nécuidet sous des alluvions lacustres. Les dépôts, puissants de 2,5 mètres, sont formés de galets et cailloutis noyés dans une matrice argileuse.

III.3.2. Cône de déjection mixte :

Ces cônes de déjection torrentiels et d'éboulis sont abondants sous les falaises tithoniques dominant la vallée de l'Isère et le vallon de la Boisserette. Quelques-uns sont encore actifs, comme ceux de la Maladière ou de Chignin.

III.3.3. Eboulis et éboulements :

Ils sont très fréquents dans toute la zone étudiée. Sous les falai-

ses tithoniques surplombant la vallée de l'Isère et le vallon de la Boissette, ils forment une vaste nappe comportant des lits fins et des lits grossiers d'origine cryoclastique et, par endroit, largement recimentés en une brèche de pente ; ils sont actuellement stabilisés et colonisés par la végétation.

Dans le bassin du Ternèze, ils sont très abondants sous les falaises urgoniennes du Pic de la Sauge et s'étalent sur les moraines récentes du Crouzat ou des Barriers. Partiellement colonisés par la végétation, certains sont encore très actifs sous le rebord ouest de Combe Noire.

Mais c'est sur les flancs du Colombier dans le bassin versant du Nant d'Aillon que leur extension devient considérable. Ils sont, pour la plupart, également stabilisés et recouverts de forêt. Ils sont encore actifs et alimentés par la destruction de la falaise urgonienne, sous le Mont Colombier et sous la Dent de Rossane.

Les éboulements sont liés aux falaises tithoniques de la partie sud du secteur étudié : éboulements vers la vallée de l'Isère, comme ceux d'Arbin ou de Cruet, ou vers l'intérieur du bassin versant sous le Montgelaz dans les dépôts lacustres de la plaine de Nécuidet.

D'autres éboulements, moins importants, affectent la falaise urgonienne sous le pic de Sauge aux sources des rochers du Gros Molard.

III.3.4. Glissements de terrain :

Les formations morainiques, en raison de leur nature argileuse, sont très souvent le cadre de glissement de terrain. Dans la vallée du Ternèze, ces glissements ne sont jamais très étendus. Par contre, dans la vallée des Aillons où les pentes topographiques sont plus accentuées, ces glissements peuvent affecter des surfaces plus importantes, comme au Nord du col des Prés ou au Nord d'Aillon-le-Jeune.

III.3.5. Les marais :

Quelques zones marécageuses sont encore visibles dans la plaine de Nécuidet, malgré les travaux d'assainissement entrepris dans ce secteur et sur la Terrasse de Curienne dans une petite dépression centrale dans les argiles fluvioglaciales.

III.4. LES STADES DE RETRAIT GLACIAIRE .

L'étude morphologique et sédimentologique des terrains quaternaires glaciaires, nous a permis d'identifier des stationnements prolongés du glacier würmien lors de son retrait. Ces stationnements ou stades ont permis la mise en place d'unités morphologiques reconnaissables tels que bourrelet morainique, latéral ou frontal, terrasse fluvioglaciale, comblement lacustre.

Si l'étude de ces stades a été possible dans la partie sud du secteur étudié, c'est-à-dire dans le bassin versant du Ternèze et à ses limites ; il n'en a pas été de même pour la vallée des Aillons très encaissée, où le nombre de bons affleurements est très limité et où l'étude morphologique n'a donné que peu de résultats.

Nous examinerons donc en détail les différents stades reconnaissables dans le secteur du Ternèze puis, nous donnerons les grandes lignes de l'évolution des phénomènes glaciaires dans les vallées des Aillons.

III.4.1. Le Glacier würmien avant son retrait :

Comme nous l'avons évoqué précédemment, le glacier würmien à son maximum a envahi la vallée des Aillons par le col des Prés (1135m). Les moraines à éléments cristallins présentes au sommet du col permettent de le confirmer.

Par contre, il est très difficile d'affirmer que ce même glacier würmien a débordé par le col du Lindar (altitude 1150m). Aucune moraine fraîche n'est présente au niveau du col ; seuls quelques blocs ératiques pourraient prouver son passage.

Sur le rebord sud du secteur, le glacier würmien envahit le bassin du Ternèze par plusieurs langues glaciaires. La plus importante franchit le col de Marocaz et les crêtes du Molard de l'Oua. Deux autres langues moins importantes débordent par le col du Mont, entre les rochers de Rochefort et la roche du Guet et, par les combes entre le Tapin et le Roc de Torméry. Ces langues viennent se heurter au glacier remontant la vallée du Ternèze.







III.4.2. Les stades de retrait (fig. 19) :

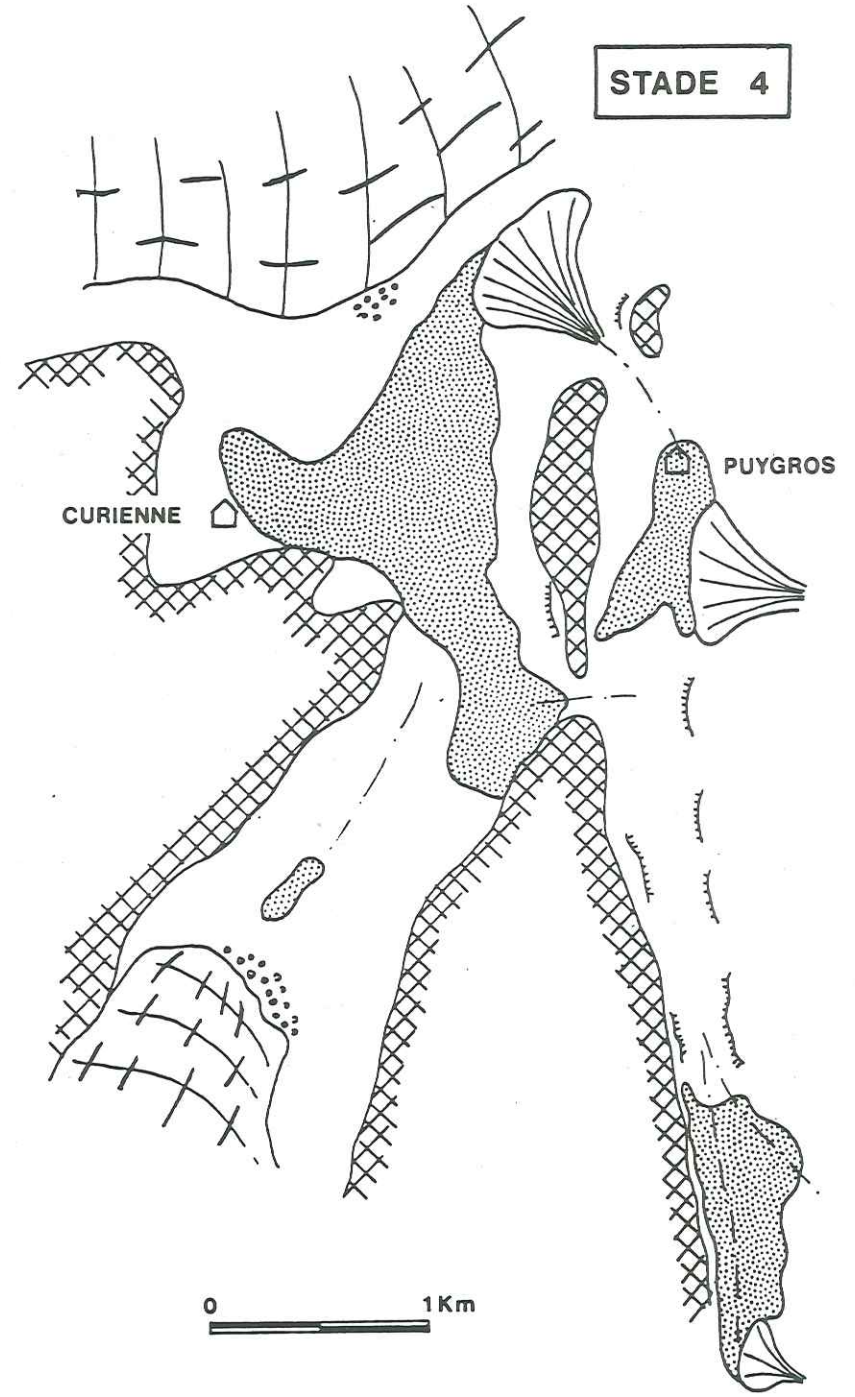
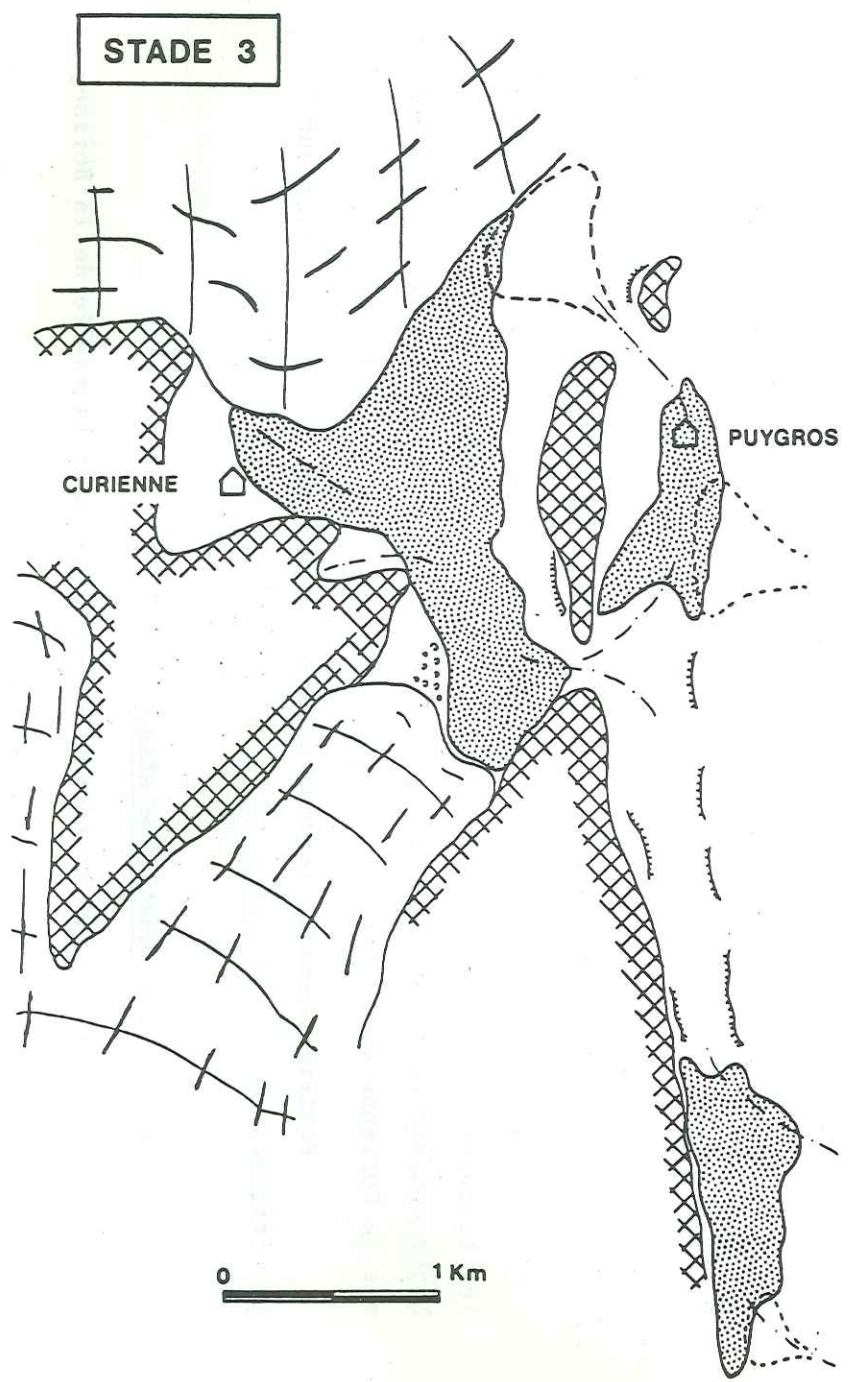
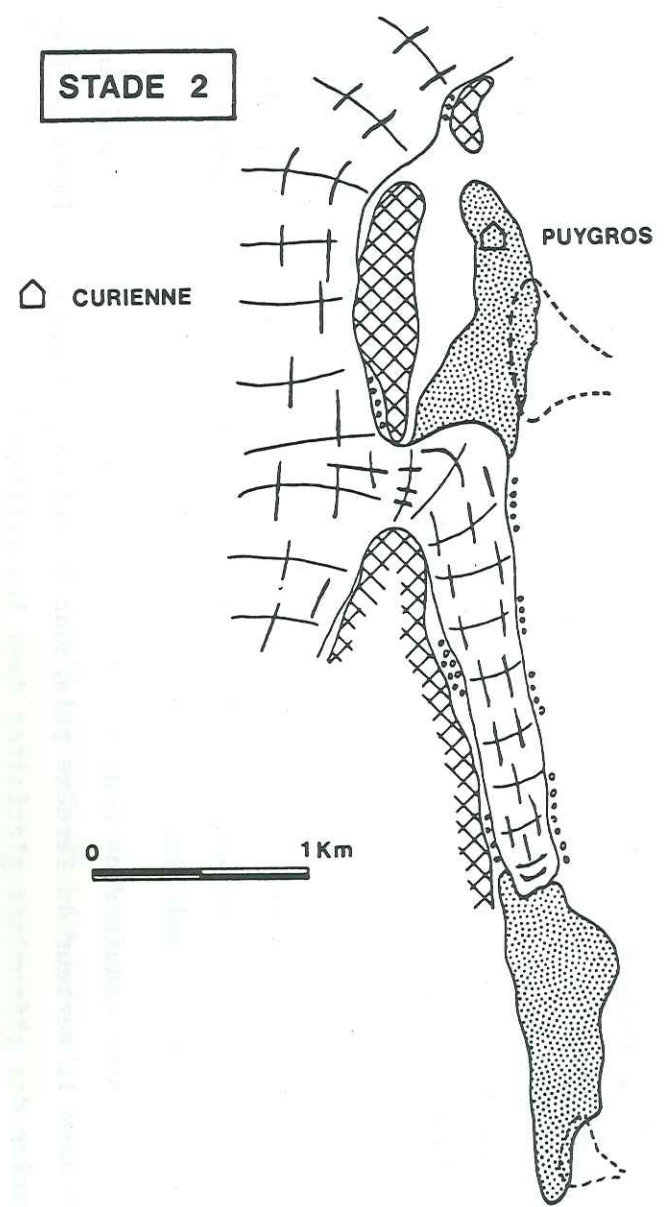
III.4.2.1. Le premier stade :

Un premier stade de retrait ou de stationnement du glacier, est mar-

Fig 19 Chronologie de la mise en place des dépôts glaciaires.
 Les principaux stades de retrait du glacier alpin au sud du Massif des Bauges.

LEGENDE

-  Vallum morainique en cours d'édification
-  Vallum morainique
-  Limite du glacier
-  Limite du substratum
-  Dépôts lacustres et fluviaux
-  Cours d'eau, chenaux



qué par les moraines latérales des Roues et du Crouzat.

Les langues glaciaires du col de Marocaz, des Combes et du col du Mont se sont retirées.

La plaine de Nécuidet semble être largement occupée par la glace. Ce stade, très court, n'est marqué par aucune terrasse, seul le cône torrentiel de La Rongère est contemporain de ce stade.

Compte-tenu de l'imprécision sur les limites du glacier lors de ce premier stade, nous ne l'avons pas illustré dans la figure 19.

III.4.2.2. Deuxième stade :

Le deuxième stade de stationnement, bien plus long et mieux marqué dans la morphologie de la vallée du Ternèze, se situe à 780 mètres d'altitude.

Les glaces ont définitivement abandonné la cuvette de la Thuile. Leur front ne dépasse pas l'emplacement actuel du village de Monthoux. Ce stade est représenté par les moraines latérales d'Entrenants, des Poncets, des Pachouds et de Fenestre. Les terrasses de Puygros et du Tiolet, dont on peut noter la correspondance d'altitude, appartiennent à ce stade.

Les apports fluvio-glaciaires comblent progressivement la partie basse de la plaine de Nécuidet, le cône de déjection de Morion, la partie haute puis les dépôts d'un lac à l'emplacement actuel des marais viennent achever l'édification de cette plaine.

A Puygros le comblement fluvio-glaciaire est perturbé par les apports du cône de déjection d'Arvey.

III.4.2.3. Troisième stade :

Il est également bien marqué à une altitude proche de 700 mètres par les terrasses de Curienne, du Bois et du Noyer. Les dépôts de la terrasse du Noyer ont été perturbés par des apports torrentiels alors que, sur les terrasses de Curienne et du Bois, la sédimentation paraît plus tranquille.

Postérieurement, le cône de déjection de Marle vient s'étaler sur la terrasse.

III.4.2.4. Quatrième stade :

Le dernier stade de retrait est visible dans la vallée de la Boisse-

rette avec le vallum de la Combe de Mars. Ce vallum, très important et obscurant complètement la vallée de la Boisserette, n'est pas accompagné d'une terrasse importante.

Les moraines accumulées, à l'emplacement du village de Boyat et au Vernet, lors du stade antérieur, forcent le Ternèze à modifier son tracé. Il va s'écouler en direction du Nord, sur la terrasse de Curienne, où son lit va s'enfoncer progressivement dans les matériaux de la terrasse puis dans le substratum jusqu'à sa cote actuelle.

Ainsi les ruissellements dans ce vallon de la Boisserette, ancien tracé du ruisseau du Ternèze, sont très restreints. Seul le fond de la dépression ainsi créée par le vallum de la Combe de Mars comporte un remplissage glacio-lacustre très limité.

Dans la vallée du Ternèze ce stade est très peu marqué. Seul le replat situé sous la terrasse de Marle et au village du Chêne, à la cote 650 mètres, correspond à ce stationnement. On remarque également, à l'emplacement du village de Thoiry, une rupture de pente très marquée à la même altitude, créée par le dépôt d'un mince cordon de moraines latéro-frontales.

III.4.3. La vallée des Aillons :

Dans cette vallée très encaissée, où l'érosion torrentielle est très active et les terrains quaternaires sujets aux glissements de terrains, la morphologie glaciaire est relativement mal conservée. Il n'existe pas de vallum morainique bien développé et les dépôts glaciaires sont plus fréquents sous forme de placages latéraux ou de fond.

L'examen des dépôts a permis de confirmer que le glacier würmien alpin a pénétré à l'intérieur de la vallée des Aillons par le col des Prés. D'autre part, un courant glaciaire issu de la vallée du Chéran remonte dans cette vallée des Aillons.

Ces deux langues glaciaires d'origine alpine se heurtent à l'emplacement d'Aillon-le-Jeune à un glacier local occupant les flancs Est du Colombier et le vallon de la Fullie.

Quelques stades de stationnement sont malgré tout identifiables dans la morphologie.

Au col des Prés, le glacier würmien alpin a déposé lors d'un stade de retrait relativement court, un cordon de moraines latérales et frontales. Ce

cordon est bien conservé en rive gauche du ruisseau de la Reysse, sous les chalets du Molard.

La terrasse fluvio-glaciaire d'Aillon-le-Jeune est contemporaine d'un stade de retrait de la langue glaciaire remontant la vallée des Aillons depuis le Chéran. La vallée est toutefois trop étroite pour qu'on puisse y reconnaître un cordon morainique.

Quant au glacier local occupant la vallée de la Fullie, deux stades de retrait peuvent lui être attribués. Le premier stade correspond aux moraines du Moulin Gaz, accumulées au débouché de la Cluse de Crévibert. Le deuxième stade correspond aux deux cordons morainiques, situés dans le vallon de la Fullie à la Correrie et entaillés par le ruisseau actuel. Aucune terrasse fluvio-glaciaire au sens strict n'est reconnaissable, sauf des moraines remaniées en pseudo-terrasses visibles dans la vallée du Lindar, en rive droite du ruisseau.

Plus à l'aval de la vallée des Aillons, on remarque un léger replat sur la rive gauche du nant d'Aillon entre les villages de Rillovin et Ballaz, à l'altitude de 800 mètres. P. Combaz (1913) voyait là un cône de déjection se raccordant à la terrasse fluvio-glaciaire T60 du Chéran. L'état des affleurements et la végétation n'ont pas permis d'analyser ces dépôts.

CONCLUSION A L'ETUDE GEOLOGIQUE

L'étude des faciès des terrains du substratum de notre secteur nous a permis de préciser leurs capacités hydrologiques. Ainsi nous pourrions distinguer deux ensembles très perméables en grand qui sont, les calcaires du Jurassique supérieur et les calcaires urgoniens. D'autres niveaux aquifères moins importants sont présents dans les formations valanginiennes calcaires et dans le tertiaire (Lutétien - Priabonien).

De l'étude tectonique, nous retiendrons le rôle multiple des grands accidents pour les circulations dans les calcaires du Jurassique supérieur et leur rôle secondaire dans les calcaires urgoniens. Cette étude nous a également permis :

- d'établir les directions et le sens des écoulements souterrains dans les massifs du

- . Mont Margériaz : circulations vers le Nord (Pissieux) ;
- . et du Mont Colombier : circulations simultanées vers le Nord (source de Leyat) et vers le Sud (Fontaine Noire) ;

- et d'entrevoir des circulations depuis le massif de la Thuile vers la vallée de l'Isère.

Grâce à l'étude des dépôts quaternaires du secteur sud du massif des Bauges, nous avons pu établir une chronologie dans la mise en place des formations glaciaires würmiennes alpines.

2ème P A R T I E

HYDROGEOLOGIE

- Les traçages.
- Les bassins-versants étudiés.
- Les données climatologiques.
- Hydrologie.
- Approche des bilans hydrologiques.

CHAPITRE I. LES TRACAGES.

I.1. INTRODUCTION.

Les différentes expériences de traçages que nous avons réalisées sur le secteur étudié, ont eu pour but principal de définir les limites réelles des bassins versants des ruisseaux et des sources karstiques. Elles nous ont permis, en plus, de préciser les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères.

Les expériences mises en oeuvre ont été les suivantes :

- un multitraçage dans le "synclinal des Aillons"
(massifs du Margérian et Colombier) ;
- des traçages simples :
 - . dans le ruisseau de la Cochette (Aillon-le-Jeune) ;
 - . dans le cône de déjection d'Arvey (Ternèze) ;
 - . sur le rebord sud du massif de La Thuile (Roc de Torméry).

I.2. METHODOLOGIE DES TRACEURS.

I.2.1. Les traceurs :

Les produits utilisés comme traceurs doivent remplir les conditions suivantes :

- solubilité dans l'eau ;
- inexistence dans le secteur concerné au moment des expériences ;
- stabilité par conservation de sa masse tout au long de son trajet dans le milieu : C'est-à-dire absence de réactions physiques, chimiques, photochimiques ou biologiques. Ces phénomènes sont très importants quand les expériences se font en milieux argileux, comportant des matières humiques ou contaminées par des détergents ;
- non toxiques : d'où les faibles concentrations utilisées lorsque les traceurs risquent de réapparaître dans des eaux captées pour la consommation domestique ;
- détection sélective lorsque plusieurs produits sont présents ensemble au même endroit ;
- dosage à faible concentration ;
- faible coût et facilité d'obtention.

On distingue parmi tous les produits, les traceurs fluorescents ap-

partenant à la famille des colorants xanthéniques et les traceurs salins dosés par voies chimiques radioactives ou par activation.

I.2.2. Choix des traceurs utilisés :

Nous avons donc choisi, au vu de toutes ces conditions, des traceurs fluorescents (Uranine, Rhodamines B et Wt) et un traceur salin chimique (Dichromate de sodium) pour réaliser le multitraçage du "synclinal des Aillons".

L'uranine a été employée pour tous les autres traçages simples.

L'avantage des traceurs fluorescents est d'être décelable à des concentrations très faibles (de l'ordre de 10^{-10} kg/l) d'où l'emploi d'une quantité peu importante et d'un coût relativement modéré.

Le dichromate de sodium, bien que décelable à des concentrations moins faibles, est un produit très dense, très soluble et couramment employé en hydrologie.

Dans le tableau 11 suivant, nous avons rassemblé les caractéristiques physico-chimiques des traceurs fluorescents employés.

Produits Caractéristiques	Uranine	Rhodamine B	Rhodamine Wt
Formule	$C_{20} H_{10} O_5 Na_2$	$C_{28} H_{31} O_3 N_2 Cl$	$C_{29} H_{29} O_5 N_2 Na_2 Cl$
Poids moléculaire	376	479	566,5
Forme ionique	anion	cation	anion
Forme commerciale	poudre solution aqueuse	poudre solution acétique	solution sodique
Solubilité dans l'eau	très bonne	faible	faible
λ d'absorption maximale	491	554	554
λ de fluorescence maximale	514	576	572
Interférences	éosine	sulforhodamine G éosine Rhodamine Wt	sulforhodamine G éosine Rhodamine B
Sensibilité photo chimique	forte	peu sensible	peu sensible
Oxydation	sensible	peu sensible	peu sensible
Pertes par réten- tion dans le milieu souterrain	très faible	importante	modérée
Utilisation		papeterie imprimerie	

Tableau 11 : Caractéristiques des traceurs employés. (cité dans Lemordant) 1977

I.2.3. Analyse des traceurs :

I.2.3.1. Les traceurs fluorescents :

Le principe des appareils de mesure est basé sur le fait que la substance fluorescente soumise à l'action d'un rayon lumineux, émet des radiations lumineuses dont la longueur d'onde, caractéristique de la substance, est différente de la longueur d'onde de la lumière excitatrice.

Les traceurs fluorescents ont été analysés au Laboratoire d'hydrologie de la Faculté de Pharmacie de Grenoble.

L'appareil utilisé, le spectrofluorimètre MARK I (Farrand Optical) permet, par la sélection des longueurs d'ondes des radiations d'excitations et d'émissions, d'éliminer l'interférence des radiations émises par des substances fluorescentes autres que celles recherchées. La concentration minimale mesurable est ainsi de l'ordre de 10^{-10} kg/l. Seules les particules en suspension dans l'eau peuvent créer des perturbations dans les mesures. Il convient alors de centrifuger les échantillons.

On peut ainsi identifier un traceur par l'obtention de son spectre de fluorescence, et doser indépendamment l'un et l'autre des traceurs dont les spectres sont suffisamment éloignés. C'est le cas pour l'uranine et les rhodamines qui présentent des longueurs d'ondes λ d'excitation (491, 554nm) et λ' d'émission qui diffèrent de $\Delta\lambda$: 63nm et $\Delta\lambda'$: 62nm (514, 576, 572) 58 (pour la rhodamine Wt).

Par contre, les spectres des rhodamines B et Wt interfèrent et nous avons, lors des expériences de multitraçages, veillé à ce qu'elles ne soient pas présentes ensemble à un même exutoire.

I.2.3.2. Traceur salin :

Le traceur salin chimique que nous avons utilisé a pu être décelé au Laboratoire d'Hydrogéologie de Grenoble par méthode chimique. Le dichromate de sodium n'étant pas visible à l'oeil nu, il est nécessaire de le faire réagir en présence de diphényl carbazide. Les échantillons ainsi colorés sont analysés au colorimètre. La concentration minimale décelable par cette analyse est de l'ordre de 10^{-7} kg/l. Mais on peut grâce à la méthode des reconcentrations dans le butanol, employée pour les jaugeages en hydrologie, obtenir une concentration minimale de 10^{-8} kg/l. Le seul inconvénient réside dans le volume de l'échantillon à prélever (100 cc pour reconcentrer 10 fois).

I.2.4. Exploitation des résultats :

I.2.4.1. La distribution des temps de séjour :

La restitution d'un traceur présente un étalement, résultant de la trajectoire suivie par chaque particule. Plus les trajectoires sont diversifiées, plus l'étalement sera important.

La distribution des temps de séjour est représentée par une courbe concentration en fonction du temps ou courbe de restitution du traceur.

Elle permet de connaître :

- le temps de transit (t_0) des particules les plus rapides ;
- le temps modal (t_m) ou temps le plus probable qui correspond à la concentration maximum de produit traçant ou autre ;
- le temps moyen (\bar{t}) au bout duquel la moitié de la quantité de traceur restitué sera sortie à l'exutoire ;
- le temps (t_l) de transit des particules les plus lentes.

On pourra ainsi déterminer connaissant la longueur apparente du trajet :

- la vitesse des particules les plus rapides (v_0) ;
- la vitesse modale (v_m) ;
- la vitesse moyenne (\bar{v}) ;
- la vitesse des particules les moins rapides (v_l).

Toutes ces valeurs seront intéressantes dans les cas de pollution des systèmes aquifères, bien qu'elles ne soient significatives de l'état hydrodynamique de ces derniers, qu'à l'instant où ont eu lieu les traçages.

I.2.4.2. Le taux de restitution :

La quantité de traceur restitué à l'exutoire est égale à :

$$M = \int_{t=0}^{\infty} q(t) c(t) dt$$

$q(t)$ est le débit à chaque instant t

$c(t)$ la concentration du traceur à l'instant t

Si l'on connaît, outre la distribution des temps de séjour, la variation du débit à l'exutoire, nous pourrions calculer cette quantité de traceur. En la comparant à la masse de produit injecté, on obtient le taux de restitution du traceur.

Lieu	INJECTION			Lieu	REAPPARITION		
	Colorant	Date	Débit		Q	V_0	
1 Tanne aux Cochons - 86m	Uranine 5l	14.8.1960 17h	Fort	Pont de Lescheraines	15.8.1960 11h ?	-	300m/h
2 Tanne aux Cochons - 200m	Uranine 1kg	9.8.1977 19h	2 l/s	Pissieux (visible à l'oeil nu pendant 1/2 journée)	20.8.1977 13h	\approx 75l/s	<22m/h

Tableau 12 : Anciennes expériences de traçages - Plateau du Margériaz.

(1) Spéléoclub de Lutèce.

(2) Spéléoclub de Savoie.

I.3. LE TRACAGE DU "SYNCLINAL DES AILLONS".

I.3.1. Les anciennes expériences : (tableau 12)

Les anciennes expériences de traçage effectuées ont concerné le plateau du Margériaz. Très exploré et étudié par différents groupes spéléologiques, le réseau karstique de ce plateau et surtout la Tanne aux Cochons ont fait l'objet de colorations qualitatives.

La première coloration a été effectuée en 1960 par le spéléoclub de Lutèce. L'injection de 5 l de solution de fluorescéine a eu lieu dans la Tanne aux Cochons, avec un débit très fort. Le colorant est réapparu au pont de Lescheraines 18 heures après. La vitesse des particules les plus rapides a donc été de 300 m/h.

Le spéléoclub de Savoie, en 1977, a renouvelé une expérience de coloration dans cette même Tanne aux Cochons. 1 kg de fluore a été injecté le 9 août 1977 dans un débit de 2 l/s. Le colorant est réapparu à l'exurgence du Pissieux le 20 août. La vitesse des particules a, cette fois, été de 22m/h donc faible.

Les données de ces traçages, que nous a communiqué le Spéléoclub de Savoie, sont réunies dans le tableau 12.

I.3.2. Multitraçage de juin 1978 :

Le multitraçage a concerné le plateau du Margériaz et le massif du

Colombier.

I.3.2.1. Buts :

Nous avons réalisé cette expérience dans le but de préciser l'étendue du bassin versant de l'exsurgence du Pissieux, ainsi que les relations possibles entre son réseau karstique et d'autres exutoires.

L'expérience du Colombier était totalement nouvelle et nous avons voulu connaître le trajet des eaux souterraines dans ce massif qui présente de nombreuses failles et sources karstiques.

I.3.2.2. Situation hydrologique :

Les expériences de traçage se sont déroulées à un stade de la fonte des neiges très avancé, facilitant ainsi l'accès aux gouffres, mais sans que les débits d'injection et aux exsurgences soient trop faibles.

Sur les figures de restitution des traceurs, nous avons représenté les situations météorologiques et hydrodynamiques durant ces traçages.

I.3.2.3. L'expérience (fig. 20) :

Les points d'injection du plateau de Margérianz ont été difficiles à choisir. En raison de l'absence de pertes en surface (sauf la perte des chalets du Margérianz directement en liaison avec le réseau de la Tanne aux Cochons), il nous a fallu injecter directement dans les gouffres à des profondeurs toutefois modérées (l'eau de fonte étant encore abondante).

C'est avec le concours des membres du Spéléoclub de Savoie que nous avons injecté les points A (Tanne aux Lambeaux) et B (Tanne G. Cher).

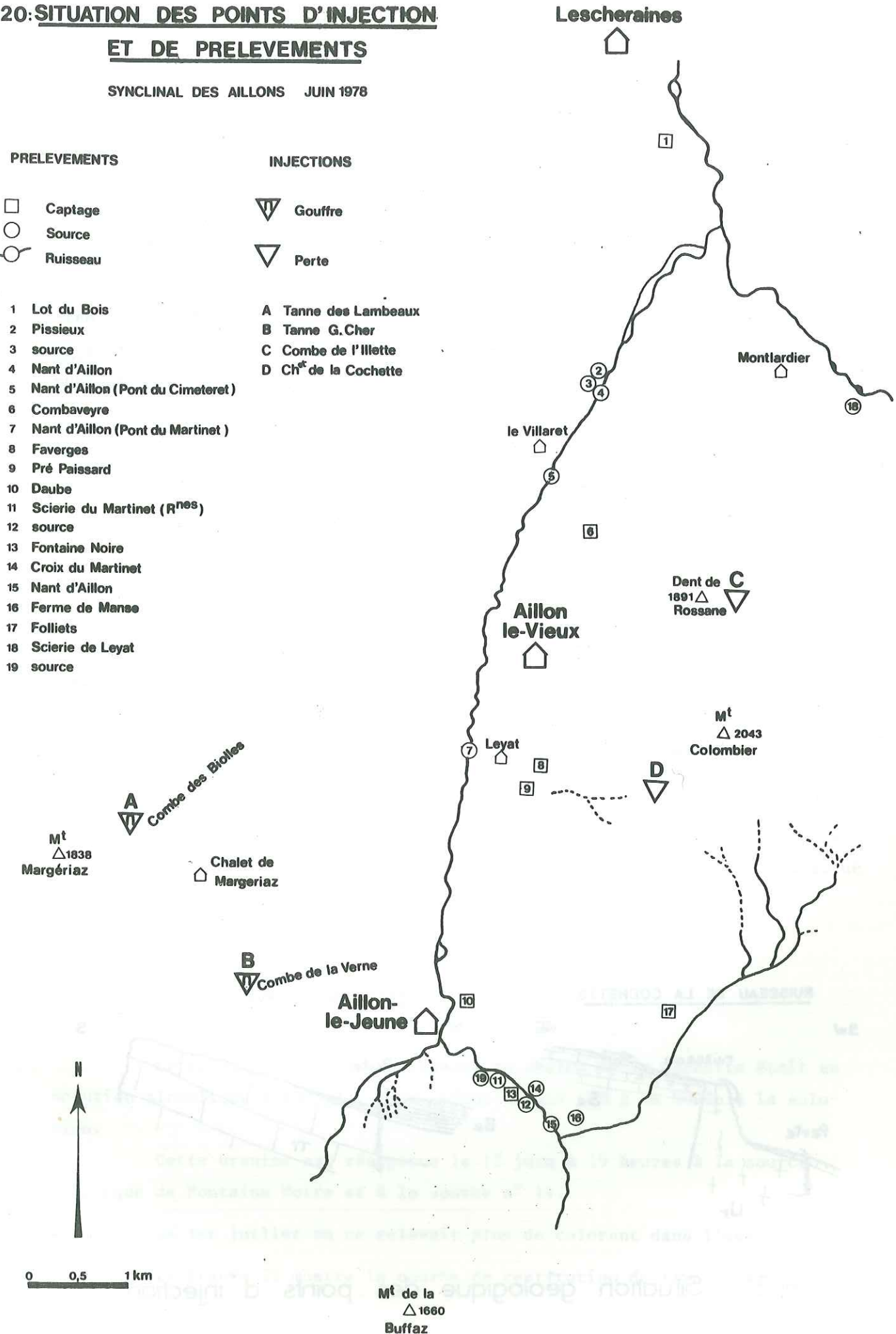
Le point B devait être le plus loin possible vers le Sud, pour préciser la limite sud du bassin versant de l'exsurgence du Pissieux. En l'absence de points d'injection possibles au-delà de la Combe de la Verne, c'est donc dans la Tanne G. Cher que nous avons injecté 2 kg de rhodamine B.

Le Bois de Tioule, au Nord du plateau du Margérianz ne comportant pas de gouffre avec perte, ni de perte superficielle, nous avons injecté dans la Tanne aux Lambeaux 8 kg de bichromate de sodium. L'injection n'a pu être faite que le 12 juin en raison de l'accès difficile au gouffre. Ce point ne permettra pas de préciser une limite mais fournira des résultats en vue de comparaisons avec le point B.

Fig 20: SITUATION DES POINTS D'INJECTION ET DE PRELEVEMENTS

SYNCLINAL DES AILLONS JUIN 1978

- | PRELEVEMENTS | INJECTIONS |
|--------------|------------|
| □ Captage | ▽ Gouffre |
| ○ Source | ▽ Perte |
| ○ Ruisseau | |
-
- | | |
|--|----------------------------------|
| 1 Lot du Bois | A Tanne des Lambeaux |
| 2 Pissieux | B Tanne G. Cher |
| 3 source | C Combe de l'Illette |
| 4 Nant d'Aillon | D Ch ^t de la Cochette |
| 5 Nant d'Aillon (Pont du Cimeteret) | |
| 6 Combaveyre | |
| 7 Nant d'Aillon (Pont du Martinet) | |
| 8 Faverges | |
| 9 Pré Paissard | |
| 10 Daube | |
| 11 Scierie du Martinet (R ^{nes}) | |
| 12 source | |
| 13 Fontaine Noire | |
| 14 Croix du Martinet | |
| 15 Nant d'Aillon | |
| 16 Ferme de Manse | |
| 17 Folliets | |
| 18 Scierie de Leyat | |
| 19 source | |



Dans le massif du Colombier, le choix a été plus facile. En effet, à la suite de très forts orages en août 1977, nous avons pu découvrir une perte superficielle dans la combe de l'Ilette, au Nord de la dent de Rossane. Cette perte pouvait être en relation avec les sources karstiques de Fontaine Noire ou de Pré Paissard, dans le périmètre du bassin versant du Nant d'Aillon, ou avec la source de la scierie de Leyat, au Nord, près du Chéran : Le débit de cette perte était alors de 1 l/s environ.

C'est à ce point que nous avons injecté 700 g de rhodamine Wt. Malheureusement, à l'époque des expériences, le débit du ruisseau était alors d'environ 15 l/s et s'écoulait en direction du Nord en véritable cascade sautant la falaise urgonienne.

Le point D, au col de la Cochette, a été injecté avec 1 kg de fluoresceine. Cette perte pouvait être en relation avec les sources de Pré Paissard et des Faverges ou les sources de Fontaine Noire.

Les conditions géologiques de ces pertes sont illustrées par la figure 21.

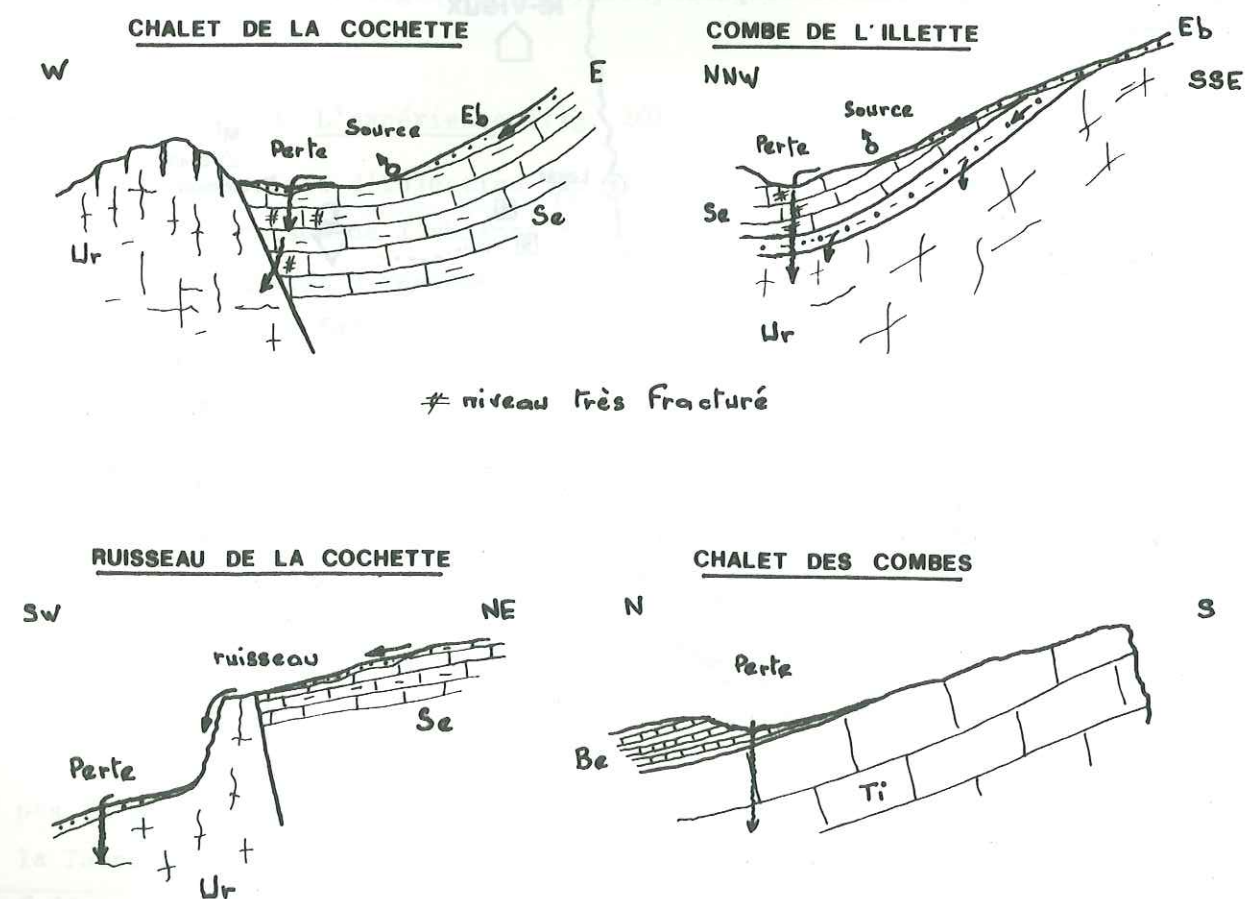


Fig 21 : Situation géologique des points d'injection.

Les 19 points de prélèvements sont indiqués sur la figure 20. En raison des forts débits au moment de l'expérience, les sources des Folliets et de la Daube ont été également contrôlées. En effet, ces sources sont dans le prolongement de deux failles qui partagent le synclinal du Colombier et les rochers de la Bade en plusieurs panneaux urgoniens. La perte du Chalet de la Cochette et ses deux sources pouvaient être en relation, par l'intermédiaire de ces accidents.

Les sources n° 11, 12, 13, 14, 15 et 19 ont toutes des propriétés physico-chimiques caractéristiques d'émergences karstiques. Les différents captages de la source de Fontaine Noire (n° 13) ont été contrôlés par la méthode du charbon actif.

Les prélèvements concernant les injections du plateau du Margéraz se sont fait à l'exurgence du Pissieux et dans le Nant des Aillons en trois points. En effet, dans ce ruisseau et dans les affleurements calcaires urgoniens qu'il traverse, nous avons noté de petites sources à caractères physico-chimiques de type karstique semblables à ceux de la source du Pissieux. La source n° 3, près du Pissieux, en est un exemple type, bien que sa relation avec la source du Pissieux toute proche soit évidente.

Tous ces prélèvements ont débuté le lundi 12 juin à 12 heures avec le concours des étudiants de l'Institut Dolomieu à raison de un prélèvement toutes les 2 heures pendant trois jours, puis deux prélèvements par jour pendant cinq jours, puis un prélèvement par jour jusqu'au 3 juillet.

Au point n° 2 nous avons disposé d'un préleveur automatique qui a fonctionné toutes les deux heures pendant dix jours, puis nous avons effectué deux prélèvements par jour jusqu'au 3 juillet.

I.3.3. Résultats :

I.3.3.1. Uranine :

Le kilogramme d'uranine injecté au chalet de la Cochette était en solution alcoolique à 200 g/l. Nous avons ajouté 100 g de soude à la solution.

Cette uranine est réapparue le 12 juin à 19 heures à la source karstique de Fontaine Noire et à la source n° 14.

Le 1er juillet on ne relevait plus de colorant dans l'eau.

La figure 22 montre la courbe de restitution du traceur ainsi que

Injection					
Lieu	Chalet de la Cochette	Tanne G Cher	Tanne aux Lambeaux	Combe de l'Ilette	Ruisseau de la Cochette
Date	11.6.1978	11.6.1978	12.6.1978	12.6.1978	17.12.1978
heure	19h	18h30	12h	16h	15h
Coordonnées Lambert	894,17 - 77,93	890,39 - 75,93	888,81 - 77,38	894,96 - 80,08	894 - 78,05
Profondeur de l'injection	-	- 23m	- 30m	-	-
Débit d'injection	2 l/s	2,5 l/s	1 l/s	15 l/s	0,5 l/s
Nature Colorant	Uranine	Rhodamine B	Bichromate de sodium	Rhodamine Wt	Uranine
Poids de colorant injecté	1 kg	2 kg	8 kg	0,7 kg	0,2 kg
Réapparition					
Lieu	Fontaine Noire	Croix Martinet	Pissieux	Pissieux	Pré Paissard
Date	12.6.78	12.6.78	17.6.1978	14.6.1978	4 échantillons 88h plus tard 3 j. 18h.
heure	19h	20h	18h30	4h30	
Coordonnées Lambert	892,96 75,05 920	893 75,02 920	893,30 - 82,25 670		892,83 - 78,10 975
Distance minimale (m)	3250		6950	6625	1200
Distance plus probable (m)	3400		7875	7125	
Dénivelé (m)	630		717	1005	525
Vitesse des particules les + rapides (m/h)	133		55	176	15
Vitesse des particules les + lentes (m/h)	20		24	65	5
Vitesse modale (m/h)	112		46	132	12
Gradient hydraulique	0,193		0,091	0,141	
Taux de restitution	77%		69%	55%	8%

Tableau 13 : Résultats des traçages du synclinal des Aillons.

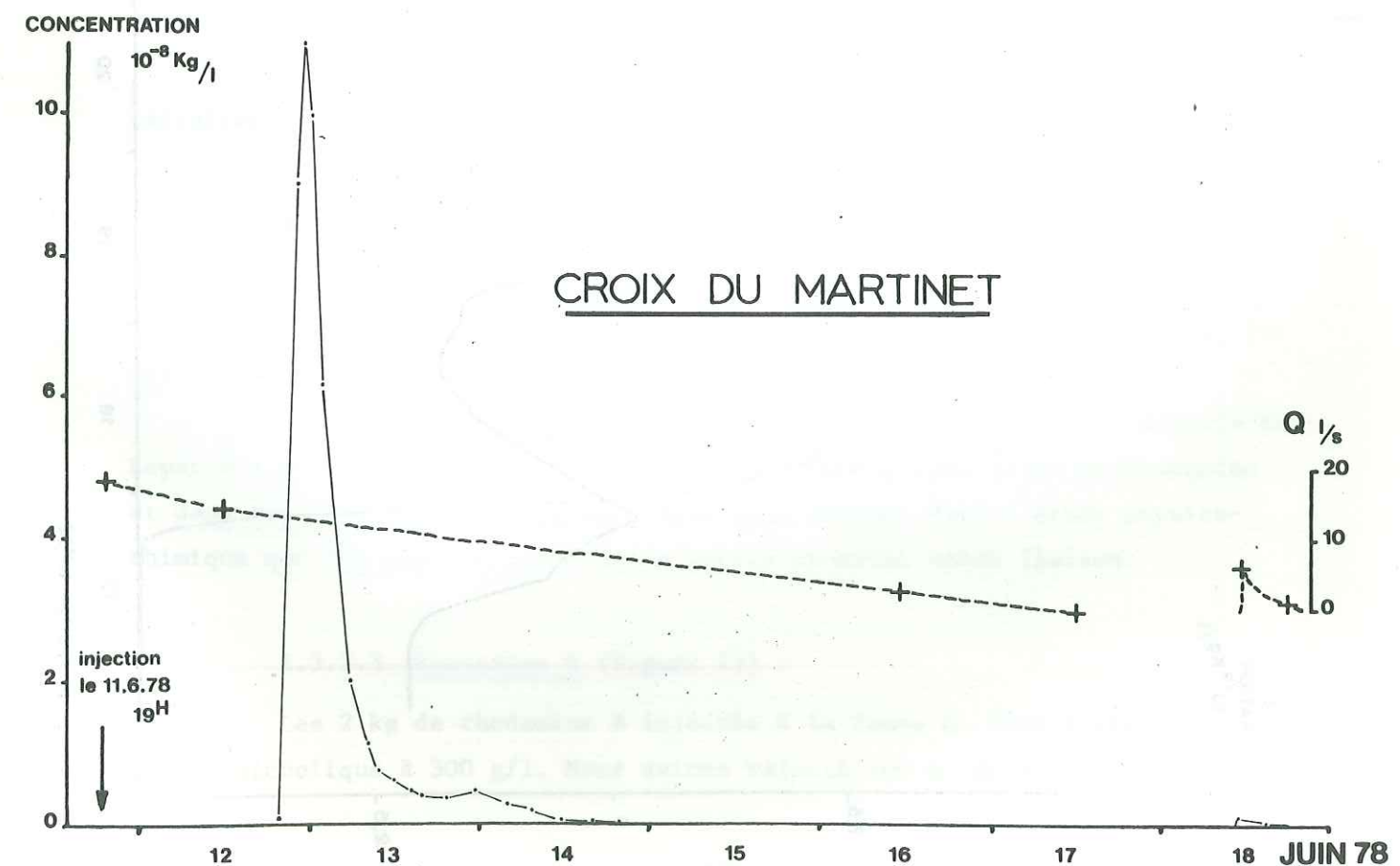
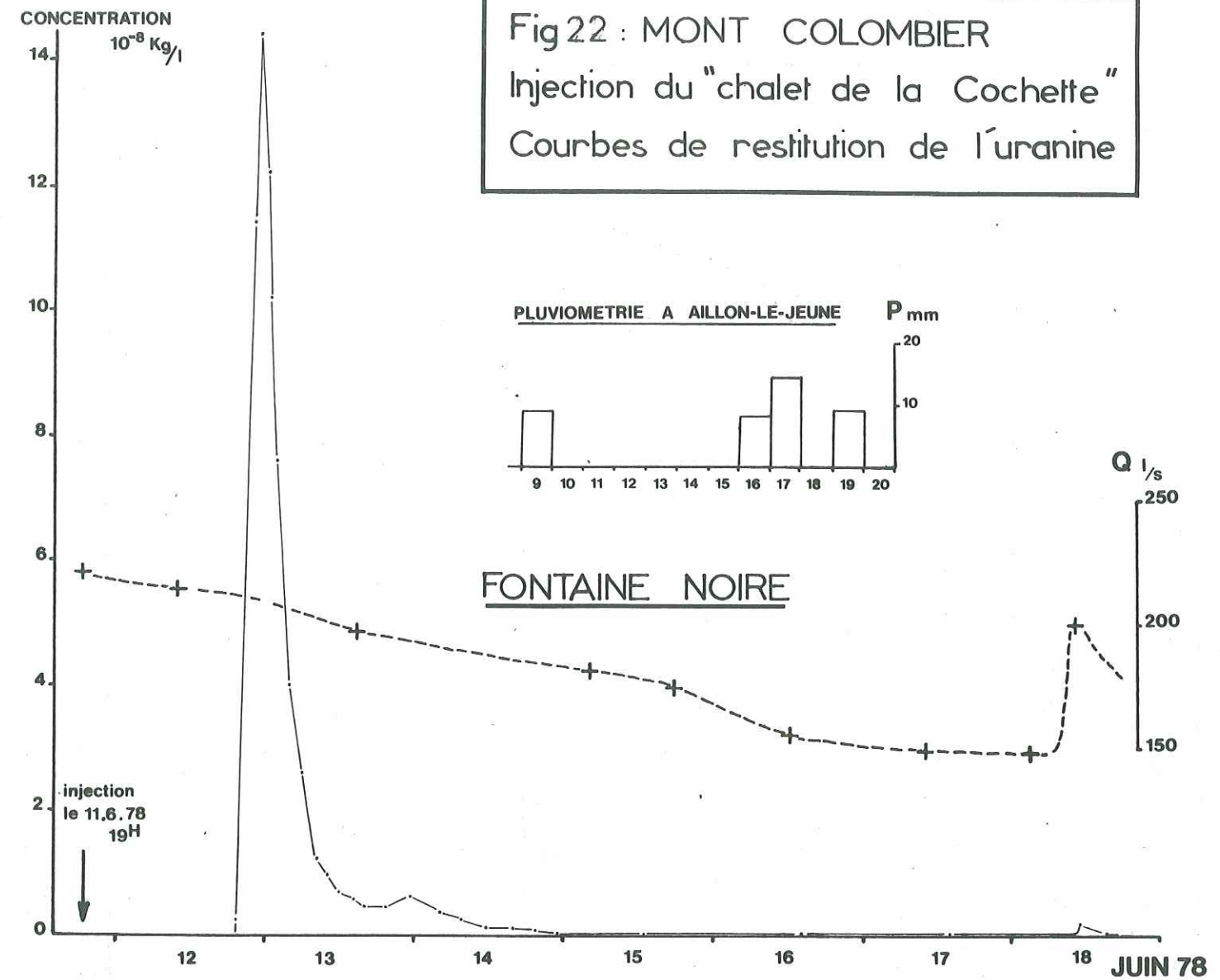
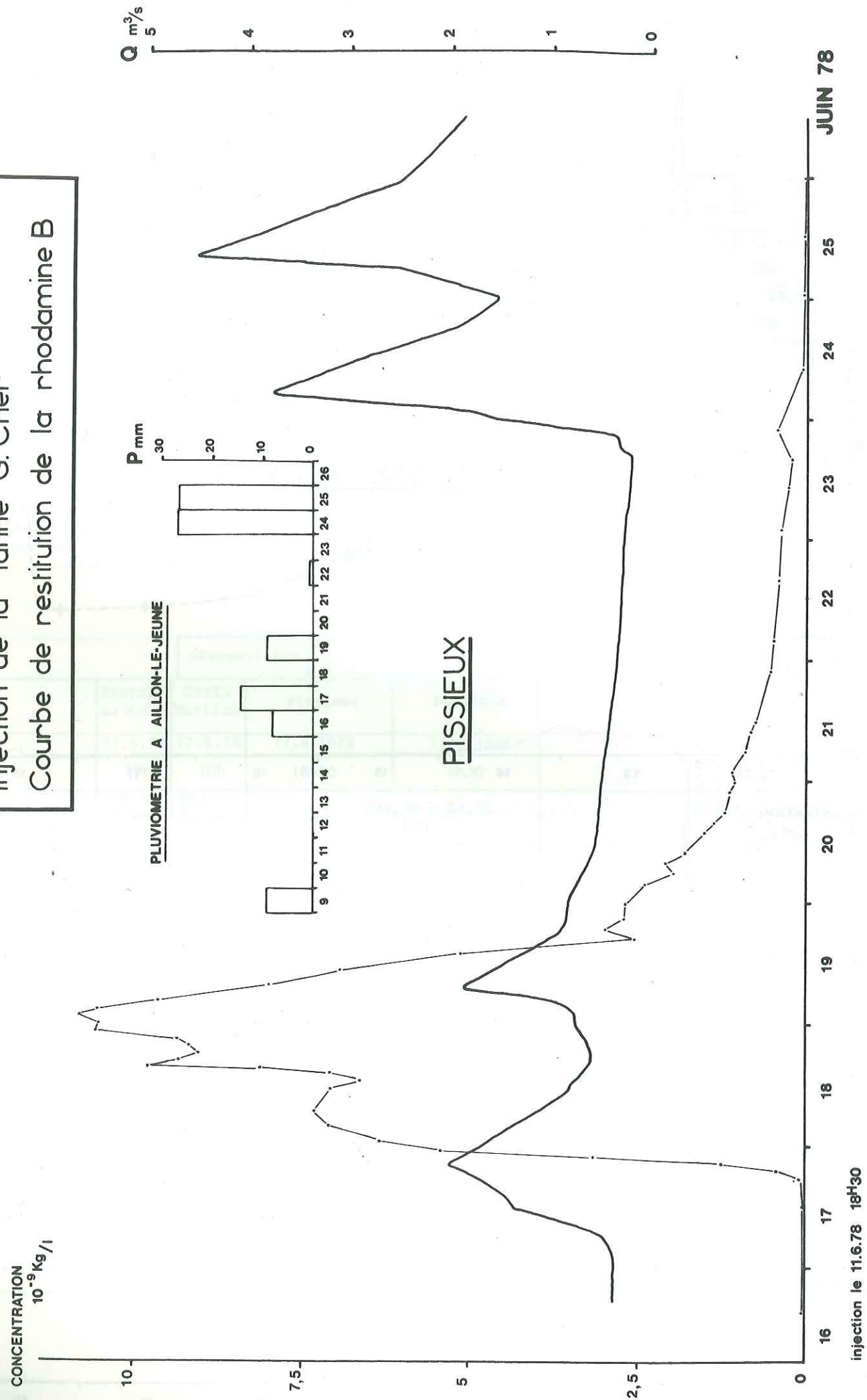


Fig 23 : MONT MARGERIAZ
Injection de la "Tanne G. Cher"
Courbe de restitution de la rhodamine B



les conditions hydrodynamiques et hydrologiques au moment de l'expérience.

La rapidité du transit (133 m/h), les fortes concentrations d'uranne à l'émergence et le taux de restitution très élevé (77%) montrent que les écoulements souterrains se font dans des calcaires urgoniens très karstifiés avec de gros chenaux. Les réservoirs, le long de ce trajet, sont rares et de faibles volumes, sauf au niveau de la source où le phénomène de piston flow a certainement évité un mélange avec un réservoir peut-être très important qui régule les débits de la source de Fontaine Noire. En effet, lors des fortes précipitations, la source voit son débit augmenter très lentement et le niveau de l'eau atteint la grotte du Nant de Rossane, située 70 mètres plus haut, qui joue alors le rôle de trop-plein et qui peut atteindre un débit de 200 l/s.

La source n° 14, située 20 mètres plus haut que les captages de Fontaine Noire est, elle aussi, un trop-plein de cette source.

Les autres points de prélèvements ne contenaient pas d'uranne. Ainsi les failles qui découpent ces calcaires urgoniens ne jouent aucun rôle dans les circulations à l'intérieur du massif.

En ce qui concerne les captages de la source de Fontaine Noire, la méthode de détection au charbon actif a révélé que sur cinq captages, trois contenaient de l'uranne. Les deux autres captages, situés à l'amont, ne sont alimentés que par le ruisseau ou les éboulis de la rive gauche du ruisseau.

Les autres petites sources n° 11, 12 et 19 sont alimentées par les calcaires urgoniens du Mont Nau.

1.3.3.2. Rhodamine Wt :

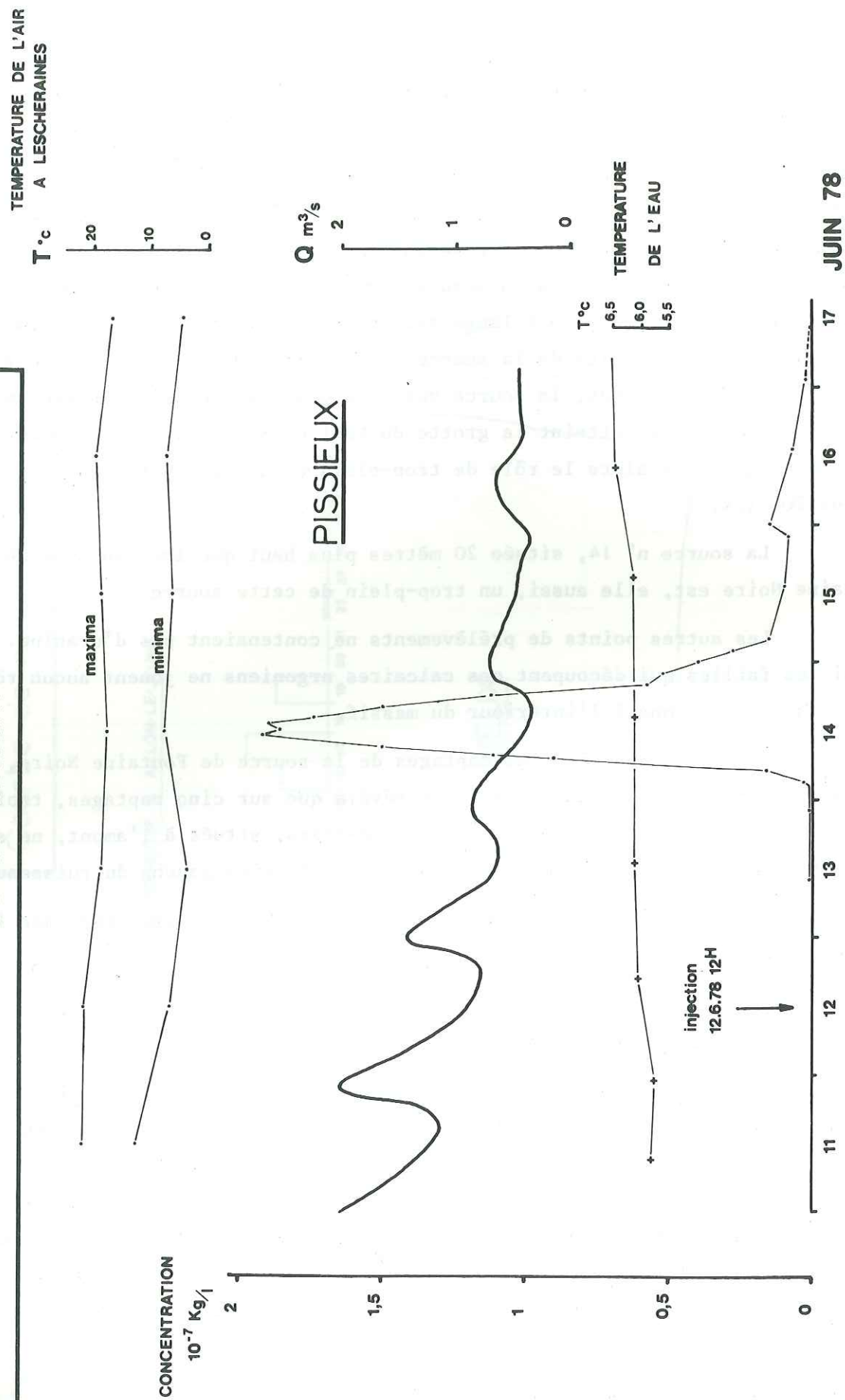
En raison du fort débit du ruisseau de Combe de l'Ilette, il est fort probable, que seule, une très faible partie de la Rhodamine Wt s'est infiltrée.

La liaison supposée entre cette perte et la source de la scierie de Leyat n'a pu être prouvée car nous n'avons trouvé aucune trace de Rhodamine Wt dans les échantillons prélevés. Mais nous verrons dans l'étude physico-chimique que les caractères de cette source prouvent cette liaison.

1.3.3.3. Rhodamine B (figure 23) :

Les 2 kg de rhodamine B injectés à la Tanne G. Cher étaient en solution alcoolique à 300 g/l. Nous avons rajouté 400 g. de soude à la solution.

Fig 24 : MONT MARGERIAZ. Injection de la "Tanne aux Lambeaux"
 Courbe de restitution du dichromate de sodium



Ce colorant est réapparu le 17 juin à 18h30 au Pissieux et à la source n° 3. On peut donc noter que cette source n° 3 est en liaison directe avec l'exurgence du Pissieux.

Par contre, aucune trace de colorant n'a été décelée dans les échantillons du ruisseau (n° 4, 5, 7). Les petites sources, le long du ruisseau du Nant d'Aillon, malgré leurs caractères physico-chimiques karstiques, ne sont que des sources superficielles des calcaires urgoniens.

La sortie du colorant a été favorisée par les fortes précipitations du 16 et 17 juin sur le bassin versant des Aillons. On peut remarquer sur la courbe de restitution du colorant (fig. 23) deux pics de concentrations qui peuvent peut-être indiquer deux chemins différents empruntés par le colorant. Dans le gouffre, les circulations se font tout d'abord d'Ouest en Est vers l'axe du synclinal des Aillons puis, du Sud vers le Nord et, c'est dans cette seconde portion à gradient hydraulique faible, que le cheminement des eaux peut se faire suivant des chenaux différents.

La forte concentration et le temps de restitution très court indiquent, en comparaison avec un trajet long et une vitesse de transit faible, un réseau karstique dépourvu de gros réservoir.

Cette expérience montre également que la limite Sud du bassin versant de l'exurgence de Pissieux est à rechercher très loin vers le Sud. C'est pourquoi, nous avons englobé dans ce bassin versant les calcaires urgoniens de la forêt du Replat et de la pointe des Torchets.

I.3.3.4. Dichromate de sodium (figure 24) :

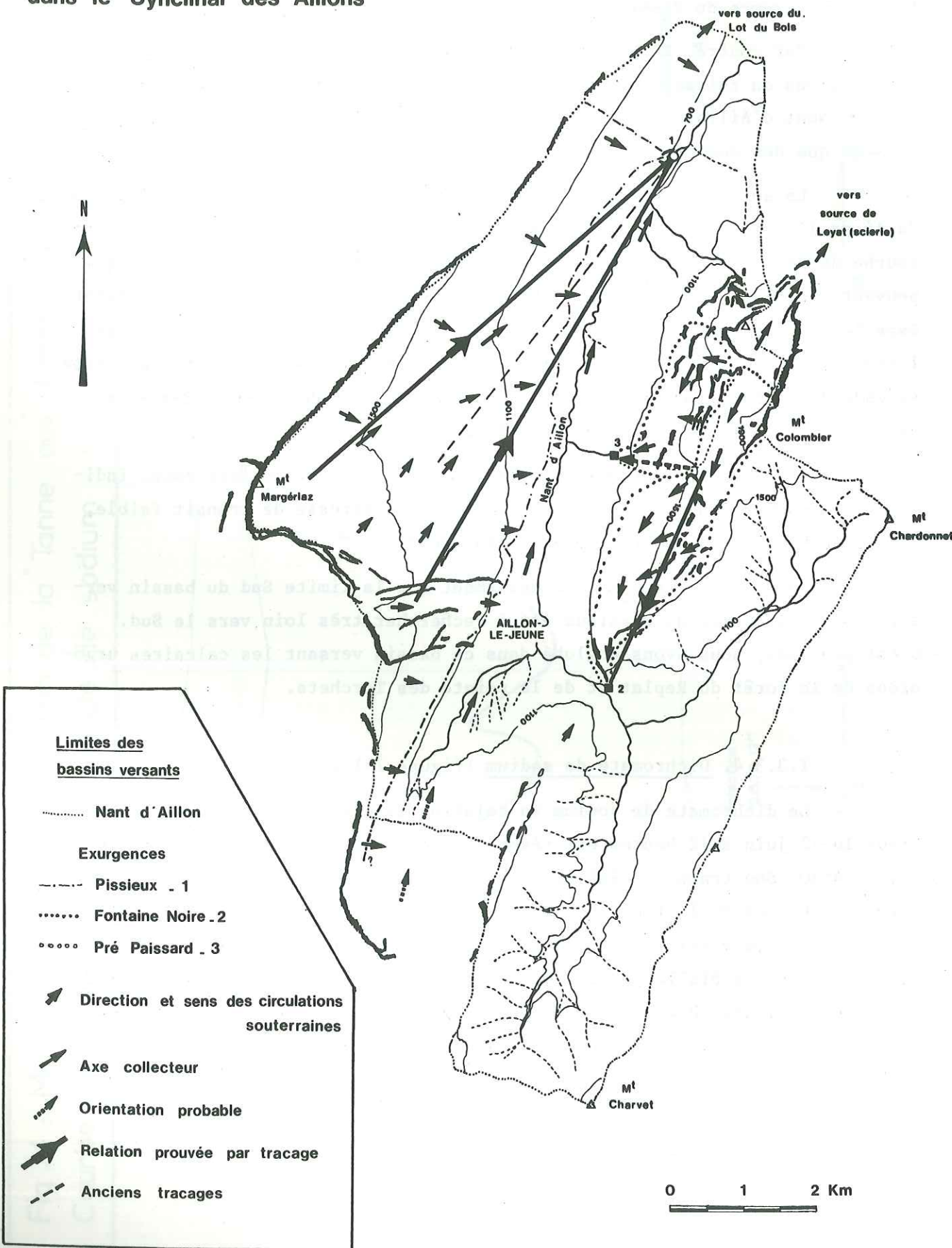
Le dichromate de sodium en solution injecté dans la Tanne aux Lambeaux le 12 juin à 12 heures est réapparu à l'exurgence du Pissieux le 14 juin à 4h30. Son transit a été favorisé et accéléré par de fortes crues nocturnes résultant de la fonte des neiges sur la partie sommitale du plateau du Margérian. Cette vitesse rapide indique une circulation dans un collecteur sous la Combe des Biolles, collecteur dont l'axe SW-NE rejoint l'axe du synclinal des Aillons. Puis, on peut penser que les circulations se font plus lentement dans le sens N-S jusqu'à la source du Pissieux.

FIG 25

Circulations souterraines

Bassins versants des exutoires karstiques

dans le "Synclinal des Aillons"



I.3.4. Circulations souterraines dans le synclinal des Aillons (figure 25).

I.3.4.1. Le massif du Margériaz :

Les eaux souterraines du massif du Margériaz sont géologiquement drainées vers l'exsurgence du Pissieux. Nous pouvons, malgré tout, distinguer dans ce massif trois zones dont les écoulements ont des trajets différents :

- la zone Nord du plateau par le pendage fort des couches de calcaires urgoniens donne des écoulements vers l'Est, soit directement, soit par l'intermédiaire du collecteur de la Combe des Biolles, en direction du synclinal d'Aillon-le-Jeune. Les vitesses de transit sont très rapides.

- la zone centrale du plateau de la Combe des Biolles à la Combe de la Verne. Les écoulements se font vers le NE dans la partie sommitale, puis vers l'E dans la partie inférieure. Ils rejoignent alors le synclinal d'Aillon le Jeune et la source du Pissieux vers le Nord. Les vitesses de transit sont relativement faibles dans la partie sommitale et dans le synclinal d'Aillon-le Jeune. Elles sont très élevées dans la partie inférieure du plateau.

- la zone Sud du massif, au-delà de la Combe de la Verne, où les écoulements se font vers l'Est très rapidement, puis plus lentement vers le Nord dans le synclinal d'Aillon-le-Jeune.

Les limites Sud du bassin versant de la source du Pissieux restent assez imprécises. Elles peuvent se poursuivre au-delà des limites du bassin versant du Nant d'Aillon. Les surfaces des calcaires urgoniens de ce secteur étant restreintes, l'imprécision est faible (5%).

Le multitraçage montre également que la source du Pissieux est la seule exsurgence visible du massif du Margériaz. Seuls des écoulements pourraient se produire dans les calcaires urgoniens au-delà de cette exsurgence vers la vallée du Chéran mais nous verrons, dans les résultats des bilans hydrologiques, que ces écoulements sont limités, voire même peu probables.

La zone extrême Nord du massif donne des petites sources le long du Nant d'Aillon et participe également à l'alimentation de la source du Lot du Bois, dont l'étendue du bassin versant demeure très restreinte.

I.3.4.2. Le massif du Colombier :

On peut distinguer, dans ce massif, trois parties correspondant à trois bassins versants différents :

- La partie Nord du synclinal du Colombier avec des écoulements vers le Nord en direction de la source de Leyat. Ce bassin versant est peu étendu, les fuites dans ce secteur sont peu importantes.

- La partie Sud du massif (zone Sud du synclinal du Colombier et flanc Est du synclinal d'Aillon-le-Jeune) où les écoulements souterrains s'effectuent vers le Sud jusqu'aux exurgences de Fontaine Noire. Les vitesses de transit sont rapides mais les réserves sont importantes au niveau de la source.

- La partie Nord-Ouest du massif (synclinal de Longe Fullie) qui alimente les sources de Pré Paissard et des Faverges.

I.4. LES TRACAGES SIMPLES.

I.4.1. Le traçage du ruisseau de la Cochette (bassin versant d'Aillon) :

I.4.1.1. But :

Lors des expériences de multitraçages de juin 1978, nous avons noté que le petit ruisseau qui descend de la combe située entre les chalets de la Cochette et du Colombier se perdait dans les éboulis sous la falaise urgonienne située immédiatement à l'Ouest de la perte colorée lors de cette expérience. Il nous paraissait donc important de contrôler le devenir de ces eaux.

I.4.1.2. Réalisation :

Etant donné le fort taux de restitution obtenu à la précédente expérience de juin pour les circulations dans les calcaires urgoniens du bassin versant des exurgences de Fontaine Noire, il ne nous a pas paru nécessaire d'utiliser une quantité importante de traceur.

Nous avons donc injecté, le 17 décembre 1978 à 15 heures, 200g d'uranine en solution dans le ruisseau qui avait un débit de 0,5 l/s. Ce ruissellement résultait de la fonte d'une faible couche de neige tombée les jours précédant l'expérience et assurant ainsi un débit assez régulier. Le 18 décembre le ruisseau était à sec.

Ne disposant pas de préleveur automatique, les prélèvements ont été peu nombreux à raison d'un par jour pendant les sept premiers jours, puis d'un tous les deux jours pendant quinze jours. Ils ont été effectués simultanément

aux différentes exurgences de Fontaine Noire (points B2 et B3 ainsi qu'aux sources des Faverges et de Pré Paissard.

Le contrôle des débits de la source de Pré Paissard n'est possible que sur le trop-plein de celle-ci. Une mesure précise de ce débit est très délicate à obtenir en raison des vitesses élevées du courant à l'issue de ce trop-plein. Nous avons donc pris comme valeur de débit, une valeur moyenne des mesures effectuées. La part de l'eau utilisée pour l'alimentation en eau potable ne dépasse pas 10% du débit total.

I.4.1.3. Résultats et conclusion (figure 26).

Quatre échantillons, prélevés à la source de Pré Paissard, se sont révélés positifs. La courbe de restitution de la figure 26 montre que les particules les plus rapides sont arrivées à la source entre le 20 décembre à 12 heures et le 21 décembre à 12 heures. Les vitesses de transit sont pour V_R de l'ordre de 15m/h et pour V_I de 5m/h. Le faible taux de restitution (8%) est dû à la présence de fortes proportions d'argile dans les éboulis, rete-

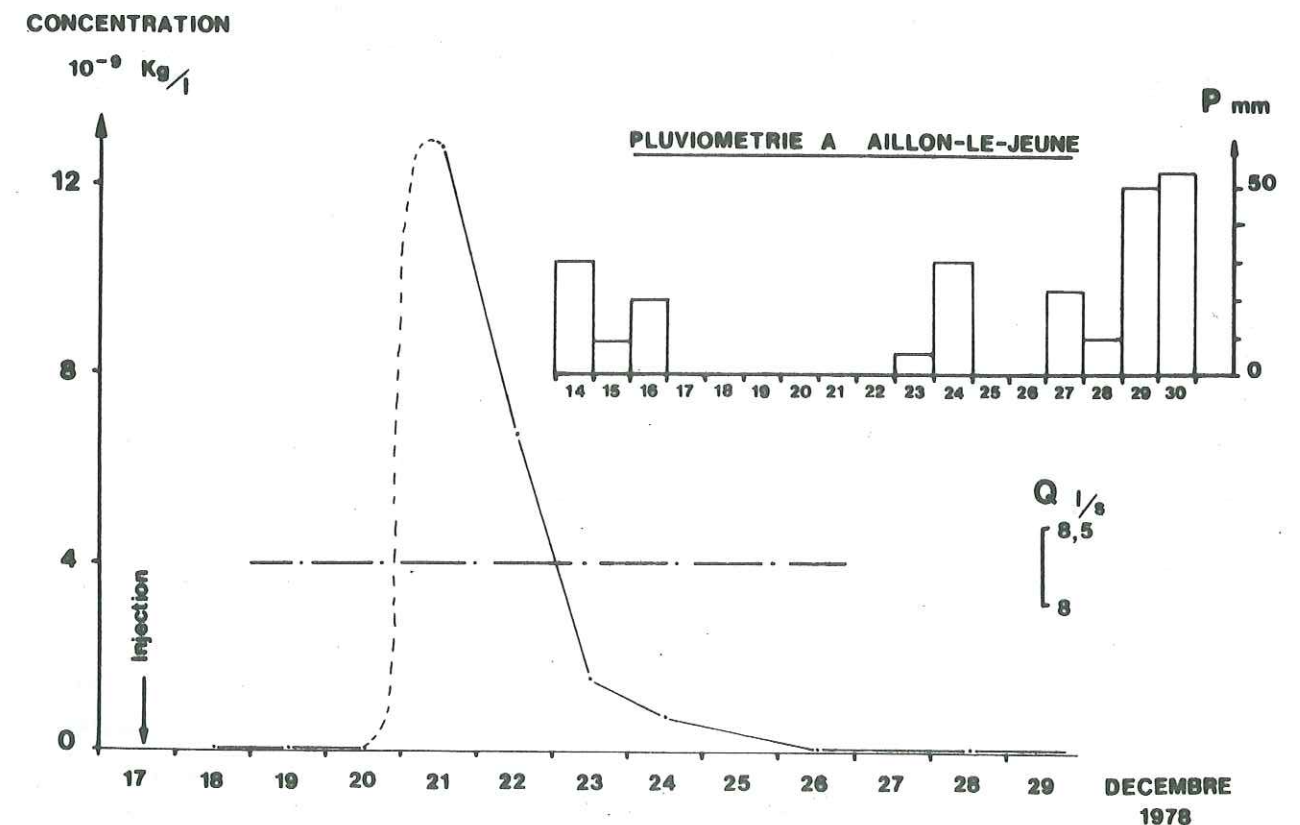


Fig 26 : Injection du ruisseau de la Cochette
Courbe de restitution de l'uranine
Source de Pré Paissard

nant ainsi le colorant. Les vitesses caractéristiques sont, malgré tout, assez élevées.

Ayant à la fois manipulé le colorant à l'injection et aux prélèvements, il demeure cependant un doute sur cette expérience car quatre échantillons seulement se sont révélés positifs. On ne relève plus aucune trace de colorant après le 24 décembre. De plus, les analyses bactériologiques concernant cette source ont toujours été négatives.

Mais les autres échantillons prélevés dans les mêmes conditions aux autres exurgences (Fontaine Noire et Pré Paissard) n'ont présenté aucune trace de colorant.

Il est également important de préciser que le ruisseau et la perte qui ont fait l'objet de cette expérience ne sont que temporaires. En effet, le ruisseau ne coule que quelques heures par jour, lors de la fonte des neiges au printemps ou exceptionnellement lors de gros orages et son débit atteint rarement plus du litre/seconde.

Il nous semble donc que, malgré les mauvaises conditions de cette expérience, nous puissions voir une relation entre le ruisseau de la Combe du chalet de la Cochette et la source de Pré Paissard. Ce résultat apparaît important pour la protection des eaux de ce captage.

I.4.2. Traçage d'Arvey :

I.4.2.1. But :

La source de la Touvière, dont le débit est assez important, s'écoule vers le bassin versant du Ternèze. Nous avons régulièrement suivi ses variations physico-chimiques comme nous le verrons plus avant dans ce mémoire. Son alimentation se fait par le cône de déjection d'Arvey sur la commune de Puygros. Une utilisation possible de cette source pour l'alimentation en eau potable ayant été envisagée, il nous a paru nécessaire de prouver son origine et d'écarter ainsi toute éventualité de captage. Le village d'Arvey étant situé à l'amont de cette source, une contamination est inévitable et les analyses chimiques montrent de fortes teneurs en éléments nuisibles (nitrates, chlorures).

I.4.2.2. Réalisation (figure 27a) :

Après une première tentative, en mars, au bicarbonate qui s'est ré-

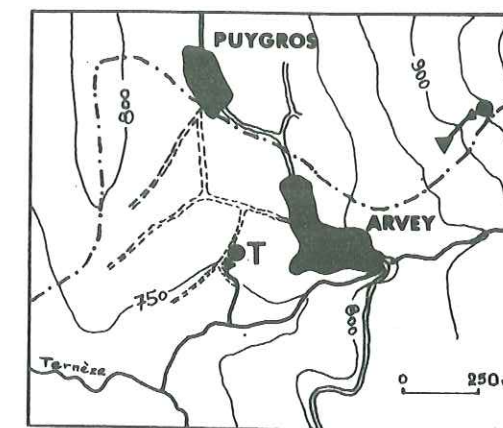


Fig. 27 a
Plan de situation
du traçage d'Arvey

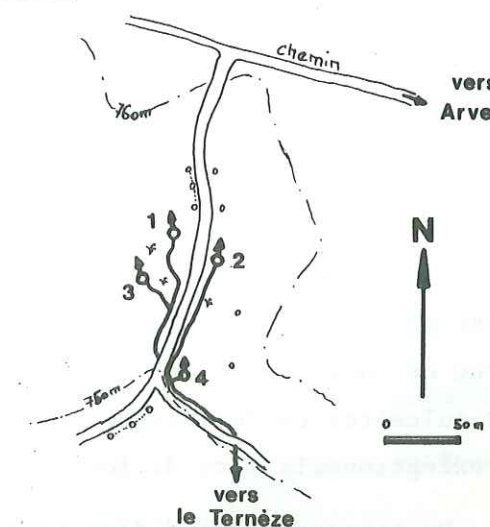
▼ : injection
T : sources de la Touvière

vélée négative en raison de forts débits (50 l/s) et par la nature même de ce colorant salin, nous avons renouvelé l'expérience au mois d'avril 1978. Le 4 avril nous avons injecté 250g d'uranine dans un petit ruisseau issu de sources d'éboulis sous les falaises du Mont Céty. Ces petites sources (0,2 l/s) se perdent dans des niveaux moins argileux, juste après leur émergence, au Nord du village d'Arvey (Coordonnées Lambert de la perte : 889,37 - 69,55 - 870).

Le contrôle de la source de la Touvière (888,70 - 69,20 - 750) a été effectué par la méthode au charbon actif. Le débit moyen était de 35 l/s.

I.4.2.3. Résultats et conclusion (figure 27b) :

Fig. 27 b
Carte schématique des points
de contrôle des sources de
La TOUVIERE



Les premiers échantillons de charbon actif, qui sont restés dans les différents points de contrôle durant trois jours (du 4 avril 9h au 7 avril 16h), n'ont pas révélé de trace de colorant. Par contre, les échantillons qui

ont été placés du 7 avril au 12 avril contenaient du colorant. Cette présence était très nette pour les points n° 2 et 4 et plus douteuse pour les points n° 1 et 3. On remarque que les sources des points n° 2 et 4 sont issus de niveaux de cailloutis du cône peu argileux, alors que les points n° 1 et 3 sont situés dans des niveaux sableux des dépôts glaciaires, occupant toute la partie centrale du replat de Puygros. Les circulations dans ces niveaux s'effectuent plus lentement et les minéraux argileux fixent facilement l'uranine, ce qui explique l'absence de ce colorant dans les échantillons de ces sources.

On peut estimer à 120 heures le temps moyen de transit et à 10 m/h la vitesse des particules les plus rapides.

Bien que l'aspect qualitatif de cette expérience lui confère des résultats peu précis, elle a permis de montrer que cette source avait un bassin versant situé en grande partie sous le village d'Arvey. Les circulations étant assez rapides dans des niveaux peu filtrants, les risques de pollution par l'activité humaine du hameau d'Arvey sont grands et le projet éventuel de captage est à exclure.

I.4.3. Le traçage de la savoyarde :

I.4.3.1. But :

Le traçage de la Savoyarde a été effectué en vue de confirmer qu'une partie du bassin versant de Ternèze était à rattacher aux sources d'Arbin et de Francin.

Les difficultés résidaient dans le fait qu'aucune perte naturelle n'est présente sur les pentes du Roc de Tormery au Rocher de Rochefort. Seules des dolines profondes dans les marno-calcaires berriasiens, mais sans écoulement superficiel, sont visibles dans tout le secteur du Roc de Tormery. A la Roche du Guet et au Rocher de Rochefort, on note de profondes crevasses dans les calcaires du Jurassique supérieur qui absorbent les petits ruissellements exceptionnels lors de forts orages.

Un traçage réalisé dans ce secteur permettrait de confirmer les fuites du bassin versant du Ternèze vers la vallée de l'Isère déjà entrevu par un calcul de bilan hydrologique sur la période octobre 1977 - octobre 1978, qui montrait un déficit de plus 20%.

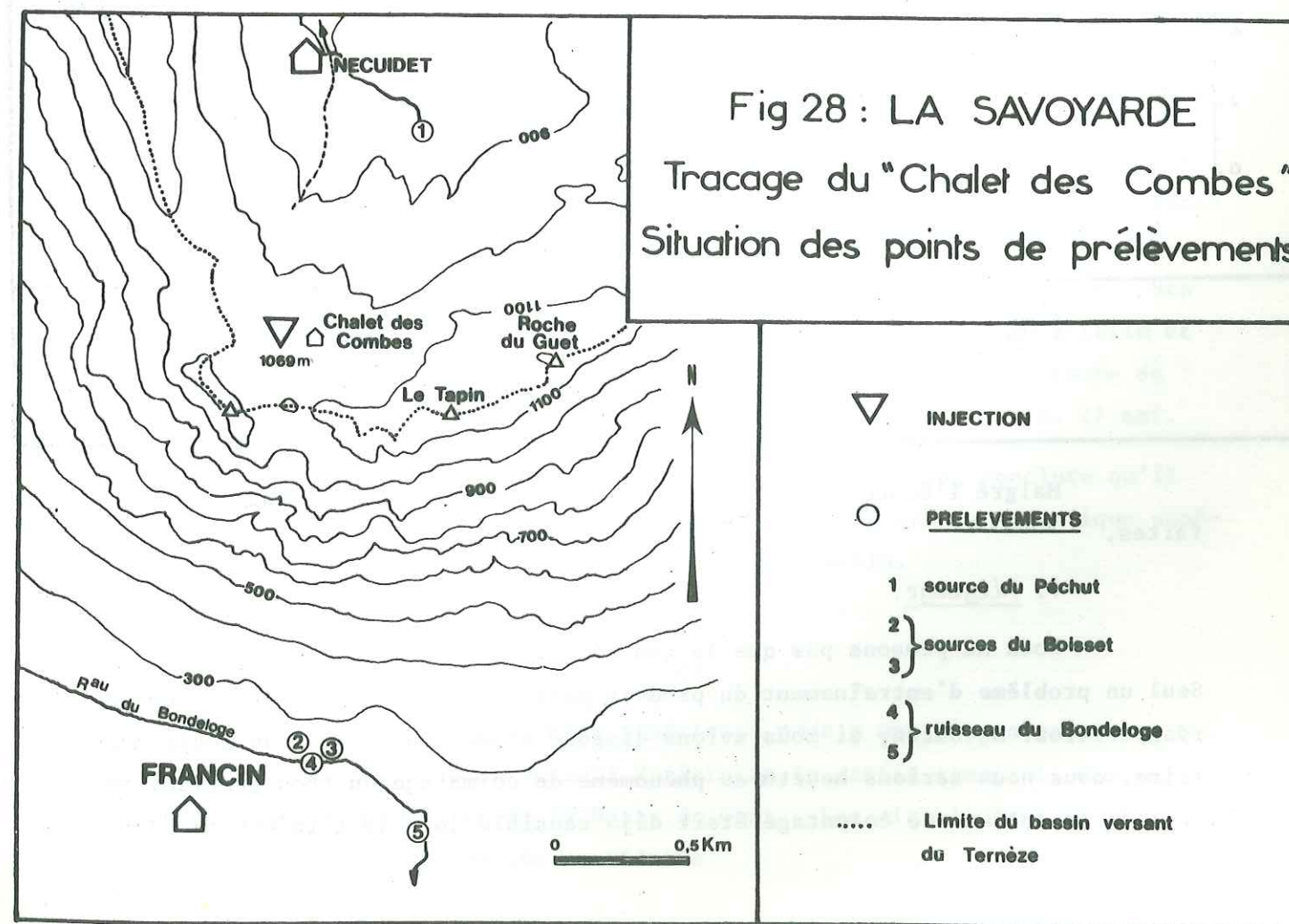
I.4.3.2. Réalisation :

Nous avons choisi comme point d'injection une des grandes dépressions circulaires du Roc de Tormery. Cette vaste doline présentait en son centre une zone caillouteuse qui, après aménagement (perforations mécaniques) fut capable d'absorber 20 litres d'eau instantanément. La proximité du chalet des Combes avec sa citerne de 50m³ destinée à l'alpage, nous procurait l'eau nécessaire à l'entraînement du colorant.

Des difficultés d'ordre technique (transport de l'eau par citerne et véhicule tous terrains) nous empêchèrent de disposer de cette eau.

L'injection a été réalisée le 6 mai 1979 à 11 heures avec 0,4 kg de fluoresceine en solution. Un volume de 1,5 m³ d'eau de pluie recueillie dans une toile plastique a entraîné le colorant.

La figure 28 montre la situation des points de prélèvements effectués toutes les quatre heures pendant six jours, puis deux fois par jour pendant dix jours, puis une fois par jour jusqu'au 6 juin 1979. En outre, nous avons contrôlé les sources d'Arbin deux fois par jour pendant un mois.



I.4.3.3. Résultats.

Tous les échantillons prélevés aux différents points ont été négatifs. La figure 29 montre les conditions hydrologiques et météorologiques durant l'expérience.

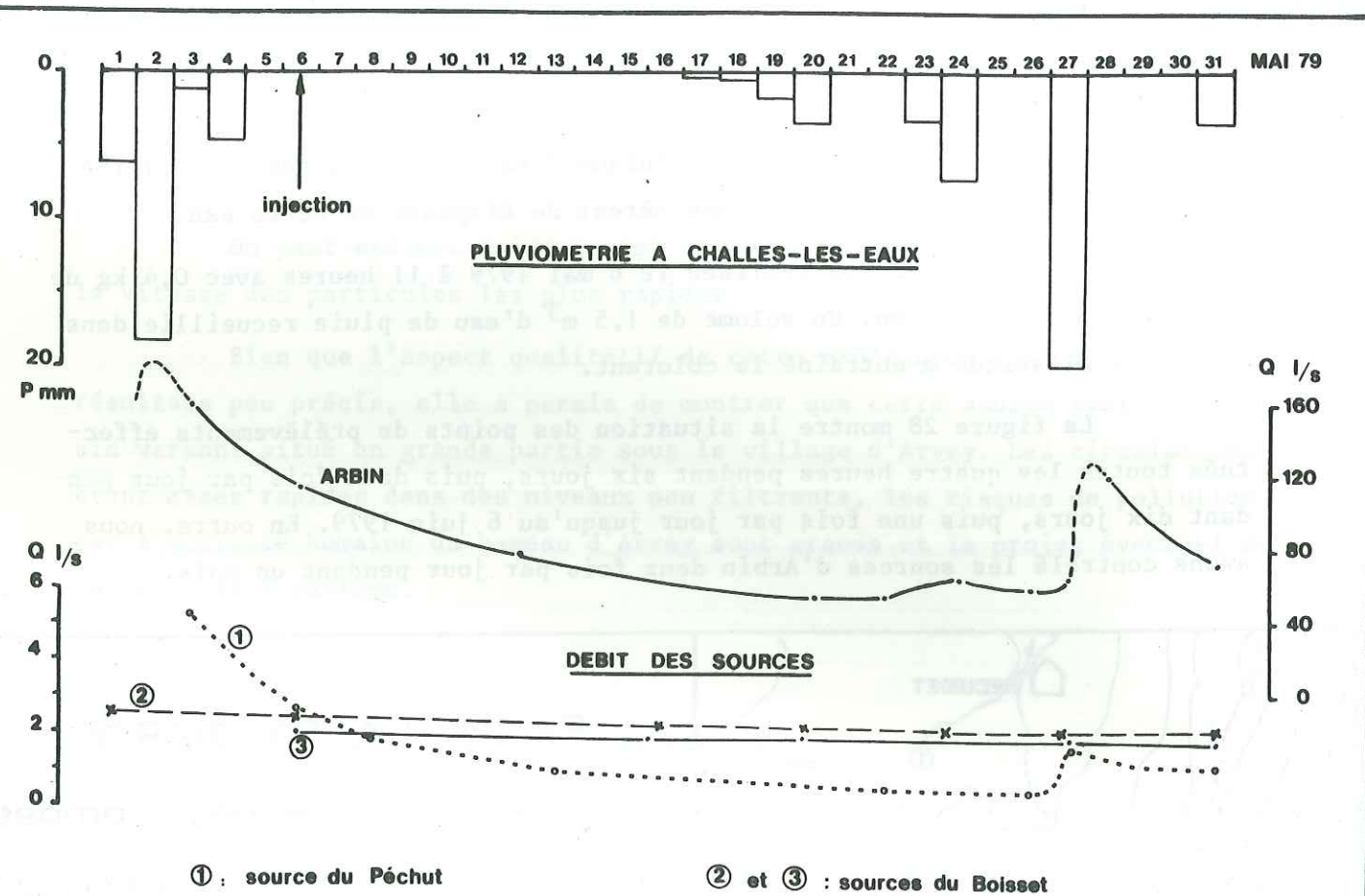


Fig 29 : Traçage du "Chalet des Combes"
Situation hydrométéorologique

Malgré l'échec de ce traçage, plusieurs remarques peuvent être faites.

1. Piégeage.

Nous ne pensons pas que la quantité de traceur ait été trop faible. Seul un problème d'entraînement du produit peut être à l'origine de sa non réapparition. En outre, si nous avions disposé d'une quantité d'eau supplémentaire, nous nous serions heurtés au phénomène de colmatage du trou pratiqué au fond de la doline. Ce colmatage était déjà sensible lors de l'injection, du

1,5m³ d'eau que nous avons utilisé, qui a duré une heure et demie. Ce piégeage du colorant est, malgré tout, difficilement envisageable en raison des fortes pluies durant l'expérience.

2. Réservoir tampon, vitesses faibles.

En examinant les sources de Francin (points 2 et 3) on remarque que leur débit est sensiblement constant, ce qui indique un réservoir souterrain important dans les cônes d'éboulis sous les falaises de la Savoie. Ce réservoir joue le rôle de tampon et régularise les débits aux exutoires. Les vitesses d'écoulement des eaux sont très faibles.

3. Le traceur a échappé aux contrôles effectués.

Tous les versants sous les sommets de la Roche du Guet au Roc de Torméry sont abondamment recouverts d'éboulis. De plus, des cônes de déjections simples ou mixtes descendent jusqu'au niveau de la vallée de l'Isère. Il est donc possible que les circulations, dans ces cônes, rejoignent directement les alluvions de la plaine de l'Isère. C'est notamment le cas du cône de la Maladière où aucune source n'est visible à la base. Le colorant a donc pu ainsi échapper au contrôle et rejoindre directement la plaine alluviale.

4. Circulations vers le bassin versant du Ternèze.

Nous pensons qu'en aucun cas les eaux du massif du Roc de Torméry ne réapparaissent dans le bassin versant du Ternèze. La seule source présente dans le secteur du village de Nécuïdet est celle du Péchut (elle est issue des calcaires berriasiens très fracturés et du revêtement quaternaire). Ses brusques variations de débit montrent que cette source est superficielle et que si elle avait été en relation avec notre point d'injection (proche de 1km) nous aurions retrouvé la présence du colorant dans la crue du 27 mai.

Il ne faut pas, malgré tout, après ces remarques, conclure qu'il n'existe pas de circulations profondes dans les calcaires du Jurassique supérieur et une liaison possible avec les sources d'Arbin.

I.4.3.4. Conclusion (figure 30).

L'échec apparent de cette expérience nous a montré, malgré tout, que l'on peut exclure du bassin versant du Ternèze la partie sommitale des versants du Roc de Torméry et de la Roche du Guet. Les circulations envisagées aboutissent toutes à la vallée de l'Isère.

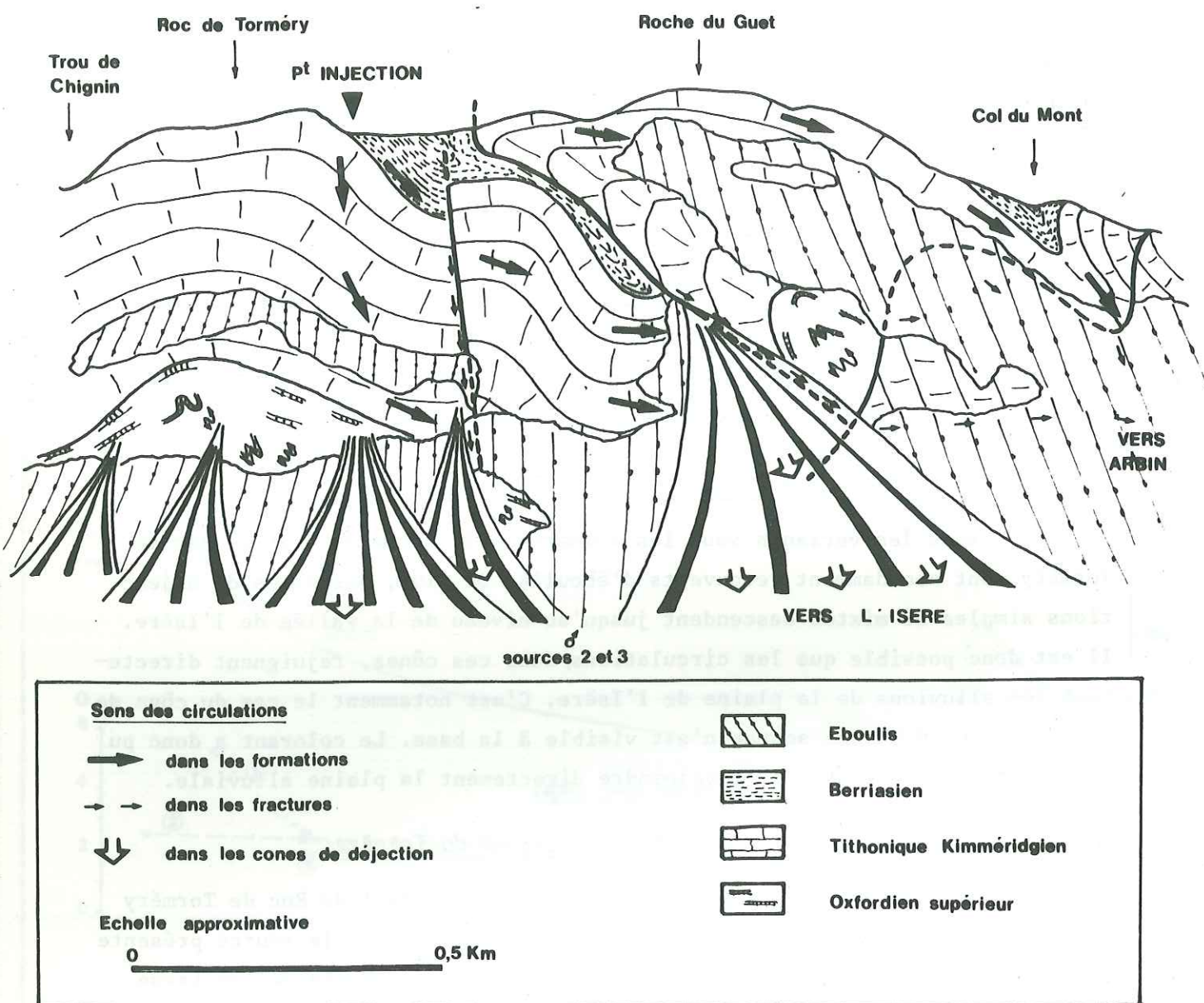


Fig 30 : Ecoulements souterrains sur le rebord sud du Massif de la Thuile

Ces circulations se font en grande partie dans les calcaires du Jurassique supérieur, mais il convient de rattacher à cet ensemble hydrologique, la partie basale des calcaires berriasiens, comme en témoignent les formes topographiques tourmentées situées à proximité du point d'injection. Des infiltrations se produisent à partir de ces calcaires berriasiens et les circulations dans ces derniers rejoignent directement les calcaires du Jurassique supérieur sous-jacent, le faible pendage des couches favorisant ce phénomène. Nous avons, par des observations sur le terrain, relevé les zones où ces liaisons pouvaient être possibles et déterminé les surfaces totales à exclure du bassin versant du Ternèze.

I.5. CONCLUSION SUR LES EXPERIENCES DE TRACAGE.

En plus des caractéristiques hydrodynamiques des aquifères, le multitraçage réalisé dans le "Synclinal" des Aillons nous a permis de préciser :

- l'étendue du bassin versant de l'exurgence karstique du Pissieux et d'affirmer que cette source est le seul exutoire apparent du massif du Margérian ;

- les sens de circulation des eaux souterraines dans le massif du Colombier déjà en évidence par la carte des isohypses du toit de l'Hauterivien ;

- l'étendue des bassins versants des sources de Fontaine Noire, des Faverges, Pré Paissard et scierie de Leyat ;

- qu'une totale communication s'effectue entre les différents panneaux de calcaires urgoniens, délimités par les failles du Colombier et le rôle secondaire de ces accidents dans les circulations souterraines.

Le traçage du ruisseau du chalet de la Cochette nous a fait entrevoir une éventuelle contamination de la source de Pré Paissard.

Les traçages d'Arvey et du chalet des Combes nous ont permis de préciser les limites du bassin versant réel du Ternèze.

L'expérience du chalet des Combes met en évidence la complexité des circulations souterraines dans la bordure Sud du secteur de la Thuile et les fuites du bassin versant du Ternèze vers la plaine de l'Isère.

CHAPITRE II. LES BASSINS VERSANTS ETUDIES.

II.1. BASSIN VERSANT DU TERNEZE A L'AMONT DU PONT DE BOYAT.

Le bassin versant du Ternèze, situé dans la partie la plus méridionale du massif des Bauges est un sous bassin de la Leysse et du Lac du Bourget. Nous l'avons étudié en amont du pont de Boyat.

II.1.1. Les limites du bassin versant :

II.1.1.1. Limites géographiques.

Le bassin versant est limité :

- au Nord, par le Mont Céty (1426m), la pointe de la Galoppaz (1680m), le Col du Lindar (1187m) et le Mont Charvet (1572m) ;

- à l'Est, par le Col de Marocaz (958m), le Rocher de Rochefort (1102m) et la Roche du Guet (1209m) ;

- à l'Ouest, par le Roc de Torméry (1135m) et le sommet de Montgelaz (1300m).

Sa superficie est de 19,42 km².

II.1.1.2. Limites réelles.

Les expériences de traçages réalisées nous ont conduit à modifier les limites du bassin versant. Le bassin versant réel est légèrement inférieur au bassin versant géographique.

Ainsi, à la pointe Sud du bassin nous avons supprimé, après l'expérience de traçage de la Savoyarde, une surface de 0,82 km² (Rocher de Rochefort, Roc de Torméry et Roche du Guet) appartenant au bassin versant des sources d'Arbin.

De même, le traçage d'Arvey nous a conduit à augmenter de 0,04 km² la surface du bassin versant.

A la suite de ces remarques, la surface réelle du bassin versant n'est plus que de 18,64 km².

II.1.2. Caractéristiques morphométriques :

Chacune des caractéristiques est donnée pour le bassin versant géo-

graphique et pour le bassin versant réel.

II.1.2.1. Indice de compacité rectangle équivalent.

L'indice de compacité ou indice Gravelius définit la forme du bassin versant. C'est le rapport entre le périmètre du bassin et le périmètre du cercle de même surface.

$$K = \frac{P}{2\sqrt{S}}$$

P : périmètre du bassin en km.
S : surface du bassin en km².

K = 1 pour un cercle K = 1,41 pour un rectangle 4 fois plus long que large K = 1,51 pour un rectangle 5 fois plus long que large.
Le rectangle équivalent de longueur L et de largeur l à même surface et même périmètre.

Caractéristiques	B.V. Géographique	B.V. réel
Périmètre (km)	22,62	23,15
Surface (km ²)	19,42	18,64
K	1,448	1,509
L	9,20	9,61
l	2,11	1,94

Le bassin a une forme allongée selon une direction N-S.

Tranches d'altitude	Bassin versant géographique				Bassin versant réel			
	S (km ²)	Σ S (km ²)	%	Σ %	S (km ²)	Σ S (km ²)	%	Σ %
< 700	0,21	0,21	1,08	1,08	0,21	0,21	1,13	1,13
700 - 800	2,39	2,60	12,30	13,38	2,40	2,61	12,87	14,00
800 - 900	4,34	6,94	22,35	35,73	4,41	7,02	23,66	37,66
900 - 1000	3,84	10,78	19,77	55,50	3,71	10,73	19,90	57,56
1000 - 1100	3,08	13,86	15,86	71,36	2,58	13,31	13,84	71,40
1100 - 1200	1,91	15,78	9,84	81,20	1,68	14,99	9,01	80,41
1200 - 1300	1,41	17,19	7,26	88,46	1,41	16,40	7,56	87,97
1300 - 1400	0,96	18,15	4,94	93,40	0,96	17,36	5,15	93,12
1400 - 1500	0,79	19,94	4,07	97,47	0,79	18,15	4,24	97,36
1500 - 1600	0,37	19,30	1,91	99,38	0,37	18,52	1,98	99,34
> 1600	0,12	19,42	0,62	100	0,12	18,64	0,64	99,98

Tableau 14 : Répartition hypsométrique sur les bassins versants du Ternèze à la station du Pont de Boyat.

II.1.2.2. Répartition hypsométrique (figures 31 et 32).

Dans le tableau 14 nous donnons la répartition altimétrique par tranche de 100 mètres pour les bassins versants géographique et réel.

L'altitude minimale est 636 mètres (station du Pont de Boyat), l'altitude maximale est 1680 mètres (Pointe de la Galoppaz).

La tranche d'altitude la plus fréquente tant pour le bassin versant géographique que réel est 800-900 mètres. Cette altitude correspond à la plaine qui s'étend de La Thuile et de Nécuidet jusqu'à Monthoux.

On remarque que 80% de la superficie totale est comprise entre 636 mètres et 1200 mètres.

II.1.2.3. Altitudes moyenne et médiane.

L'altitude moyenne est donnée par la formule

$$\bar{H} = \frac{\sum_1^n s h}{S}$$

s : surface de tranche d'altitude en m²
h : altitude moyenne entre deux tranches d'altitude en mètre.

L'altitude médiane correspond à 50% de la courbe hypsométrique.

Caractéristiques	Bassin versant Ternèze	
	géographique	Réel
(m) H _{max.}	1680	1680
(m) H _{mini.}	636	636
S (km ²)	19,42	18,64
(m) \bar{H}	1013	1010
(m) H médiane	980	965

C'est l'altitude moyenne qui est la plus représentative du bassin versant.

II.1.2.4. Indice de pente.

La pente moyenne du bassin est donnée par l'indice de Roche : cet indice de pente est la moyenne pondérée par les surfaces, des racines carrées des pentes. Il se calcule à partir du rectangle équivalent.

$$I_p = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^{i=n} x_i \sqrt{\frac{a_i - a_{i-1}}{x_i}}$$

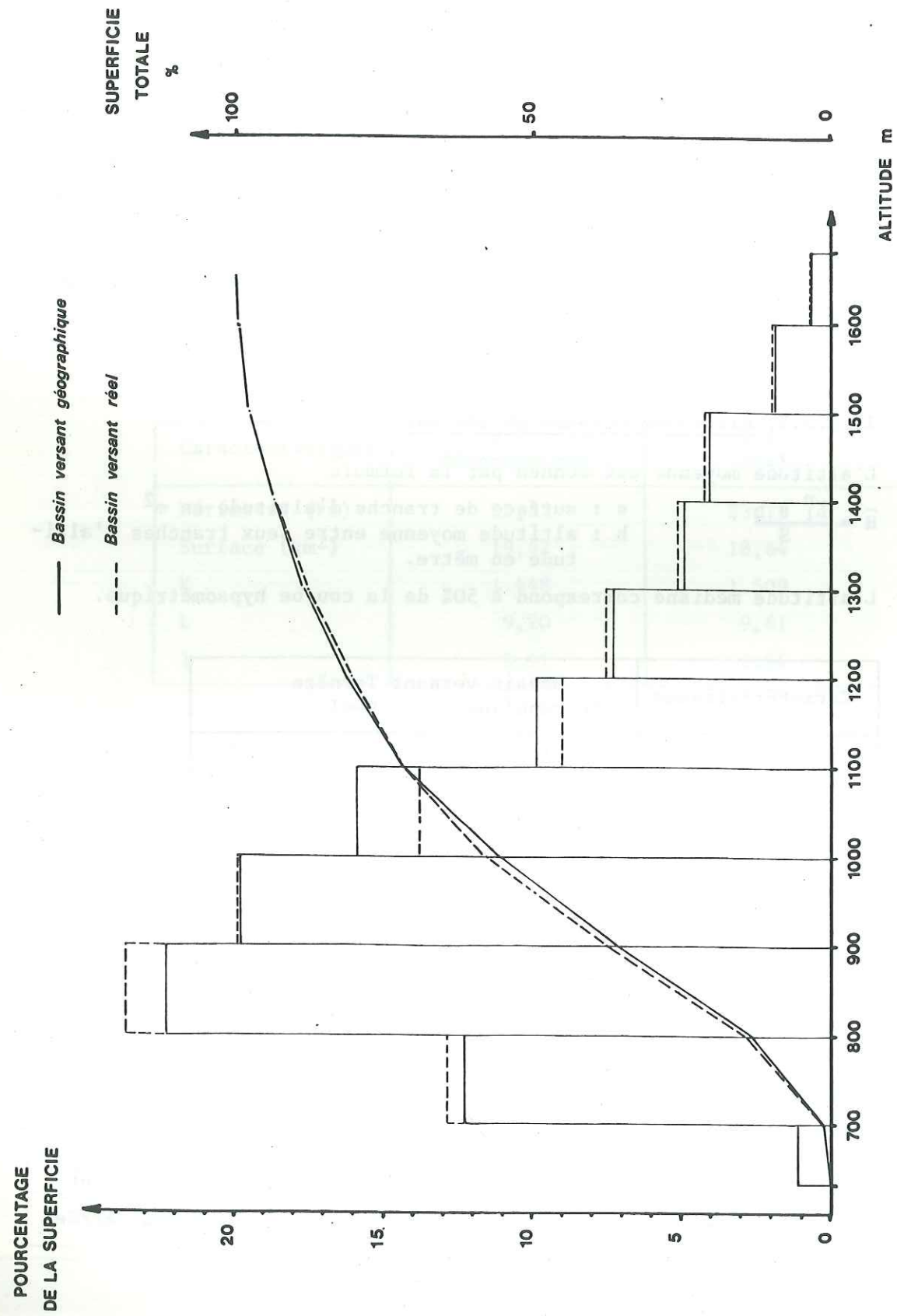


Fig 31 : BASSIN VERSANT DU TERNEZE
Fréquences altimétriques et courbes hypsométriques

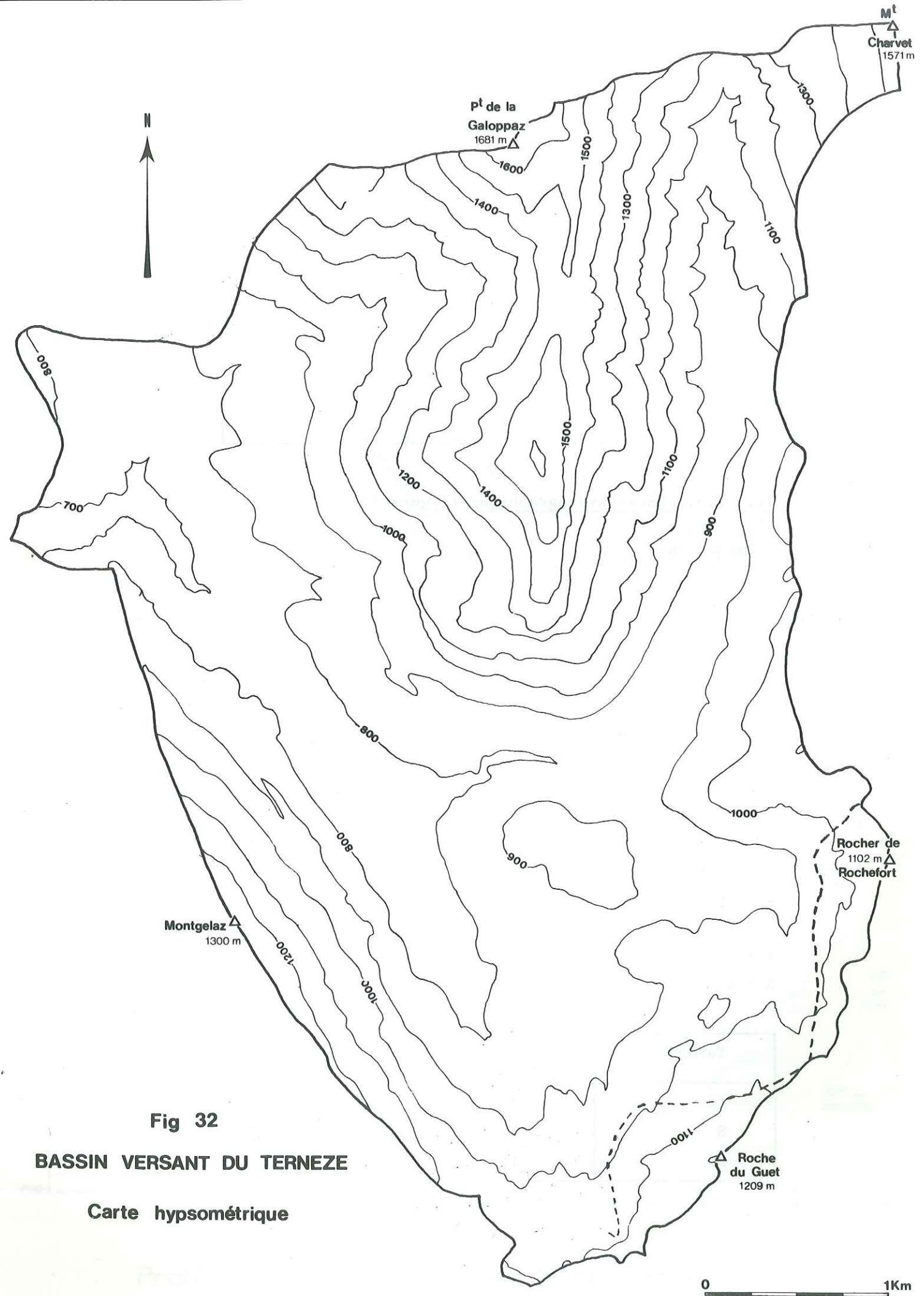


Fig 32
BASSIN VERSANT DU TERNEZE
Carte hypsométrique

L: longueur du rectangle équivalent

x_i : distance séparant deux courbes de niveau

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^{i=n} \sqrt{F_i (a_i - a_{i-1})}$$

F_i : fraction de la surface totale du bassin versant comprise entre les courbes de niveau a_i et a_{i-1}

Bassin du Ternèze	Géographique	réel
I_p	0,309	0,308

II.1.2.5. Réseau hydrographique (figure 33).

. Profil en long :

Le Ternèze prend sa source sous le sol du Lindar. Sa longueur jusqu'au Pont de Boyat est de 8,5 km et de 12 km jusqu'à sa confluence avec la Leysse.

Sa direction est N-S jusqu'au ruisseau du Lac puis E-W jusqu'au ruisseau de Nécuidet et, enfin, S-N jusqu'à sa confluence. Son affluent principal est le ruisseau du Dard.

. Densité de drainage :

La densité de drainage d'un bassin versant est la longueur du réseau hydrographique par km^2 .

$$Dd = \frac{Lr}{S}$$

L : longueur du réseau hydrographique en km.

S : surface du bassin versant en km^2 .

Ternèze	Bassin versant géographique	réel
Lr	22	22
S	19,42	18,64
Dd	1,13	1,18

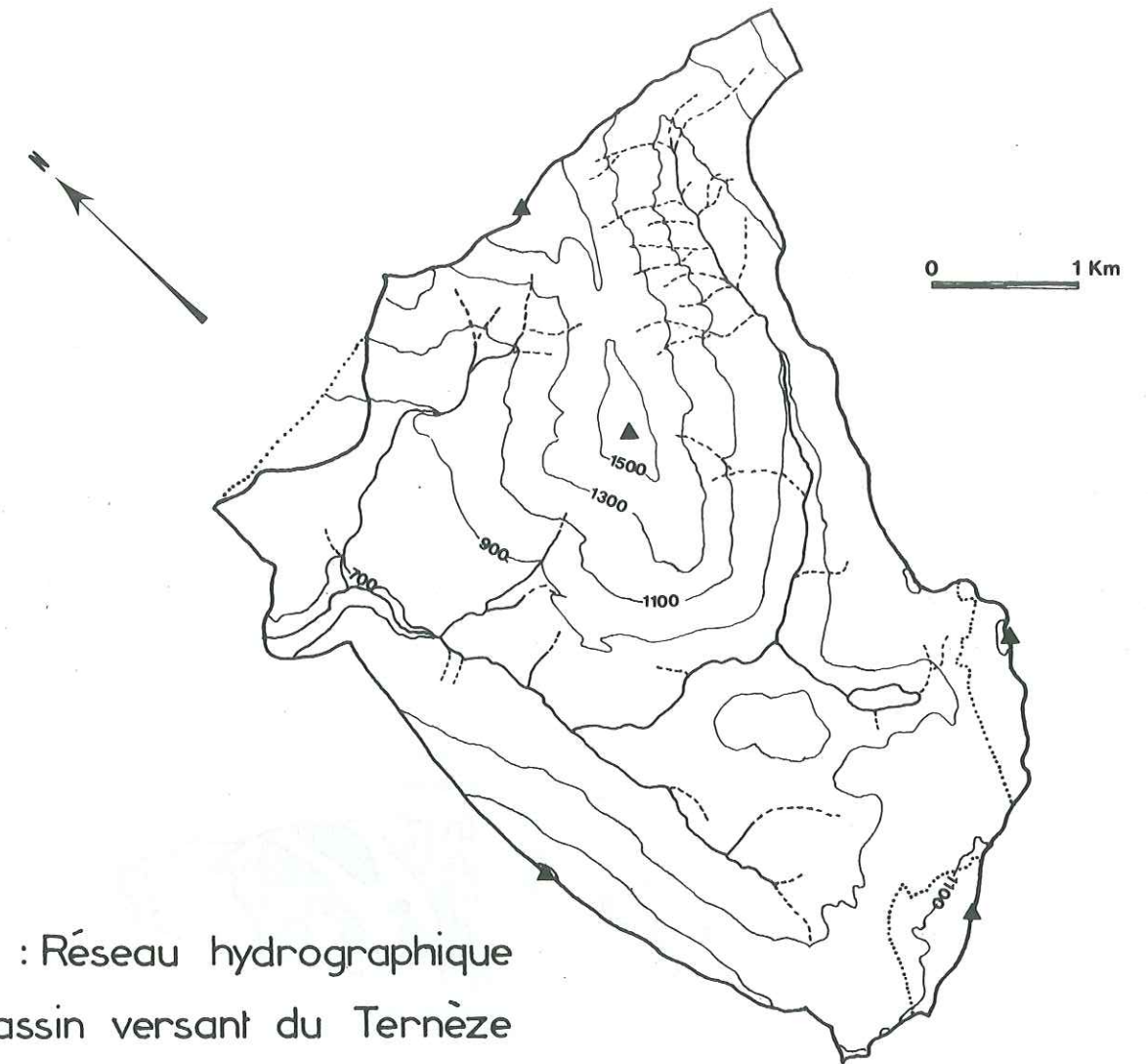
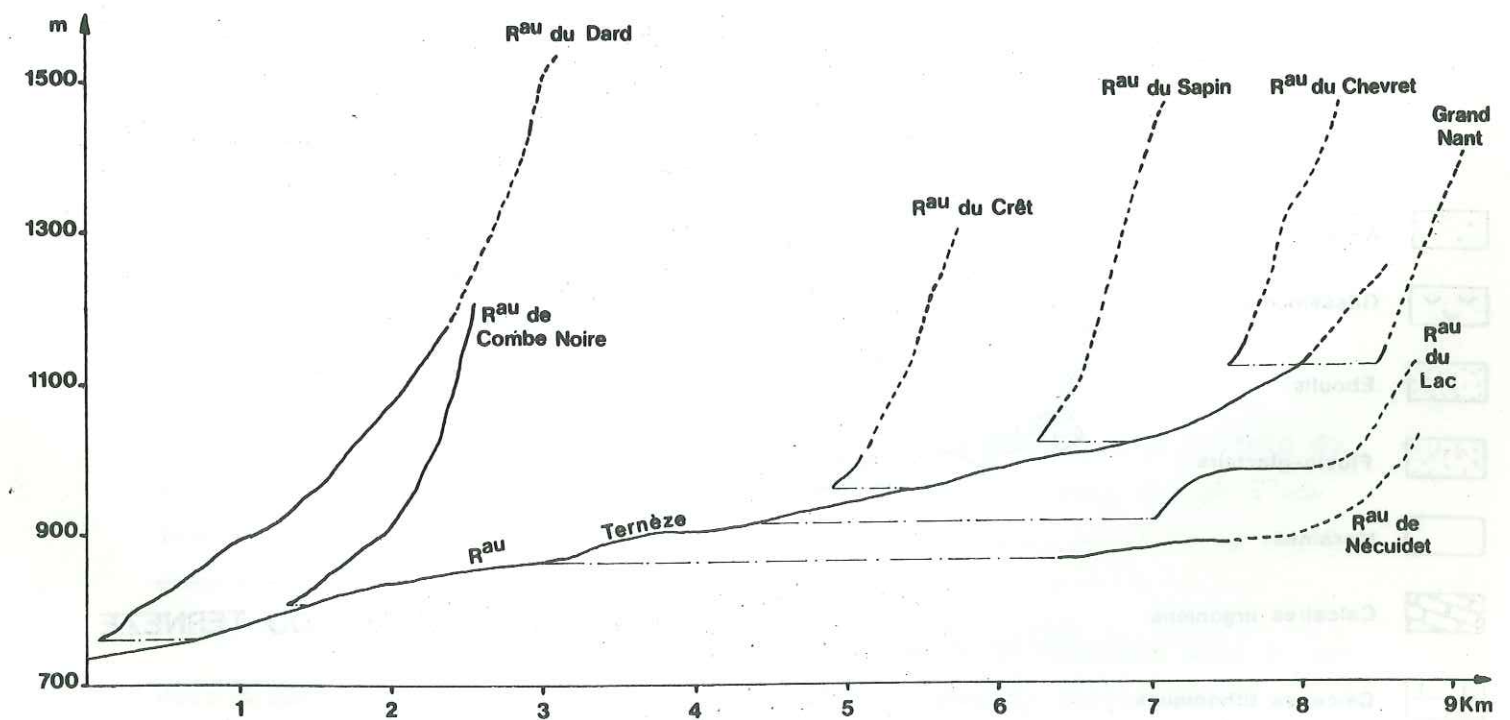


Fig 33 : Réseau hydrographique du bassin versant du Ternèze



Profil en long du Ternèze et de ses affluents

II.1.3. Caractéristiques géologiques du bassin versant (figure 34).

Le substratum du bassin versant du Ternèze est constitué par des terrains allant du Jurassique supérieur à l'Aquitanien.

Du fait de sa structure synclinale, le centre du bassin versant est occupé par les calcaires urgoniens et sénoniens, les rebords Ouest et Sud par les calcaires du Jurassique supérieur et le reste du bassin par les marnes et marno-calcaires du Crétacé inférieur.

Ce substratum est masqué par des formations quaternaires importantes (46%). Les moraines occupent les parties basses du bassin versant, de la Thuile jusqu'au pont de Boyat. Les éboulis sont abondants au pied des falaises calcaires urgoniennes du Pic de la Saugé à la pointe de la Galoppaz.

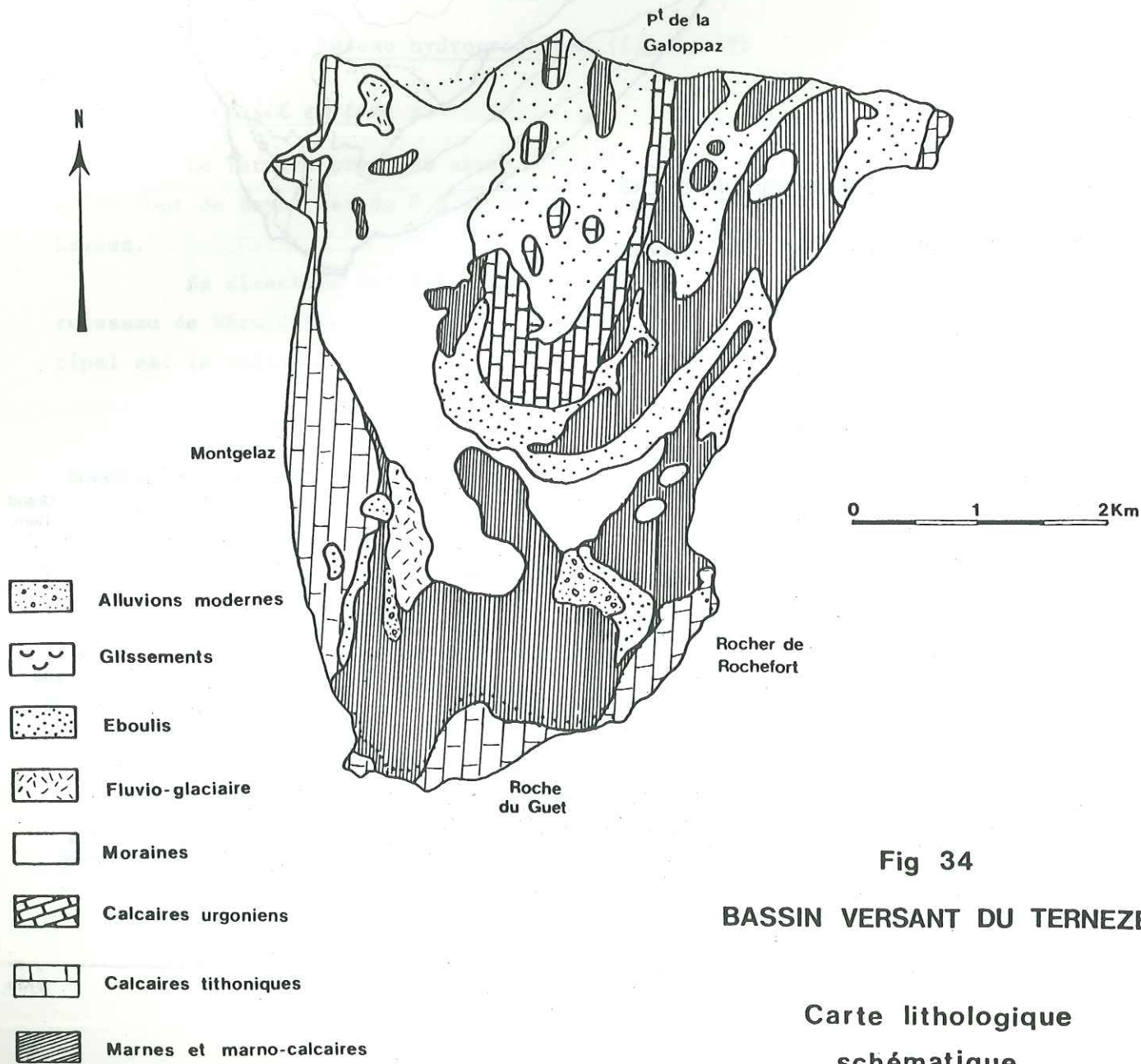


Fig 34

BASSIN VERSANT DU TERNEZE

Carte lithologique
schématique

La répartition des différents terrains est donnée dans le tableau

15 :

Bassin versant Terrains	Géographique		réel	
	S km ²	%	S	%
Moraines	3,80	19,6	3,93	21,1
Eboulis	4,47	23	4,47	24
Fluvio-glaciaire	0,70	3,6	0,7	3,7
Calc. Jur. Sup.	3,85	2,50	19,8	12,9
Calc. Ur. + Séno.	1,35	6,9	1,35	7,2
Marno-calcaires	6,60	34	6,54	35,1

Tableau 15 : Caractéristiques géologiques du bassin versant du Ternèze.

II.1.4. Végétation et activités humaines :

La végétation peut être divisée en deux grands ensembles :

- les prairies (pâturage et fourrage) et les cultures qui représentent 63% de la surface du bassin versant. Les surfaces cultivées sont localisées dans les parties basses du bassin entre Nécuidet et Puygros ;
- les forêts (feuillus et conifères) qui occupent 35% du bassin versant.

L'activité humaine se limite à l'élevage des bovins.

II.2. LES BASSINS VERSANTS DU NANT D'AILLON.

II.2.1. Limites du bassin versant :

Le bassin versant du Nant d'Aillon, situé directement au Nord du bassin du Ternèze, est un sous bassin du Chéran. Nous l'avons équipé d'une station limnimétrique au pont du Villaret, 500 mètres en amont de sa confluence avec le Chéran.

L'étude du bassin versant de l'exsurgence du Pissieux nous a conduit à installer une station supplémentaire, en amont de cette source, sur le Nant d'Aillon, que nous avons appelé station de Cimeteret.

Nous avons donc étudié le bassin versant du Nant d'Aillon en amont du pont du Villaret Rouge et en amont de la station du Cimeteret.

II.2.1.1. Limites du bassin versant à l'amont du Pont du Villaret.

Le bassin versant est limité :

- à l'Est, par le Dent de Rossane (1891m), le Mont Colombier (2043m), le Mont Chardonnet (1405m), le Mont Pelat (1543m) et le Mont Charvet (1572m) ;
- au Sud, par le Col du Lindar (1187m), la Pointe de la Galoppaz (1680m), le Col de la Buffaz (1439m), le Mont de la Buffaz (1660m) et le Col des Prés (1135m) ;
- à l'Ouest, la pointe des Torchets (1469m) et le Roc Margérian (1845m), c'est-à-dire l'arête Ouest du Mont Margérian.

Sa superficie totale est de 59,35 km².

L'étude du tracé des isohypses du toit de l'Hauterivien du bassin versant du Nant d'Aillon, sous le massif du Colombier, nous a conduit à éliminer une surface de 0,58 km². Cette surface est à ajouter au bassin versant de l'exurgence karstique de Leyat, située en rive gauche du Chéran au hameau de la scierie de Leyat.

La superficie réelle du bassin versant d'Aillon, en amont du pont du Villaret Rouge est donc de 58,77 km².

II.2.1.2. Limites du bassin versant en amont de la station du Cimeteret.

Ce sous bassin versant est limité :

- au Nord, par les Grandes Cotes (1811m) et par les arêtes rive gauche du Nant des Bories et du ruisseau du Marié.

Les autres limites sont les mêmes que pour le bassin versant en amont du pont du Villaret Rouge.

Sa superficie est de 55,69 km².

Ce bassin versant géographique contient le bassin versant de l'exurgence karstique du Pissieux.

La limite réelle W du bassin versant en amont de la station limnimétrique du Cimeteret est donc la base de la dalle urgonienne du Mont Margérian que nous pouvons schématiser par une ligne joignant la station à la pointe des Torchets.

Sa superficie réelle est de 37,44 km².

II.2.2. Caractéristiques morphométriques :

Nous donnons chacune des caractéristiques pour les bassins versants géographiques réels en amont des stations limnimétriques du Pont du Villaret Rouge et du Cimeteret.

Les formules utilisées sont les mêmes que pour le bassin versant du Ternèze.

II.2.2.1. Indice de compacité rectangle équivalent.

Bassins Versants Caractéristiques	Villaret		Cimeteret	
	Géographique	Réel	Géographique	réel
S km ²	59,35	58,77	55,69	37,44
P km	38,52	39,10	36,42	33,25
L km	15,41	15,84	14,32	13,94
l km	3,85	3,71	3,89	2,69
K	1,41	1,44	1,38	1,53

Nous rappelons que si K = 1,4, le bassin versant sera quatre fois plus long que large et si K = 1,5 il sera cinq fois plus long.

Les bassins versants du Nant d'Aillon en amont du pont du Villaret et en amont de la station limnimétrique du Cimeteret ont des formes allongées selon une direction N-NE - S-SW.

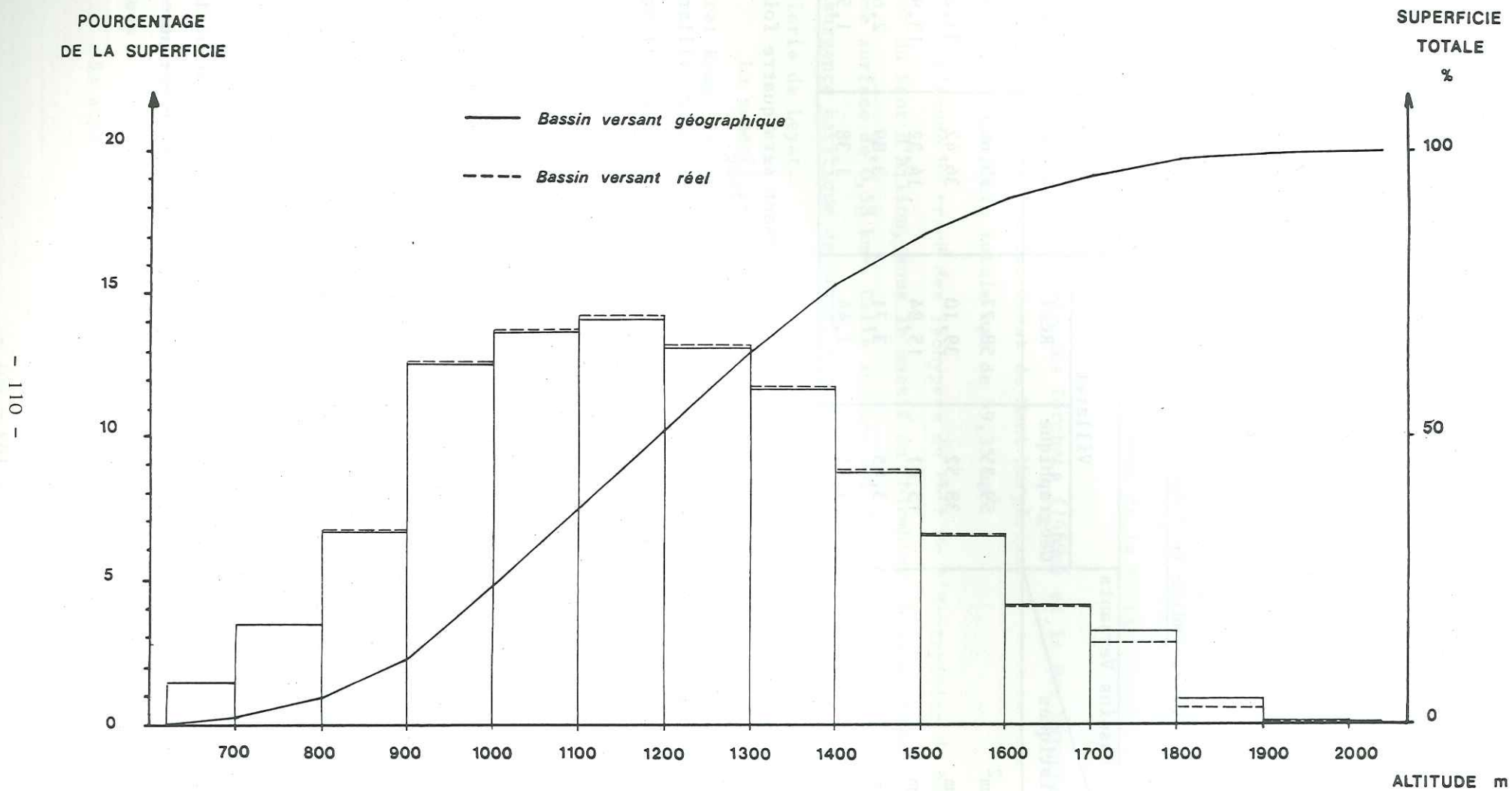
II.2.2.2. Répartition hypsométrique (figures 35 et 36).

Dans le tableau 16 nous donnons la répartition altimétrique par tranche de 100 mètres pour les bassins versants géographiques et réels du Villaret et du Cimeteret.

Pour les bassins versants géographiques et réels du Villaret, la tranche d'altitude la plus fréquente est 1100-1200. Leur altitude minimale est de 620 (pont du Villaret) et leur altitude maximale 2043 mètres (Mont Colombier).

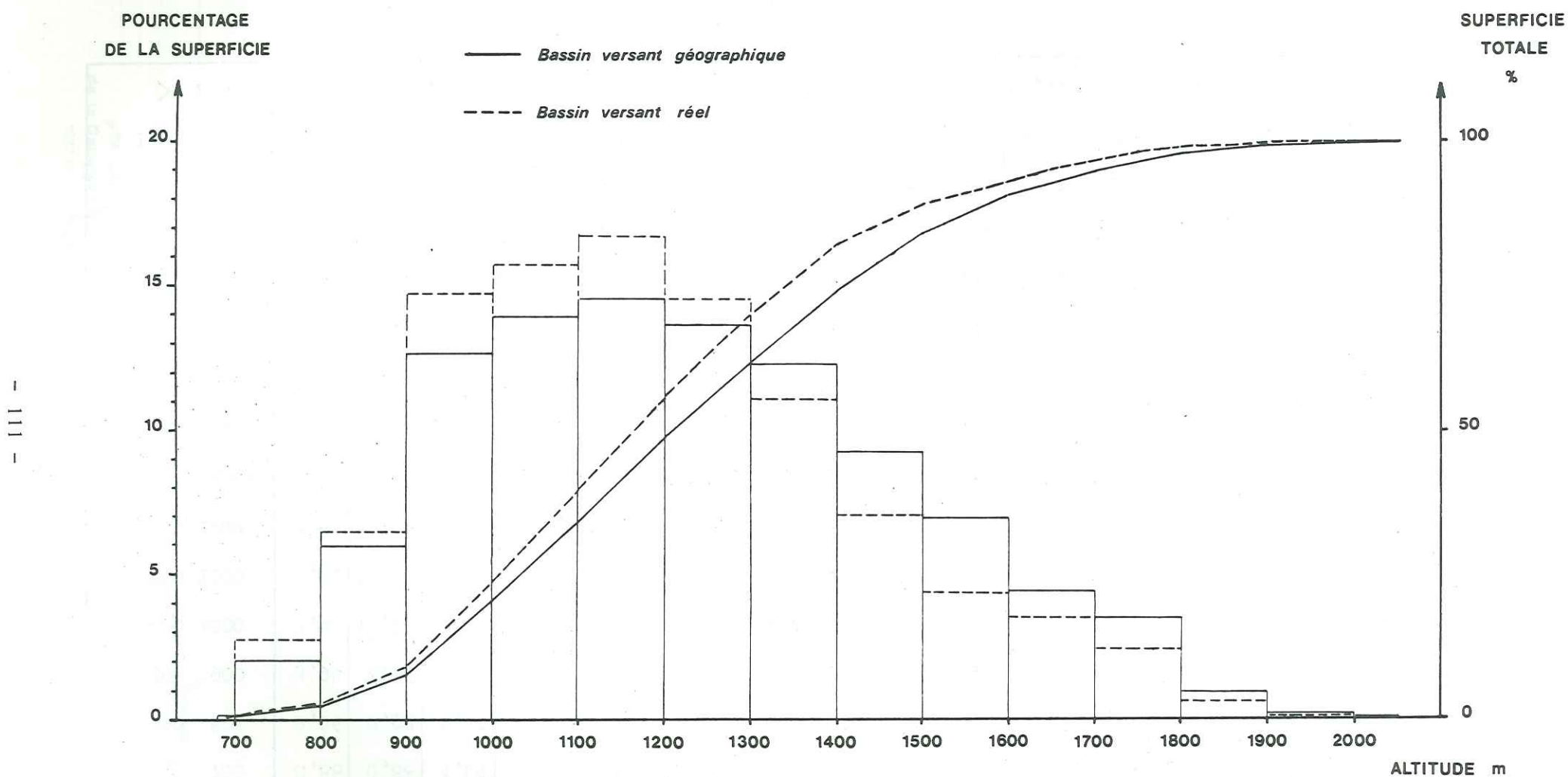
Pour le bassin versant géographique du Cimeteret la tranche d'altitude 1100-1200 est la plus fréquente, et 1000-1100 pour le bassin versant réel.

Fig 35 :BASSIN VERSANT DU NANT D'AILLON A LA STATION DU VILLARET



Fréquences altimétriques et courbe hypsométrique

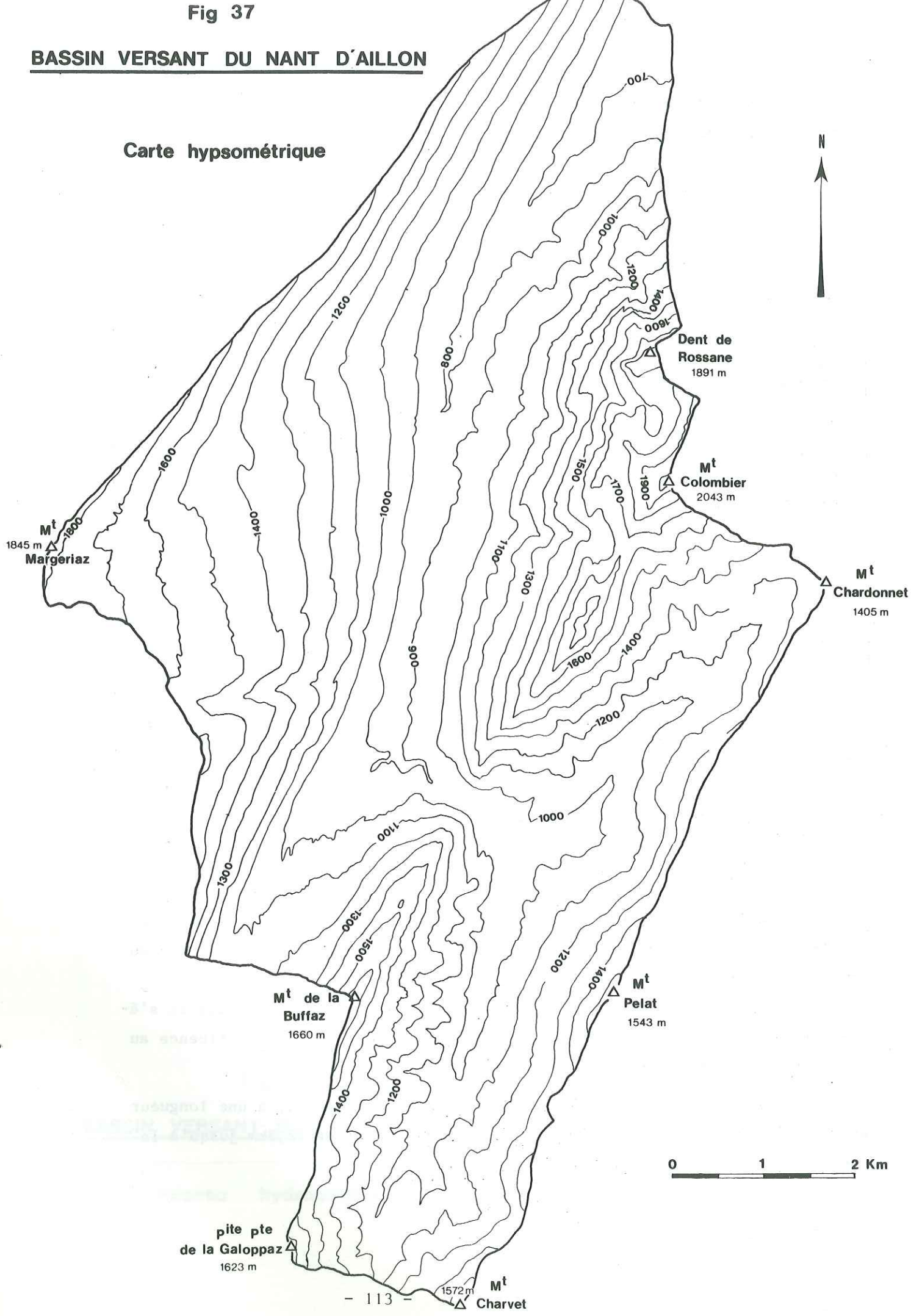
Fig 36 .BASSIN VERSANT DU NANT D'AILLON A LA STATION DU CIMETERET



Fréquences altimétriques et courbes hypsométriques

TRANCHES d'ALTITUDE (m)	Bassin versant Villaret						Bassin versant Ciméteret					
	Géographique			Réel			Géographique			Réel		
	S (km ²)	Σ S (km ²)	%	Σ %	S (km ²)	%	Σ %	S (km ²)	Σ S (km ²)	%	Σ %	
< 700	0,86	0,86	1,45	1,45	0,86	1,46	1,46	0,07	0,07	0,19	0,19	
700 800	2,06	2,92	3,47	4,92	2,06	2,92	3,50	1,02	1,09	2,72	2,91	
800 900	3,94	6,86	6,64	11,55	3,94	6,86	6,70	2,41	3,50	6,43	9,34	
900 1000	7,42	14,28	12,50	24,06	7,42	14,28	12,62	5,52	9,02	14,74	24,08	
1000 1100	8,06	22,34	13,58	37,64	8,06	22,34	13,71	5,89	14,91	15,73	39,81	
1100 1200	8,33	30,67	14,04	51,68	8,33	30,67	14,17	6,24	21,15	16,66	55,47	
1200 1300	7,74	38,41	13,04	64,72	7,74	38,41	13,17	5,42	26,57	14,48	70,95	
1300 1400	6,88	45,29	11,59	76,31	6,88	45,29	11,70	4,16	30,73	11,11	82,06	
1400 1500	5,18	50,47	8,72	85,04	5,18	50,47	8,81	2,63	33,36	7,02	89,08	
1500 1600	3,86	54,33	6,50	91,54	3,86	54,33	6,57	1,63	34,99	4,35	93,43	
1600 1700	2,46	56,79	4,14	95,69	2,41	56,74	4,10	1,29	36,28	3,45	96,88	
1700 1800	1,92	58,71	3,23	98,92	1,66	58,40	2,82	0,90	37,18	2,40	99,28	
1800 1900	0,52	59,23	0,88	99,79	0,33	58,73	0,56	0,21	37,39	0,56	99,84	
1900 2000	0,09	59,32	0,15	99,94	0,03	58,76	0,05	0,03	37,42	0,08	99,92	
> 2000	0,03	59,35	0,05	99,99	0,02	58,78	0,03	0,02	37,44	0,05	99,97	

Tableau 16 : Répartition hypsométrique sur le bassin versant du Nant d'Aillon aux stations du Villaret et du Ciméteret



On peut également remarquer sur le tableau 16 que, entre 900m et 1400m les tranches d'altitudes ont des pourcentages très voisins et 80% de la surface totale est comprise entre 620 et 1450m pour le bassin du Villaret et 670-1370m pour le bassin réel du Cimeteret.

II.2.2.3. Altitudes moyennes médianes.

Bassins Versants Caractéristiques	Villaret		Cimeteret	
	Géographique	réel	Géographique	réel
(m) H min.	620	620	680	680
(m) H max.	2043	2043	2043	2043
(km ²) S	59,35	58,78	55,69	37,44
(m) \bar{H}	1207	1201	1229	1185
(m) H médiane	1193	1185	1207	1165

II.2.2.4. Indice de pente.

	Villaret		Cimeteret	
	Géographique	réel	Géographique	réel
Ip	0,276	0,269	0,279	0,277

II.2.2.5. Réseau hydrographique (figure 38).

. Profil en long (figure 39).

Le Nant d'Aillon est issu de la confluence de deux ruisseaux : le ruisseau de la Fullie qui prend sa source au col de la Fullie et s'écoule du Nord vers le Sud.

le ruisseau du Lindar, qui prend sa source au col du Lindar et s'écoule du Sud vers le Nord. Leur longueur respective jusqu'à la confluence au niveau de la station de ski des Aillons est de 5 et 6 km.

Le Nant d'Aillon, qui s'écoule du Sud vers le Nord, a une longueur de 10 km jusqu'à la station limnimétrique du Cimeteret et 12,3km jusqu'à la station du pont du Villaret.

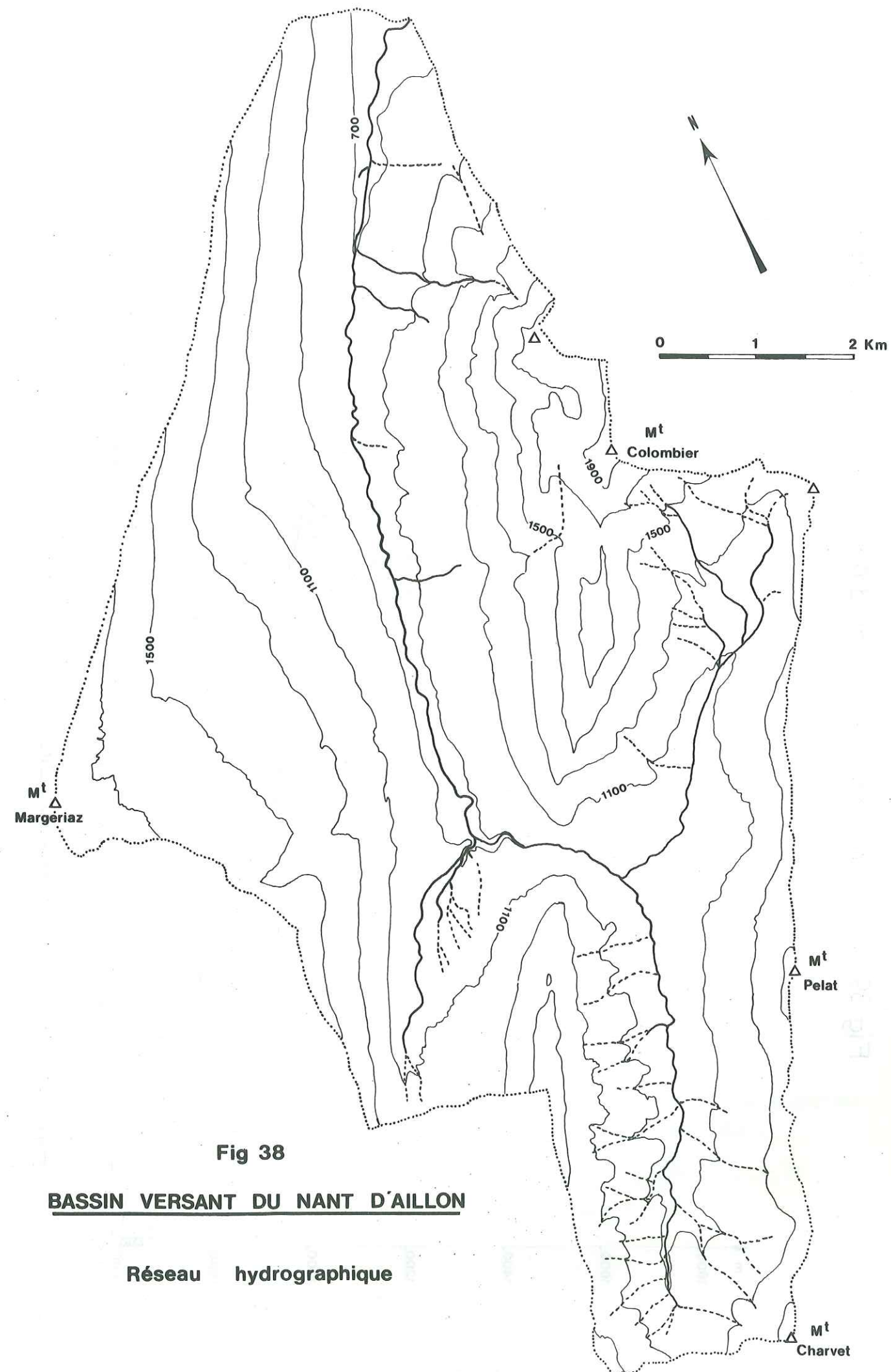
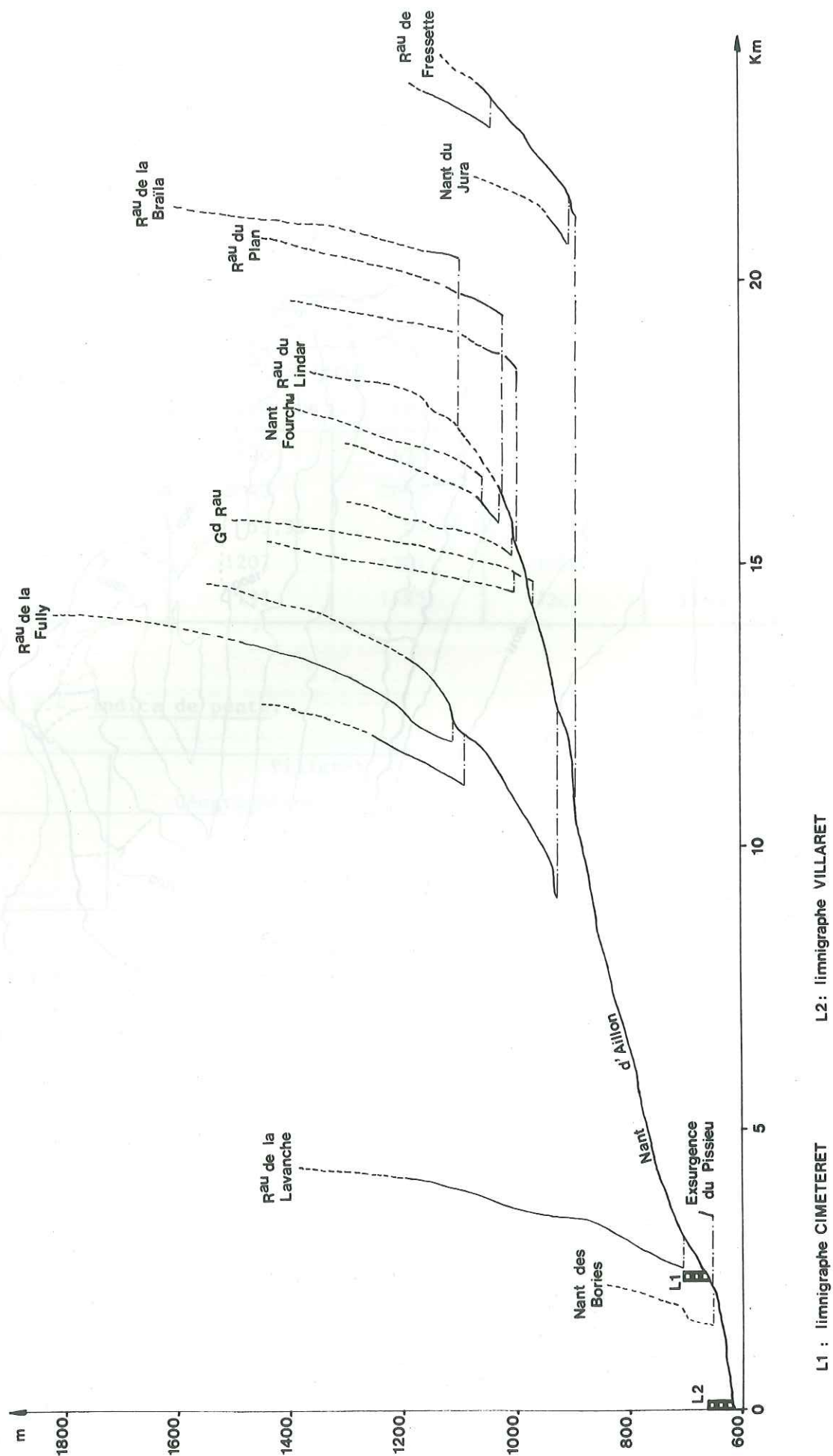


Fig 38

BASSIN VERSANT DU NANT D'AILLON

Réseau hydrographique

Fig 39 : Profil en long du Nant d'Aillon et de ses affluents



L1 : limnigraphe CIMETERET

L2 : limnigraphe VILLARET

- Densité de drainage.

	Villaret		Cimeteret	
	géographique	réel	géographique	réel
Lr	48,5	48,5	45,6	45,6
S	59,35	58,77	55,69	37,44
Dd	0,817	0,825	0,819	1,218

On note dans ce tableau l'importance de la dalle urgonienne karstique du Margéziat qui est responsable de la faible densité de drainage des bassins versants du Villaret.

II.2.3. Caractéristiques géologiques du bassin versant (figure 40).

Le substratum du bassin versant du Nant d'Aillon comprend des terrains allant du Jurassique supérieur à l'Aquitainien.

Le bassin versant peut être divisé en deux ensembles : un rectangle Ouest, où coule le Nant d'Aillon, correspondant au synclinal des Aillons, occupé en majeure partie par les calcaires avec, au centre, les terrains éocènes et oligocènes, un rectangle Est ou anticlinal du Mont Charvet où coulent les ruisseaux de la Fullie et du Lindar, bordé à l'Est par les calcaires du Jurassique supérieur et à l'Ouest par les calcaires urgoniens. Le centre du rectangle est occupé par les marnes et marno-calcaires du Crétacé inférieur.

Les terrains quaternaires sont très abondants (48%). Les moraines occupent les vallons du ruisseau de la Fullie et même du Lindar, et toute la vallée du Nant d'Aillon, du Col des Prés au Chéran. Près du Chéran, on peut observer les formations de l'interglaciaire Riss-Würm.

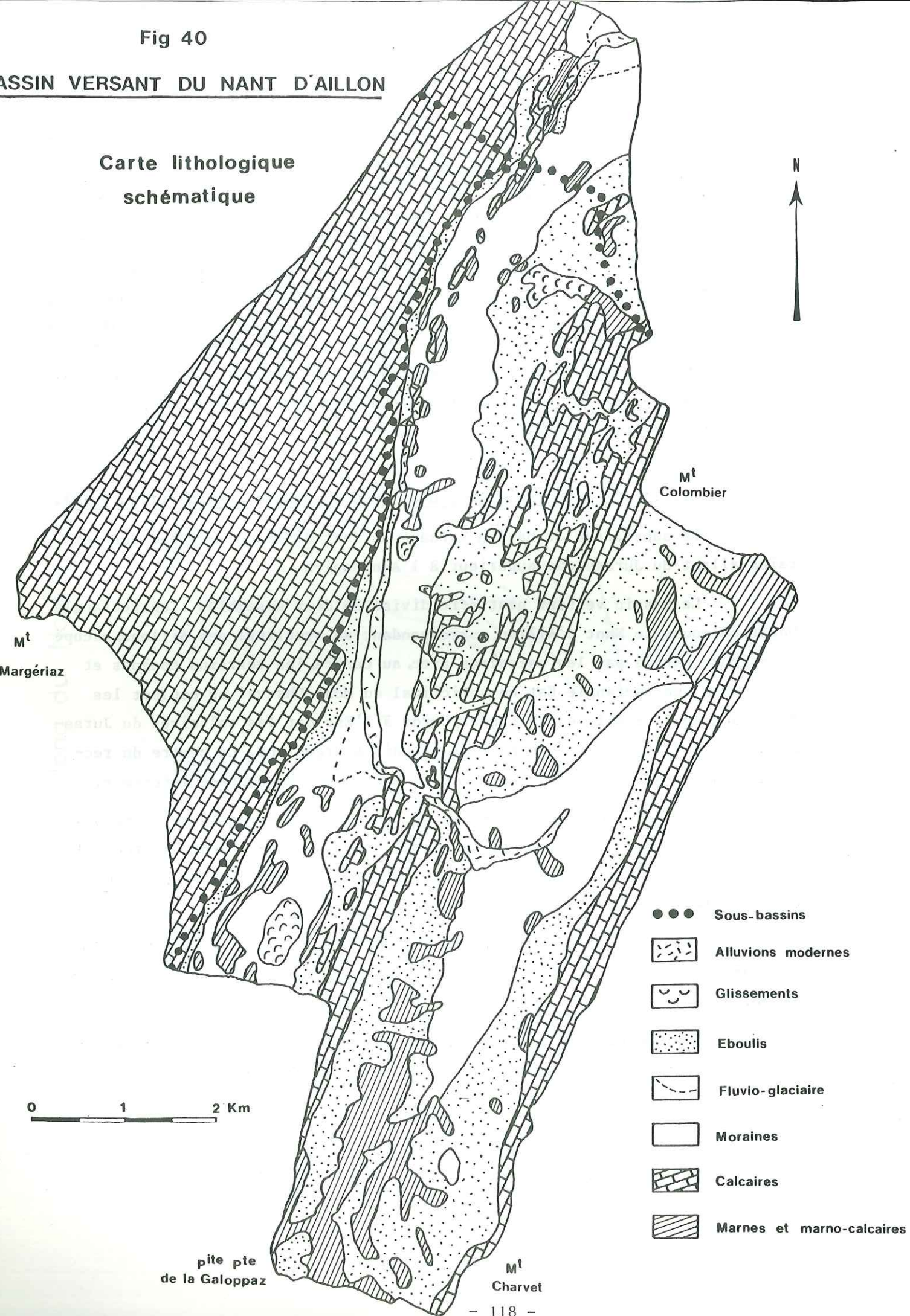
Les éboulis sont très abondants dans les massifs du Colombier, du Mont de la Buffe et au pied des calcaires Jurassiques du Mont Charvet au Mont Pelat.

Dans le tableau 17 nous donnons la répartition des terrains sur les bassins géographique et réel en amont du Villaret et du Cimeteret.

Fig 40

BASSIN VERSANT DU NANT D'AILLON

Carte lithologique schématique



Terrains	Pont Villaret				Cimeteret			
	géographique		réel		géographique		réel	
	S	%	S	%	S	%	S	%
Alluvions	1	1,7%	1	1,8%	0,85	1,5%	0,85	2,3%
Glissements	0,85	1,3%	0,85	1,3%	0,85	1,5%	0,85	2,3%
Eboulis	16	27 %	15,8	26,9%	15,49	27,8%	15,3	40,9%
Fluvio-glaciaire	0,85	1,4%	0,85	1,4%	-	-	-	-
Moraines	9,53	16,2%	9,53	16,3%	8,70	15,7%	8,70	23,2%
Calcaires	26,09	43,9%	25,69	43,7%	24,99	44,9%	6,93	18,5%
Marno-calcaires	5,03	8,5%	5,03	8,6%	4,81	8,6%	4,81	12,8%

Tableau 17 : Caractéristiques géologiques des bassins versants du Nant d'Aillon.

II.2.4. Végétation, activité humaine :

La forêt occupe 65% de la superficie du bassin versant avec de grandes étendues de conifères dans les forêts du Lindar, du Mont de la Buffe et du Margérianz.

La prairie 35% est surtout destinée au fourrage pour l'élevage des bovins.

Le massif du Colombier et la partie sommitale du plateau du Margérianz accueillent les alpages d'été.

Les cultures proprement dites ne se rencontrent que dans les parties basses du bassin versant aux alentours d'Aillon le Jeune sur les terrains quaternaires.

La principale activité du bassin versant est réservée aux sports d'hiver avec des aménagements sur sa bordure Est. Un stade de neige est en cours de réalisation sur le plateau du Mont Margérianz.

II.3. LES BASSINS VERSANTS KARSTIQUES.

Les différents traçages réalisés, ainsi que l'étude de terrain, nous ont permis de délimiter les bassins versants des principales exurgences karstiques du secteur étudié.

Les aires d'alimentation de chaque source seront, comme pour les bassins versants des ruisseaux, définies par leurs caractères morphométriques et géologiques.

II.3.1. L'exsurgence du Pissieux :

II.3.1.1. Limites.

Les limites du bassin versant de l'exsurgence du Pissieux sont les suivantes :

- à l'Ouest, les crêtes du Mont Margérianz ;
- à l'Est, les limites des affleurements urgoniens.

Certaines zones des affleurements urgoniens ont été éliminées en raison de leur forte pente topographique. En période de fortes pluies, les ruissellements y sont très fréquents (Le Martinet, Blanchar).

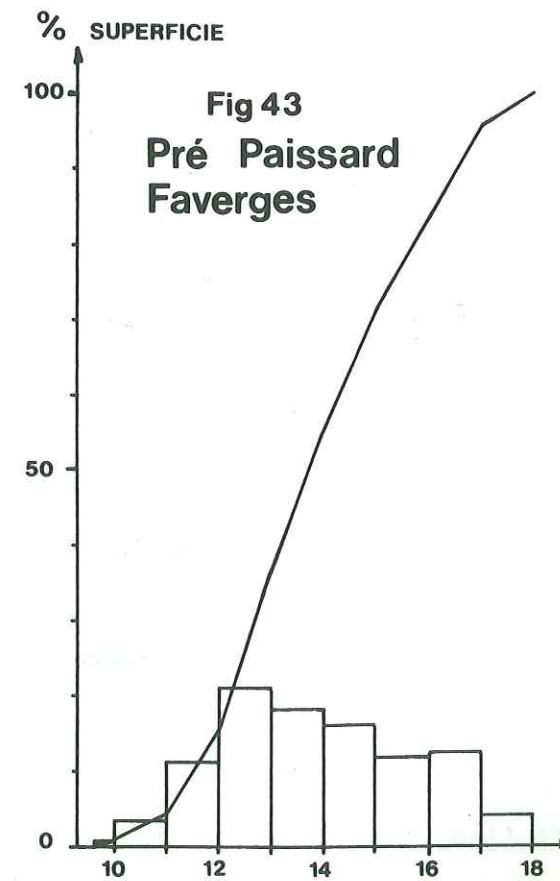
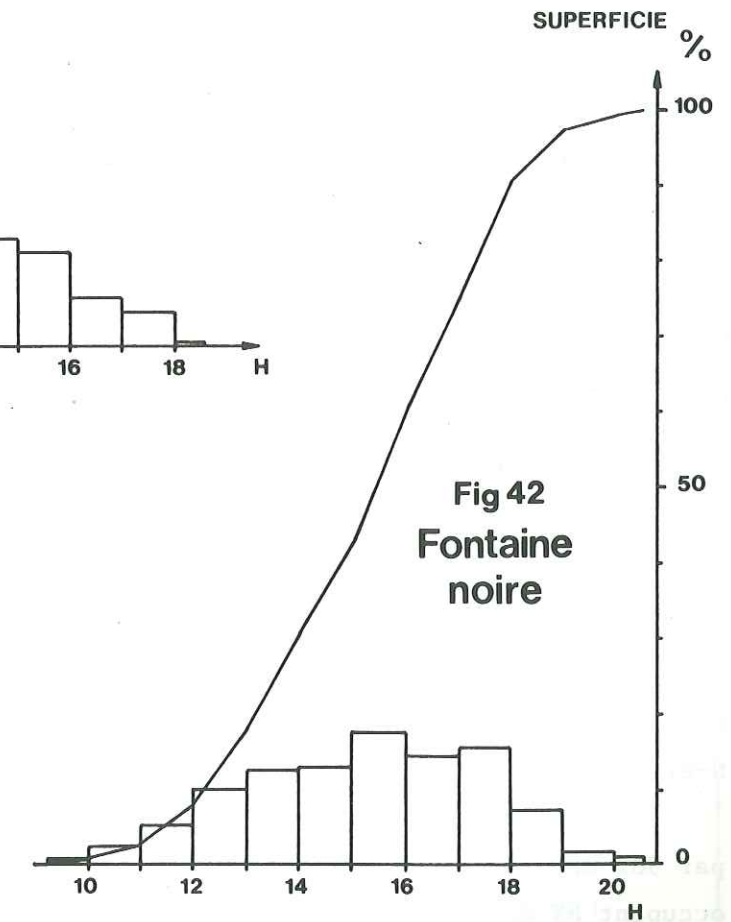
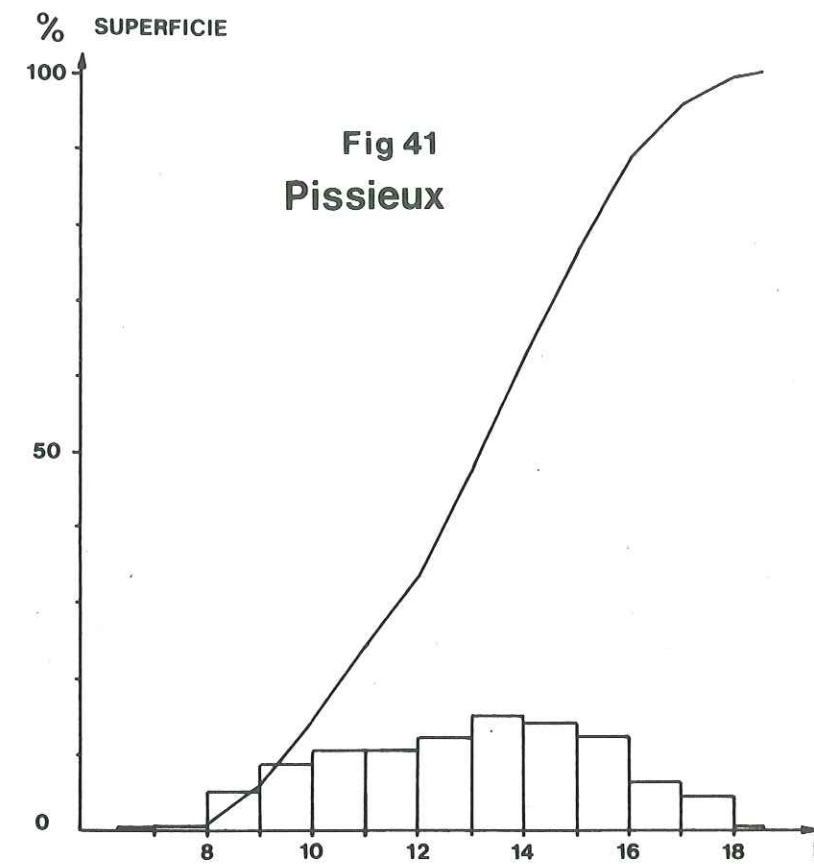
Les affleurements de calcaires nummulitiques ont été inclus dans les surfaces. L'importante fracturation qui affecte ces calcaires permet d'envisager leur liaison hydrologique avec l'Urgonien. Leur surface est toutefois très réduite.

- au Sud, la limite du bassin versant d'Aillon. Aucun critère géologique ne permet de limiter ce bassin au Sud. Aucune source provenant directement de l'Urgonien n'est visible au Sud du Col des Prés. Seul un traçage permettrait de confirmer ou non, l'appartenance de ce secteur au bassin versant du Pissieux, mais d'énormes difficultés rendraient cette expérience impossible (absente de perte, apport artificiel non envisageable). Nous avons donc choisi une limite théorique : la limite du bassin versant du Nant d'Aillon. Les surfaces susceptibles d'être rajoutées au bassin versant du Pissieux représente à peine 2% de la surface totale.
- au Nord, nous avons choisi la limite géographique.

II.3.1.2. Caractéristiques (figure 41).

La surface totale du bassin versant ainsi délimitée est de 17,66 km².

La répartition altimétrique est indiquée dans le tableau 18. L'altitude maximale est atteinte au sommet du Mont Margérianz (1845m), l'exsurgence est à 670 mètres. La tranche d'altitude la plus fréquente est 1300-1400 mètres, ce qui correspond au secteur appelé "la Plateforme".



H : Altitudes en centaines de mètres

Fréquences altimétriques
Courbes hypsométriques

Tranche d'altitude (m)	Surface (km ²)	% de la surface totale	surface cumulée (km ²)	% cumulés
< 700	0,01	0,06	0,01	0,06
700- 800	0,08	0,45	0,09	0,51
800- 900	0,88	4,99	0,97	5,50
900-1000	1,52	8,61	2,49	14,11
1000-1100	1,83	10,36	4,32	24,47
1100-1200	1,83	10,36	6,15	33,83
1200-1300	2,16	12,23	8,31	47,06
1300-1400	2,66	15,06	10,97	62,12
1400-1500	2,50	14,16	13,47	76,28
1500-1600	2,22	12,57	15,69	88,85
1600-1700	1,10	6,23	16,79	95,08
1700-1800	0,76	4,30	17,55	99,38
> 1800	0,11	0,67	17,66	100

Tableau 18 : Répartition altimétrique sur le bassin versant de l'exurgence du Pissieux.

Les altitudes médiane et moyenne ont pour valeurs respectives 1320m et 1301m.

Le périmètre étant de 18,55 km cela nous donne un indice de compacité K égal à 1,246. Le bassin versant a une forme rectangulaire allongée N-S.

Quant aux caractères géologiques, le substratum du bassin est formé par 90% de calcaires urgoniens et 2% de calcaires nummulitiques. Les éboulis occupent 8% de la surface totale.

La forêt occupe 80% du bassin versant (feuillus, conifères). La prairie d'alpage se développe au-dessus de 1550m.

L'activité humaine sur ce bassin versant est limitée à l'utilisation des prairies de pâturage durant les mois d'été.

Le site du Margéraz a fait l'objet de l'implantation d'un stade de neige dont la réalisation est en cours.

II.3.2. Exurgences de Fontaine Noire (figure 42).

II.3.2.1. Limites du bassin versant.

Le bassin versant de l'exurgence de Fontaine Noire et des sorties temporaires B3 et grotte du Nant de Rossane, est limité :

- à l'Est, par les crêtes allant du Mont Nau au Mont Colombier ;
- au Nord, par la ligne de partage des eaux dans le synclinal du Colombier. Nous avons fixé cette limite au Nord du Col du Colombier ;
- à l'Ouest, par l'anticlinal de Rossane dans la zone septentrionale et par la limite des calcaires urgoniens dans la zone méridionale.

On doit rappeler qu'une communication avec le bassin versant de la source de Pré Paissard est possible, lors de la fonte des neiges ou de fortes précipitations, par le ruisseau de la Cochette.

II.3.2.2. Caractéristiques.

La surface ainsi délimitée est de 2,82 km². La répartition altimétrique est indiquée dans le tableau 19.

L'altitude maximale du bassin versant est de 2048m (Mont Colombier). L'altitude des émergences est de 920 mètres. La tranche altimétrique la plus fréquente est 1500-1600 mètres.

Tranche d'altitude (m)	Surface km ²	%	Surfaces cumulées (km ²)	% cumulés
< 1000	0,02	0,7	0,02	0,7
1000-1100	0,06	2,1	0,08	2,8
1100-1200	0,14	5,0	0,22	7,8
1200-1300	0,28	9,9	0,50	17,8
1300-1400	0,35	12,4	0,85	30,1
1400-1500	0,36	12,8	1,21	42,9
1500-1600	0,49	17,4	1,70	60,3
1600-1700	0,40	14,2	2,10	74,5
1700-1800	0,44	15,6	2,54	90,1
1800-1900	0,20	7,1	2,74	97,2
1900-2000	0,05	1,8	2,79	98,9
> 2000	0,03	1,1	2,82	100

Tableau 19 : Répartition altimétrique sur le bassin versant des exurgences de Fontaine Noire.

L'altitude moyenne est égale à 1527m, l'altitude médiane 1543m, son périmètre est de 9,5 km, l'indice de compacité est 1,59. Le bassin versant

équivalent à un rectangle dont la longueur orientée N-NE - S-SW est 6 fois plus importante que la largeur.

Ses caractéristiques géologiques sont les suivantes :

- calcaires urgoniens 77% ;
- calcaires sénoniens 4% ;
- albien et calcaires nummulitiques 1% ;
- éboulis 18%.

La végétation forestière se développe jusqu'à l'altitude de 1500m, la superficie restante est occupée par la prairie d'alpage.

Aucune activité humaine n'est présente sur le bassin versant.

II.3.3. Sources de Pré Paissard et des Faverges (figure 43).

Nous avons regroupé ces deux sources, leurs caractères physico-chimiques, comme nous le verrons plus avant dans cette étude, étant identiques.

La source des Faverges semble agir en trop-plein de celle de Pré Paissard.

Leur bassin versant est limité au synclinal de Longe Fullie.

La répartition altimétrique est indiquée dans le tableau 20.

Tranche d'altitude (m)	Surface km ²	% de la surface totale	Surfaces cumulées	% cumulés
< 1000	0,01	0,7	0,01	0,7
1000-1100	0,05	3,5	0,06	4,2
1100-1200	0,16	11,3	0,22	15,5
1200-1300	0,30	21,1	0,52	36,6
1300-1400	0,26	18,3	0,78	54,9
1400-1500	0,23	16,2	1,01	71,1
1500-1600	0,17	12,0	1,18	83,1
1600-1700	0,18	12,7	1,36	95,8
1700-1800	0,06	4,2	1,42	100

Tableau 20 : Répartition altimétrique sur le bassin versant des sources de Pré Paissard et des Faverges.

L'altitude maximale est de 1800m, les émergences sont situées à 970m (Pré Paissard) et 1000m (Faverges).

- altitude moyenne : 1389m

- altitude médiane : 1387m
- périmètre : 5,68 km
- indice de compacité : 1,34

La surface du bassin versant est occupée par 73% de calcaires urgoniens, 1% de calcaires sénoniens et 26% d'éboulis.

La végétation est essentiellement forestière.

II.3.4. Sources d'Arbin (figure 44).

Le bassin versant des sources d'Arbin que nous avons délimité s'étend sur deux régions géographiques :

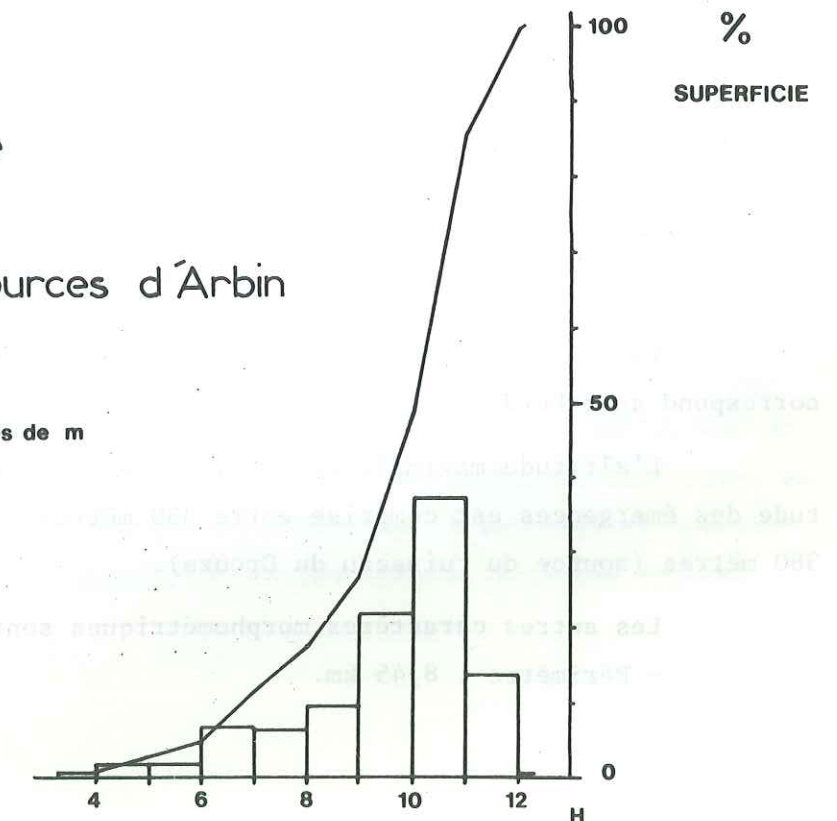
- le bassin versant du Ternèze ;
- la vallée de l'Isère.

Les limites dans le bassin versant du Ternèze ont été fixées en fonction des observations de terrain faites au niveau des calcaires du Jurassique supérieur et, surtout, des marno-calcaires du Berriasien car, comme nous l'avons vu précédemment, une partie de ces derniers participe à l'alimentation des sources d'Arbin. Nous avons donc noté les zones où le ruissellement vers le Ternèze était prépondérant et celles où les relations avec les calcaires jurassiques paraissaient évidentes (doline, faible pendage, zones très fracturées).

Du côté vallée de l'Isère, la limite a été placée entre les calcaires du Kimméridgien inférieur et les marno-calcaires de l'Oxfordien supérieur.

Fig 44
Fréquence altimétrique
Courbe hypsométrique
Bassin versant des sources d'Arbin

H: Altitudes en centaines de m



Les surfaces des pentes, garnies d'éboulis, situées en dessus de l'émergence ont été englobées dans le bassin versant (le grand Banc).

La répartition altimétrique est la suivante :

Tranche d'altitude (m)	Surface km ²	% de la surface totale	Surfaces cumulées (km ²)	% cumulés
< 400	0,02	0,9	0,02	0,9
400- 500	0,04	1,8	0,06	2,7
500- 600	0,04	1,8	0,10	4,5
600- 700	0,15	6,7	0,25	11,2
700- 800	0,14	6,2	0,39	17,4
800- 900	0,21	9,3	0,60	26,7
900-1000	0,49	21,8	1,09	48,5
1000-1100	0,84	37,3	1,93	85,8
1100-1200	0,31	13,8	2,24	99,6
> 1200	0,01	0,4	2,25	100

Tableau 21 : Répartition altimétrique sur le bassin versant des sources d'Arbin.

La surface contenue dans le bassin versant géographique du Ternèze représente 0,82 km² soit 36,4% de la surface totale du bassin versant des sources d'Arbin.

Ils se répartissent de la manière suivante :

Tranche d'altitude (m)	Surface km ²	% de la surface totale
900-1000	0,16	7,1
1000-1100	0,43	19,1
1100-1200	0,23	10,2

La tranche d'altitude la plus fréquente est 1000-1100 mètres. Elle correspond au rebord subalpin de la Roche du Guet au Rocher de Rochefort.

L'altitude maximale est de 1209 mètres à la Roche du Guet, l'altitude des émergences est comprise entre 330 mètres (source du Ruisseau) et 380 mètres (source du ruisseau du Couza).

Les autres caractères morphométriques sont les suivants :

- Périmètre : 8,45 km.

- Indice de compacité : 1,59
- altitude moyenne : 953m
- altitude médiane : 1050m

Le bassin versant est allongé suivant une direction W-SW - E-NE. D'un point de vue géologique, la surface du bassin versant est occupée par 68% de calcaires jurassiques supérieurs, 9% de calcaires berriasiens et 23% d'éboulis.

La végétation comprend des zones de cultures (vigne) proches des émergences, des forêts de feuillus développées sur les versants pentus et des prairies de pâturages dans les parties sommitales.

CONCLUSION.

Nous retiendrons de l'examen des principaux bassins versants étudiés que le bassin versant du Ternèze localisé en bordure Sud du Massif des Bauges et le bassin versant du Nant d'Aillon, situé plus à l'intérieur du massif, ont des caractéristiques morphométriques et surtout géologiques très différentes.

L'altitude moyenne des bassins versants est située entre 1000 et 1200m d'altitude. Le bassin versant du Nant d'Aillon a une surface de 59 km². Il est allongé suivant une direction N-S. Le bassin versant du Ternèze a une surface de 19 km² et une forme plus ramassée.

La surface du bassin versant du Ternèze est formée en majorité par des terrains calcaires du Jurassique supérieur et marno-calcaires du Crétacé inférieur. Celle du Nant d'Aillon, par des terrains calcaires de l'Urgonien. Cette caractéristique géologique aura une grande importance dans les écoulements souterrains et superficiels.

Les différentes sources karstiques étudiées ont des bassins versants dont les altitudes moyennes s'étagent entre 950 et 1500m d'altitude. Ces émergences ont des aquifères liés soit aux calcaires du Jurassique supérieur (Arbin) soit aux calcaires urgoniens (Pissieux, Fontaine Noire, Lot du Bois, Faverges, Pré Paissard) et des caractères morphologiques différents. On pourra donc s'attendre, en fonction de ces remarques, à des régimes hydrologiques et des caractéristiques physico-chimiques propres à chaque source.

CHAPITRE III. LES DONNEES CLIMATOLOGIQUES.

III.1. LE RESEAU METEOROLOGIQUE.

III.1.1. Le réseau en place :

Un grand nombre de postes météorologiques sont situés dans le massif des Bauges et à sa périphérie et étagés entre les altitudes de 236m et 1015m, mais ils sont tous, à l'exception du poste d'Aillon-le-Jeune, à l'extérieur des bassins versants étudiés.

Le tableau 22 nous indique la liste des stations utilisées pour cette étude qui sont, en majorité, des postes de l'Office de la Météorologie Nationale.

III.1.2. Postes de mesures complémentaires :

L'inexistence de poste à l'intérieur des limites des bassins versants étudiés, et surtout en altitude, nous a conduit à implanter des stations de mesures complémentaires pourvues de tubes totalisateurs à Curienne (700m), La Thuile (880m) pour le bassin versant du Ternèze et au chalet de la Buffe (1370m) et au chalet de Margériaz pour le bassin versant du Nant d'Aillon.

Deux autres tubes totalisateurs placés, l'un au col de la Fullie, l'autre près de la station de ski des Aillons, ont été détruits ou enfouis sous une importante couche de neige. Leurs résultats ont été inexploitable.

Nous avons également installé à La Thuile, au hameau du Lac, un thermomètre minima-maxima relevé journalièrement ainsi qu'un pluviomètre de 400 cm².

La figure 45 donne la situation de tous les postes météorologiques et des stations limnimétriques.

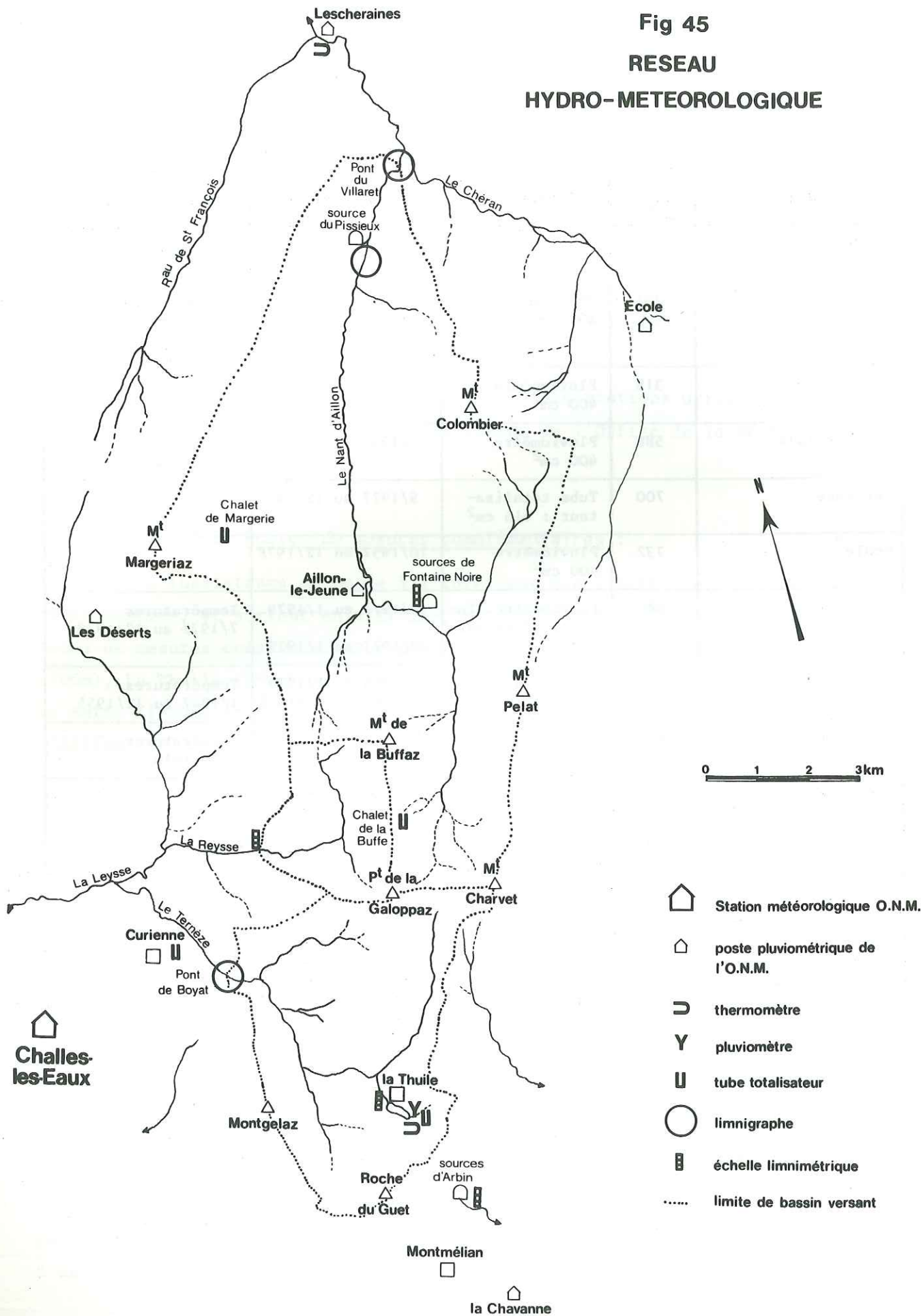
Il nous paraît également nécessaire d'insister sur les difficultés rencontrées durant l'hiver 1978, pour relever les stations complémentaires, en raison de la forte couche de neige tombée durant les mois de février et mars. En effet, plus d'un mètre quatre vingt de neige rendait l'accès du bassin versant du Ternèze très difficile. Quant à la vallée des Aillons, elle ne pouvait plus être atteinte directement par le col des Prés, fermé pendant près d'un mois et demi.

Stations	Altitude (m)	Appareillage	Pluviométrie	Autres données
Voglans *	236			Températures 1978
Challes-les-Eaux *	291	Pluviomètre 400 cm ²	1/1947 au 12/1978	Températures 1/1947 au 12/1978 Insolation 1978
La Chavanne *	318	Pluviomètre 400 cm ²	1/1959 au 12/1978	
Lescheraines *	588	Pluviomètre 400 cm ²	1/1939 au 12/1978	Températures 1/1947 au 12/1978
Curienne	700	Tube totalisateur : 115 cm ²	9/1977 au 12/1978	
Ecole *	732	Pluviomètre 400 cm ²	10/1957 au 12/1978	
La Thuile	880	Pluviomètre. Tube totalisateur 220 cm ²	9/1977 au 1/1979 10/1977 au 1/1979	Températures 7/1977 au 12/1978
Aillon-le-Jeune *	900	Pluviomètre 400 cm ²	1/1936 au 1/1979 1/1965 au 12/1978	Températures 1/1947 au 12/1955
St Pierre de Chartreuse *	945			Températures 1959-1978
Les Déserts *	1015	Pluviomètre 400 cm ²	1/1959 au 12/1978	
La Clusaz *	1150			Températures 1947-1955 1959-1978
Chalet de la Buffe	1440	Tube totalisateur : 220 cm ²	10/1977 au 12/1978	
Chalet de Margériaz	1570	Tube totalisateur : 220 cm ²	10/1977 au 12/1978	

* Météorologie Nationale.

Tableau 22 : Liste des stations utilisées pour l'étude.

Fig 45
RESEAU
HYDRO-METEOROLOGIQUE



III.1.3. Correction des tubes totalisateurs (figure 46) :

Le pluviomètre et le tube totalisateur installés à La Thuile, nous ont permis d'établir un coefficient de correction pour les tubes totalisateurs.

La figure 46 donne la corrélation entre les hauteurs de précipitations cumulées obtenues sur les deux appareils.

La relation entre le tube totalisateur et le pluviomètre est :

$$P_t = 0,938 P_p - 0,94 \text{ avec } P \text{ en mm.}$$

Le tube de surface réceptrice de 220 cm² ne reçoit donc que 93% des précipitations reçues par le pluviomètre de 400 cm². Ce résultat est voisin de celui obtenu par G. Pappini (1976) qui, avec les mêmes tubes totalisateurs, avait appliqué une correction de 10% sur ses mesures de pluviométrie.

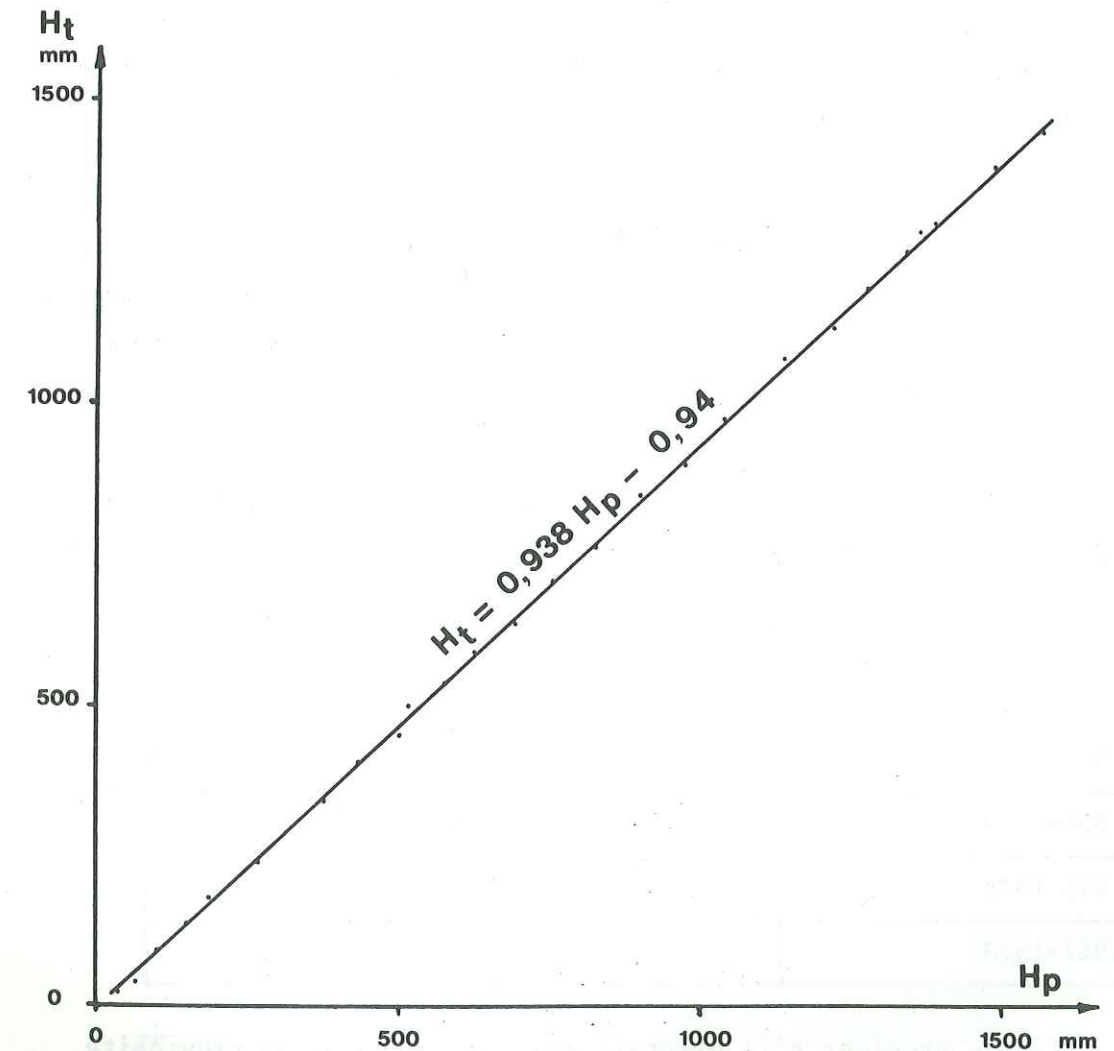


Fig 46 : Corrélation entre les hauteurs d'eau recueillie au pluviomètre H_p et au tube totalisateur H_t

G. Nicoud (1973) constatait un déficit de 11% pendant trois mois d'été entre un tube totalisateur de 115 cm² et un pluviomètre de 400 cm².

Nous avons donc appliqué, pour cette étude, un coefficient de correction de 1,07 pour les tubes totalisateurs du chalet de la Buffe et du Margériaz. Par contre, pour le tube de Curienne, de surface réceptrice plus faible (115 cm²), nous avons appliqué un coefficient de 1,1.

III.2. LES PRECIPITATIONS.

III.2.1. Les anciens relevés :

Nous disposons pour cette étude, et grâce à la Météorologie Nationale, des relevés pluviométriques mensuels et annuels depuis 1936 pour la station d'Aillon-le-Jeune, 1939 pour Lescheraines et 1947 pour Challes-les-Eaux.

Néanmoins, seule la période 1959-1978 est commune aux 6 stations retenues dans cette étude.

III.2.1.1. Pluviométrie annuelle (figure 47).

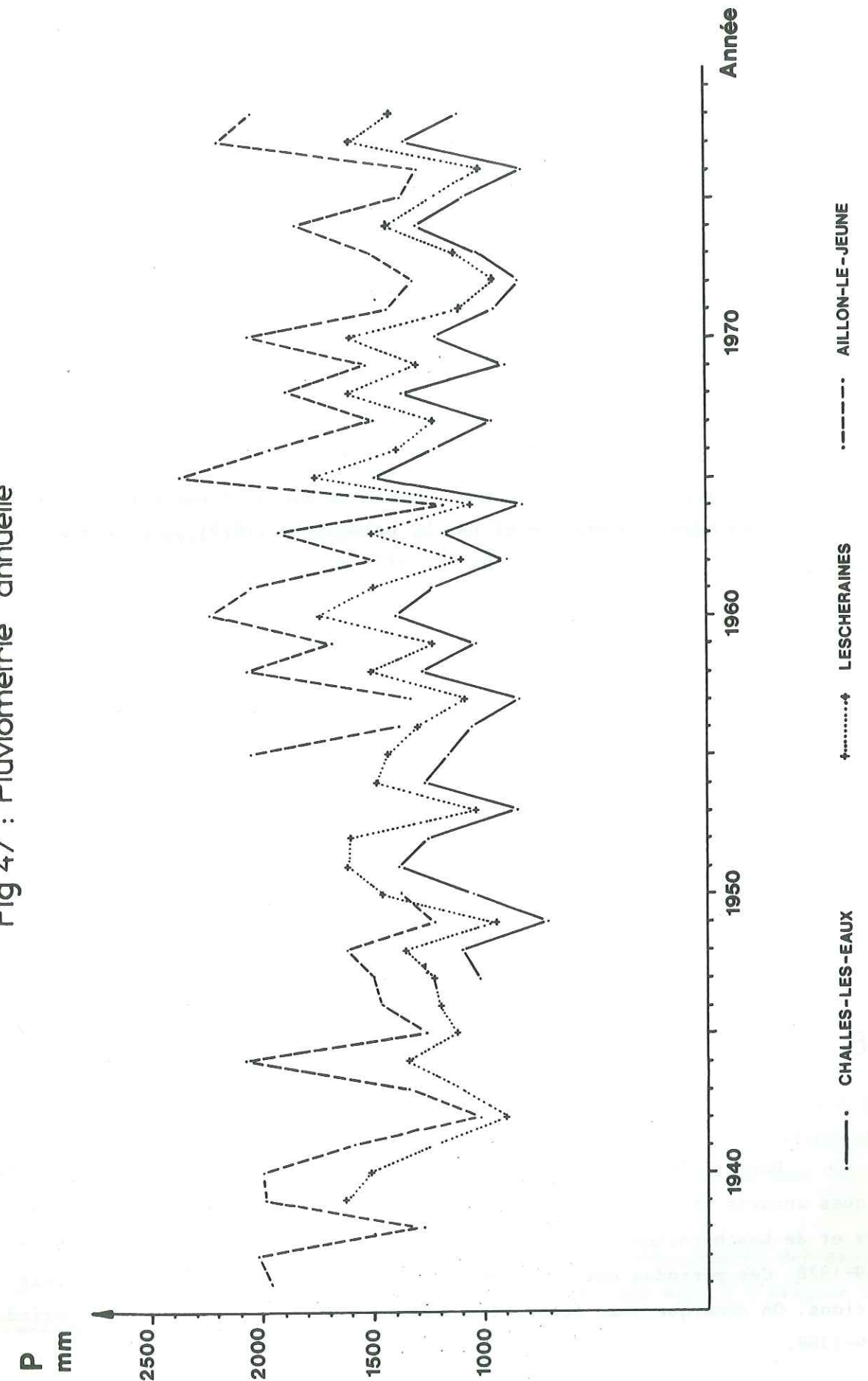
Nous avons représenté sur la figure 47, les variations des valeurs des précipitations annuelles des trois stations les plus complètes soit : Challes-les-Eaux (1947-1978), Lescheraines (1939-1978) et Aillon-le-Jeune (1936-1950 - 1955-1978).

Les pluviométries moyennes annuelles en mm de ces trois stations et pour différentes périodes sont les suivantes :

Périodes	Stations	Lescheraines	Aillon-le-Jeune	Challes-les-Eaux
1939-1978		1341		
1936-1950			1576	
1955-1978			1738	
1947-1978				1099

Afin de préciser s'il existait des variations de la pluviosité dans le temps, nous avons employé la méthode des moyennes mobiles qui atténue les variations annuelles (méthode employée par J. Jérémie). Ce procédé

Fig 47 : Pluviométrie annuelle



consiste à substituer à chaque total annuel de précipitations d'une série chronologique donnée la moyenne arithmétique d'un nombre quelconque p de valeurs consécutives autour de ces totaux : p est le pas choisi.

La durée des relevés étant relativement courte et quelquefois incomplète, nous avons choisi un pas de 10 ans pour la station de Lescheraines pendant la période 1939-1978.

La figure 48 montre des changements dans le régime des pluies et permet d'observer :

- une diminution des précipitations jusqu'à l'année 1945 ;
- puis une augmentation des précipitations jusqu'à l'année 1964 ;
- puis une nouvelle diminution à partir de 1964.

Ces variations ont déjà été constatées par J. Jérémie (1979) sur le pourtour du bassin Lémanique et par B. Delaquaize (1979) pour la station de Grenoble.

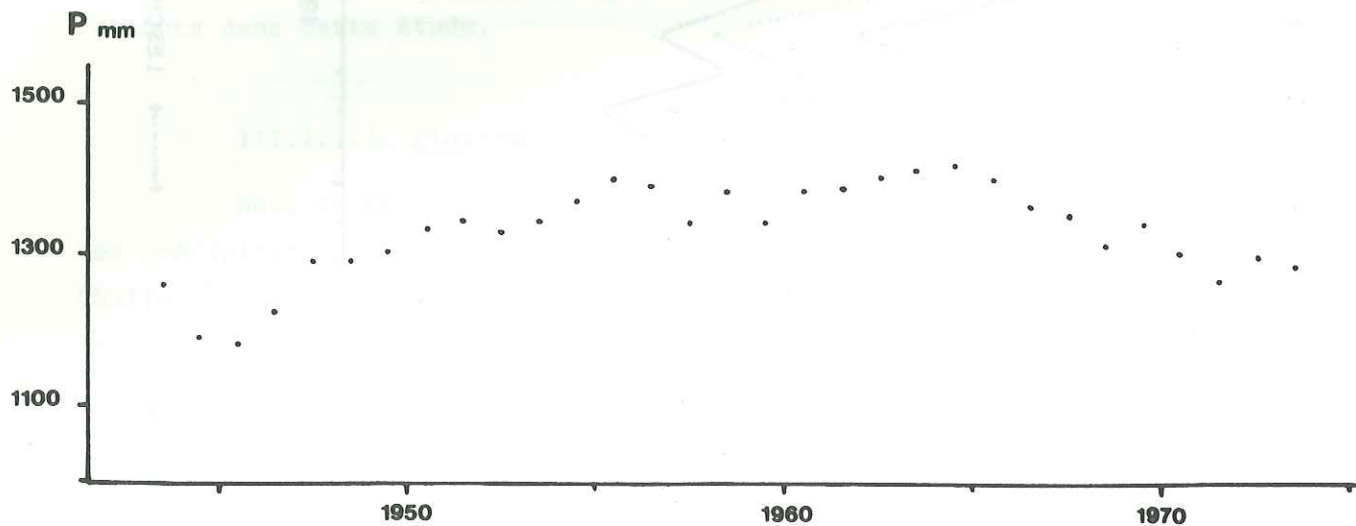


Fig 48 : Moyenne mobile sur 10ans des précipitations annuelles à Lescheraines 1939 - 1978

Dans le tableau 23 sont reportées les valeurs des modules pluviométriques annuels pour les trois stations d'Aillon-le-Jeune, de Challes-les-Eaux et de Lescheraines pour les périodes 1939-1948, 1949-1958, 1959-1968 - 1969-1978. Ces périodes ont été choisies ainsi pour être communes aux trois stations. On remarque pour toutes les stations, la forte valeur de la période 1959-1968.

Stations	Période	Pluviométrie annuelle moyenne
Challes	1949-1958	1082
	1959-1968	1160
	1969-1978	1064
Lescheraines	1939-1948	1261
	1949-1958	1347
	1959-1968	1415
	1969-1978	1284
Aillon	1939-1948	1578
	1949-1958	-
	1959-1968	1814
	1969-1978	1661

Tableau 23 : Variations du module annuel des précipitations sur différentes périodes.

Ces fluctuations cycliques du module pluviométrique ne sont pas encore expliquées. Elles semblent devoir se rattacher aux phénomènes complexes des circulations atmosphériques régionales.

III.2.1.2. Pluviométrie mensuelle : tableaux 24-25 et figures 49-50.

Nous avons comparé les précipitations mensuelles moyennes de quatre stations : Challes-les-Eaux 1947-1978, Lescheraines 1947-1978, Aillon-le-Jeune 1955-1978 et les Déserts 1959-1978. Cette dernière station située à une altitude de 1015m a une pluviosité moins importante que celle mesurée à Aillon-le-Jeune (900m).

L'examen des coefficients pluviométriques mensuels montre que pour Challes-les-Eaux et Lescheraines la prédominance est aux précipitations d'été alors que pour les stations des Déserts et d'Aillon-le-Jeune ce sont les précipitations d'hiver qui sont les plus importantes.

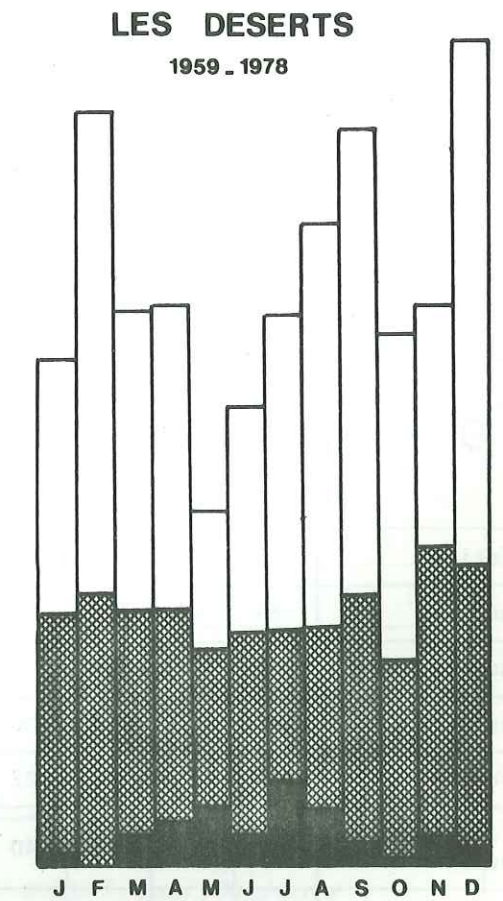
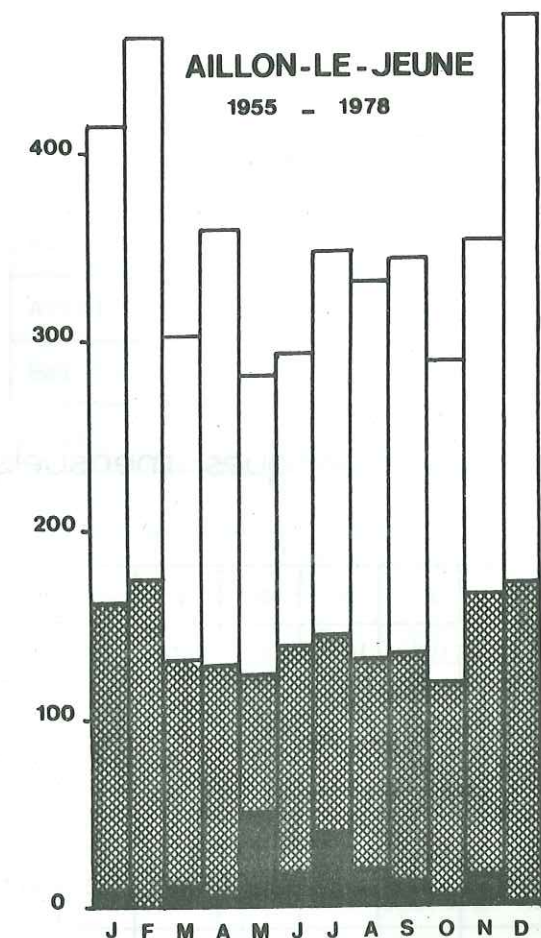
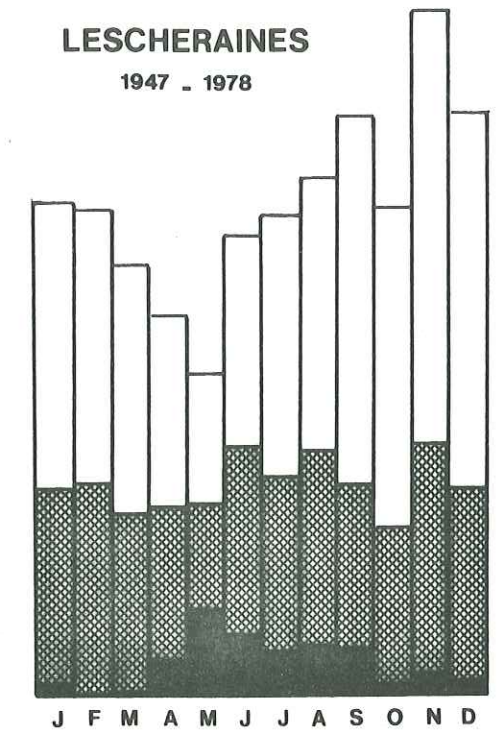
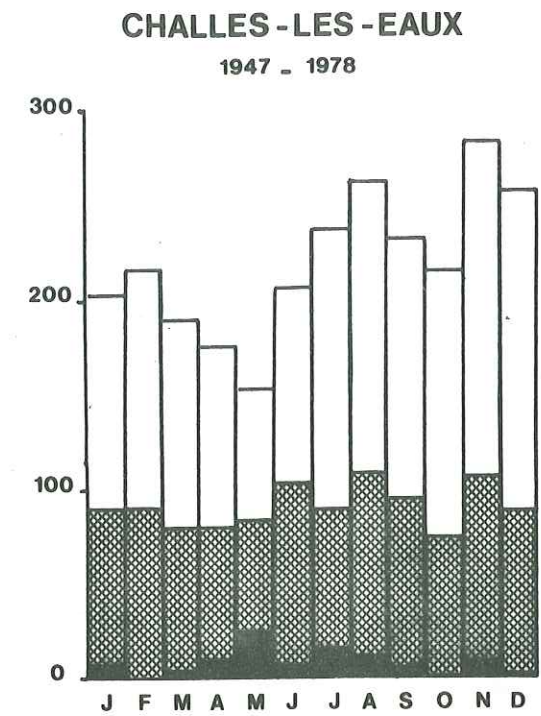
La situation géographique des stations, le déplacement des masses d'air, le régime des vents et l'importance des reliefs sont à l'origine de ces variations mensuelles.

Stations		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Challes les Eaux 1947-1978	moyen. mens.	89	91	80	80	84	105	90	109	98	75	107	91
	max.	203	216	190	176	154	207	238	263	233	216	284	258
	mini.	7	0	4	10	25	7	16	12	6	1	11	3
Lescheraines 1947-1978		110	113	97	101	102	132	116	130	113	89	134	111
		261	257	228	201	171	244	254	274	307	258	363	308
		6	1	2	19	47	33	24	27	26	7	12	4
Aillon-le-Jeune 1955-1978		162	175	132	129	124	139	145	132	135	120	167	173
		414	461	303	359	282	294	348	332	342	290	354	473
		9	0	12	6	52	19	41	21	14	6	17	3
Les Déserts 1959-1978		135	146	137	137	116	125	126	127	144	109	169	159
		250	400	295	298	189	144	193	341	391	282	298	437
		7	0	16	24	32	17	46	31	12	4	15	10

Tableau 24 : Précipitations mensuelles à Challes-les-Eaux (1947-1978) Lescheraines (1947-1978), Aillon-le-Jeune (1955-1978) et aux Déserts (1959-1978).

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Challes-les-Eaux	0,97	0,99	0,87	0,87	0,91	1,14	0,98	1,19	1,07	0,82	1,17	0,99
Lescheraines	0,98	1,00	0,86	0,90	0,91	1,17	1,03	1,16	1,00	0,79	1,19	0,99
Aillon-le-Jeune	1,12	1,2	0,91	0,89	0,85	0,96	1,00	0,91	0,93	0,83	1,15	1,19
Les Déserts	0,99	1,07	1,01	1,01	0,85	0,92	0,93	0,94	1,06	0,80	1,24	1,17

Tableau 25 : Coefficients pluviométriques mensuels.



■ Minimum mensuel ▨ Moyenne mensuelle □ Maximum mensuel

Fig 49 : Répartition des précipitations mensuelles

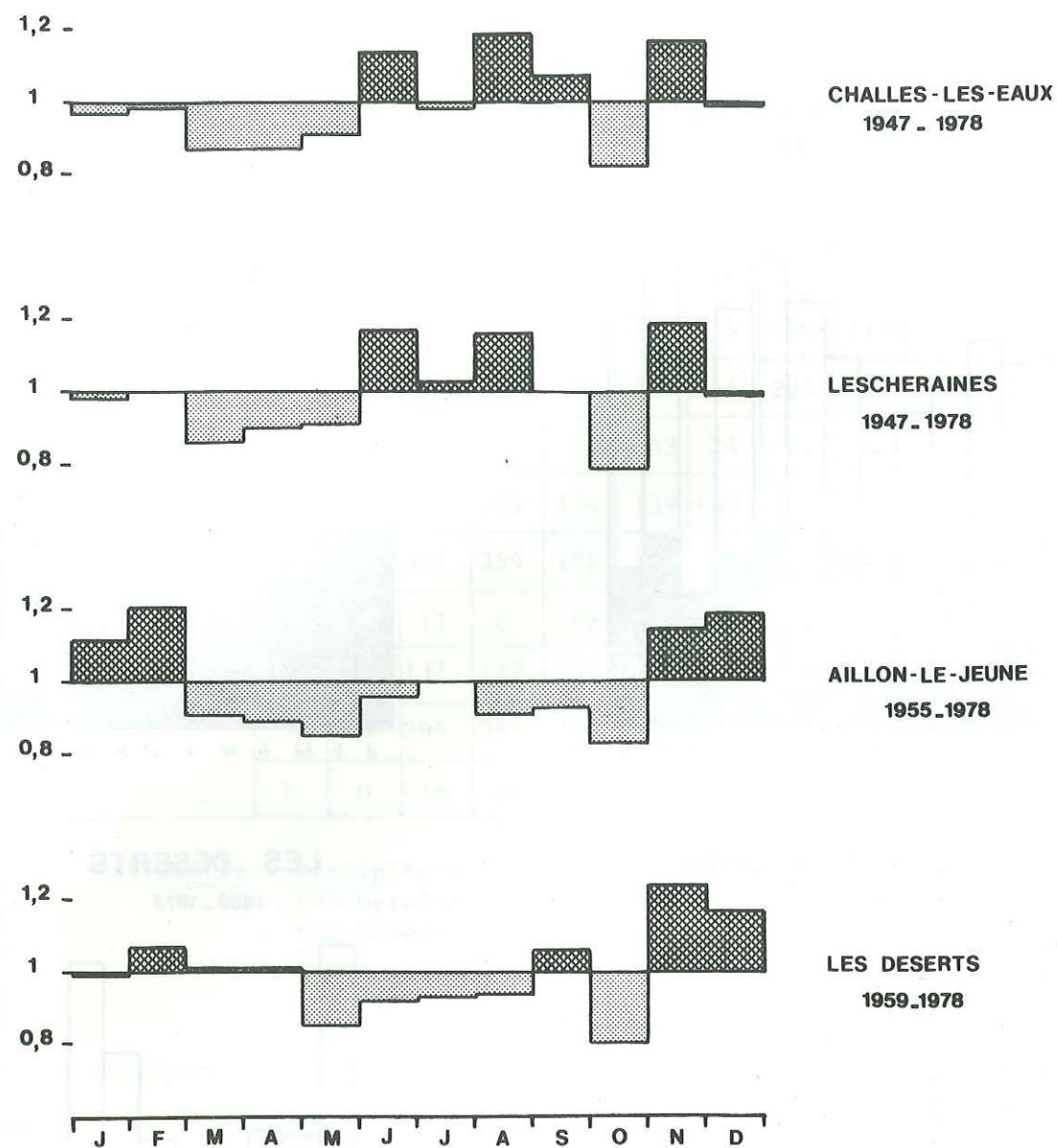


Fig 50 : Variations des coefficients pluviométriques mensuels

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
Challes	86	89	90	86	83	96	90	102	101	75	110	98	1112
Chavannes	89	88	91	79	75	86	91	97	93	74	110	102	1075
Lescheraines	107	108	105	106	101	125	124	121	112	88	137	117	1351
Ecole	126	125	121	122	98	118	125	115	116	99	157	153	1464
Aillon-le-Jeune	150	156	144	140	118	131	144	124	138	122	188	183	1738
Les Déserts	135	146	137	137	116	125	126	127	144	109	169	159	1606

Tableau 26 : Précipitations mensuelles et annuelles moyennes 1959-1978.

Stations	H	P	E	A	indicatif saisonnier
Challes	265	265	293	283	E A H P
Chavannes	268	240	281	276	E A H P
Lescheraines	320	332	357	342	E A H P
Ecole	372	338	356	409	A H E P
Aillon-le-Jeune	450	389	406	493	A H E P
Les Déserts	418	378	397	437	A H E P

Tableau 27 : Répartition des précipitations suivant les saisons 1959-1978.

	Relation		Gradient mm / 100m
	H en m	Pmm	
Janvier	P = 0,082 H + 63		8,2
Février	P = 0,093 H + 59		9,3
Mars	P = 0,075 H + 67		7,5
Avril	P = 0,084 H + 56		8,4
Mai	P = 0,055 H + 63		5,5
Juin	P = 0,053 H + 79		5,3
Juillet	P = 0,064 H + 76		6,4
Août	P = 0,040 H + 90		4,0
Septembre	P = 0,065 H + 75		6,5
Octobre	P = 0,060 H + 56		6,0
Novembre	P = 0,101 H + 80		10,1
Décembre	P = 0,107 H + 67		10,7
Année	P = 0,879 H + 831		87,9 soit 7,3mm/100m/mois

Tableau 28 : Gradients altimétriques mensuels et annuels des précipitations (1959-1978).

III.2.1.3. Pluviométrie moyenne entre 1959 et 1978.

La seule période commune aux 6 stations de la météorologie nationale, retenues pour cette étude, est 1959-1978. Afin de comparer les valeurs de la pluviosité, obtenues durant l'année d'étude, avec la pluviométrie moyenne de la région, nous avons calculé les moyennes mensuelles et annuelles de ces 6 stations pour la période 1959-1978. Toutes ces valeurs sont reportées dans le tableau 26.

Les mois les moins pluvieux sont les mois d'octobre et mai. Les mois les plus pluvieux sont les mois d'été pour les stations de Challes-les-Eaux, Lescheraines et les mois d'hiver pour Ecole, Aillon-le-Jeune et les Déserts. Le mois de novembre est très pluvieux pour toutes les stations.

On remarque également, dans ce tableau, les fortes valeurs moyennes pour la station d'Aillon-le-Jeune par rapport à celle des Déserts situé 115m plus haut.

D'un point de vue saisonnier, on distingue deux groupes de stations : Challes-les-Eaux, La Chavanne et Lescheraines dont l'altitude est inférieure à 600m, l'indicatif saisonnier est EAHP ; Ecole, Aillon-le-Jeune et Les Déserts, l'indicatif est AHEP (tableau 27).

Malgré leur situations géographiques différentes, nous avons calculé les gradients altimétriques mensuels et annuels pour toutes les stations durant la période 1959-1978.

Les valeurs de ces gradients, calculés par la méthode des régressions linéaires précipitations altitude, ainsi que les relations permettant de calculer les pluviométries en mm, en fonction de l'altitude en mètres, sont regroupés dans le tableau 28.

Les coefficients de corrélation sont bons, sauf pour les mois de juin et juillet (0,87 et 0,89) où les valeurs des précipitations sont très étalées.

III.2.1.4. Précipitations moyennes sur les bassins versants (1959-1978) (tableaux 29-30).

Grâce à ces gradients, nous avons pu calculer la pluviométrie moyenne pour la période 1959-1978 sur chaque bassin versant étudié.

Pour les bassins du Ternèze et du Nant d'Aillon au pont du Villaret, seule la valeur correspondante au bassin versant réel a été retenue. Les précipitations annuelles moyennes sur les bassins versants géographiques ne diffèrent que de quelques mm.

Bassins versants		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	module annuel
Ternèze	(2)	146	153	143	141	119	133	141	130	141	117	182	175	1722
Nant d'Aillon Pont Villaret	(2)	162	171	158	157	129	143	153	138	153	128	202	196	1890
Nant d'Aillon Pont Cimeteret	(1)	164	173	159	159	131	144	155	139	155	130	204	199	1912
	(2)	160	169	156	156	128	142	152	137	152	127	200	194	1873
Pissieux		170	180	165	165	135	148	159	142	160	134	211	206	1975

Tableau 29 : Précipitations moyennes calculées sur les bassins versants étudiés (1959-1978).

(1) bassin versant géographique ; (2) bassin versant réel.

		Hiver (JFM)	Printemps (AMJ)	Été (JAS)	Automne (OND)
Ternèze		442	393	413	474
Nant d'Aillon Pont Villaret		491	429	444	526
Nant d'Aillon Pont Villaret	(1)	496	434	449	533
	(2)	485	426	441	521
Pissieux		515	448	461	551
%		26%	23%	24%	27%

Tableau 30 : Répartition des précipitations sur les bassins versants étudiés suivant les saisons (1959-1978).

Les mois les plus pluvieux sont novembre, décembre, janvier et février, les mois les moins pluvieux, octobre et mai. L'indicatif saisonnier est AHEP, l'altitude moyenne des bassins versants étant supérieure à 600 mètres (tableau 30).

Fig 51 : Observations pluviométriques journalières à la Thuile

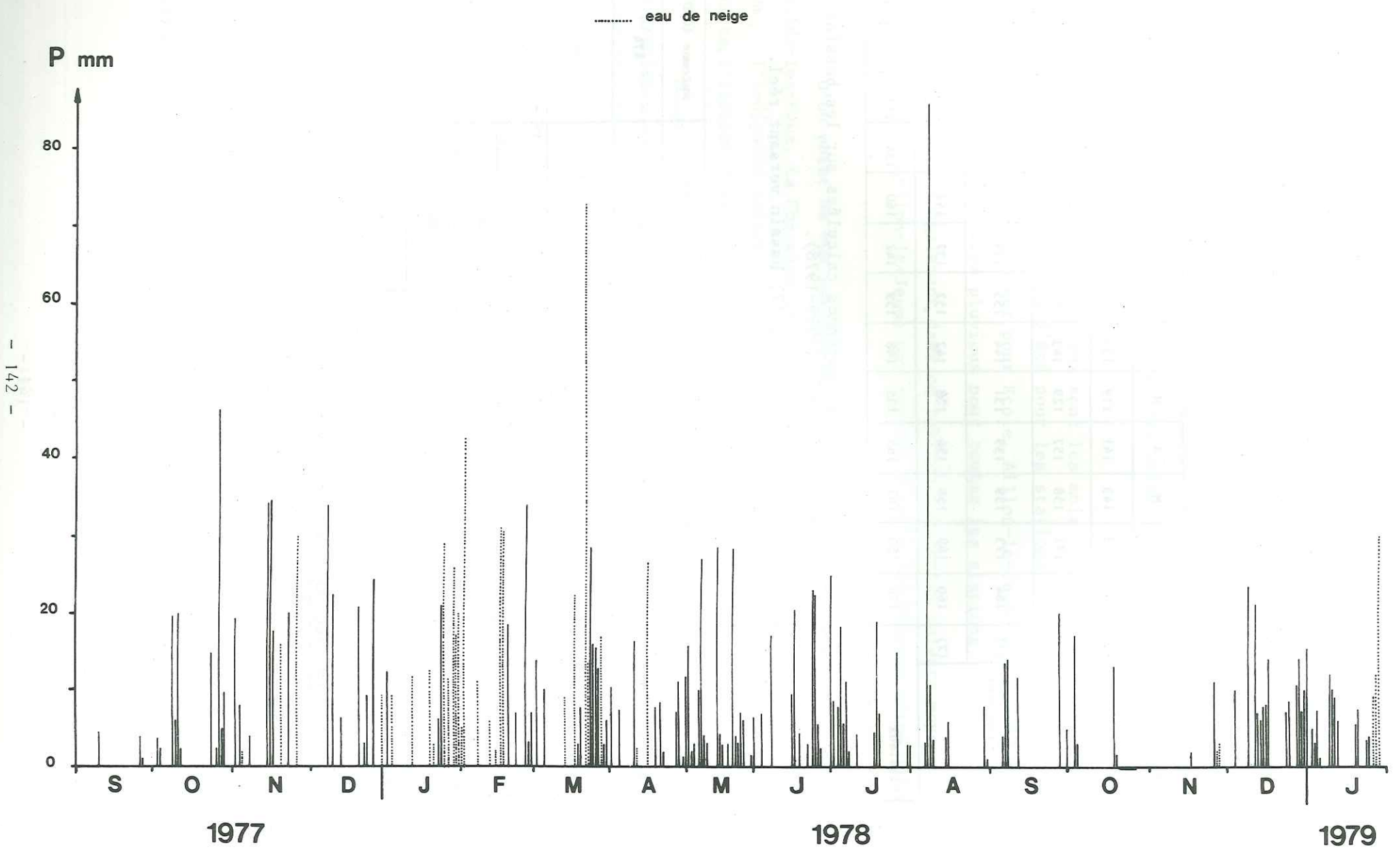
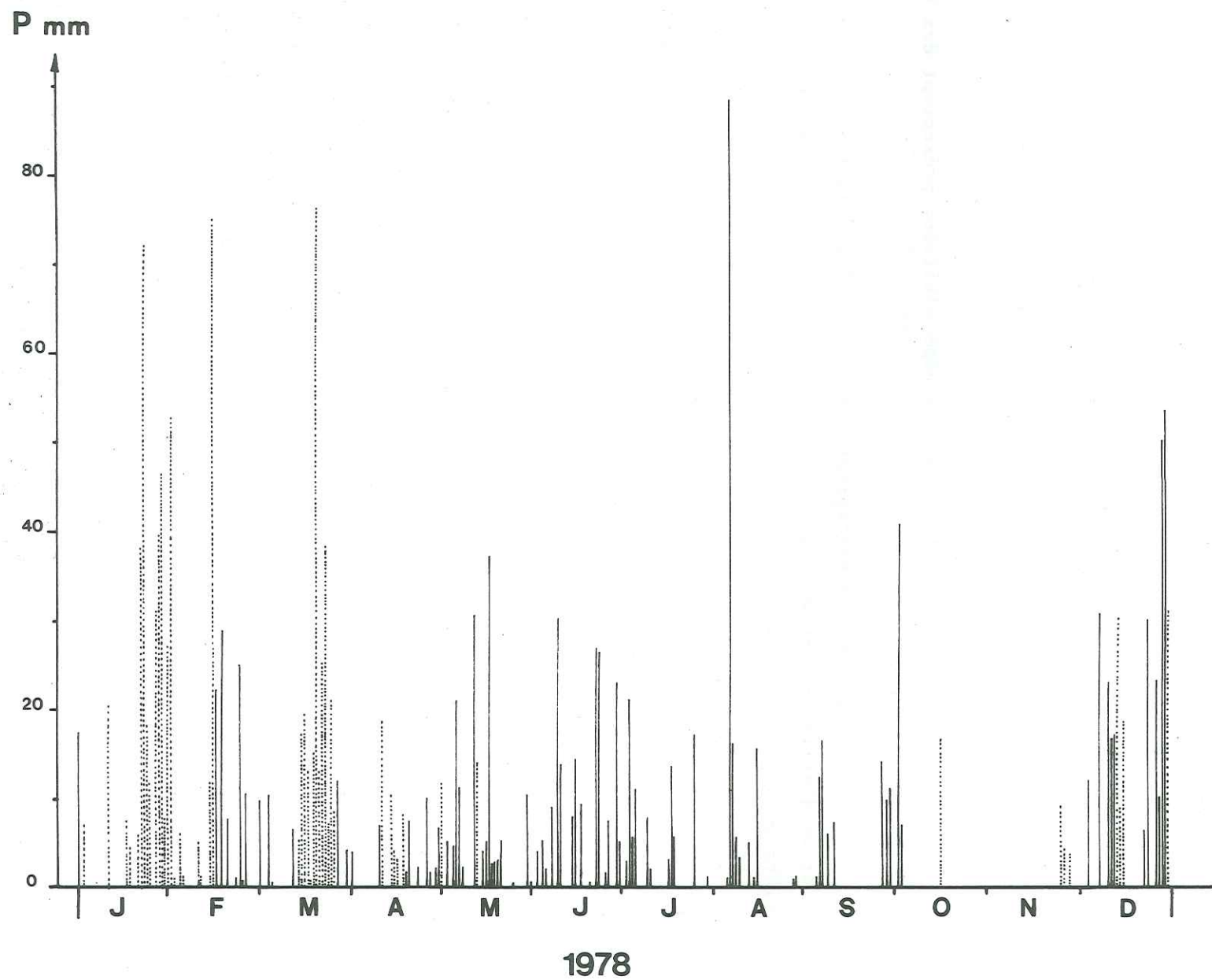


Fig 52 : Observations pluviométriques journalières à Aillon-le-Jeune



III.2.2. Précipitations durant la période d'étude :

Nous avons utilisé, durant l'année 1978, les relevés des 6 stations de la Météorologie Nationale, des tubes totalisateurs et du poste pluviométrique de La Thuile.

III.2.2.1. Comparaison entre les relevés journaliers de La Thuile et ceux d'Aillon-le-Jeune (figures 51-52).

Il est intéressant de comparer les pluviométries journalières à la station d'Aillon-le-Jeune et à La Thuile.

Ces deux stations, situées à la même altitude, présentent des variations importantes.

La fréquence des précipitations pour 1978 est de 146 jours pour la station d'Aillon-le-Jeune et de 130 jours pour La Thuile, répartie de la manière suivante :

Stations	Hiver (JFM)	Printemps (AMJ)	Eté (JAS)	Automne (OND)
La Thuile	39	41	27	23
Aillon-le-Jeune	49	45	30	21

Les précipitations sous forme de neige sont très importantes à Aillon-le-Jeune avec 46 jours, alors qu'à La Thuile, elles ne sont que de 25 jours.

La plus forte intensité journalière des précipitations pour l'année 1978 et pour les deux stations a été relevée durant les orages du mois d'août. 85mm pour La Thuile et 89mm pour les Aillons. Cette intensité est également très importante, en hiver pour la station des Aillons, avec 72mm au mois de janvier, 75mm au mois de février et 76mm au mois de mars. Il faut également noter que, durant ces trois mois d'hiver, il est tombé 907mm d'eau aux Aillons pour 624mm à La Thuile.

Toutes ces comparaisons montrent bien la situation particulière de la station d'Aillon-le-Jeune, qui a reçu pour cette année 1978, 30% de précipitations supplémentaires par rapport à une station située à la même altitude, mais à l'extérieur du massif des Bauges.

Cet excès de précipitation n'est pas à attribuer à la position du

pluviomètre dans le village d'Aillon-le-Jeune. En effet, il existe également à Aillon-le-Jeune une station pluviométrique de l'EDF pourvue d'un pluviographe chauffant de 2000 cm². Les hauteurs de précipitation entre les deux appareils, et depuis 1968, sont sensiblement les mêmes.

III.2.2.2. Comparaison entre les précipitations de l'année d'étude et celles d'une année moyenne (1959-1978).

Nous avons comparé les valeurs des précipitations de 1978 avec celles d'une année moyenne (1959-1978).

	Challes	Chavanne	Lescheraines	Ecole	Aillons	Les Déserts
Excédent	0%	+ 6%	+ 6%	+ 7%	+ 18%	+ 4%

L'année 1978 a été une année légèrement excédentaire pour toutes les stations, sauf à Aillon-le-Jeune où l'excédent de 18% fait de l'année 1978 une année humide. Cet excédent s'est surtout reporté sur les mois d'hiver très pluvieux (100% d'excédent pour l'hiver 1978 par rapport à l'hiver moyen 1959-1978).

Sur la figure 53, nous avons reporté les précipitations cumulées de l'année 1978 et celle d'une année moyenne 1959-1978 pour les stations de Challes-les-Eaux et Aillon-le-Jeune.

Sur cette figure, nous pouvons remarquer :

- une période excédentaire de mi-janvier à fin mars ;
- une période normale d'avril à fin août ;
- une période déficitaire de septembre à fin novembre.

Pour la station d'Aillon-le-Jeune, il faut également noter que la période mi-janvier - fin mars est très excédentaire ainsi que le mois de décembre 1978.

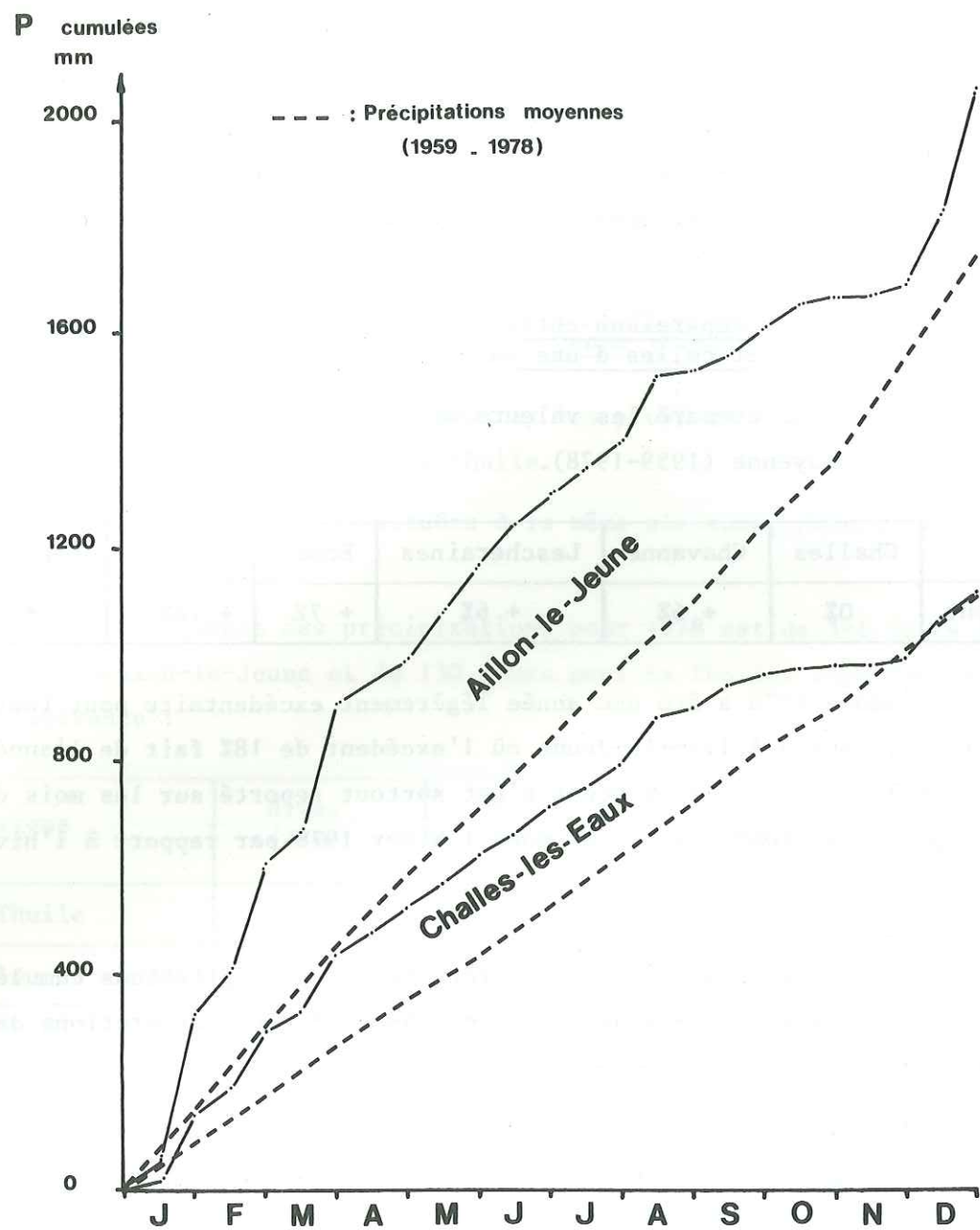


Fig 53 : Précipitations cumulées

III.2.2.3. Données mensuelles sur le secteur étudié.

Les données mensuelles des 8 stations de mesures et bimestrielles des deux tubes totalisateurs d'altitude sont reportées dans le tableau 31.

Les mois les plus pluvieux ont été janvier, février et mars. Pour les stations situées à l'intérieur du massif des Bauges (Lescheraines, Ecole et Aillon-le-Jeune) le mois de décembre 1978 a été très pluvieux.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total annuel 1978
Challes-les-Eaux	146	144	153	83	102	89	79	112	55	19	11	120	1113
La Chavanne	170	190	166	67	84	93	66	93	50	23	5	127	1134
Lescheraine	192	164	183	62	171	116	118	141	59	30	12	178	1426
Curienne	181	217	188	63	134	120	98	141	57	30	15	161	1405
Ecole	201	208	215	82	140	122	109	116	55	30	12	283	1573
La Thuile	184	194	251	112	160	139	108	122	68	34	18	170	1560
Aillon-le-Jeune	327	277	303	86	172	133	96	136	78	64	17	363	2052
Les Déserts	239	254	237	93	167	119	91	133	43	47	15	228	1666
Col de la Buffaz	615		398		362		295		144		356		2170
Chalets du Margériaz	640		448		432		269		115		396		2300

Tableau 31 : Précipitations mensuelles et annuelles sur le secteur étudié (1978).

Les mois les moins pluvieux ont été octobre et novembre pour toutes les stations.

L'indicatif saisonnier est soit HPEA, soit HP AE, soit HAPE avec H (janvier, février, mars), P (avril, mai, juin), E (juillet, août, septembre) et A (octobre, novembre, décembre).

Pour toutes les stations, ce sont les trois premiers mois qui ont un total des précipitations le plus important durant cette année 1978.

Les précipitations suivant les saisons sont reportées dans le tableau 32.

L'ordre de l'indicatif saisonnier est très différent de celui déterminé sur la période 1959-1978. En effet, l'année 1978 a connu un printemps et surtout un hiver pluvieux (40% du total annuel des précipitations pour les mois de janvier, février et mars) face à un automne déficitaire (précipitations d'octobre et novembre très faibles).

En prenant le mois de décembre 1977 au lieu du mois de décembre 1978 et, en établissant les saisons de la manière suivante : Hiver (décembre 1977, janvier et février 1978), Printemps (mars, avril et mai 1978), Eté (juin, juillet et août 1978), Automne (septembre, octobre, novembre 1978), les indicatifs saisonniers sont HPEA pour toutes les stations sauf La Thuile (PHEA).

	H _{JFM}	P _{AMJ}	E _{JAS}	A _{OND}	Indicatif saisonnier	
Challes-les-Eaux	mm	443	274	246	150	HPEA
	%	40%	25%	22%	13%	
Chavanne	mm	526	244	209	155	HPEA
	%	46%	22%	18%	14%	
Lescheraines	mm	539	349	318	220	HPEA
	%	38%	24%	22%	16%	
Curienne	mm	586	317	296	206	HPEA
	%	42%	23%	21%	14%	
Ecole	mm	624	344	280	325	HPAE
	%	40%	22%	18%	20%	
La Thuile	mm	629	411	298	222	HPEA
	%	41%	26%	19%	14%	
Aillon-le-Jeune	mm	907	391	310	444	HAPE
	%	44%	19%	15%	22%	
Les Déserts	mm	730	379	267	290	HPAE
	%	44%	23%	16%	17%	

Tableau 32 : Répartition des précipitations suivant les saisons pour l'année 1978.

III.2.2.4. Gradients altimétriques (figure 54).

On admet, généralement, que les hauteurs de précipitations varient linéairement avec l'altitude. Or, le gradient altimétrique des précipitations ainsi défini varie beaucoup avec l'orientation des versants, où sont situées les stations. Ainsi sur la figure 54, où nous avons reporté les mesures de l'année 1978, on peut remarquer différentes valeurs de gradients :

- Pour les stations de Challes-les-Eaux, Curienne, La Thuile et Les Déserts (W-SW) 83mm/100m.

- Pour les stations de Chavanne, Lescheraines, Ecole, La Buffe et le Margérial (versants E-NE) 90mm/100m.

On peut également noter que la valeur annuelle des précipitations pour Aillon-le-Jeune est très éloignée des valeurs des autres stations : ce qui entraîne un fort gradient entre Lescheraines et Aillon-le-Jeune (200mm/100m) et un faible gradient entre Aillon-le-Jeune et le Margérial (34mm/100m).

Comme pour la période 1959-1978, nous avons également calculé les gradients mensuels par la méthode des régressions linéaires précipitations altitudes, mais en partageant les données en deux groupes : l'un se rappor-

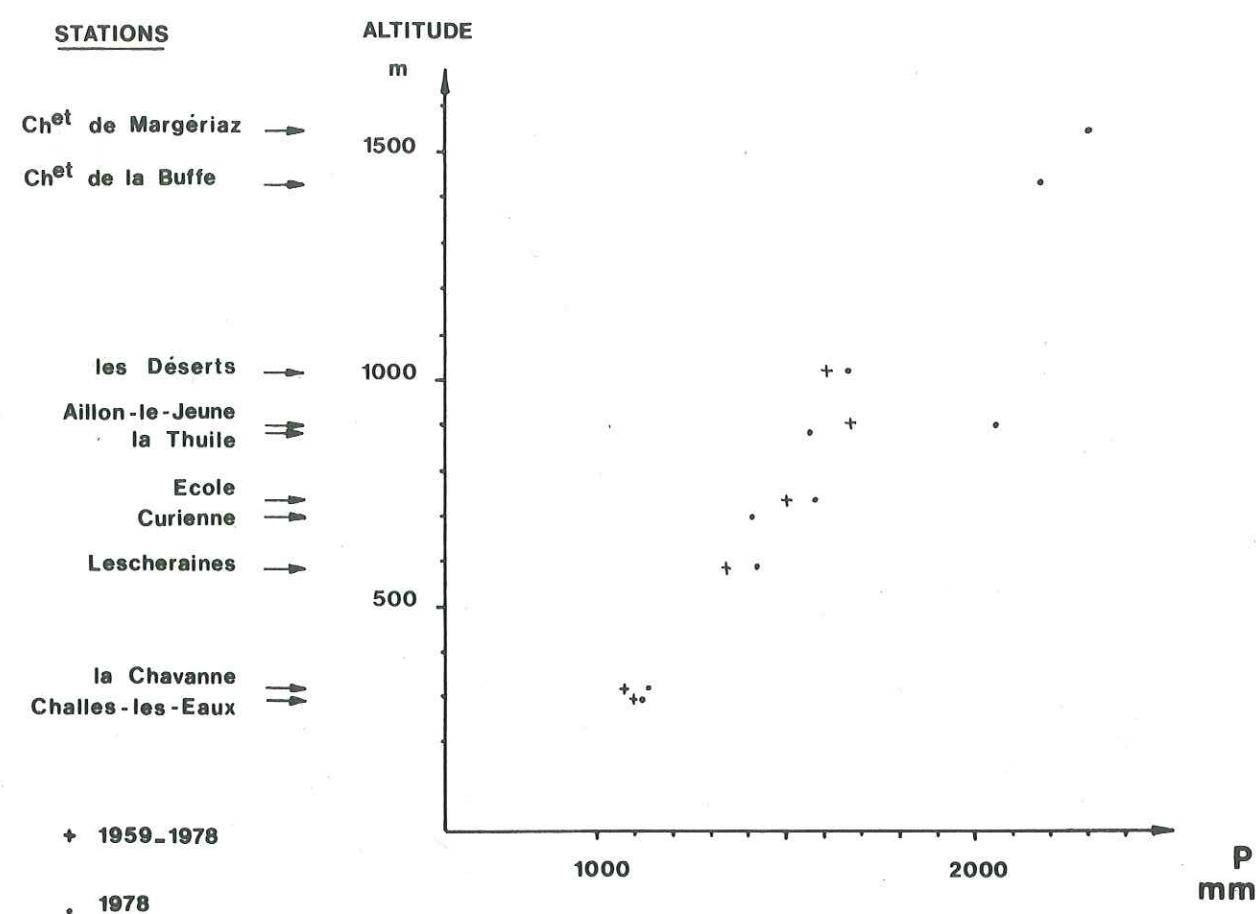


Fig 54: Pluviométrie annuelle
Relation pluviométrie-altitude

tant au bassin du Ternèze, c'est-à-dire les stations de Challes, Curienne, La Thuile, les Déserts et Buffe, et l'autre, se rapportant au bassin des Aillons soit les stations de Lescheraines, Ecole, Aillon-le-Jeune, le chalet de la Buffe et le Margérial.

Pour déterminer les gradients altimétriques concernant le bassin versant du Ternèze, nous avons calculé les régressions linéaires précipitations altitudes de toutes les stations. Nous avons opéré de même pour les calculs se rapportant au bassin versant des Aillons. Nous avons, dans ce cas, utilisé les régressions linéaires précipitations altitudes des stations suivantes :

- Lescheraines, Ecole, Aillon-le-Jeune, chalet de la Buffe, Margérial
- toutes sauf Aillon-le-Jeune ;

Les gradients ainsi obtenus nous ont permis de déterminer un gradient altimétrique mensuel moyen (tableaux 33 et 34).

Ne disposant que des valeurs bimestrielles sur les tubes totalisateurs du col de la Buffe et du Margérian, les valeurs mensuelles des précipitations utilisées pour les calculs ont été estimées.

Mois	Gradient mm/100m	Relation (H en m) (P en mm)
Janvier	12	0,120 H + 105
Février	11,6	0,116 H + 122
Mars	12,5	0,125 H + 117
Avril	3,4	0,034 H + 63
Mai	11,2	0,112 H + 60
Juin	7,2	0,072 H + 67
Juillet	3,7	0,037 H + 67
Août	8,4	0,084 H + 112
Septembre	0,6	0,006 H + 52
Octobre	2,7	0,027 H + 13
Novembre	1,0	0,010 H + 7
Décembre	17,3	0,173 H + 50
année	91,6	0,916 H + 835

Tableau 33 : Gradients mensuels moyens des précipitations sur le bassin versant du Ternèze (1978).

Mois	Gradient mm/100m	Relation (H en m) (P en mm)
Janvier	13,4	0,134 H + 125
Février	13,2	0,132 H + 112
Mars	13,0	0,130 H + 124
Avril	4,5	0,045 H + 43
Mai	7,9	0,079 H + 99
Juin	7,4	0,074 H + 69
Juillet	2,1	0,021 H + 93
Août	3,4	0,034 H + 105
Septembre	2,6	0,026 H + 43
Octobre	1,7	0,017 H + 24
Novembre	0,9	0,009 H + 6
Décembre	16,0	0,160 H + 131
année	86,1	0,861 H + 974

Tableau 34 : Gradients mensuels moyens des précipitations sur le bassin versant du Nant d'Aillon (1978).

III.2.3. Carte pluviométrique :

En raison des conditions hydrométéorologiques très exceptionnelles de la vallée des Aillons durant l'année 1978, il nous a paru nécessaire d'établir une carte pluviométrique du secteur étudié (figure 55).

L'éloignement des stations, leur nombre insuffisant, leur dispersion irrégulière et l'échelle de la carte ne donneront pas des résultats plus précis que ceux obtenus par la méthode des gradients altimétriques mensuels, mais tiendront compte de l'exposition des versants.

Le planimétrage de la carte pluviométrique a donné les valeurs de précipitations suivantes :

Bassins versants (2)	Lame d'eau précipitée en mm
Ternèze	1709
Nant d'Aillon au Villaret	2127
Nant d'Aillon au Cimeteret	2116
Pissieux	2202

(2) bassins versants réels

III.2.4. Précipitations moyennes sur les bassins versants :

Les gradients ainsi calculés ont permis d'évaluer les précipitations mensuelles sur les bassins versants étudiés.

III.2.4.1. Bassin versant du Ternèze.

Les précipitations mensuelles reportées dans le tableau 35 sont celles du bassin versant réel. La hauteur annuelle de la lame d'eau tombée sur le bassin versant géographique est de 1762mm.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Pmm	226	239	243	97	173	140	104	197	58	40	17	225	1759
Coef.	1,54	1,63	1,66	0,66	1,18	0,96	0,71	1,34	0,40	0,27	0,12	1,53	-

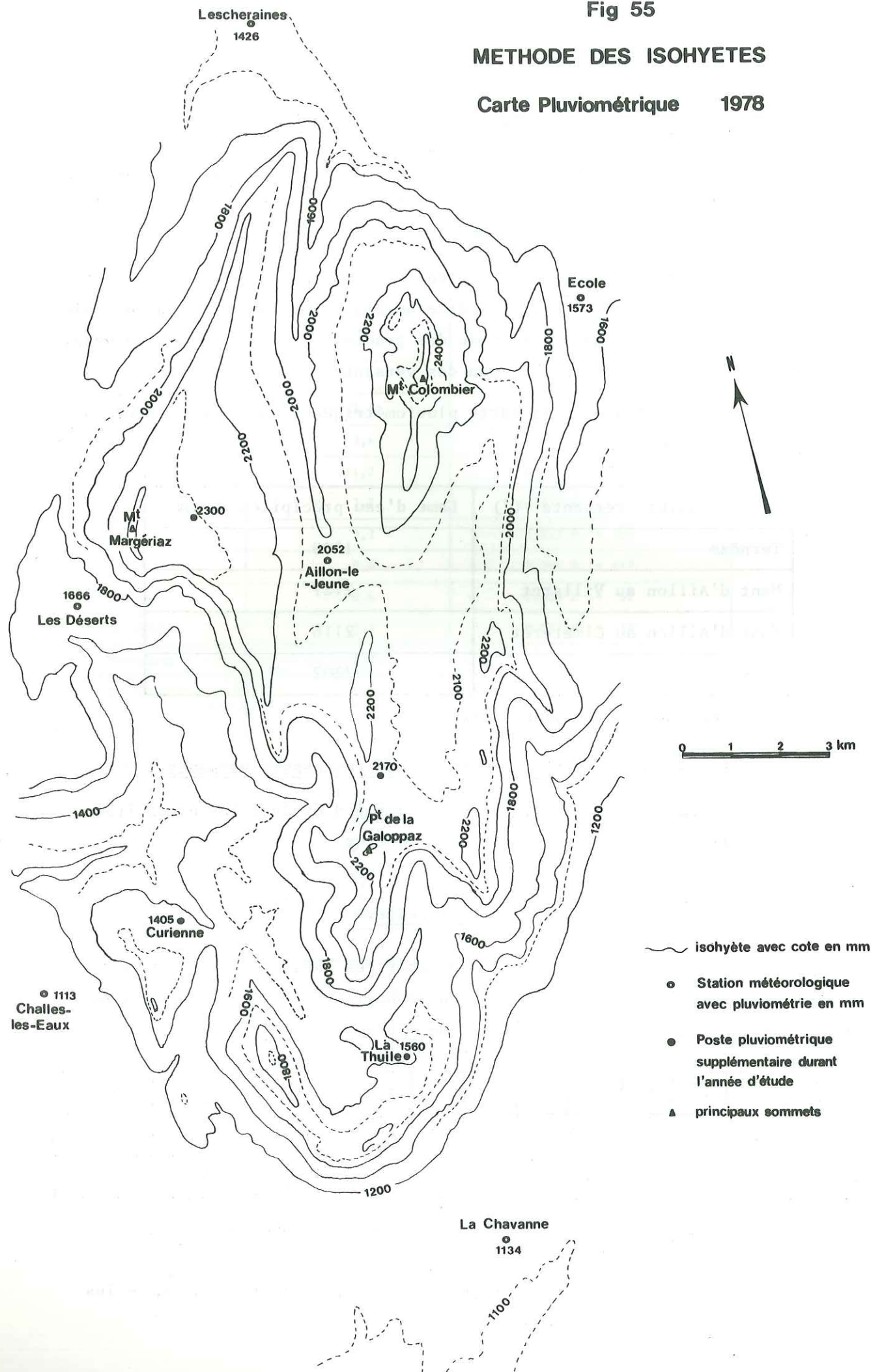
Tableau 35 : Précipitations mensuelles sur le bassin versant du Ternèze.

Les mois les plus pluvieux ont été février et mars, les mois les moins pluvieux octobre et novembre.

Fig 55

METHODE DES ISOHYETES

Carte Pluviométrique 1978



L'indicatif saisonnier est HPEA avec les valeurs suivantes :

H(JFM)	P(AMJ)	E(JAS)	A(OND)
708	410	359	282
40%	23%	21%	16%

Par rapport aux valeurs de la période 1959-1978, l'hiver et le printemps sont excédentaires, respectivement de 60% et 4%, l'été et l'automne déficitaires de 13% et 40%. L'année est excédentaire de 2%.

III.2.4.2. Bassin versant du Nant d'Aillon (tableau 36).

Nous avons calculé, à partir du tableau 34, les précipitations mensuelles sur les bassins versants du Nant d'Aillon et de l'exurgence du Pissieux. La valeur des précipitations pour le bassin versant géographique du Nant d'Aillon au pont du Villaret est de 2016 mm.

Bassins versants	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
Pont du Villaret (2)	287	271	281	97	194	158	118	146	74	45	17	324	2012
(1)	290	274	284	98	196	160	119	147	75	45	17	328	2033
Cimeteret (2)	284	268	278	96	193	157	118	145	74	44	17	321	1995
Pissieux	299	284	293	102	202	165	120	149	77	46	18	339	2086
Coef. pluv.	1,71	1,62	1,68	0,58	1,15	0,94	0,70	0,87	0,44	0,27	0,10	1,93	
(1) bassin versant géographique ; (2) bassin versant réel.													

Tableau 36 : Pluviométrie mensuelle sur les bassins versants du Nant d'Aillon.

Les mois les plus pluvieux sont les mois d'hiver (Janvier, février et mars) et le mois de décembre, les moins pluvieux sont octobre et novembre.

Les coefficients pluviométriques mensuels sont proches des coefficients pluviométriques moyens mensuels des stations du 2ème groupe.

D'un point de vue saisonnier, la répartition est la suivante :

Bassins versants		H	P	E	A
Villaret	(2)	839	449	338	386
Cimeteret	(1)	848	454	341	390
	(2)	830	446	337	382
Pissieux		868	469	346	403
%		42%	22%	17%	19%

D'après ce tableau, l'indicatif saisonnier est HPAE. Par rapport aux valeurs moyennes 1959-1978, l'excédent de l'hiver et du printemps est de 71% et 5%, tandis que le déficit de l'été et de l'automne est de 24% et 27%. L'année 1978 est excédentaire de 6%.

III.2.5. Lame d'eau tombée sur les bassins versants :

Les différentes valeurs de la hauteur de la lame d'eau précipitée sur les bassins versants étudiés ont été regroupés dans le tableau 37.

Les valeurs regroupées dans la colonne P3 ont été calculées à partir des gradients déterminés au paragraphe III.2.2.4. par la figure 54 : c'est-à-dire 83mm/100m pour le bassin versant du Ternèze à partir de La Thuile et 34mm/100m pour les bassins versants des Aillons à partir d'Aillon le Jeune. (Pour ces derniers, les altitudes moyennes étant supérieures à 900m, c'est le gradient altimétrique entre Aillon-le-Jeune et les chalets du Margéraz que nous avons utilisé).

La moyenne des trois valeurs de la hauteur de la lame d'eau précipitée sera utilisée pour établir un bilan hydrologique de chaque bassin versant sur la période janvier 1978-décembre 1978.

Bassins versants	Hauteurs lames d'eau mm	P1 Carte pluviométrique	P2 Gradients moyens	P3 Gradients observés	Pmm moyenne	Ecart
Ternèze	(2)	1709	1759	1668	1712	± 50mm 3%
Villaret	(2)	2127	2012	2156	2100	± 80mm 4%
Cimeteret	(1)	2157	2033	2164	2118	± 90mm 4%
	(2)	2116	1995	2148	2086	± 90mm 4%
Pissieux		2202	2086	2188	2159	± 80mm 4%

(2) bassin versant réel ; (1) bassin versant géographique .

Tableau 37 : Lame d'eau précipitée sur les bassins versants étudiés.

Pour le bassin versant géographique du Ternèze, la valeur moyenne des précipitations est de 1720mm.

III.3. LES TEMPERATURES.

Les données de températures sur le massif des Bauges sont peu nombreuses. Les stations de la Météorologie Nationale les plus proches de la zone étudiée sont :

- Challes-les-Eaux (291m) ;
- Lescheraines (588m).

En plus de ces deux stations effectuant des relevés depuis 1947, nous avons pu obtenir les températures de l'ancienne station d'Aillon-le-Jeune de 1947 à 1955, et des stations de Saint Pierre de Chartreuse (945m) et de La Clusaz (Haute-Savoie, 1150m).

Pour l'année 1978 nous avons disposé des données de Voglans (236m) et de nos relevés de La Thuile.

III.3.1. Températures annuelles :

III.3.1.1. Les données.

Les températures moyennes annuelles de différentes périodes et de 1978 sont rassemblées dans le tableau 38.

Périodes	Voglans 236m	Challes les Eaux 291m	Lescherai- nes 588m	La Thuile 880m	Aillon le Jeune 900m	St Pierre de Chartreu- se - 945m	La Clusaz 1150m
1947-1978	-	10,24	7,89	-	-	-	-
1947-1955	-	10,60	8,09	-	8,00	-	6,68
1959-1978	-	10,14	7,49	-	-	7,69	6,66
1978	10,10	9,77	6,93	7,39	-	7,31	6,55

Tableau 38 : Températures moyennes annuelles.

On remarque dans ce tableau, les températures anormalement basses de la station de Lescheraines. Sur la période 1947-1955, la température moyenne n'est supérieure que de 0,09°C à celle d'Aillon-le-Jeune située 312m plus haut.

Pour l'année 1978, la température moyenne de Lescheraines est la plus froide des températures de toutes les stations situées à moins de 1150m.

Sur la période 1947-1978 et pour la station de Challes-les-Eaux, l'année la plus chaude est 1947 avec 11,2°C et l'année la plus froide 1956 avec 8,85°C (écart 2,35°C).

Pour Lescheraines, l'année la plus chaude est 1947 avec 9,1°C et l'année la plus froide 1956 avec 6,5°C (écart 2,6°C). La température moyenne annuelle de 1978 est inférieure aux valeurs des autres périodes.

III.3.1.2. Les gradients (figure 56).

Les différentes valeurs des températures moyennes annuelles nous ont permis de calculer les gradients altimétriques de températures (tableau 39).

Période	Stations utilisées pour le calcul	Gradient
1947-1955	Challes, Aillon, La Clusaz	- 0,45°C/100m
1959-1978	Challes, Saint Pierre de Chartreuse, La Clusaz	- 0,40°C/100m
1978	Voglans, Challes, La Thuile St Pierre de Chartreuse, La Clusaz	- 0,39°C/100m

Tableau 39 : Gradients altimétriques de température.

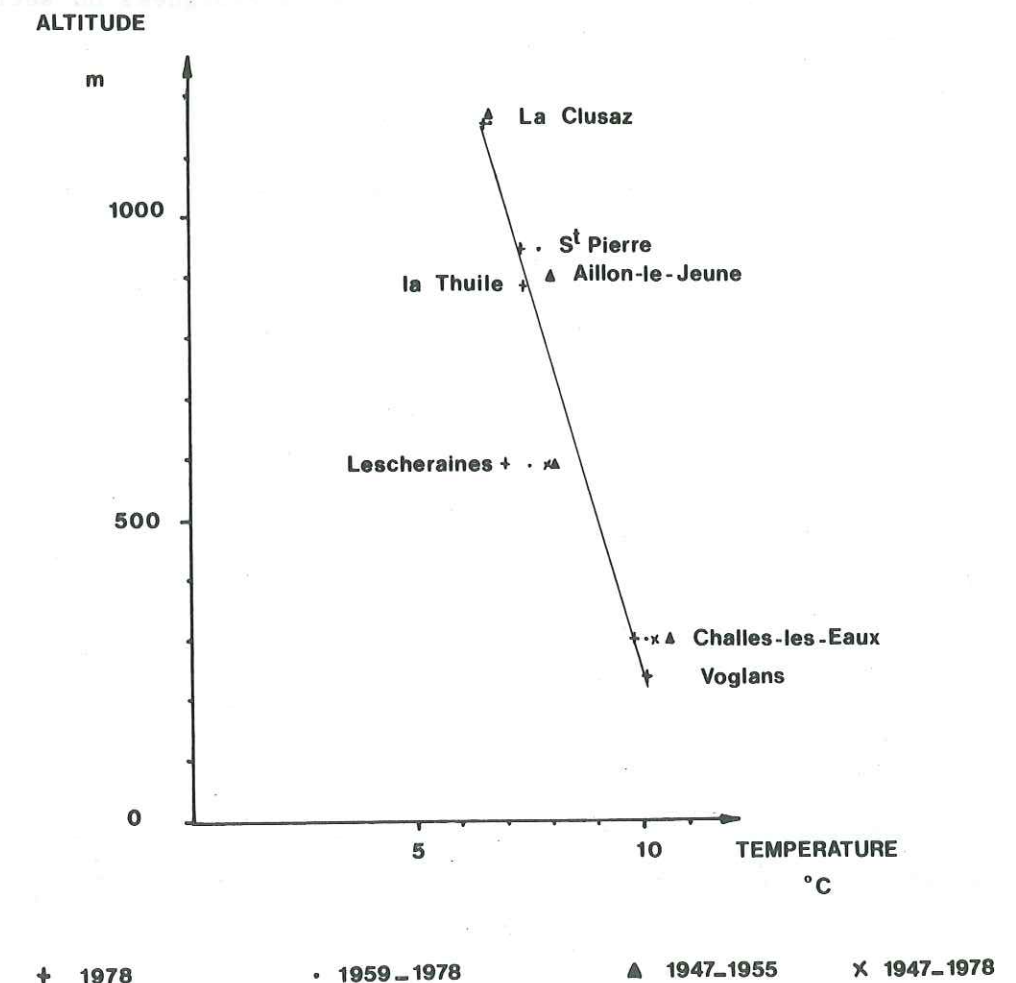


Fig 56 : Températures moyennes annuelles
Relation température-altitude

Nous avons écarté les valeurs de Lescheraines dont la situation, comme nous l'avons vu, est particulière. Les températures très basses ne sont applicables qu'à la partie basse du bassin versant du Nant d'Aillon très encaissée et exposée au Nord. Le gradient altimétrique de température calculé entre Challes-les-Eaux et Lescheraines, pour la période 1947-1978, est de $-0,79^{\circ}\text{C}/100\text{m}$.

Les autres gradients du tableau 39 sont très proches les uns des autres mais restent inférieurs aux gradients d'Angot dans les Alpes ($0,53^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) et aux gradients déjà appliqués dans la région pour des études précédentes (G. Nicoud, 1973, $0,52^{\circ}/100\text{m}$ pour la haute vallée du Chéran et Y. Lemordant, 1977, $0,49^{\circ}/100\text{m}$ pour le plateau du Revard).

Le gradient altimétrique de 1959-1978 n'est donné qu'à titre de comparaison car deux des trois stations sont très éloignées du secteur étudié.

III.3.1.3. Les températures moyennes annuelles sur les bassins versants étudiés.

Les gradients ainsi calculés permettent de calculer les températures moyennes annuelles à l'altitude moyenne des bassins versants étudiés.

Périodes	Ternèze (2)	Villaret (2)	Cimeteret		Pissieux
			(1)	(2)	
1959-1978	7,3	6,5	6,4	6,6	6,2
1978	7,0	6,3	6,1	6,3	5,9

bassin versant géographique (1) et réel (2).

Tableau : Températures moyennes annuelles sur les bassins versants étudiés.

Les valeurs obtenues sur les bassins versants géographiques du Ternèze et du Villaret sont égales aux valeurs des bassins versants réels.

III.3.2. Les températures mensuelles :

III.3.2.1. Températures moyennes mensuelles à Challes-les-Eaux.

Les températures moyennes mensuelles à Challes-les-Eaux ainsi que l'amplitude thermique indiquées dans le tableau 40 sont calculées pour la

période 1947-1978.

Les températures mensuelles et l'amplitude thermique moyennes minimales s'observent en décembre et janvier, les valeurs maximales en juillet et août.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T_m maxi.	5	7,5	12,2	16,2	20,3	23,7	26,2	25,5	22,1	16,4	9,8	5,6
T_m mini.	-3,3	-2,5	0,2	3,4	7,4	10,9	12,8	12,5	9,7	5,3	1,1	-2,3
T moyenne	0,9	2,6	6,2	9,8	13,9	17,3	19,5	19	15,9	10,9	5,5	1,7
Amplitude	8,3	10,1	12	12,8	12,9	12,8	13,4	13	12,4	11,1	8,7	7,9

Tableau 40 : Températures moyennes mensuelles et amplitude thermique moyenne à Challes-les-Eaux (1947-1978)

III.3.2.2. Températures moyennes mensuelles pendant la période d'étude.

Les températures moyennes mensuelles pour l'année 1978 des stations de Voglans, Challes-les-Eaux, La Thuile, Saint Pierre de Chartreuse et La Clusaz sont réunies dans le tableau 41.

Pour la station de Challes-les-Eaux on remarque que les mois de janvier, février et mars ont des températures moyennes plus fortes que les valeurs moyennes de la période 1947-1978. Les autres mois ont des températures inférieures.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Voglans ²³⁶	2,3	3,3	6,8	8,5	12,9	17	18,8	17,9	15,1	10,2	4,1	4,7
Challes ²⁹¹	1,5	2,8	6,5	8,0	12,6	17	18,9	18,2	15,1	9,6	3,8	4
Thuile ⁸⁸⁰	-0,9	0,1	3,8	4,6	9,3	14,1	16,1	15,6	13,2	8,2	3,4	1,5
St Pierre ⁹⁴⁵	-0,4	0,5	3,5	3,8	8,4	12,7	15,3	14,8	12,5	8,4	4,4	3,8
Clusaz ¹¹⁵⁰	-1,1	0	2,5	3,6	7,8	11,8	14,4	13,9	11,7	8,0	4,2	1,8

Tableau 41 : Températures moyennes mensuelles 1978.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Températures mensuelles moyennes Mini.	-1,8	-0,9	1,4	2,9	7,4	11,4	13,4	12,4	9	3,8	-1,6	0,6
Max.	4,8	6,4	11,5	13,0	17,8	22,5	24,3	23,9	21,2	15,4	9,2	7,3
Amplitude thermique	6,6	7,3	10,1	10,1	10,4	11,1	10,9	11,5	12,2	11,6	10,8	7,9

Tableau 42 : Températures moyennes minimales et maximales à Challes les Eaux, 1978.

Les mois d'hiver très pluvieux ont été également doux, le printemps et l'été frais. Le mois de juillet, le plus chaud de l'année moyenne (1947-1978) présente une température moyenne peu élevée (moyennes des maximas inférieure de 1,9°C par rapport à la valeur de l'année moyenne).

L'automne a débuté par deux mois secs mais frais (moyenne des minimas de novembre inférieure de 2,7°C à la moyenne des minimas de 1947-1978). Il s'est poursuivi par un mois de décembre pluvieux et chaud (température moyenne supérieure à celle du mois de novembre, et supérieure de 2,3°C à la valeur moyenne du mois de décembre 1947-1978). Les températures minimales moyennes de ce mois sont élevées (2,9°C de plus que la moyenne des minimas de décembre 1947-1978).

Ces effets s'atténuent en altitude avec un mois de décembre plus froid que novembre à La Thuile, Saint Pierre de Chartreuse et La Clusaz. La température moyenne mensuelle de Saint Pierre de Chartreuse est très élevée pour son altitude, ceci correspond à une inversion de température aux environs de 900 mètres.

III.3.2.3. Gradients mensuels de température.

D'après les données de températures mensuelles aux différentes stations, nous avons calculé, par régression linéaire, les gradients mensuels de température.

Pour ce calcul, la station de Lescheraine a été écartée.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gradient mensuel °C/100m	-0,36	-0,37	-0,47	-0,57	-0,58	-0,58	-0,50	-0,46	-0,37	0,23	<900m 0,10	0,47
											>900m 0,10	0,97

Tableau 43 : Gradients mensuels de température pour l'année 1978.

Pour les dix premiers mois, ces gradients ont été calculés à partir de la station de Voglans. Pour les mois de novembre et décembre, en raison de l'inversion de température observée dans les données, nous avons calculé deux gradients: un pour les stations dont l'altitude est inférieure à 900 mètres à partir de Voglans, un autre pour les deux stations d'altitudes supérieures à 900 mètres, à partir de Saint Pierre de Chartreuse.

III.3.2.4. Températures moyennes mensuelles sur les bassins versants étudiés (tableau 44).

A partir de ces gradients, nous avons calculé les températures moyennes mensuelles à l'altitude moyenne des bassins versants étudiés. Les températures moyennes mensuelles recalculées pour Challes-les-Eaux, avec nos valeurs de gradients, sont proches des températures réelles.

Les températures annuelles moyennes, pour les bassins versants, obtenues à partir de ces valeurs mensuelles, sont proches des valeurs calculées au paragraphe III.3.1.3.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Challes	1,8	2,9	6,5	8,0	12,6	16,9	18,7	17,9	15,0	9,8	3,9	4,2	
Ternèze	-0,8	0,2	3,2	3,9	8,4	12,7	15,2	14,7	12,4	8,2	4,3	3,2	7,1
Villaret	-1,5	-0,6	2,3	2,8	7,3	11,6	14,2	13,8	11,6	7,7	4,1	1,2	6,2
Cimeteret	-1,5	-0,5	2,4	2,9	7,4	11,7	14,3	13,9	11,7	7,8	4,2	1,5	6,3
Pissieux	-1,9	-0,9	1,8	2,3	6,7	11,1	13,7	13,3	11,3	7,5	4,0	0,3	5,8

Tableau 44 : Températures moyennes mensuelles calculées à Challes-les-Eaux et sur les bassins versants réels étudiés (1978).

III.4. HUMIDITE RELATIVE.

Ne disposant pas d'appareil sur la zone étudiée, nous nous référons aux mesures faites à Challes-les-Eaux.

L'humidité relative a été de 79,6% pour l'année 1978, maximum en janvier, février avec 84%, minimum en juin avec 73%; l'humidité moyenne sur la période 1947-1966 a été de 71,8%.

III.5. L'INSOLATION.

La durée d'insolation annuelle moyenne pour la station de Challes-les-Eaux est de 1960 heures. L'année 1978 n'a eu que 1767 heures d'insolation. Le maximum se situe en août avec 243 heures et le minimum en décembre avec 51 heures.

Les durées d'insolation mensuelles pour 1978 sont :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Insolation en heures	69	65	107	150	153	226	236	243	209	158	100	51

III.6. L'EVAPOTRANSPIRATION.

Sous ce nom d'évapotranspiration, il nous faut distinguer deux phénomènes différents, mais qui ont la même conséquence : celle d'éliminer une partie de l'eau précipitée sur le sol.

Ces deux phénomènes sont :

- l'évaporation : l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux, c'est-à-dire du sol, de la végétation ou d'un plan d'eau à l'atmosphère ;
- la transpiration : l'eau absorbée puis contenue dans les plantes est évaporée par la transpiration.

Ne disposant pas de matériel pour mesurer cette évapotranspiration, nous l'avons calculé par les différentes formules de Turc, Coutagne, Serra, Tornwhaite et Primault.

Une valeur moyenne des valeurs ainsi obtenues sera retenue pour les calculs de l'approche du bilan hydrologique de chaque bassin versant étudié.

III.6.1. Evapotranspiration réelle selon la formule de Turc.

La formule s'écrit :

$$E_r = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \text{ avec } L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

E: évapotranspiration en mm ;

P: pluviométrie annuelle moyenne en mm ;

T: température annuelle moyenne en °C.

Nous avons calculé l'évapotranspiration pour Challes-les-Eaux ainsi que les bassins versants réels étudiés :

	1959-1978	1978
Challes-les-Eaux	538 (48%)	528mm (47%)
Ternèze	484 (20%)	475mm (28%)
Villaret	463 (24%)	460mm (22%)
Cimeteret	466 (25%)	*454 (21%), 460mm (23%)
Pissieux	456 (23%)	449mm (21%)

* bassin versant géographique.

Tableau 45 : Evapotranspiration selon Turc sur les bassins versants réels étudiés et à Challes-les-Eaux.

Les pourcentages représentés, les rapports entre l'évapotranspiration et les précipitations.

On peut noter que si on utilise les températures moyennes annuelles déterminées avec leur gradient de 0,5°C/100m, les valeurs de l'évapotranspiration sont inférieures de 2% seulement aux valeurs notées dans le tableau.

III.6.2. Déficit d'écoulement :

III.6.2.1. Selon Coutagne.

Ce déficit d'écoulement est calculé avec deux formules :

- La première formule fait intervenir la température

$$D = 210 + 30 T$$

D : déficit d'écoulement en mm ;

T : température moyenne annuelle en °C.

Mais cette formule est valable pour une pluviométrie comprise entre 640mm et 960mm. Elle n'est pas applicable dans notre cas.

- La deuxième formule : elle fait intervenir température et pluviométrie.

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

D : déficit d'écoulement en m/an ;

P : pluviométrie annuelle en m/an ;

T : température moyenne annuelle en °C.

Cette formule a également un domaine de validité.

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$$

Si P est plus grand que $\frac{1}{2\lambda}$, on admet que le déficit d'écoulement est égal à celui correspondant à $P = \frac{1}{2\lambda}$

$$d'où : D = \frac{1}{4\lambda} = 0,20 + 0,035 T$$

Les valeurs de la pluviométrie et de la température obtenues dans notre étude nous obligent à employer cette formule et les déficits d'écoulement ainsi calculés sont réunis dans le tableau 46.

Pour Challes-les-Eaux, et pendant la période 1959-1978, la deuxième formule peut être employée, elle donne la même valeur que la formule simplifiée.

	1959-1978 mm %P	1978 mm %P
Challes-les-Eaux	555 (50%)	542 (49%)
Ternèze	456 (26%)	445 (26%)
Villaret	427 (23%)	421 (20%)
Cimeteret	431 (23%)	427 (20%)
Pissieux	417 (21%)	407 (19%)

Tableau 46 : Déficit d'écoulement selon Coutagne.

Les valeurs 1978 avec gradient 0,5°C/100m donnent 2% de moins (en pourcentage de précipitation).

III.6.2.2. Selon Serra.

La formule donnée par Serra est la suivante :

$$D : 270 e^{0,0644 T}$$

D : déficit d'écoulement en mm/an ;

T : température moyenne annuelle en °C.

	1959-1978 mm %P	1978 mm %P
Challes-les-Eaux	519 (47%)	507 (46%)
Ternèze	432 (39%)	423 (25%)
Villaret	410 (22%)	405 (19%)
Cimeteret	413 (22%)	405 (19%)
Pissieux	403 (20%)	395 (18%)

Tableau 47 : Déficit d'écoulement selon Serra sur les bassins versants réels étudiés.

On obtient des valeurs inférieures de 1% avec un gradient de 0,5°/100m.

III.6.3. Evapotranspiration potentielle selon la méthode de Thornwhaite :

L'évapotranspiration potentielle est calculée mensuellement suivant la formule :

$$E_{TP} = 16 \left(10 \times \frac{t}{I}\right)^a$$

E_{TP} : Evapotranspiration potentielle mensuelle en mm ;

t : température moyenne mensuelle °C ;

$$I : \sum_{i=1}^{12} i \quad i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$$

$$a = 0,49239 + 1792 \cdot 10^{-5} I - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 675 \cdot 10^{-9} I^3$$

Les valeurs mensuelles ainsi trouvées sont ensuite corrigées par un facteur de latitude. Ces facteurs mensuels déterminés pour Thonon sont les suivants :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
facteur correctif	0,79	0,81	1,02	1,13	1,29	1,31	1,32	1,22	1,04	0,94	0,79	0,74

D'après J.J. Jérémie, le calcul de l'évapotranspiration, selon ces facteurs, entraîne une surestimation des valeurs pour les mois d'août, septembre et octobre qui correspondent déjà au repos végétatif. Il propose donc d'appliquer de nouveau facteur de correction pour ces trois mois : c'est-à-dire août : 0,83 ; septembre : 0,68 et octobre : 0,52. Les valeurs mensuelles et annuelles ainsi corrigées sont notées entre parenthèse dans le tableau 48.

	an	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Challes les Eaux	641 (578)	4	9	29	41	77	108	123	109 (90)	76 (52)	41 (21)	12	12
Ternèze	551 (492)	0	1	20	27	61	90	107	96 (80)	70 (48)	44 (23)	20	15
Villaret	524 (465)	0	0	17	22	58	87	104	94 (78)	69 (47)	44 (23)	22	7
Cimeteret	527 (468)	0	0	17	23	58	87	105	94 (78)	69 (47)	44 (23)	22	8
Pissieux	508 (449)	0	0	15	20	55	86	102	93 (77)	69 (47)	44 (23)	22	2

Tableau 48 : Valeurs mensuelles de l'évapotranspiration selon Thornwhaite (1978).

III.6.4. Evapotranspiration selon la formule de Primault :

Cette formule donnant l'évapotranspiration potentielle a été calculée pour Challes-les-Eaux. Elle s'écrit :

$$E_{Tp} = J C \left(1.03 - \frac{H}{100}\right) \times (S_i + 2n)$$

n : nombre de jours dans le mois ;

S_i : durée d'insolation mensuelle en heures ;

H : humidité relative mensuelle en %

C : constante dépendant de l'altitude pour Challes-les-Eaux

$$C = 0,930 ;$$

J : coefficient mensuel donné par B. Primault.

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
J	0,11	0,17	0,45	0,75	0,93	1,05	1,11	1,02	0,8	0,56	0,36	0,22

Pour 1978 les valeurs en mm sont :

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	an
E_{Tp}	3	4	19	41	46	84	80	69	46	24	10	5	431

Tableau 49 : Evapotranspiration à Challes-les-Eaux selon Primault.

III.6.5. Evapotranspiration moyenne annuelle sur les bassins versants :

III.6.5.1. Période d'étude 1978.

Les valeurs moyennes de l'évapotranspiration pour les différents bassins versants étudiés et à la station de Challes-les-Eaux sont regroupés dans le tableau 50.

Les valeurs moyennes 1978 sont calculées avec les résultats des cinq formules

Les valeurs extrêmes sont également indiquées dans le tableau. Les valeurs maximales correspondent aux valeurs déterminées par la formule de Thornwhait, sans correction, et les valeurs minimales à la formule de Serra.

On remarque que les valeurs moyennes se rapprochent des valeurs obtenues par la formule de Turc, sauf pour Challes-les-Eaux.

	1959-1978 m	mini.	1978 m	maxi
Challes-les-Eaux	537	507 46%	559 50%	641 58%
Ternèze	457	423 25%	477 28%	551 32%
Villaret	433	405 19%	455 22%	524 25%
Cimeteret	437	405 19%	456 22%	527 25%
Pissieux	425	395 18%	442 20%	508 24%

Tableau 50 : Valeurs moyennes et extrêmes de l'évapotranspiration pour chaque bassin versant réel en mm et en % des précipitations.

III.6.5.2. Période 1959-1978.

Les valeurs moyennes de l'évapotranspiration sur la période 1959-1978 sont calculées à partir des résultats des formules de Turc, Coutagne et Serra. Les valeurs de Tornwhait n'ont pu être calculées pour les bassins versants.

La valeur moyenne de l'évapotranspiration à Challes-les-Eaux se rapproche également de la valeur déterminée par la formule de Turc, alors que pour les bassins versants, c'est la valeur de Coutagne qui est la plus proche.

Il faut remarquer que les valeurs moyennes de 1978, calculées à partir de ces trois formules sont beaucoup plus faibles que celles indiquées dans le tableau, les valeurs de Tornwhait étant très fortes et rehaussant les valeurs moyennes.

Remarque : Evapotranspiration moyenne pour le bassin versant géographique du Nant d'Aillon à la station du Cimeteret est égale à 450mm (valeurs extrêmes 400mm et 519mm).

CHAPITRE IV. HYDROLOGIE.

L'établissement de bilans hydrologiques précis n'est possible qu'en réalisant une étude des débits en continu. Ce relevé des débits réalisé pour Le Ternèze et le Nant d'Aillon, nous permettra de mesurer les lames d'eau écoulées sur les bassins versants respectifs.

De plus, comme nous l'avons déjà précisé, l'exurgence karstique du Pissieux, en raison de sa position géographique particulière, n'a pu être dotée d'un limnigraphe enregistreur. Nous avons donc été dans l'obligation de mesurer les débits de cette source par différence entre la station du Villaret et une station supplémentaire installée en amont de la source sur le Nant d'Aillon, délimitant ainsi le sous bassin versant du Cimenterer. Nous avons pu, de cette façon, mesurer la lame d'eau écoulée par l'exurgence du Pissieux.

IV.1. MESURE DE LA LAME D'EAU ECOULEE SUR LE BASSIN VERSANT DU TERNEZE.

Le ruisseau du Ternèze n'a jamais été équipé de station limnigraphe. Il nous a donc fallu procéder à l'installation d'une station, et nous avons choisi le pont de Boyat (pc 636) comme lieu de mesure, bien que le bassin versant ainsi délimité ne représente pas la totalité du bassin versant du Ternèze proprement dit.

L'appareil du type SIAP a été installé le 1er Octobre 1977.

La Leysse est, par contre, équipée d'une station limnimétrique au pont de la Trousse. Il aurait été intéressant de comparer les données des années antérieures avec les résultats de 1978. Mais nous n'avons pas pu obtenir ces valeurs.

IV.1.1. Courbe de Tarage (figure 57).

La courbe de Tarage de la station du pont de Boyat a été réalisée avec des jaugeages au micromoulinet pour les hauteurs inférieures à 60cm et des jaugeages chimiques à débit constant ou par intégration pour les valeurs supérieures à 60 cm.

Grâce à une calculatrice Wang, nous avons testé plusieurs types de corrélation reliant débit et hauteur d'eau.

Fig 57 : BASSIN VERSANT DU TERNEZE
Courbe de tarage de la station du pont de Boyat

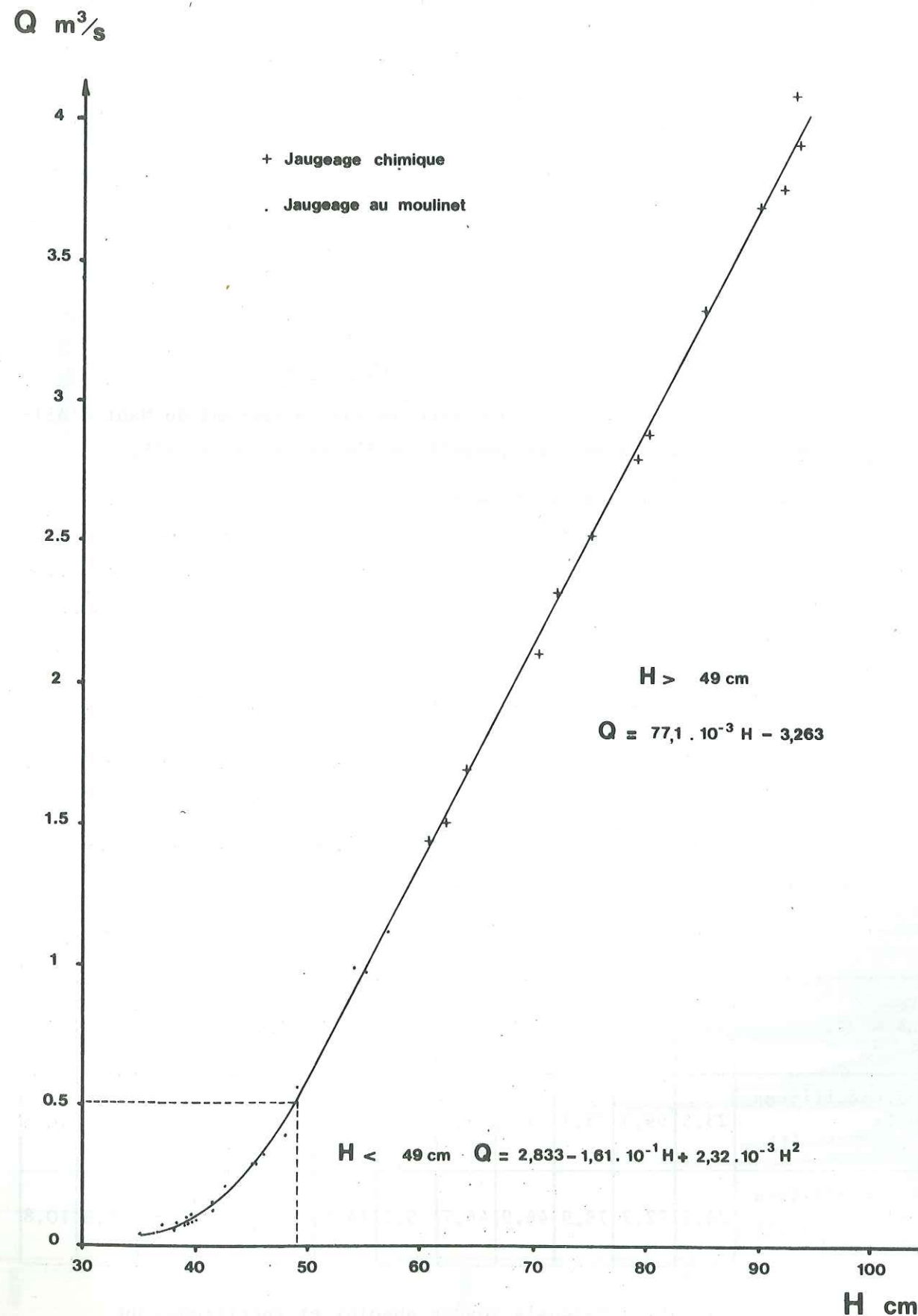


Fig 59 : Débits moyens mensuels

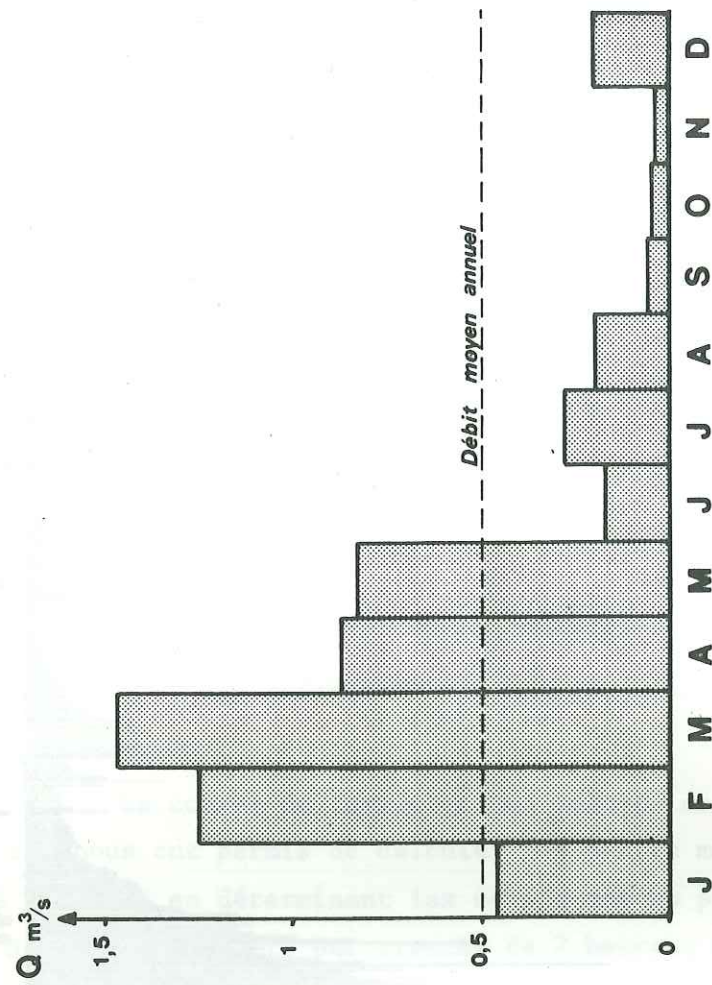


Fig 60 : Courbe des débits classés

Dans le tableau 51 nous avons donné les valeurs des débits moyens et les débits spécifiques mensuels pour le bassin versant géogéographique (1) et le bassin versant réel (2).

Le débit moyen annuel est de 502 l/s, soit un débit spécifique annuel de 25,8 pour (1) et 26,9 pour (2).

IV.1.2.3. Débits caractéristiques (figure 60).

La courbe des débits moyens journaliers classés, nous permet de dégager des débits caractéristiques définis ainsi :

- le débit caractéristique maximum : débit dépassé 10 jours par an ;
- le débit caractéristique moyen : débit dépassé 6 mois par an ;
- les débits caractéristiques dépassés (DC₁, DC₃, DC₉, DC₁₁) respectivement 1, 3, 9 et 11 mois par an ;
- le débit caractéristique d'étiage DCE, débit dépassé 355 jours par an.

Dans le tableau 52, nous avons regroupé les valeurs absolues et spécifiques de ces débits caractéristiques pour les bassin versants géographique et réel .

Q caractéris.	DCM	DC ₁	DC ₃	DC ₆	DC ₉	DC ₁₁	DCE
l/s	2380	1575	650	200	50	47	43
Bassin versant géo-graphique l/s/km ²	122,4	81,0	33,4	10,3	2,6	2,4	2,2
Bassin versant réel l/s/km ²	127,7	84,5	34,9	10,7	2,7	2,5	2,3

Tableau 52 : Débits caractéristiques.

IV.1.3. Remarque sur les débits :

La comparaison des débits moyens mensuels entre eux peut se faire par l'intermédiaire des rapports débit moyen mensuel/débit moyen annuel, reportés dans le tableau ci-après :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
\bar{Q}_m	456	1346	1470	874	834	177	278	198	59	47	43	202
Q mensuel	0,91	2,68	2,93	1,74	1,66	0,35	0,55	0,39	0,12	0,09	0,09	0,40
Q annuel												

Le maximum se situe en février, mars, et le minimum en octobre novembre.

La valeur faible de janvier correspond à des précipitations solides importantes sur le bassin versant.

Etant donné l'altitude moyenne peu élevée du bassin versant, les pluies d'hiver chaudes ont pour effet de faire fondre rapidement le stock neigeux : ainsi, pour les mois de février, mars, avril, les alternances (forte couche de neige et fortes pluies), ont entraîné, à la faveur d'un sol gelé, de fortes crues.

Le mois de mai, pluvieux, a donné des débits moyens journaliers conséquents.

Le mois de juin, avec quelques périodes ensoleillées, a permis au débit de diminuer légèrement.

Mais avec les mois de juillet et août apparaissent les forts orages (85mm de pluie le 8 août) et des crues importantes.

L'étiage d'été se situe pour cette année 1978, pendant les mois de septembre, octobre et novembre, avec pour fin novembre un débit d'étiage de 43 l/s.

Le mois de décembre voit le retour de pluies conséquentes, mais l'état du sol après trois mois de sécheresse n'a pas permis de fortes crues.

IV.1.4. Calcul de la lame d'eau écoulée :

Les débits moyens mensuels nous permettent de calculer le volume de la lame d'eau écoulée mensuellement et annuellement ainsi que sa hauteur.

Mois	Volume m ³ de la lame d'eau	Hauteur de la lame (mm) ⁽¹⁾	Hauteur de la lame (mm) ⁽²⁾
Janvier	1 221 000	63	66
Février	3 256 000	168	175
Mars	3 937 000	203	211
Avril	2 266 000	117	122
Mai	2 234 000	115	120
Juin	459 000	24	25
Juillet	745 000	38	40
Août	530 000	27	28
Septembre	153 000	8	8
Octobre	126 000	6	7
Novembre	111 000	6	6
Décembre	541 000	28	29
année 1978	15 579 000	802	837

Tableau 53 : Lame d'eau écoulée sur les bassins versants du Ternèze à la station du pont de Boyat.

IV.1.5. Les eaux souterraines du bassin versant du Ternèze :

Pour évaluer le volume des eaux souterraines, nous avons étudié les courbes de tarissement du ruisseau de Ternèze en régime non influencé. Nous avons utilisé la formule de Maillet qui s'applique aux écoulements laminaires et qui admet une décroissance exponentielle en fonction du temps.

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

avec : Q_t : débit à l'instant t en m³/s ;

Q_0 : débit à l'instant t_0 en m³/s ;

α : coefficient de tarissement ;

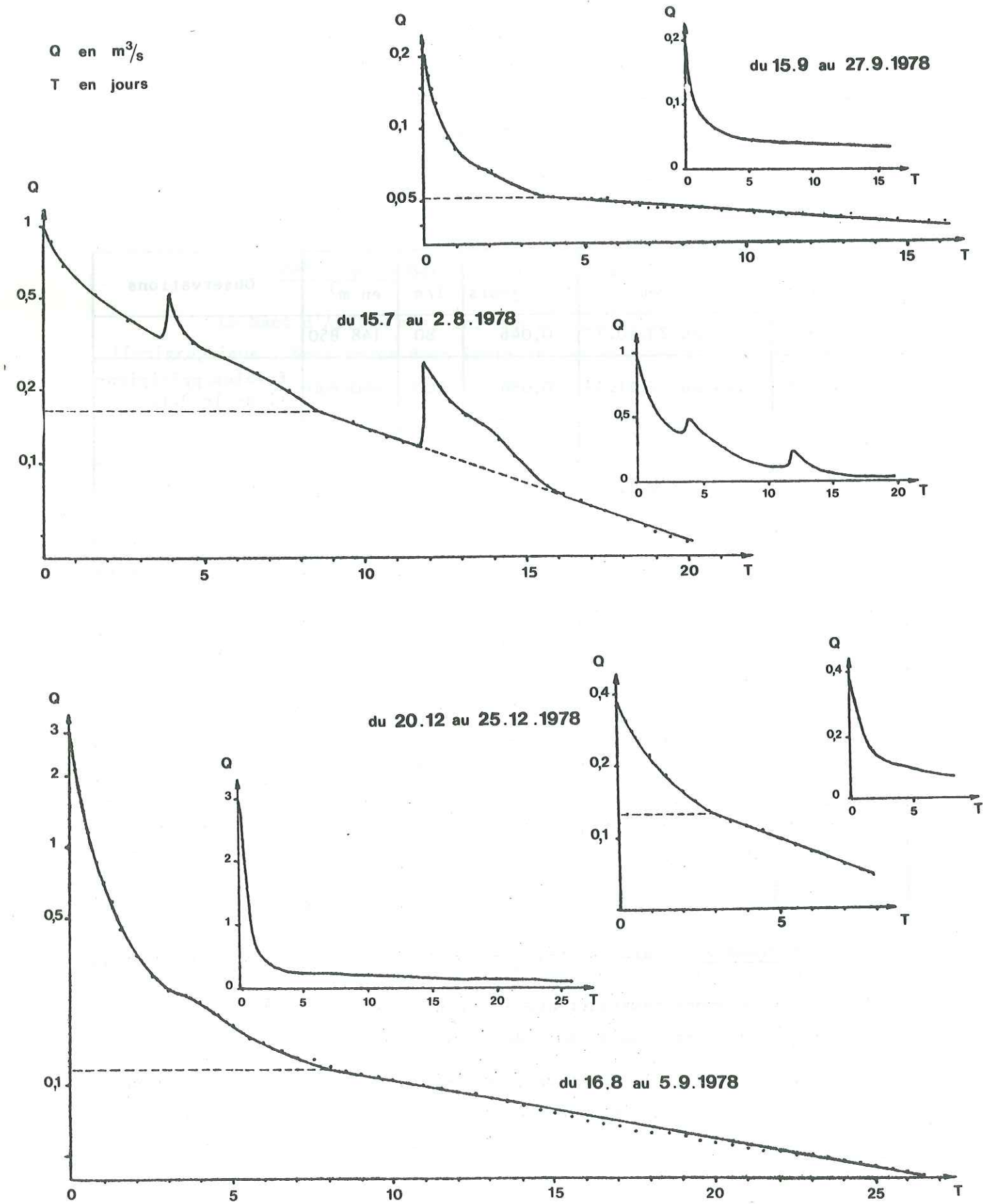
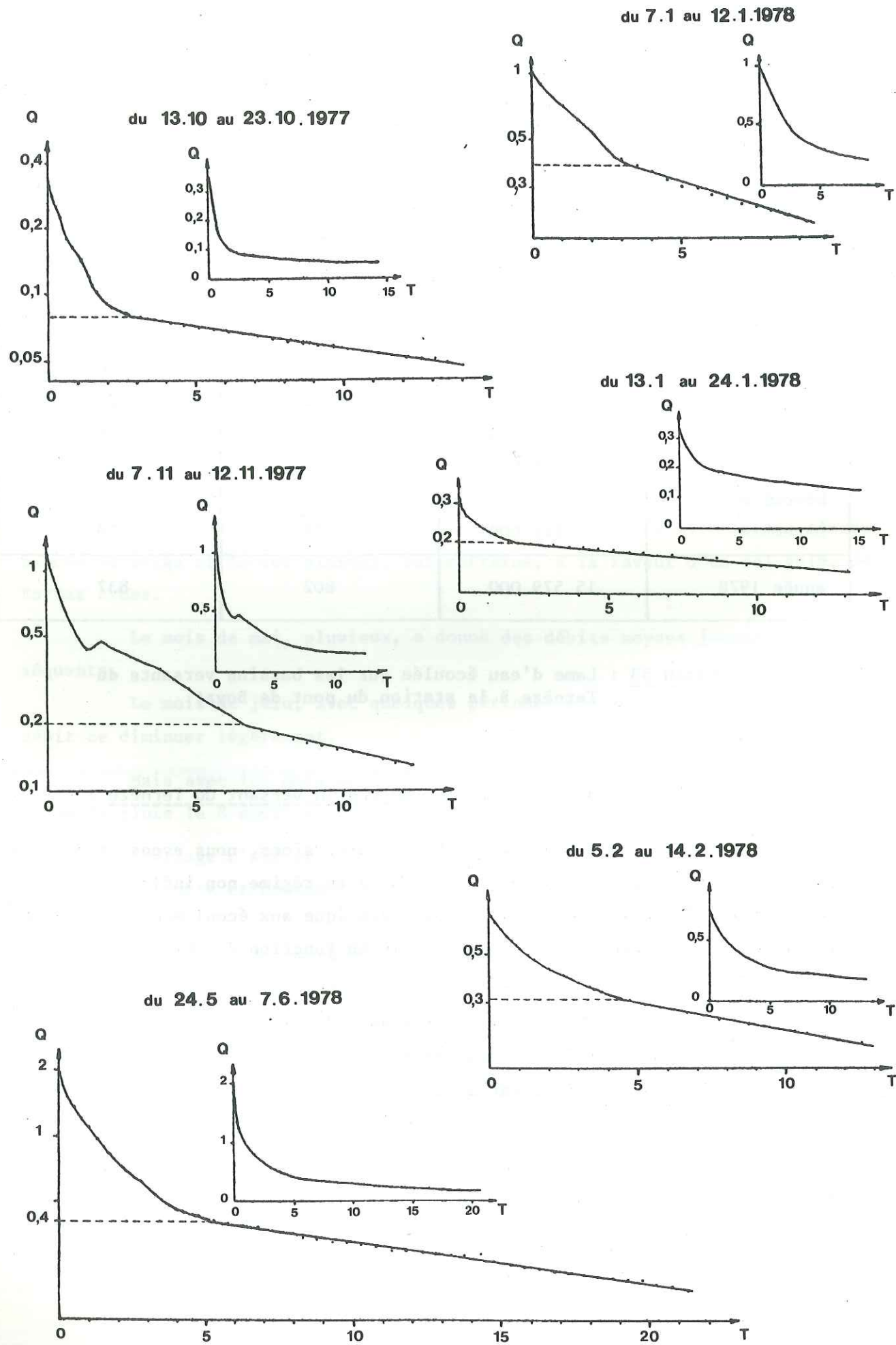
t : temps écoulé depuis le début du tarissement.

Par les logarithmes décimaux, la formule de Maillet s'exprime également de la manière suivante :

$$\log Q^t = \log Q_0 - 0,43,43 \alpha t$$

le volume V des réserves à l'instant t_0 est :

Fig 61 : Courbes de tarissement
Ternèze au pont de Boyat



$$V = \int_{t_0}^{\infty} Q_t dt$$

$$= \frac{Q_0}{\alpha} \text{ avec } t \text{ exprimé en secondes.}$$

La figure 61 présente les courbes de tarissement que nous avons pu établir d'octobre 1977 à décembre 1978. Certaines de ces courbes pourront être en régime légèrement influencées. Ceci augmente les incertitudes et les volumes des réserves ainsi calculés ne représentent qu'un ordre de grandeur.

Nous avons regroupé dans le tableau 54 les caractéristiques de ces courbes de tarissement.

Fin de la crue	Période étude du tarissement	α t en jours	Q_0 l/s	V en m ³	Observations
10.10.1977	13.10 au 23.10.77	0,046	80	148 850	
2.11.1977	7.11 au 12.11.77	0,086	200	200 600	faibles précipitations le 9.11
3.01.1978	7.01 au 12.01.78	0,084	305	312 200	
12.01.1978	13.01 au 12.01.78	0,026	200	660 750	précipitations neige le 19.
1.02.1978	5.02 au 14.02.78	0,058	310	462 200	faibles précipitations les 11 et 13 02.
19.05.1978	24.05 au 7.06.78	0,043	400	787 800	faibles précipitations les 31.05 et 3.06.
08.07.1978	15.07 au 02.08.78	0,107	170	137 100	Régime influencé
08.08.1978	16.08 au 05.09.78	0,058	120	176 250	
11.09.1978	15.09 au 27.09.78	0,023	52	194 800	
17.12.1978	20.12 au 25.12.78	0,123	130	91 317	faibles précipitations les 23 et 24. 12

Tableau 54 : Caractéristiques des courbes de tarissement du Ternèze

Nous pouvons remarquer que le volume des réserves est maximum au mois de mai 1978 et minimum au mois de décembre 1978.

Les effets de la sécheresse des mois de septembre, octobre et novembre se retrouvent dans les réserves du mois de décembre, qui sont extrêmement faibles.

Les coefficients de tarissement présentent de brusques variations mais restent, dans l'ensemble, forts pour les périodes sous l'influence de l'évapotranspiration et faibles en hiver. Nous n'avons pas trouvé d'explication pour la forte valeur de α des mois de novembre 1977 et décembre 1978.

L'important volume d'eau, susceptible d'être emmagasiné indique qu'il existe des aquifères importants dans le bassin versant du Ternèze et ceux-ci peuvent être représentés par les calcaires senoniens et les conglomérats priaboniens de Combe Noire et de la Galoppaz.

IV.2. MESURE DE LA LAME D'EAU ECOULEE SUR LE BASSIN VERSANT DU NANT D'AILLON.

Le Nant d'Aillon n'a, lui non plus, jamais été équipé de station limnigraphique. Nous avons donc installé une station au pont du Villaret Rouge, situé 500 mètres avant la confluence du ruisseau avec le Chéran.

La station du Cimeteret a été placée 200 mètres en amont de l'exurgence karstique du Pissieux.

Ces deux stations ont été installées respectivement le 19 décembre 1977 et le 31 décembre 1977, avec des appareils OTT à durée autonome de 8 jours.

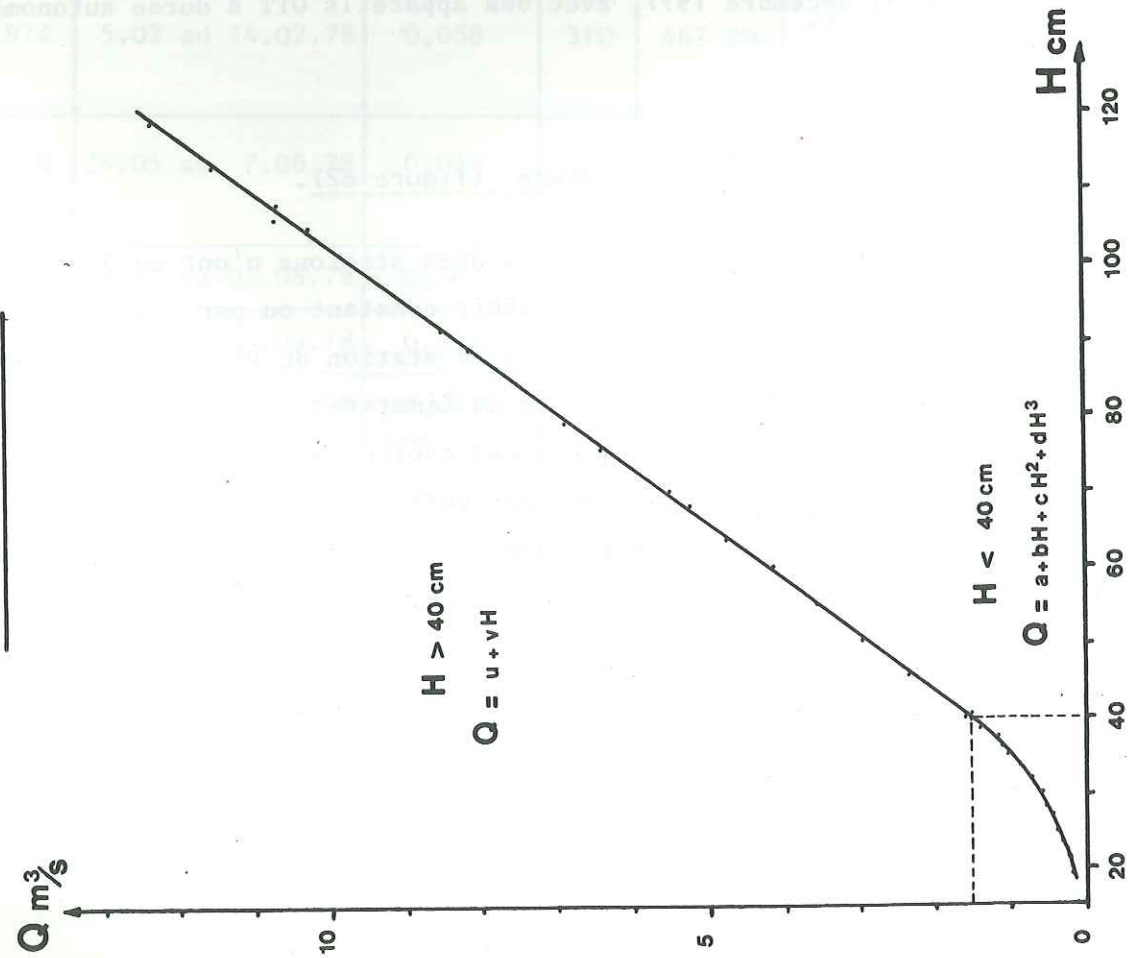
IV.2.1. Courbes de tarage (figure 62).

Les courbes de tarages des deux stations n'ont pu être réalisées que par des jaugeages chimiques à débit constant ou par intragrations. En effet, la largeur du lit du ruisseau à la station du Villaret et l'encombrement (blocs) de ce même lit à la station du Cimeteret ont interdit les jaugeages au moulinet. La méthode chimique s'est avérée la mieux adaptée bien que le lit du ruisseau soit très profond par endroit, constituant ainsi des pièges pour le sel employé. Néanmoins, parmi le nombre important de jaugeages effectués, nous avons pu sélectionner ceux qui nous semblaient les plus précis.

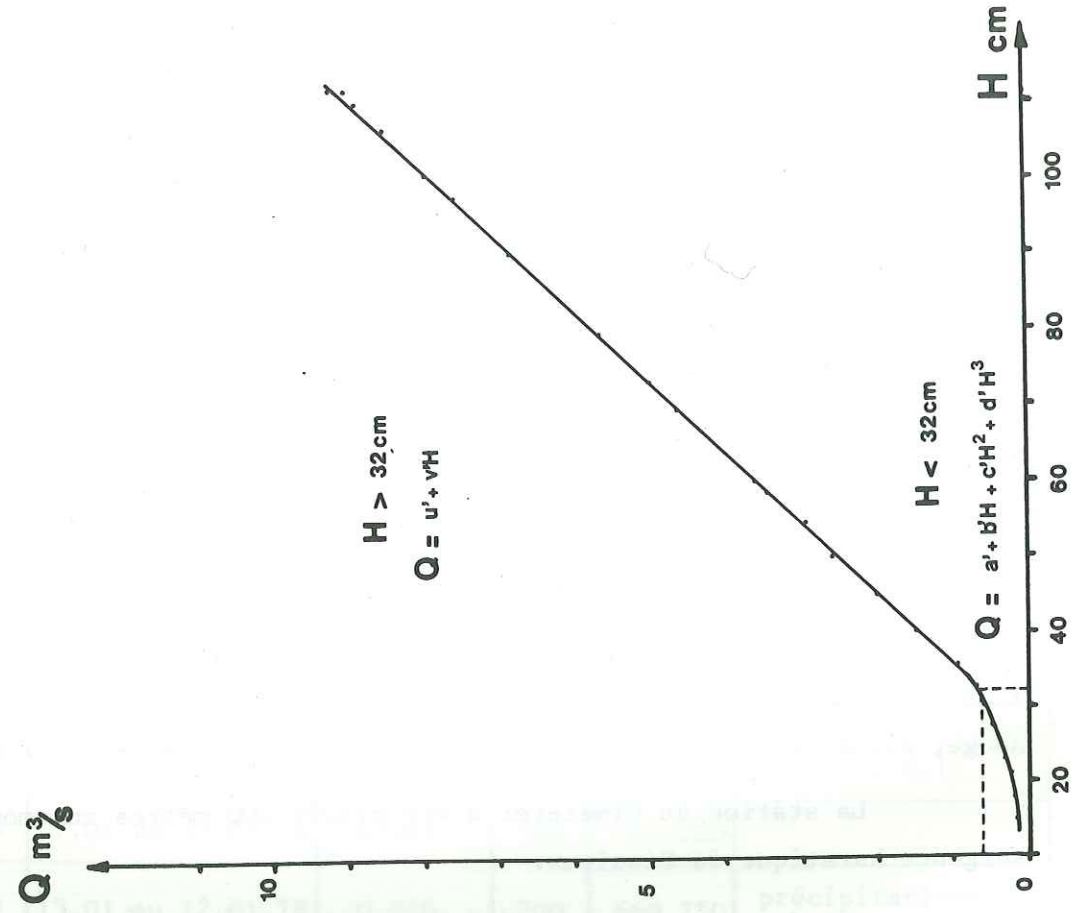
Les corrélations hauteur débit ont été testées sur la calculatrice Wang.

Fig 62 : BASSIN VERSANT DU NANT D'AILLON - Courbes de tarages -

station du Villaret



station du Cimeteret



IV.2.1.1. La courbe de tarage de la station limnigraphique du Villaret, se décompose en deux parties :

Une courbe représentée par une fonction cubique pour les hauteurs inférieures à 40cm.

$$Q = a + b H + cH^2 + dH^3$$

$$Q = 6,19 \cdot 10^{-2} + 1,32 \cdot 10^{-2}H - 0,85 \cdot 10^{-3}H^2 + 0,0377 \cdot 10^{-3}H^3 \quad H \text{ en cm}$$

et une droite :

$$Q = u + vH$$

$$Q = 13,50 \cdot 10^{-2}H - 3,916 \quad m^3/s$$

pour la partie supérieure à 40cm.

IV.2.1.2. Station du cimeteret.

La courbe de tarage du Cimeteret se décompose ainsi :

$$Q = a' + b'H + c'H^2 + d'H^3$$

$$H < 32 \quad Q = -5,216 \cdot 10^{-1} + 8,29 \cdot 10^{-2}H - 3,27 \cdot 10^{-3}H^2 + 0,055 \cdot 10^{-3}H^3$$

$$Q = u' + v'H$$

$$H > 32 \quad Q = 10,69 \cdot 10^{-2}H - 2,830 \quad m^3/s$$

Les courbes de tarage sont restées identiques durant la période d'é-tude.

IV.2.2. Débit métrie :

IV.2.2.1. Débits moyens journaliers (figures 63 et 64).

En raison de l'amplitude très grande des crues et d'une échelle des temps moins précise que sur le limnigraphe du Ternèze, nous avons calculé les débits moyens journaliers en déterminant les débits moyens par tranches horaires en période de crues.

On constate une grande similitude dans les variations des débits moyens journaliers des deux stations malgré la présence de l'exurgence karstique du Pissieux.

Fig 63 : Débits moyens journaliers du Nant d'Aillon au pont du Villaret

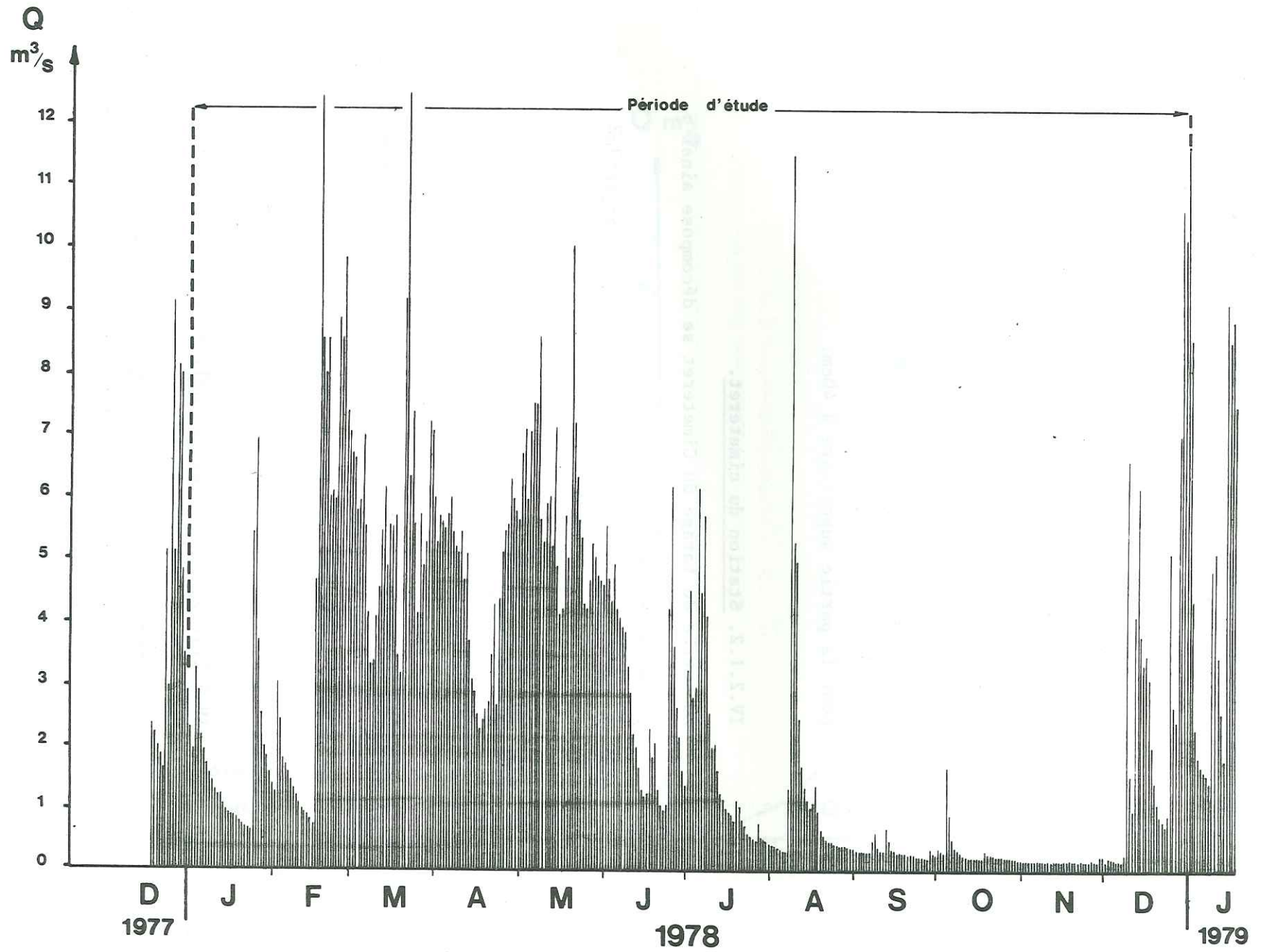
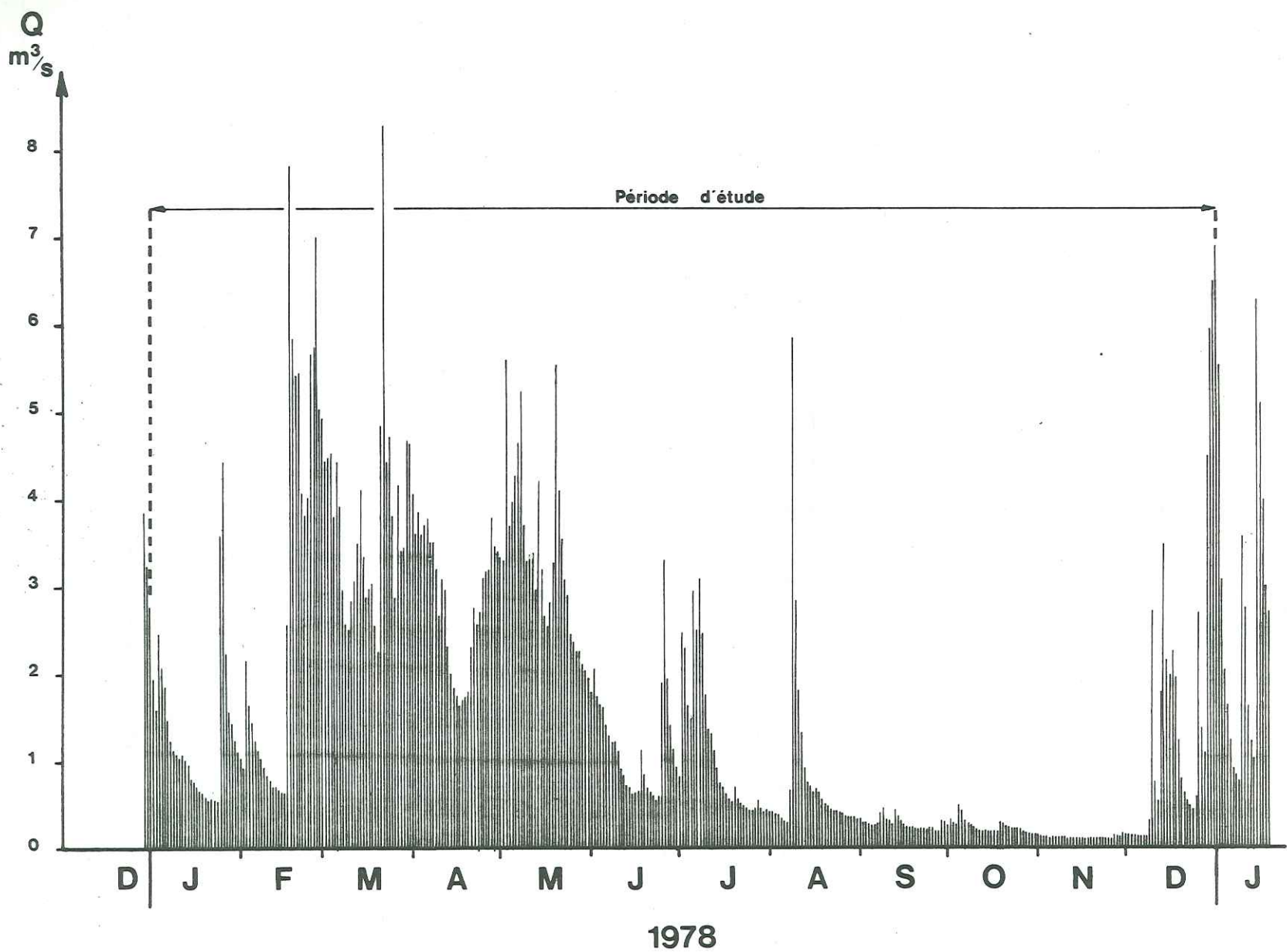


Fig 64 : Débits moyens journaliers du Nant d'Aillon à la station du Cimeteret



IV.2.2.2. Débits moyens mensuels et annuels (figures 65 et 67).

Dans le tableau 55, nous donnons les valeurs des débits moyens mensuels et les débits spécifiques pour les bassins versants géographiques (1) et réels (2) des deux stations.

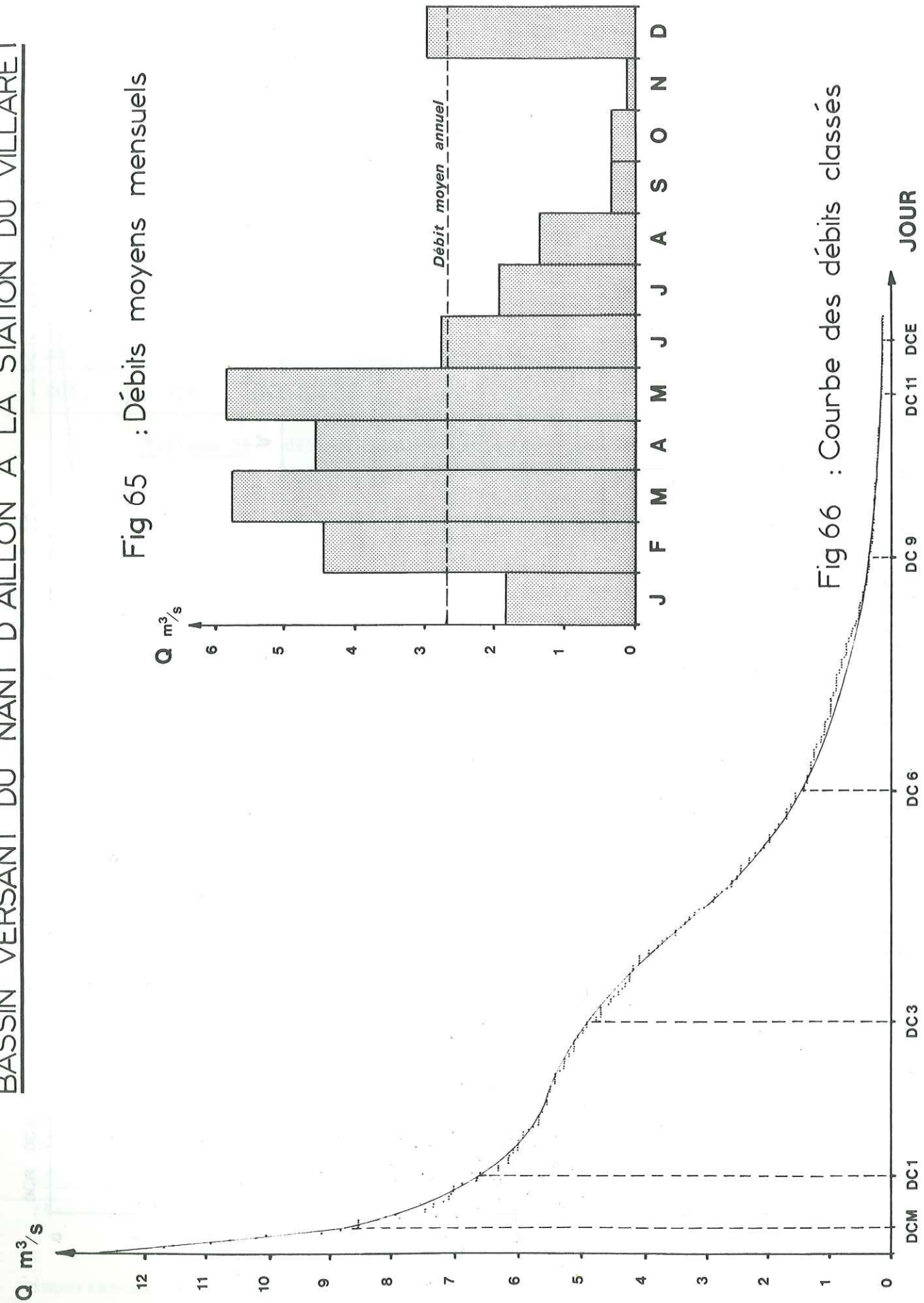
	Bassin versant du Villaret			Bassin versant du Cimeteret		
	Débit moyen mensuel l/s	Débit spé. (1) l/s/km ²	Débit spé. (2) l/s/km ²	Débit moyen l/s	débit spé. (1) l/s/km ²	Débit spé. (2) l/s/km ²
Janvier	1838	31	31,3	1352	24,3	36,1
Février	4392	74	74,7	2953	53	78,9
Mars	5733	96,6	97,5	3795	68,1	101,4
Avril	4549	76,6	77,4	2874	51,6	76,8
Mai	5845	98,5	99,5	3331	59,8	89
Juin	2780	46,8	47,3	1168	21	31,2
Juillet	1859	31,3	31,6	1139	20,5	30,4
Août	1349	22,7	23	803	14,4	21,4
Septembre	315	5,3	5,4	296	5,3	7,9
Octobre	315	5,3	5,4	254	4,6	6,8
Novembre	154	2,6	2,6	150	2,7	4
Décembre	2952	49,7	50,2	1707	30,7	45,6
année	2674	45,1	45,5	1652	29,7	44,1

Tableau 55 : Débits moyens absolus et spécifiques des stations du Villaret et du Cimeteret.

IV.2.2.3. Débits caractéristiques (figures 66 et 68).

Les débits caractéristiques des deux bassins versants dégagés des courbes des débits classés sont rassemblés dans le tableau 56 suivant :

BASSIN VERSANT DU NANT D'AILLON A LA STATION DU VILLARET



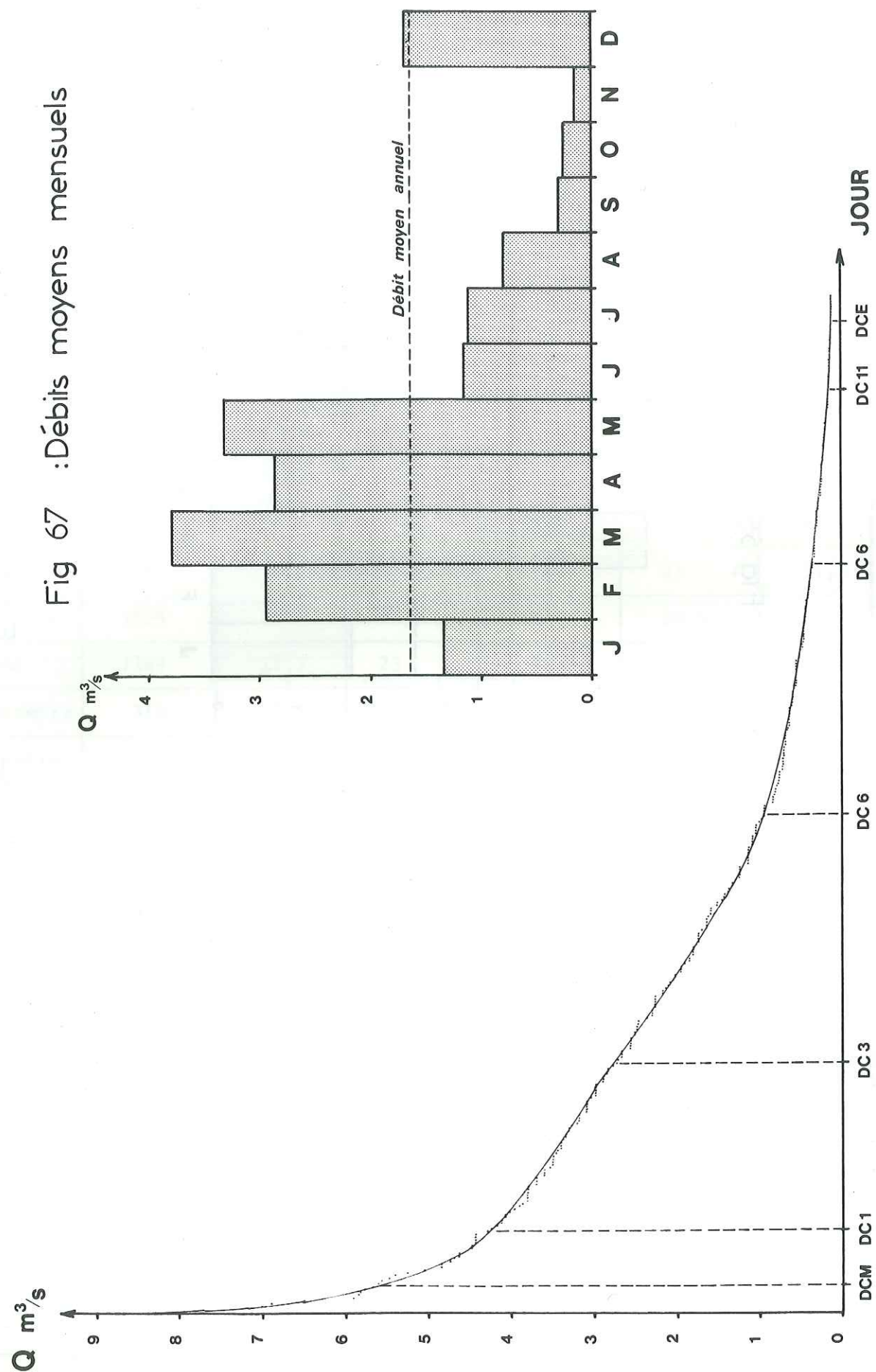
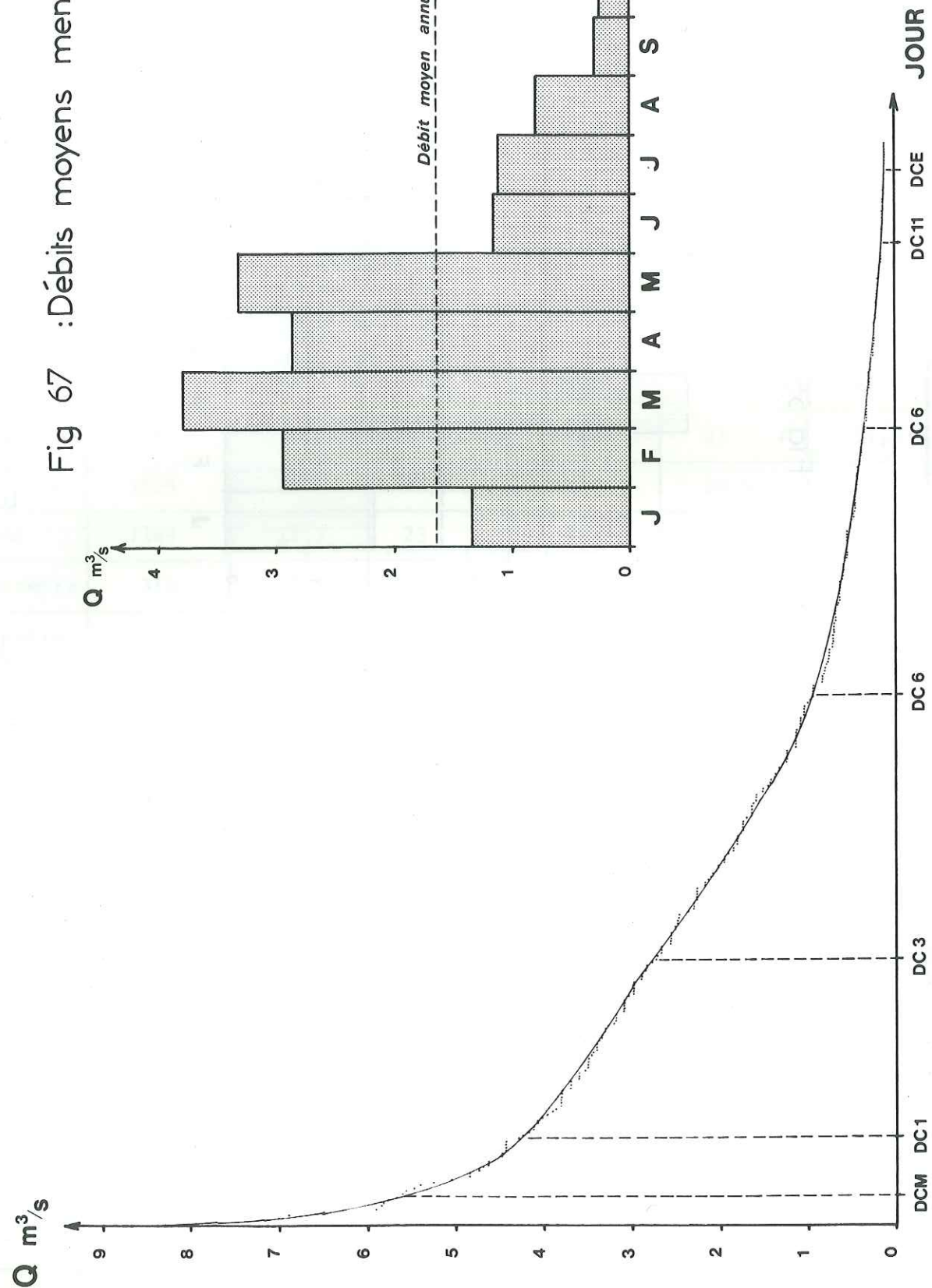


Fig 67 : Débits moyens mensuels

Fig 68 : Courbe des débits classés



Bassin Q caract.	Villaret			Cimeteret		
	1/s	Débit spé. (1) 1/s/km ²	Débit spé. (2) 1/s/km ²	1/s	Débit spé. (1) 1/s/km ²	Débit spé. (2) 1/s/km ²
DCM	8542	143,9	145,3	5600	100,6	149,6
DC ₁	6625	112,6	112,7	4267	76,6	114
DC ₃	4917	82,8	83,7	2733	49	73
DC ₆	1417	23,9	24,1	933	16,8	24,9
DC ₉	333	5,6	5,7	340	6,1	9,1
DC ₁₁	167	2,8	2,8	167	3	4,5
DCE	154	2,6	2,6	133	2,4	3,6

Tableau 56 : débits caractéristiques.

IV.2.3. Remarques sur les débits :

Nous donnons dans le tableau suivant les rapports débits moyens mensuels/débit moyen annuel pour le Villaret (1) et le Cimeteret (2).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
(1) Q _m	1838	4392	5733	4549	5845	2780	1859	1349	315	315	154	2952
Q _m /Q _{an}	0,69	1,64	2,14	1,70	2,19	1,04	0,70	0,50	0,12	0,12	0,06	1,10
(2) Q _m	1352	2953	3795	2874	3331	1168	1139	803	296	254	150	1707
Q _m /Q _{an}	0,82	1,79	2,30	1,74	2,01	0,71	0,69	0,49	0,18	0,15	0,09	1,03

L'étiage d'hiver se situe au mois de janvier, et l'étiage d'été au mois de novembre. Comme pour le bassin versant du Ternèze, on remarque les fortes valeurs des mois de février, mars et avril. Les pluies du SW, apportées par le foehn en hiver, ont pour effet de faire fondre rapidement la neige.

Avec les mois de mai et juin, les débits importants sont dus principalement à la fonte des neiges. On remarque, pour ces mois, des débits nettement supérieurs à la station du Villaret. En effet, alors que sur le bassin du Cimeteret, la plus grande partie des neiges avait fondu, le plateau du Margé-riaz était encore très enneigé et les débits du Pissieux étaient très importants.

Au mois de juillet et août, de violents orages ont donné des crues importantes (le 8 août : 89mm de pluie, débit de pointe de crues au Villaret :

14m³).

L'étiage absolu se situe, pour l'année 1978, au mois de novembre avec 154 l/s pour le Villaret, et décembre voit le retour des pluies et des crues peu importantes en début de mois, par suite d'un sol asséché ; elles s'emplifieront en fin de mois.

Nous n'avons pas disposé, pour comparer les débits du Nant d'Aillon et du Ternèze, à d'autres cours d'eau des massifs subalpins, de données concernant la même période.

Caractéristi. Cours d'eau	Période de réf.	\bar{Q} an m ³ /s	\bar{Q} spéci. k/s/km ²	Surf. bassin versant
Guiers Mort	70.74	3,94	46,8	101
Guiers Vif	70.74	4,46	43,3	112,5
Nant d'Aillon Villaret	78	2,67	45,5	58,8
Nant d'Aillon Cimeteret	78	1,65	44,1	37,4
Ternèze	78	0,50	26,9	18,7
Chéran	72.73	2,25	23,4	96
Hyères	75	0,98	39,2	25

Tableau 57 : Comparaison des débits entre quelques cours d'eau des massifs subalpins.

Cependant, les périodes considérées présentent des valeurs de précipitations et de température moyenne semblables à celle de l'année 1978.

On remarque les valeurs similaires des débits spécifiques du Guiers Vif, du Guiers Mort et du Nant d'Aillon. Ces fortes valeurs sont dues à un faible stockage de l'eau. Il faut noter également que ces trois bassins présentent des circulations karstiques importantes.

La valeur du débit spécifique du Ternèze est très inférieure à ces quatre cours d'eau et comparable à celle du Chéran. Alors que pour le Chéran, cette valeur est la conséquence d'un stockage dans les formations quaternaires, pour le Ternèze, c'est le stockage dans les calcaires jurassiques supérieurs qui en est responsable.

IV.2.4. Calcul de la lame d'eau écoulée :

Nous calculerons successivement le volume de la lame d'eau écoulée ainsi que sa hauteur pour les bassins versants du Nant d'Aillon.

Ces valeurs sont regroupées dans les tableaux 58 et 59 suivants :

Mois	Volume de la lame d'eau - m ³	Hauteur de la lame d'eau - mm (1)	Hauteur de la lame d'eau - mm (2)
Janvier	4 923 000	82	83
Février	10 625 000	179	181
Mars	15 355 000	259	261
Avril	11 791 000	199	201
Mai	15 655 000	264	266
Juin	7 206 000	121	123
Juillet	4 979 000	84	85
Août	3 613 000	61	62
Septembre	817 000	14	14
Octobre	844 000	14	14
Novembre	399 000	7	7
Décembre	7 907 000	133	134
Module annuel	84 114 000	1417	1431

Tableau 58 : Volume et hauteur de la lame d'eau écoulée à la station du Villaret.

(1) bassin versant géographique ; (2) bassin versant réel.

Mois	Volume de la lame d'eau - m ³	Hauteur de la lame d'eau - mm (1)	Hauteur de la lame d'eau - mm (2)
Janvier	3 621 000	65	97
Février	7 144 000	128	191
Mars	10 165 000	183	272
Avril	7 449 000	134	199
Mai	8 922 000	160	238
Juin	3 027 000	54	81
Juillet	3 051 000	54	81
Août	2 151 000	39	57
Septembre	767 000	14	20
Octobre	680 000	12	18
Novembre	389 000	7	10
Décembre	4 572 000	82	122
Module annuel	51 938 000	932	1386

Tableau 59 : Volume et hauteur de la lame d'eau écoulée à la station du Cimeteret.

IV.2.5. Les eaux souterraines du bassin versant du Nant d'Aillon :

Les figures 69 et 70 représentent les différentes courbes de tarissement du Nant d'Aillon que nous avons pu étudier de janvier à décembre 1978 aux stations du Villaret et du Cimeteret.

Les tableaux 60 et 61 suivants rassemblent les caractéristiques de ces courbes ainsi que les volumes des réserves correspondants, calculés par la formule de Maillet.

Fin de la crue	Période d'étude du tarissement	α t en jours	Q l/s	V m ³	Observations
3.01.1978	8.01 au 23.01.78	0,055	1410	2 215 000	neige les 11-18 et 19.01.1978
2.02.1978	4.02 au 16.02.78	0,074	1650	1 926 000	neige les 5-6 et 11.02.1978
7.07.1978	13.07 au 26.07.78	0,069	1150	1 440 000	précipitations 17-18 et 19.07.78
17.08.1978	21.08 au 06.09.78	0,033	460	1 204 000	-
12.09.1978	16.09 au 27.09.78	0,039	275	610 000	-
4.10.1978	9.10 au 17.10.78	0,067	290	380 000	précipitations le 16.10.1978

Tableau 60 : Caractéristiques des courbes de tarissement du Nant d'Aillon à la station du Villaret

Fin de la crue	Période d'étude du tarissement	α t en jours	Q l/s	V m ³	Observations
3.01.1978	8.01 au 22.01.78	0,040	940	2 038 000	neige les 11-18 et 19.01.1978
2.02.1978	5.02 au 16.02.78	0,056	1150	1 774 000	neige les 5-6-11 et 15.02.1978
8.08.1978	14.08 au 05.09.78	0,030	580	1 670 000	précipitations le 16.08.1978
12.09.1978	17.09 au 27.09.78	0,046	300	568 000	-
04.10.1978	08.10 au 17.10.78	0,034	270	700 500	

Tableau 61 : Caractéristiques des courbes de tarissement du Nant d'Aillon à la station du Cimeteret

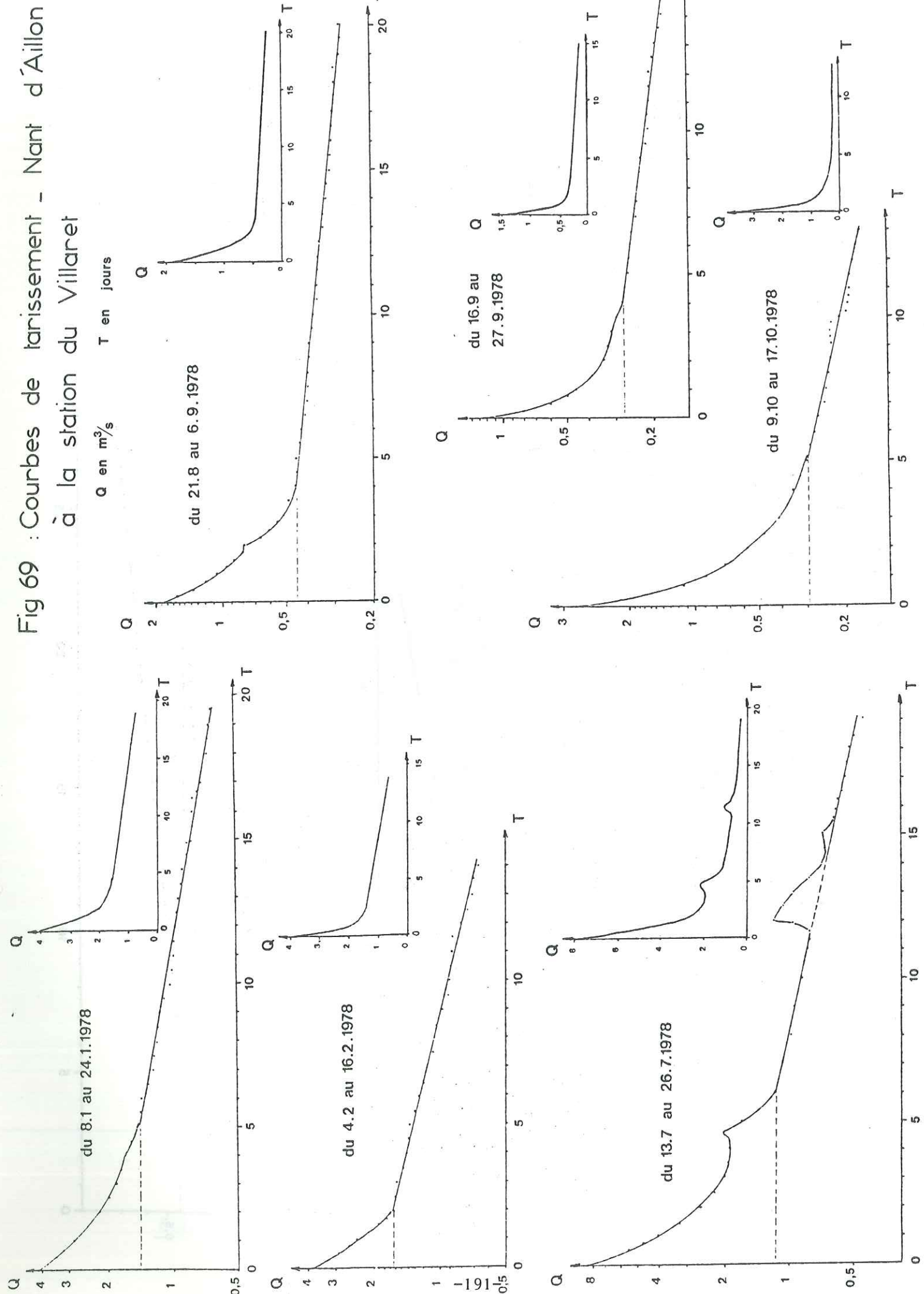
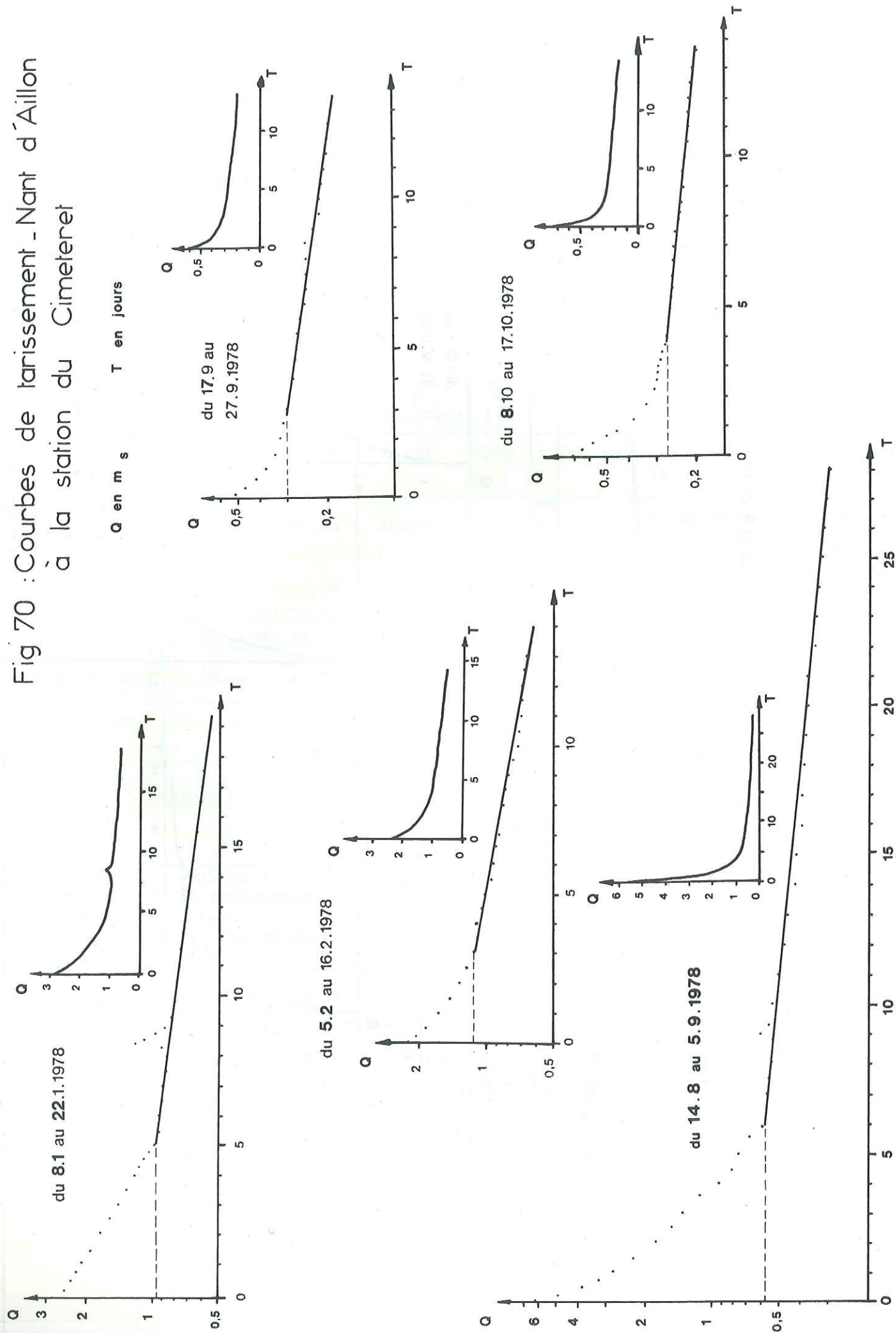


Fig 69 : Courbes de tarissement - Nant d'Aillon à la station du Villaret

Fig 70 : Courbes de tarissement - Nant d'Aillon
à la station du Cimeteret



Les pertes possibles entre les deux stations n'ont pas été prises en compte pour établir les courbes de tarissement de la station du Villaret.

Le volume des réserves ainsi calculé ne représente qu'une approximation, étant donné les périodes relativement courtes des tarissements. Certaines de ces périodes correspondent également à un régime influencé.

On peut, malgré tout, estimer un volume des réserves de la source du Pissieux par différence, de l'ordre de $200\ 000\text{m}^3$ pour les mois de janvier et février.

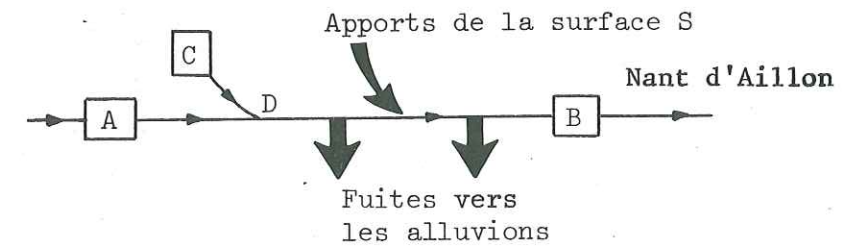
Dans les tarissements du mois de novembre, où les débits sont faibles, on se rend compte que les pertes, dans les alluvions, prennent une grande importance dans les calculs, d'où un volume de réserve plus important à la station du Cimeteret qu'à la station du Villaret.

IV.3. LA LAME D'EAU ECOULEE A L'EXURGENCE DU PISSIEUX.

IV.3.1. Mesure des débits par différence (figure 71).

Cette mesure des débits, théoriquement envisageable par différence entre la station aval (pont du Villaret) et la station amont (pont du Cimeteret) a révélé en pratique quelques difficultés.

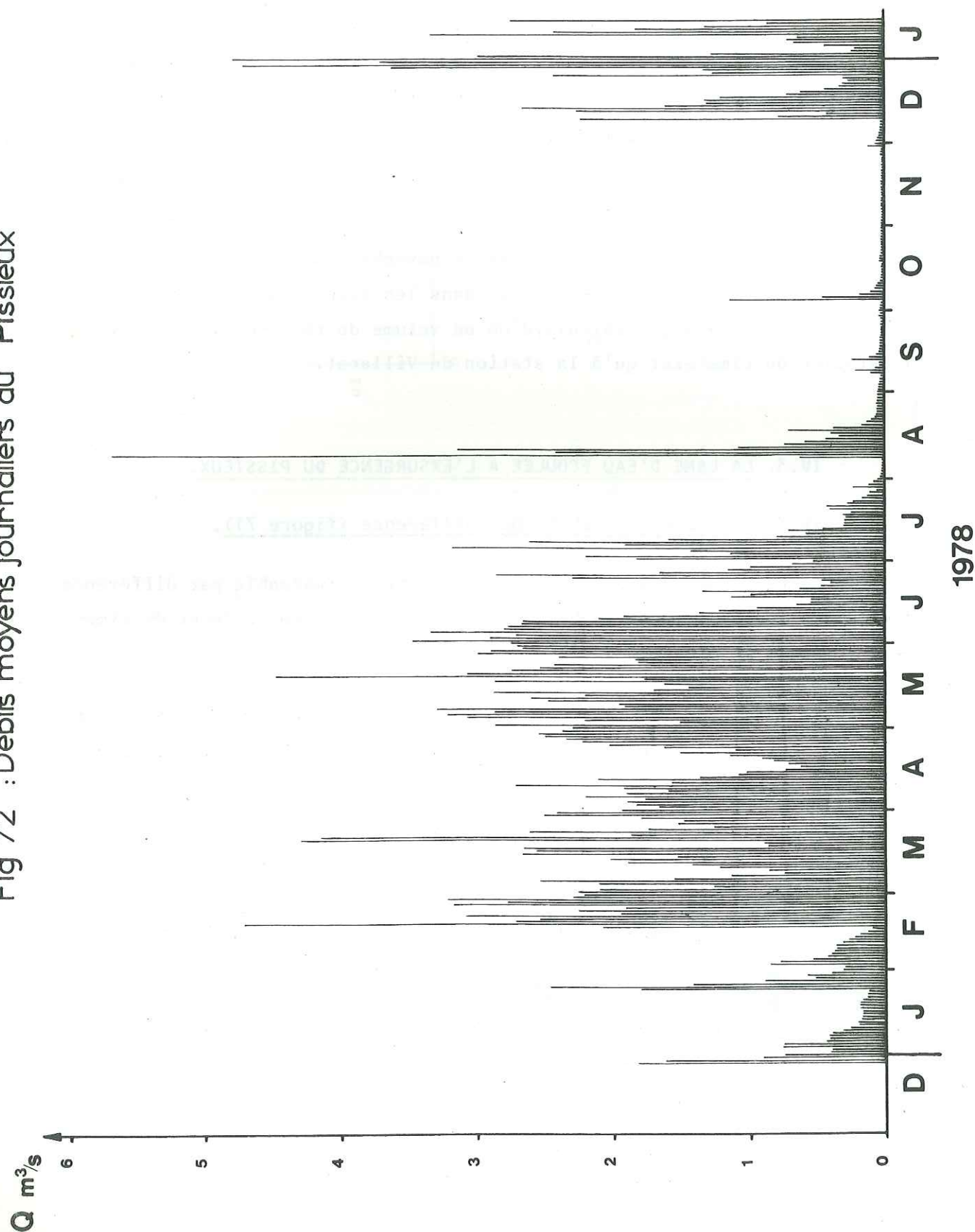
En examinant les surfaces des deux bassins versants géographiques on se rend compte que le bassin versant à la station du Villaret est supérieur de $3,66\text{ km}^2$.



- A : Station du Cimeteret
- B : Station du Villaret
- C : Exurgence du Pissieux
- D : Point de jaugeage à l'aval de la confluence
- S : Différence entre les surfaces des bassins versants géographiques aux stations du Villaret et du Cimeteret

Fig. 71 - Mesure par différence des débits de l'exurgence du Pissieux

Fig 72 : Débits moyens journaliers au Pissieux



Cette zone a une altitude moyenne de 860 mètres. La pluviométrie moyenne annuelle y est de 1875 mm. En y retranchant une valeur moyenne d'évapotranspiration annuelle de 480 mm, nous obtenons l'apport théorique de cette zone à la station du Villaret soit 150 l/s (6% du débit moyen annuel de la station).

En contrôlant les débits à la station du Villaret et immédiatement à l'aval de la confluence entre le Nant d'Aillon et l'exurgence du Pissieux (point D), nous avons constaté une différence. Entre 200 l/s et 800 l/s, les débits instantanés, au point 4, sont supérieurs en moyenne de 8% à ceux de la station du Villaret (au-delà de 800 l/s, la différence n'est plus visible compte-tenu des précisions de jaugeage). Il existe donc des circulations souterraines dans les alluvions du Nant d'Aillon, entre les deux stations.

IV.3.2. Débit métrie :

IV.3.2.1. Débits moyens journaliers (figure 72).

Pour obtenir les débits à l'exurgence du Pissieux, nous avons, compte-tenu de ces remarques, fait la différence entre les valeurs de la station du Cimeteret et la station du Villaret lorsque cette dernière avait un débit moyen journalier supérieur à 800 l/s. Chaque fois que ce débit instantané était inférieur à 800 l/s, nous avons procédé à un jaugeage de la source du Pissieux, par méthode chimique. Ces mesures ont surtout été effectuées durant les mois d'août, septembre, octobre et novembre 1978, une à deux fois par semaine. Nous avons également, dans ce cas, observé la différence pour extrapoler les débits moyens journaliers manquants.

IV.3.2.2. Débits moyens mensuels (figure 73).

Dans le tableau 62, nous donnons les débits moyens mensuels et annuel absolus et spécifiques de cette exurgence.

Mois	Débits moyens absolus 1/s	Débits moyens spécifiques 1/s/km ²
Janvier	487	27,6
Février	1439	81,5
Mars	1938	109,7
Avril	1675	94,8
Mai	2514	142,4
Juin	1612	91,3
Juillet	725	41,1
Août	569	32,2
Septembre	53	3,0
Octobre	84	4,8
Novembre	18	1,0
Décembre	1252	70,9
année	1030	58,3

Tableau 62 : Débits moyens absolus et spécifiques de l'exsurgence du Pissieux.

IV.3.2.3. Débits caractéristiques (figure 74).

La courbe des débits classés permet de donner les débits caractéristiques suivants :

	DCM	DC1	DC3	DC6	DC9	DC11	DCE
Débits caractéristiques absolus 1/s	3320	2760	1920	480	63	15	13
Débits caractéristiques spécifiques 1/s/km ²	188,0	156,3	108,7	27,2	3,6	0,85	0,74

Tableau 63 : Débits caractéristiques du Pissieux.

IV.3.3. Remarques sur les débits :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
\bar{Q} mensuel 1/s	487	1439	1938	1675	2514	1612	725	569	53	84	18	1252
\bar{Q} mensuel / Q annuel	0,47	1,40	1,88	1,63	2,44	1,57	0,70	0,55	0,05	0,08	0,02	1,22

EXSURGENCE DU PISSIEUX

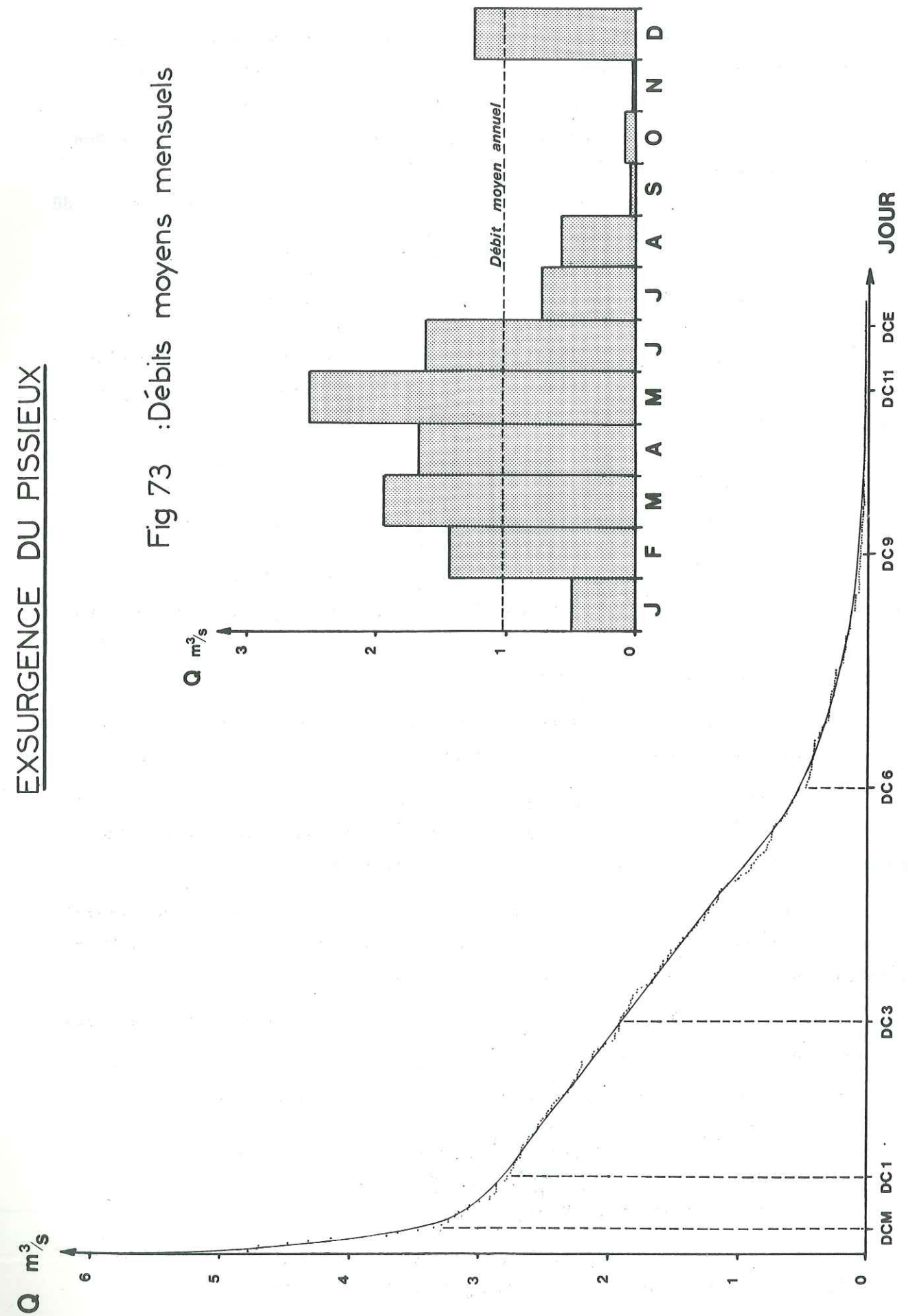


Fig 73 : Débits moyens mensuels

Fig 74 : Courbe des débits classés

Les débits moyens mensuels et le rapport débit moyen mensuel sur débit moyen annuel font remarquer :

- un court étiage d'hiver limité au mois de janvier ;
- que les mois de février, mars et avril sont sous l'influence des redoux successifs ;
- que les mois de mai et juin sont caractérisés par un fort débit dû à la fonte des neiges du plateau ;
- un étiage bien marqué aux mois de septembre, octobre et surtout novembre de cette année 1978.

Le débit instantané absolu maximum mesuré par différence a été de $8 \text{ m}^3/\text{s}$ le 8 août 1978. Le débit absolu d'étiage a été jaugé le 25 novembre 1978 avec 11 l/s

IV.3.4. Etude des débits classés, selon la méthode de Mangin :

Les débits moyens journaliers obtenus sur un cycle hydrologique, sont répartis en classes. Dans chaque classe de débit, on indique le pourcentage de jours de la période considérée. On obtient ainsi l'histogramme des débits classés de l'exutoire karstique.

Cette courbe s'apparente sensiblement à une demi-courbe de Gauss et peut se prêter ainsi à un examen statistique.

A. Mangin (1971) a recherché une loi de répartition pour l'étude de ces débits classés dont la variable aléatoire est suivant les cas, liée au débit, soit de façon linéaire, soit de façon logarithmique.

On calcule la fréquence cumulée des débits pour chacune des classes. Sur un diagramme, on porte en ordonnées, en échelle de probabilité, les fréquences annulées et en abscisses les différentes valeurs de Q.

Sur ce diagramme des pourcentages cumulés des débits, plusieurs cas sont possibles.

- si les points sont alignés, la loi de répartition est :

$$\text{Pr} [Q \leq q] = \text{Pr} [x \leq a (q - Q_0)]$$

Q_0 est l'abscisse de probabilité nulle

a est la pente de la droite.

- si les points se disposent suivant une courbe on construit un nouveau diagramme avec en abscisses, le logarithme des débits.

Si les points se répartissent alors sur une droite, x sera alors une fonction logarithmique du débit.

$$X = a \log \frac{Q}{Q_0}$$

$\log Q_0$ correspond à la probabilité nulle.

a: pente de la droite.

Si les points se répartissent approximativement sur une droite, on procède par la méthode des moindres carrés.

Selon A. Mangin (1971), les deux types de droite liaison linéaire entre X et Q ou liaison logarithmique correspondent à deux types de karsts différents par le mode d'infiltration des eaux qui y pénètrent.

La pente de la droite (a) caractérise suivant les cas, soit l'existence de trop-pleins ou d'autres exutoires, soit la formation momentanée de réserves.

. Application à l'exutoire du Pissieux :

Notre étude concerne l'année 1978. Cette période ne constitue pas en elle-même un cycle hydrologique réel (de la fin d'un étiage à la fin de l'étiage suivant) sur lequel aurait dû, effectivement, s'appliquer cette étude statistique. Les débits moyens journaliers ont été, en règle générale, moins importants en décembre 1978 qu'en décembre 1977.

Nous pourrions également remarquer que, compte-tenu du faible volume de réserves que notre système est capable d'emmagasiner, les apports des cycles hydrologiques antérieurs seront négligeables.

Les classes ont été choisies avec un intervalle de 250 l/s . En dessous de 250 l/s , pour plus de précisions, en raison du nombre élevé de débits moyens journaliers inférieurs à cette valeur, les intervalles ont été réduits à 50 l/s .

Les fréquences simples et cumulées sont réunies dans le tableau 64. Les histogrammes sont représentés sur la figure 75.

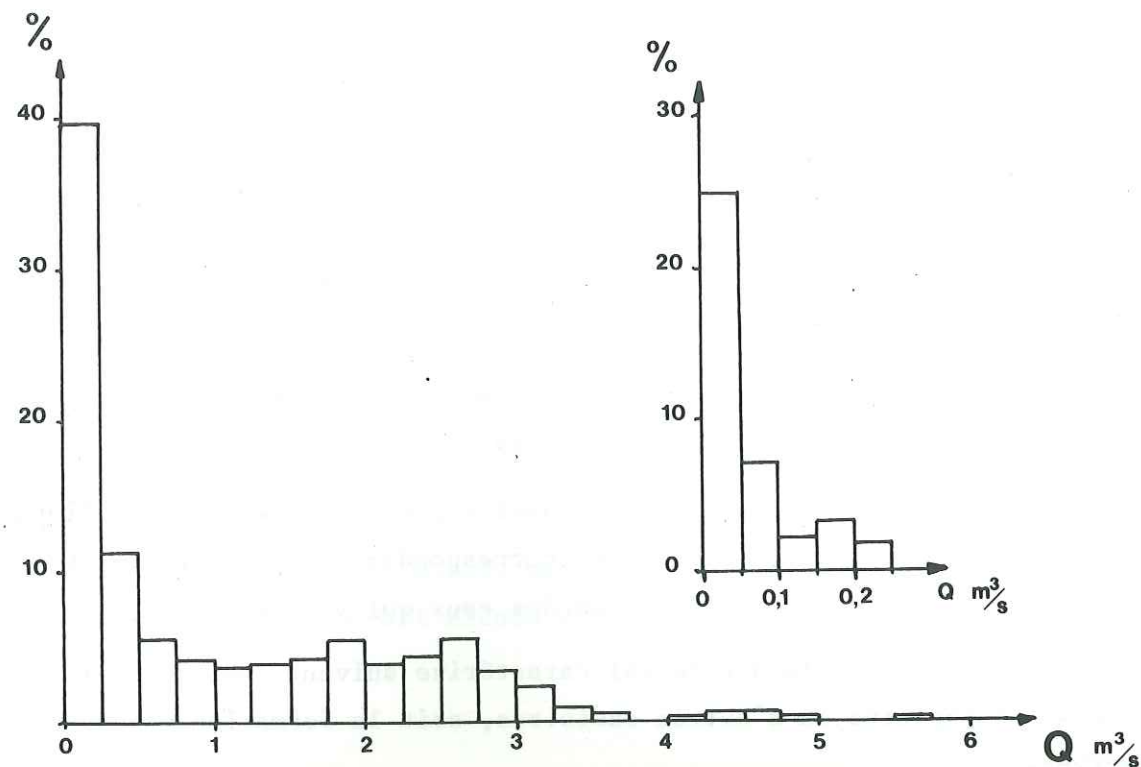


Fig 75: Histogrammes des débits classés du Pissieux

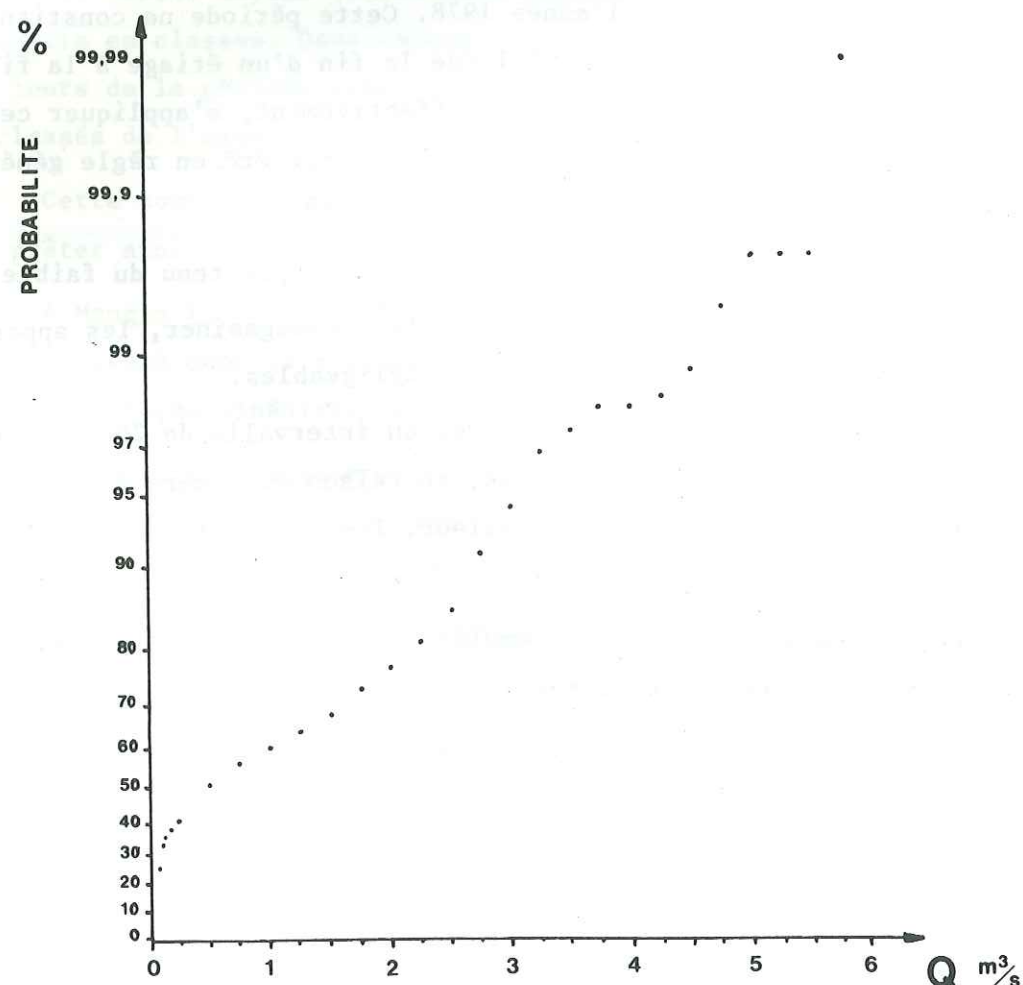


Fig 76 : Pourcentages cumulés des débits
(échelle arithmétique)

Classes m ³ /s	Nb jours	%	% cumulés	Classes	Nb jours	%	% cumulés
0 -0,25	145	39,73	39,73	3,00-3,25	8	2,19	96,72
0,25-0,50	41	11,23	50,96	3,25-3,50	3	0,82	97,54
0,50-0,75	20	5,48	56,44	3,50-3,75	2	0,55	98,09
0,75-1,00	15	4,11	60,55	3,75-4,00	0	0	98,09
1,00-1,25	13	3,56	64,11	4,00-4,25	1	0,27	98,36
1,25-1,50	14	3,84	67,95	4,25-4,50	2	0,55	98,90
1,50-1,75	15	4,11	72,06	4,50-4,75	2	0,55	99,45
1,75-2,00	20	5,48	77,54	4,75-5,00	1	0,27	99,72
2,00-2,25	14	3,84	81,38	5,00-5,25	0	0	99,72
2,25-2,50	16	4,38	85,76	5,25-5,50	0	0	99,72
2,50-2,75	20	5,48	91,24	5,50-5,75	1	0,27	99,99
2,75-3,00	12	3,29	94,53				

Tableau 64 : Fréquence simple et cumulée des débits moyens journaliers classés de l'exsurgence du Pissieux.

classes	Nombre jours	%	% cumulés
0 -0,05	92	25,27	25,21
0,05-0,10	26	7,12	32,33
0,10-0,15	8	2,19	34,52
0,15-0,20	12	3,29	37,81
0,20-0,25	7	1,92	39,73

Tableau 65 : Complément au tableau 64.

Sur les histogrammes, on remarque que la décroissance de la courbe se fait très rapidement. Il faut donc s'attendre à ce qu'elle se fasse en fonction du logarithme des débits.

Sur le diagramme des pourcentages cumulés (figure 76) avec en abscisse une échelle arithmétique, on obtient une courbe. Nous construirons donc un nouveau diagramme avec une échelle logarithmique des débits (figure 77).

Les points se répartissent sensiblement autour de 3 segments de droite :

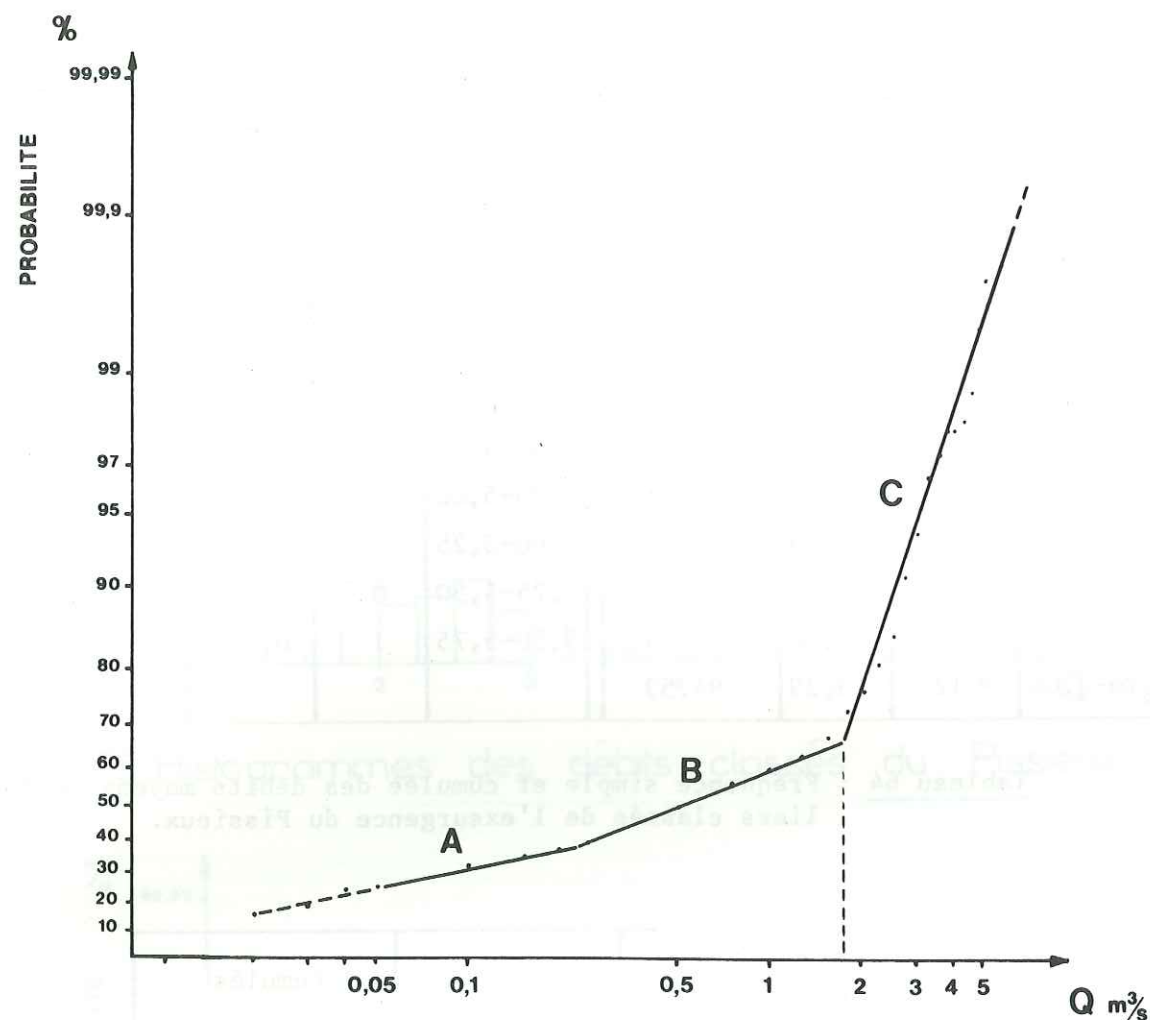


Fig 77 : Pourcentage cumulés des débits
(échelle logarithmique)

- le tronçon A avec une pente faible (a_1) se rapporte à l'étiage.
 $a_1 = 0,293$.
- le tronçon B avec une pente plus conséquente (a_2) se rapporte aux décrues.
 $a_2 = 0,588$.
- le tronçon C de la forte pente (a_3) est attribué aux crues
 $a_3 = 4,59$.

On peut donc envisager qu'en dessus de 1750 l/s, on assiste à un phénomène de stockage (tronçon C).

Le déstockage a lieu, en partie, pendant les décrues $a_2 \ll a_3$ mais également pendant les tarissements $a_1 < a_2$.

Pour que les volumes soient déstockés totalement pendant les décrues, il faudrait que $a_2 = a_3$.

L'étude des débits classés, montre donc, puisqu'on ne connaît aucun trop-plein au système karstique, que la pente plus forte de la droite re-

présentative, doit bien être interprétée, comme due à la formation momentanée de réserves. Le stockage débute lorsqu'on dépasse le seuil de 1750 l/s.

IV.3.5. Calcul de la lame d'eau écoulee à l'exutoire du Pissieux :

Les volumes et hauteurs de la lame d'eau équivalente écoulee à l'exutoire du Pissieux sont réunis dans le tableau ci-dessous.

Mois	Volume de la lame d'eau - m ³	Hauteur de la lame d'eau - mm
Janvier	1 304 000	74
Février	3 481 000	197
Mars	5 191 000	294
Avril	4 342 000	246
Mai	6 733 000	381
Juin	4 178 000	237
Juillet	1 942 000	110
Août	1 524 000	86
Septembre	137 000	8
Octobre	225 000	13
Novembre	47 000	3
Décembre	3 353 000	
Module annuel	32 482 000	1839

Tableau 66 : Lame d'eau écoulee à l'exsurgence du Pissieux.

IV.3.6. Etude des courbes de tarissement (figure 78).

Les courbes de tarissement (figure 78) de l'exsurgence du Pissieux, ont été réalisées avec les valeurs des débits instaurés mesurés sur la source et des débits instantanés obtenus par différence, corrigés en fonction des pertes.

Les caractéristiques de ces courbes sont réunies dans le tableau 67.

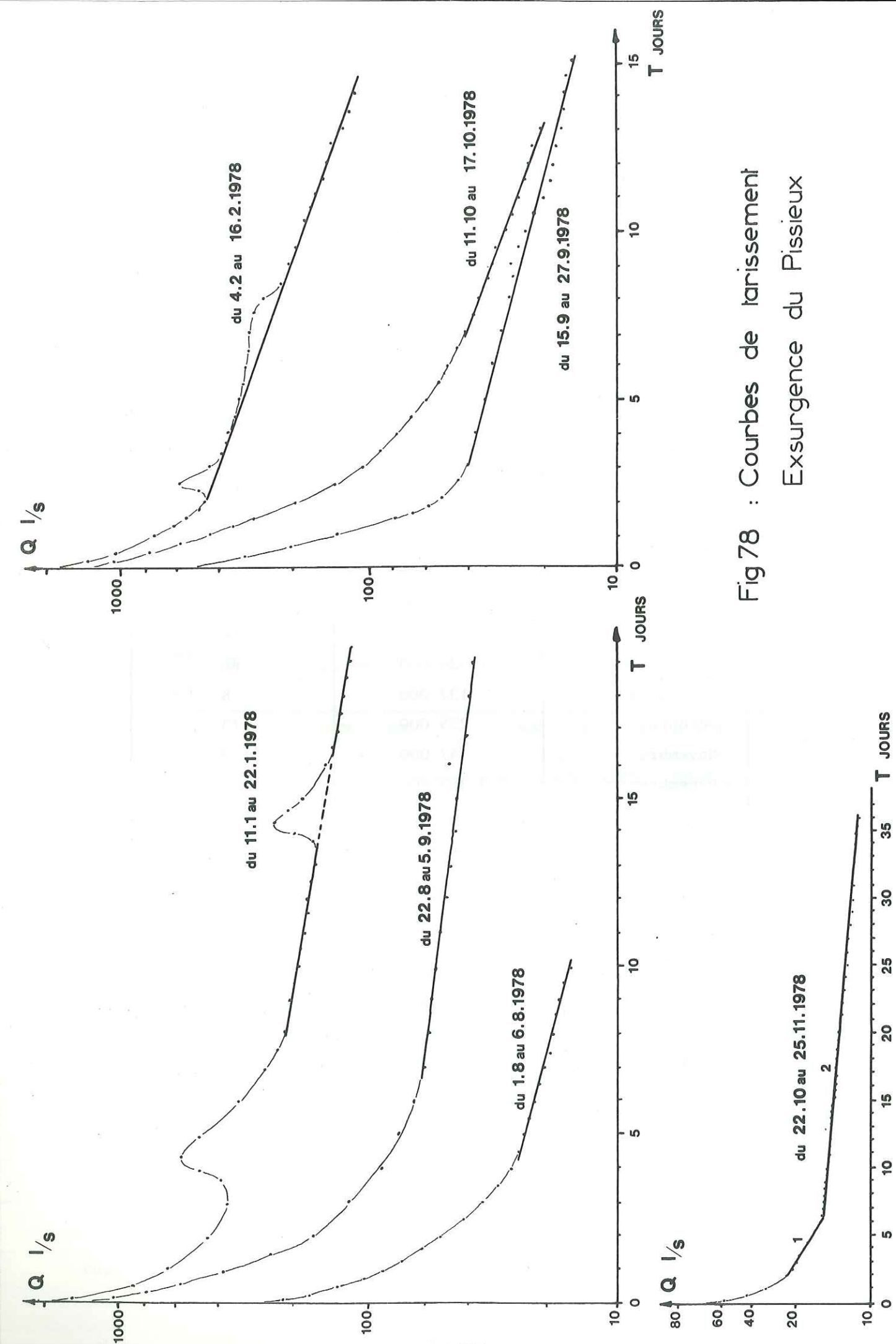


Fig 78 : Courbes de tarissement
Exsurgence du Pissieux

Fin de la crue	Période d'étude du tarissement	α t en jours	Q_0 l/s	V m ³	Observations
03.01.1978	11.01 au 22.01.78	0,057	215	326 000	neige les 18 et 19.01.1978
02.02.1978	4.02 au 16.02.78	0,125	450	311 000	neige les 5,6,11 et 15.02.1978
27.07.1978	1.08 au 6.08.78	0,088	26	25 500	-
17.08.1978	22.08 au 5.09.78	0,043	60	122 000	-
12.09.1978	15.09 au 27.09.78	0,082	40	42 000	-
4.10.1978	11.10 au 17.10.78	0,115	38	28 000	précipitations le 16.10.1978
20.10.1978	(1) 22.10 au 27.10.78	0,076	22	25 000	-
	(2) 27.10 au 25.11.78	0,012	15,5	109 000	-

Tableau 67 : Caractéristiques des courbes de tarissement de l'exsurgence du Pissieux.

L'examen des courbes obtenues durant la période du 22.10.1978 au 25.11.1978, nous indique deux tarissements différents. Le tarissement (1) du 22.10 au 27.10.1978 correspond à la vidange des chenaux alors que le tarissement observé en (2) du 27.10 au 25.11.1978 correspond à la vidange des fissures.

Les caractéristiques des autres courbes de tarissements se rapportent donc aux réserves contenues dans les chenaux.

V.1. LES DIFFERENTS TERMES DES BILANS HYDROLOGIQUES.

Un bilan hydrologique s'obtient par la formule générale suivante :

$$P + Q_A = Q_r + E_{Tr} + Q_F + Q_C \pm \Delta W$$

avec : P : Précipitations sur le bassin versant.

Q_A: Apports extérieurs souterrains au bassin versant.

Q_r: Ruissellements.

E_{Tr}:Evapotranspiration.

Q_F: Fuites souterraines du bassin versant.

Q_C: Captages (eaux servant à l'alimentation extérieure au bassin versant).

ΔW: Variation des réserves sur la période étudiée. Elles pourront être négatives ou positives.

Tous ces termes seront exprimés en mm.

Ce calcul permet d'estimer si le bassin versant étudié a un bilan déficitaire (Q_F - Q_A > 0) ou, au contraire, s'il est excédentaire (Q_F - Q_A < 0).

Nous calculerons donc pour chaque bassin versant la valeur Q_F-Q_A.

$$(Q_F - Q_A) = P - (Q_r + E_{Tr} + Q_C \pm \Delta W)$$

Les écoulements souterrains vers l'intérieur ou vers l'extérieur du bassin ne pourront être certains que si le terme Q_r - Q_A est supérieur ou inférieur de 10% des précipitations.

V.2. BILANS HYDROLOGIQUES DES BASSIN VERSANTS ETUDIÉS.

V.2.1. Bassin versant du Ternèze :

L'année 1978 a été caractérisée par un étiage apparu très tard, c'est-à-dire au mois de novembre. Il s'en suit que les volumes des réserves au début et à la fin de la période considérée étaient différentes. Nous avons pu, grâce à l'étude des eaux souterraines du bassin versant, estimer la variation de ce volume à 200 000m³ (W₁ = 300 000m³ pour début janvier 1978 et W₂ = 100 000 m³ pour mi-décembre 1978). Ceci représente + 10mm pour le bassin versant géographique et + 11mm pour le bassin versant réel.

Les quantités d'eau des captages servant à l'alimentation extérieure

ont été évaluées à 8 l/s (débit moyen annuel d'une partie de l'eau des captages des Fontanettes), c'est-à-dire 13mm pour le bassin versant géographique et 14mm pour le bassin versant réel.

Tous les termes du bilan hydrologique du bassin versant du Ternèze sont inscrits dans le tableau suivant :

	Bassin versant géographique		Bassin versant réel	
	en mm	en % de P	en mm	en % de P
P	1717	-	1712	-
Q _r	802	47	837	49
E _{Tr}	477	28	477	28
Q _C	10		14	
ΔW	13	1%	11	1%
Q _F -Q _A	416	24%	373	22%

Tableau 68 : Termes du bilan hydrologique des bassins versants du Ternèze.

Le bilan est donc déficitaire de 24% pour le bassin versant géographique et 22% pour le bassin versant réel. Soit en volume 8,07 x 10⁶ m³ et 6,95 10⁶ m³, en débits 256 l/s et 220 l/s. La différence entre ces deux valeurs nous donne le débit des écoulements du bassin versant du Ternèze vers l'Isère, sur le rebord Sud du massif de la Thuile (Roc de Toirméry, Rocher de Rochefort) soit 36 l/s.

V.2.2. Bassins versants du Nant d'Aillon :

Nous examinerons le bilan hydrologique du bassin versant réel du Nant d'Aillon à la station du Villaret. Les résultats concernant le bassin versant géographique sont identiques.

Ne disposant pas d'estimation du volume des réserves à la fin de l'année 1978, nous ne pourrions pas inclure dans le calcul du bilan la variation des réserves durant la période considérée. Le terme Q_F-Q_A contient donc cette valeur.

Quant aux eaux de captages, elles sont inexistantes pour le bassin versant à la station du Villaret et négligeables pour celui de la station du

Cimeteret (1 l/s pour l'alimentation des villages du Cimeteret et du Villaret, ce qui représente \approx 1mm pour le bassin versant réel).

Tous les bassins versants ont donc un bilan hydrologique déficitaire. En exprimant ces valeurs en volume et débit, on obtient :

Les termes du bilan seront les suivants :

	Station du Villaret				Station du Cimeteret			
	géographique		réel		géographique		réel	
	mm	% P	mm	% P	mm	% P	mm	% P
P	2100	-	2100	-	2118	-	2086	-
Q _r	1417	67	1431	68	936	44	1386	66
E _{T_r}	455	22	455	22	450	21	456	22
Q _F -Q _A	228	11	214	10	732	35	244	12

Tableau 69 : Termes des bilans hydrologiques des bassins versants du Nant d'Aillon.

	Station du Villaret		Station de Cimeteret	
	géographique	réel	géographique	réel
V m ³	13,5.10 ⁶	12,5.10 ⁶	40,8.10 ⁶	9,14.10 ⁶
Q	428 l/s	396 l/s	1293 l/s	290 l/s
ΔV	1 x 10 ⁶ m ³		31,6 x 10 ⁶ m ³	
ΔQ	32 l/s		1003 l/s	

Tableau 70 : Termes du bilan exprimés en volumes et débits.

La différence entre les valeurs de la station du Villaret nous donne la somme des volumes écoulés (Nord du massif du Colombier vers la source de Leyat) et stockés dans ce secteur.

Pour les bassins versants à la station du Cimeteret, nous obtenons les volumes écoulés (Pissieux) ou stockés dans le massif du Margéraz.

V.2.3. Bassin versant de l'exsurgence du Pissieux :

Comme pour les deux bassins versants précédents, nous n'avons pas pu estimer la variation du volume des réserves concernant le massif du Margéraz

au niveau de la source de Pissieux. Les prélèvements par captages sont nuls.

Le terme Q_r devient le débit moyen annuel de la source.

Les termes du bilan se rapportant à cette exsurgence sont donc les suivants :

	mm	% de P
P	2159	-
Q _r	1839	86
E _{T_r}	442	20
Q _F -Q _A	- 122	- 6%

Tableau 71 : Termes du bilan hydrologique du bassin versant de l'exsurgence de Pissieux.

Le bilan est excédentaire de 6%, ce qui représente 2,1.10⁶ m³ en volume et 67 l/s en débit.

Le pourcentage compris dans la fourchette d'erreur ne nous permet pas d'affirmer que le bassin versant de l'exsurgence du Pissieux a une surface supérieure à celle que nous avons déterminée.

V.3. BILANS HYDROLOGIQUES MINIMA ET MAXIMA .

V.3.1. Précision :

Les précisions sur les différents termes des bilans hydrologiques de cette étude sont les suivantes :

Précipitations (P) : Nous avons vu, lors du calcul de la lame d'eau précipitée sur les bassins versants, que cette valeur avait été obtenue avec une précision de l'ordre de 5%. Une valeur de 10% peut être envisagée en tenant compte des erreurs de mesures propres aux relevés journaliers.

Ruissellements (Q_r) : Nous adoptons, pour ce terme, une valeur moyenne de 5%.

Evapotranspiration réelle : C'est le terme le plus délicat à chiffrer. Nous lui attribuerons une précision moyenne de 25%.

V.3.2. Calcul des valeurs extrêmes des bilans hydrologiques :

Compte-tenu de ces précisions, nous pouvons calculer les bilans hydrologiques minima et maxima des bassins versants étudiés.

V.3.2.1. Bassins versants du Ternèze :

	Bassin versant géographique		Bassin versant réel	
	déficit minimum	déficit maximum	déficit minimum	déficit maximum
P	1545	1889	1541	1883
Q _r	842	762	879	795
E _{Tr}	620	334	620	334
Q _c	13	13	14	14
ΔW	10	10	11	11
Q _F -Q _A	60	770	17	729

Tableau 72 : Bilans déficitaires minima et maxima des bassins versants réel et géographique du Ternèze.

Exprimés en volume et débit, ces débits sont les suivants :

	Bassin versant géographique		Bassin versant réel	
	déficit minimum	déficit maximum	déficit minimum	déficit maximum
V m ³	1,165.10 ⁶	14,953.10 ⁶	0,317.10 ⁶	13,589.10 ⁶
Q l/s	37	474	10	430
% de P	4%	41%	1%	39%

Ce qui donne pour les eaux écoulées vers la plaine de l'Isère depuis la partie Sud du bassin versant :

$$848320 \text{ m}^3 < V < 1.364840$$

$$27 \text{ l/s} < Q < 44 \text{ l/s}$$

On remarque également que le déficit du bassin versant réel est compris entre 1% et 39%. Cela suppose des écoulements souterrains autres que ceux envisagés. Ceux-ci sont à rechercher dans la partie Ouest du bassin versant (Mongelaz). Ce secteur, formé par des calcaires du Jurassique supérieur, ne possède, en effet, aucune source à l'intérieur du bassin versant du Ternèze. Sa superficie est de 1,6 km² soit 8,6% du bassin versant réel délimité dans notre étude.

Nous verrons également dans l'étude physicochimique, des sources que le débit moyen des sources d'Arbin est très nettement supérieur à celui calculé dans ce chapitre.

D'autres écoulements souterrains peuvent être envisagés depuis les falaises urgoniennes de la Pointe de la Galoppaz, vers le bassin versant du Nant d'Aillon.

V.3.2.2. Bassins versants du Nant d'Aillon :

Nous calculerons successivement les bilans minima et maxima pour les bassins versants (géographiques et réels) du Nant d'Aillon à la station du Villaret, puis à la station du Cimeteret.

- Station du Villaret.

	Bassin versant géographique		Bassin versant réel	
	Bilan minimum	Bilan maximum	Bilan minimum	Bilan maximum
P	1890	2310	1890	2310
Q _r	1488	1346	1503	1359
E _{Tr}	592	319	592	319
Q _F -Q _A	- 190	645	- 205	632

Tableau 73 : Bilans minima et maxima du bassin versant réel et géographique à la station du Villaret.

On se rend compte en consultant le tableau que les valeurs moyennes des bilans trouvés au paragraphe précédent (10 et 11%) ne sont pas significatives. Les bilans minima sont excédentaires pour les deux bassins versants.

Ces valeurs exprimées en % de P sont :

- pour le bassin géographique :

$$(\text{excédent}) - 10\% < Q_F - Q_A < 28\% (\text{déficit})$$

- pour le bassin réel :

$$(\text{excédent}) - 11\% < Q_F - Q_A < 27\% (\text{déficit})$$

Les bilans du Nant d'Aillon à la station du Villaret peuvent être considérés comme équilibrés. Les fuites possibles (plaine alluviale du Nant d'Aillon, Mont Colombier vers la source de Leyat et Mont Chardonnet vers la

fontaine de la Rave, seront malgré tout, légèrement supérieures aux apports envisagés dans la zone Sud du Margérianz.

- Station du Cimeteret.

	Bassin versant géographique		Bassin versant réel	
	Excédent minimum	Excédent maximum	Bilan minimum	Bilan maximum
P	2012	2224	1857	2295
Q _r	983	889	1455	1317
E _{Tr}	585	315	593	319
Q _F -Q _A	444	1020	- 191	659

Tableau 74 : Bilans minima et maxima pour les bassins versants du Nant d'Aillon à la station du Cimeteret.

En % des précipitations on obtient :

- pour le bassin géographique :

(déficit) $22\% < (Q_F - Q_A) < 46\%$ (déficit)

- pour le bassin réel :

(excédent) $- 10\% < (Q_F - Q_A) < 29\%$ (déficit)

La différence entre les deux valeurs maximales nous donne une approche du débit maximum des eaux écoulées (Pissieux) et stockées dans le massif du Margérianz, soit 1020 l/s.

Le bilan du bassin versant réel est équilibré.

V.3.2.3. Bassin versant de l'exurgence du Pissieux.

	Bilan minimum	Bilan maximum	
P	1943	2375	
Q _r	1930	1746	
E _{Tr}	575	309	
Q _F -Q _A	- 562	+ 320	
	- 29%	+ 13%	Q _F -Q _A en % P

Tableau 75 : Bilans hydrologiques minima et maxima du bassin versant de l'exurgence karstique du Pissieux.

Les calculs des bilans montrent que si des écoulements souterrains existent dans les calcaires urgoniens, du Sud de la Pointe des Torchets vers la source du Pissieux, cet apport est très faible.

CONCLUSION A L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

Cette étude nous a permis de définir les écoulements souterrains des massifs du Margérian et du Colombier. Les exurgences karstiques du Pissieux et de Fontaine Noire drainent la plus grande partie des eaux de ces massifs.

Elle nous a également montré la complexité des circulations souterraines du Sud du massif de la Thuile et les relations hydrologiques entre le bassin versant du Ternèze et la plaine de l'Isère.

Les études climatologique, hydrologique et morphologique, nous ont permis de fixer pour 1978 et pour chaque bassin versant étudié les paramètres suivants :

	Ternèze	Villaret	Cimeteret	Pissieux
S (en km ²)	18,64	58,77	37,44	17,66
H _m (en m)	1013	1207	1185	1301
P (en mm)	1712	2100	2086	2159
T (en °C)	7,0	6,3	6,3	5,9
ET _r (en mm)	477	455	456	442
Q moyen annuel 1/s	502	2674	1652	1029
Q caractéristique 1/s/km ²	26,9	45,5	44,1	58,3

Tableau 76 : Principaux paramètres morphologiques, climatologiques et hydrologiques des bassins versants étudiés.

L'approche des bilans hydrologiques montre qu'en plus des circulations envisagées vers la vallée de l'Isère ($27 \text{ l/s} < Q_c < 44 \text{ l/s}$), le bassin versant réel du Ternèze est encore déficitaire de 22% des précipitations soit 220 l/s. Ceci indique que des écoulements souterrains supplémentaires s'y manifestent. Le massif de Montgelaz et sa carapace de calcaires Jurassique supérieur est sans doute à l'origine de ce déficit hydrologique.

Les bilans hydrologiques des bassins versants du Nant d'Aillon ont des % finaux proches des valeurs limites de précision.

3ème PARTIE

ETUDE HYDROCHIMIQUE

INTRODUCTION.

Les eaux qui transitent dans les formations géologiques acquièrent des propriétés physiques et chimiques liées à la nature lithologique et pétrographique de celles-ci, et à leur vitesse de circulation.

Dans cette étude, nous avons mesuré les paramètres physiques (débit, température, résistivité et ph) et chimiques (concentrations des différents éléments chimiques en solution) pour les sources et les cours d'eau de notre secteur. De plus, nous avons suivi l'évolution de ces paramètres pour les sources et les ruisseaux les plus importants. Cette évolution, qui permet une compréhension du fonctionnement des aquifères, a été suivie mensuellement durant la période d'étude et pendant une crue pour les exurgences karstiques d'Arbin et de Fontaine Noire.

CHAPITRE I. LES METHODES D'ETUDES.

I.1. LES PARAMETRES PHYSIQUES.

I.1.1. La température :

La température de l'eau, au point d'émergence, est fonction de l'altitude de ce point et de la profondeur des circulations. Certaines sources présentent de brusques variations de températures, d'autres des écarts plus minimes. La mesure de ces températures a donc été effectuée avec un thermomètre à mercure gradué en 0,1° de degrés.

I.1.2. Le débit :

Les sources les plus importantes ont été dotées d'une échelle limnimétrique.

Les débits ont été mesurés par méthode chimique (à débit constant) ou au micromoulinet.

Les débits plus faibles ont été mesurés grâce à une capacité jaugée, ou lorsque cette opération était impossible, nous les avons estimés.

I.1.3. La résistivité :

Elle permet d'exprimer la résistance électrique d'une lame d'eau contenue entre deux électrodes en platine.

Elle s'exprime en ohms centimètre à 18°C et à été mesurée sur le terrain au moyen d'un appareil portatif (précision $\pm 7\%$). Pour les études de crues nous avons préféré une mesure en laboratoire plus précise ($\pm 2\%$).

I.1.4. Le pH :

Le pH a été mesuré au laboratoire de l'Institut Dolomieu avec un pH mètre électrique d'une précision de 0,1 unité pH.

I.1.5. La turbidité :

Elle caractérise le trouble d'une eau due à la présence de fines particules de matière en suspension dans l'eau. Elle a été mesurée à l'aide d'un

colorimètre (type HACH) et s'exprime en unités J.T.U.

Pour cette étude, nous avons mesuré la turbidité uniquement lors des analyses de crues effectuées sur les exutoires karstiques.

I.2. LES PARAMETRES CHIMIQUES.

Les paramètres chimiques que nous étudierons seront les concentrations en éléments suivant :

Cations : Ca^{2+} Mg^{2+} Na^+ K^+

Anions : Cl^- SO_4^{2-} HCO_3^- NO_3^- PO_4^{3-} et la silice (SiO_2)

Les résultats seront exprimés en mg/l.

Trois méthodes ont été employées pour réaliser les dosages :

- la volumétrie ;
- la colorimétrie ;
- la spectrométrie d'absorption atomique ou d'émission de flamme.

I.2.1. La volumétrie (ou titrimétrie) :

Nous l'avons employée pour déterminer la dureté totale (teneur en calcium et magnésium), l'alcalinité et les teneurs en chlorures.

I.2.1.1. Dureté totale ou titre hydrotimétrique total.

Pour les eaux que nous avons étudiées, seuls Ca^{2+} et Mg^{2+} contribuent à la dureté totale.

L'analyse consiste à doser la concentration en Ca^{2+} et Mg^{2+} puis en Ca^{2+} . Par différence entre les deux valeurs obtenues, on connaîtra la concentration en Mg^{2+} .

. Principe du dosage de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$:

Complexation à pH 10 par l'E.D.T.A. de Ca^{2+} et Mg^{2+} en présence d'un indicateur coloré, le noir d'ériochrome.

. Principe du dosage de Ca^{2+} :

Complexation à pH > 12 par l'EDTA de Ca^{2+} (Mg^{2+} ne perturbe pas l'a-

nalyse puisque dans ces conditions de pH, il précipite sous forme d'hydroxyde de Magnésium).

L'indicateur coloré employé est le murexide.

La précision sur la valeur de Mg^{2+} est inférieure à 10% pour les teneurs de l'ordre de 5 mg/l. Pour des concentrations de l'ordre de 2 mg/l la précision est de 50% d'où la minutie du dosage par spectromètre.

La précision sur la dureté totale est de 2%.

I.2.1.2. L'alcalinité :

On distingue :

- le titre alcalimétrique (T.A.) qui correspond à la teneur de l'eau en ions OH^- et CO_3^{2-} ;
- le titre alcalimétrique complet (T.A.C.) qui correspond à la teneur de l'eau des ions OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- .

Pour les eaux dont le pH est inférieur à 8,3, les teneurs en OH^- et CO_3^{2-} sont négligeables, la valeur de T.A. sera donc nulle. Le T.A.C. représentera la teneur en HCO_3^- .

Le dosage du TAC se fait par acidimétrie à l'aide d'une solution d'acide sulfurique 0,02N. L'indicateur coloré est le méthyl orange. L'évolution du dosage peut également se suivre avec un pH mètre. Le point d'équivalence se situe pour nos eaux à pH 4,5.

La précision est de 3% si on arrête le dosage au point d'équivalence avec l'indicateur et de 1% avec le pH mètre.

I.2.1.3. Les chlorures :

Le dosage des chlorures a été effectué avec la méthode de Clarke au nitrate mercurique. L'ion mercurique Hg^{2+} forme avec Cl^- un complexe soluble, peu dissocié. On ajoute donc des ions Hg^{2+} à la solution à analyser et, après le point d'équivalence l'excès d'ions mercuriques est détecté par un indicateur coloré (le bleu de bromophénol + diphenyl carbazone) en milieu acide par formation d'un complexe violet.

La précision de ce dosage est de 10% pour des eaux dont les teneurs sont inférieures à 5 mg/l et de 2% pour les teneurs inférieures à 1 mg/l.

I.2.2. La colorimétrie :

Les substances donnant avec un réactif une coloration dont la densité optique est fonction de la concentration, sont susceptibles d'être analysées par cette méthode.

Les éléments ainsi dosés sont :

SO_4^{2-} NO_3^- NO_2^- PO_4^- et la silice soluble (SiO_2)

L'appareil utilisé est un photomètre à lecture directe Hach DC-DR dont la précision est de 20%.

I.2.3. La spectrométrie :

Les dosages par spectrométrie ont été réalisés au Laboratoire d'Hydrologie de la Faculté de Pharmacie de Grenoble.

Cette méthode a concerné les éléments Na^+ ; K^+ ; Ca^{++} et Mg^{++} des eaux de pluies.

K^+ ; Mg^{++} ; Ca^{++} ont été dosés par absorption atomique, Na^{++} par émissions de flamme.

La précision de ces dosages est d'environ 2%.

CHAPITRE II. ANALYSE DES PRECIPITATIONS ATMOSPHERIQUES.

L'air contient une quantité importante de substances sous forme de poussières, qui sont entraînées par les vents. Une certaine quantité retombe sur le sol, sous leur propre poids, ou entraînée par les précipitations.

Nous avons analysé les éléments (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^-) contenus dans les précipitations au poste pluviométrique de la Thuile, sur des échantillons mensuels (annexe). Cet apport que nous avons mesuré sur les averses ne représente donc qu'une partie de l'ensemble des apports atmosphériques puisqu'une grande quantité des retombées s'effectue sous forme de poussières. M. Haubert (1975) a observé que pour les éléments SiO_2 , SO_4^{--} , HCO_3^- , ces retombées sèches représentent 40 à 50% des apports atmosphériques totaux, pour les éléments Ca^{++} , Na^+ , K^+ et Cl^- de 0 à 4% et pour Mg^{++} 40%.

On peut donc remarquer que les éléments que nous avons dosés dans les pluies (Ca^{++} , Na^+ , K^+ et Cl^-) peuvent être considérés comme représentant la teneur totale des précipitations.

Pour Mg^{++} nous corrigerons la valeur obtenue.

L'origine de ces éléments est soit naturelle (ventilation du sol), soit artificielle.

Les éléments Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ et K^+ , sont essentiellement d'origine naturelle. La source principale est constituée par les poussières du sol balayées par le vent. Toutefois M. Haubert (1975) remarque que les teneurs en Ca^{++} et Mg^{++} diminuent avec l'éloignement des zones urbanisées.

Les éléments Cl^- et SO_4^{--} sont uniquement d'origine artificielle ; l'azote contenu dans les pluies a une origine très discutée, soit naturelle, soit artificielle.

Les concentrations moyennes des éléments Ca, Mg, Na, K, Cl^- valables pour notre secteur d'étude ont donc été déterminées à partir des mesures faites à la Thuile. Les teneurs en SO_4^{--} seront vraisemblablement moins importantes pour la vallée des Aillons, plus éloignée des zones urbanisées que la station de la Thuile.

Les teneurs moyennes en HCO_3^- , SO_4 , SiO_2 ont été estimées.

Les concentrations mensuelles, pondérées par la hauteur des précipitations, permettent de calculer les valeurs moyennes des teneurs en différents éléments. Ces teneurs moyennes calculées ou estimées, exprimées en mg/l sont réunies dans le tableau suivant :

Elément	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{--}	SiO_2
teneur moyenne mg/l	1,13	0,09	0,42	0,35	0,70	3,5	3,0	0,1

A partir de ces concentrations moyennes, nous avons calculé les apports sur les bassins versants du Ternèze et du Nant d'Aillon. Ces calculs ont été effectués sur les bassins versants réels et sont donnés en apports totaux et spécifiques pour l'année 1978 (tableau 77).

bassins versants	éléments									
	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	K^+	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{--}	SiO_2	Total	
Ternèze	t/an	36,1	4,0	13,4	11,2	22,3	111,7	95,7	3,2	297,6
	t/km ² /an	1,93	0,22	0,72	0,60	1,20	6	5,15	0,17	15,9
Nant d'Aillon	t/an	139,5	15,6	51,8	43,2	86,4	432	246	12,3	1027
	t/km ² /an	2,37	0,26	0,88	0,74	1,47	7,35	4,2	0,21	17,5

Tableau 77 : Apports atmosphériques sur les bassins versants.

Ce calcul des apports atmosphériques nous permettra d'estimer l'érosion chimique sur les deux bassins versants.

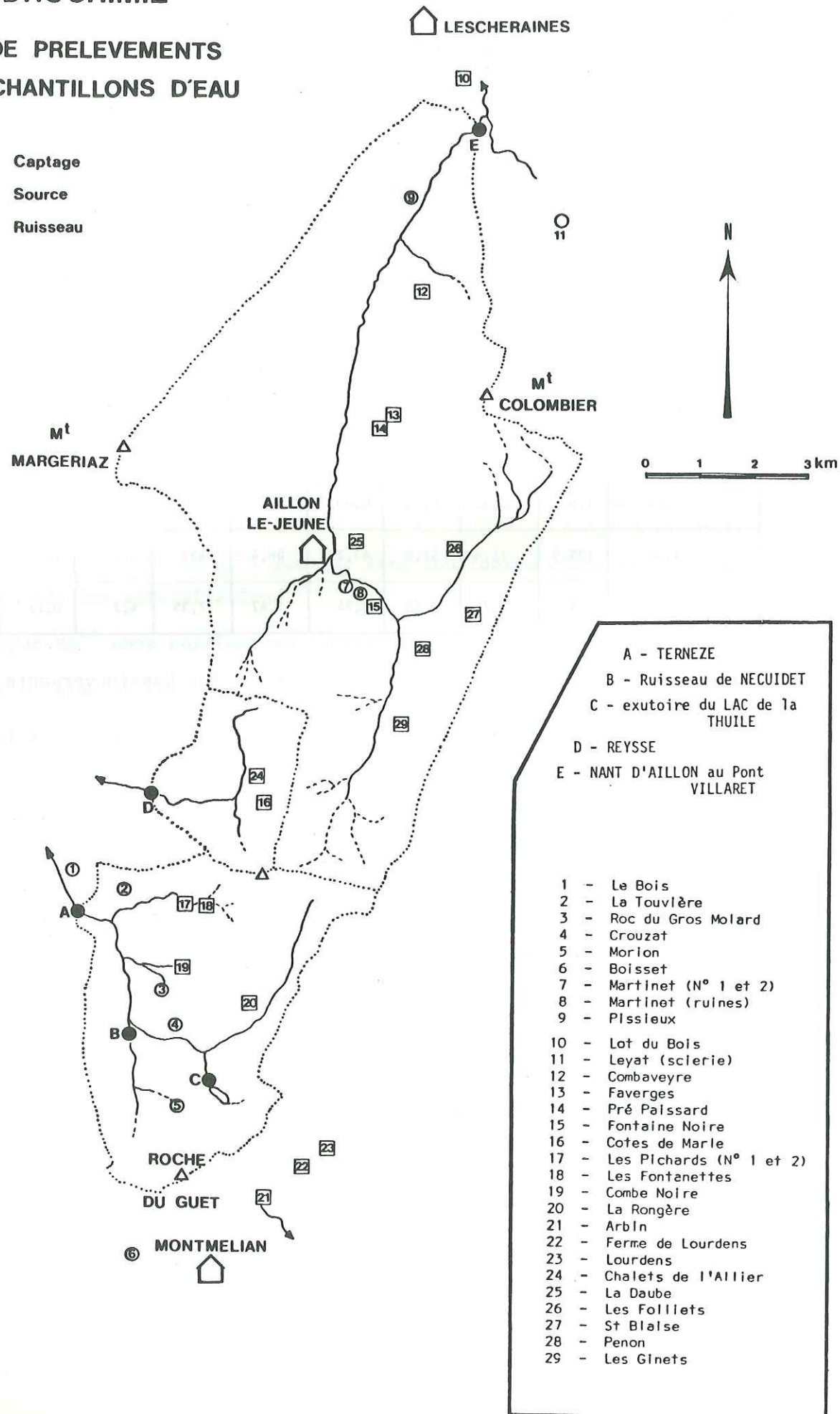
Remarque : Selon M. Haubert (1975), les teneurs en Mg^{++} dans les pluies représentent 60% des apports atmosphériques. La valeur de Mg^{++} obtenue à la Thuile sur les précipitations uniquement, a donc été multipliée par 1,4. La teneur moyenne en SO_4^{--} pour le bassin versant des Aillons a été diminuée compte tenu de son éloignement des centres urbains ($\text{SO}_4^- = 2 \text{ mg/l}$).

Fig 79

HYDROCHIMIE

LIEUX DE PRELEVEMENTS DES ECHANTILLONS D'EAU

- Captage
- Source
- Ruisseau



CHAPITRE III. ANALYSES DES SOURCES.

Sur la figure 79, nous avons localisé les sources et les ruisseaux qui ont fait l'objet de prélèvements.

Certaines de ces sources, et en raison du manteau neigeux, n'ont pu être suivies mensuellement. Les émergences karstiques ont été prélevées régulièrement et chaque fois que leur débit variait fortement.

III.1. CARACTERES GENERAUX DES EMERGENCES.

III.1.1. Relation résistivité-minéralisation totale :

La minéralisation totale est la source des teneurs des ions majeurs contenus dans l'eau. Cette minéralisation est directement liée à la résistivité de l'eau.

Pour l'ensemble des analyses que nous avons effectuées, cette relation est :

$$\frac{1}{R} = 17,16 \cdot 10^{-6} \quad TH - 1,9 \cdot 10^{-6} \quad r = 0,958$$

avec : R en Ωcm à 18°C TH en °F

III.1.2. Relation résistivité-TH :

Le calcium et le magnésium représentent 90 à 98% des cations ; la variation de la résistivité, en fonction du TH, représentera la variation de la résistivité en fonction de la teneur en cations des eaux.

Pour l'ensemble des analyses que nous avons effectuées, cette relation est :

$$\frac{1}{R} = 1,07 \cdot 10^{-6} \quad C + 2,4 \cdot 10^{-6} \quad r = 0,962$$

avec : R en Ωcm à 18°C C en mg/l

III.1.3. Relation température-altitude de l'émergence :

R. Michel (1960) a montré la concordance entre la température moyenne annuelle de l'air et la température des sources dans le département de l'Isère. Cette concordance est valable jusqu'à 1200m environ, au delà de 1200m la température des sources est supérieure à celle de l'air, la couverture nivale constituant une isolation thermique.

Sur la figure 80, nous avons représenté les variations de la température moyenne de l'air en fonction de l'altitude. Nous avons reporté les températures moyennes et extrêmes des sources prélevées régulièrement pendant l'étude. Pour les autres sources, nous avons seulement indiqué le domaine de variations.

On remarque sur cette figure que la source du Pissieux a une température moyenne et un domaine de variations inférieur à la température moyenne de l'air. Nous avons vu que cette source karstique avait un bassin versant dont l'altitude moyenne était de 1300 mètres.

Les sources du Boisset, Lourdens et la ferme de Lourdens, ont des températures moyennes très supérieures à la normale. Nous pensons que cette température anormale est à attribuer à l'orientation des bassins versants des sources. Ces trois sources ont leur bassin versant exposé au Sud et la température moyenne de l'air à cette altitude a été déterminée à partir de la température moyenne annuelle à la station de Challes-les-Eaux située plutôt au versant Ouest.

La source du Crouzat présente également la même caractéristique.

III.2. LES SOURCES DU REBORD DE LA PLAINE DE L'ISERE.

Nous avons régulièrement étudié les sources d'Arbin, de Lourdens, de la ferme de Lourdens et du Boisset. Les sources d'Arbin ont leur bassin versant situé en majeure partie sur le bassin versant du Ternèze.

Ces sources sont situées en bordure de la plaine de l'Isère, dans les calcaires du Jurassique supérieur ou dans le cône de déjection sous le Roc de Torméry.

III.2.1. Les sources d'Arbin n° 21 :

Les sources d'Arbin sont au nombre de 4 (figure 81). On distingue

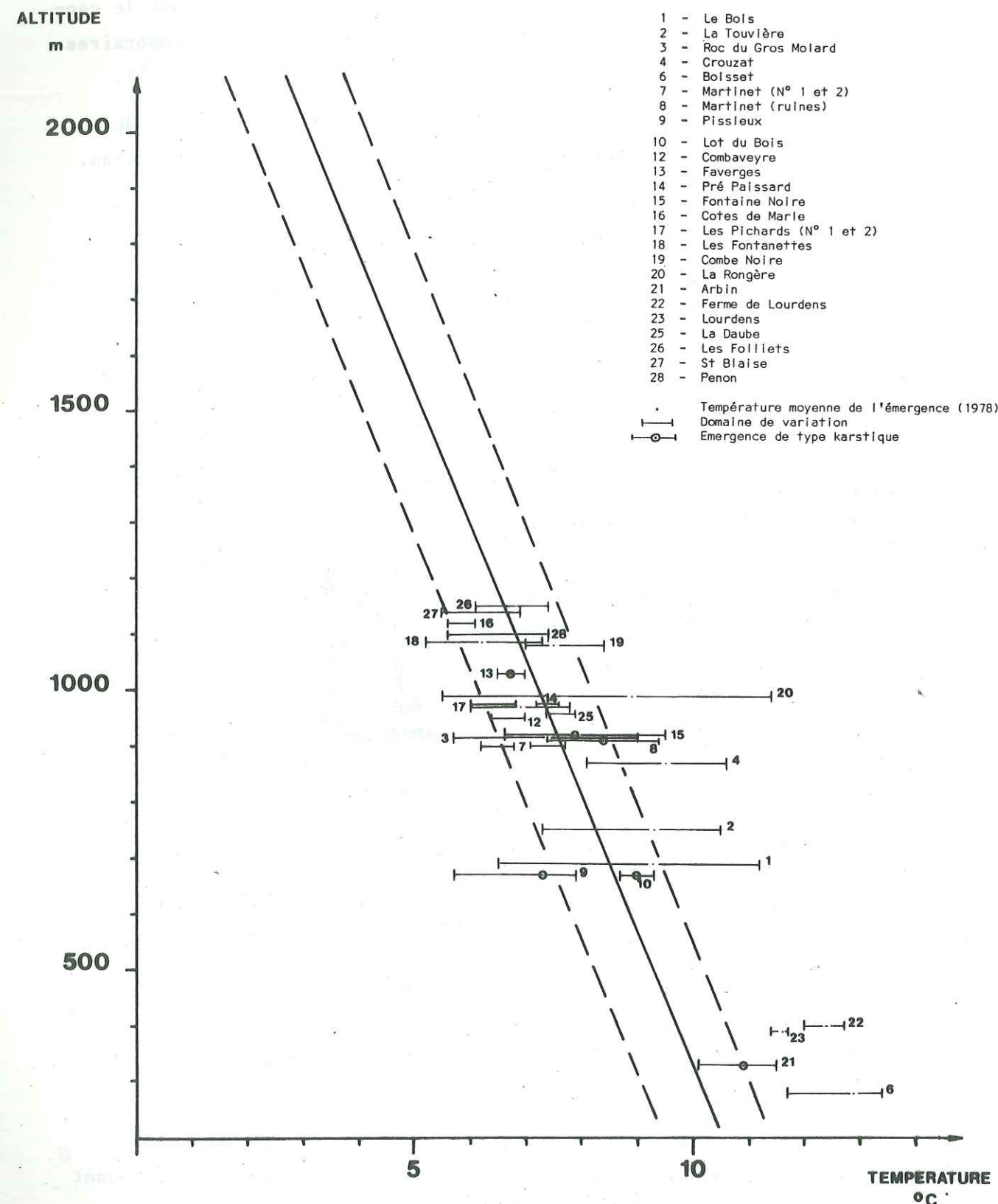


Fig 80 : Température moyenne de l'air et températures des émergences en fonction de l'altitude

une émergence captée (source du Ruisseau, point 4), une émergence dont le captage a été abandonné (point 2, ancien captage) et deux exutoires temporaires (source du Chemin, point 3 et source du ruisseau de la Crouzat, point 1).

La source du ruisseau est utilisée, par la Compagnie Générale des Eaux, pour l'alimentation en eau potable des communes d'Arbin et Montmélian.

Les prélèvements pour les analyses ont été effectués au point 4. Lors des études de crues, nous avons prélevé les quatre exutoires.

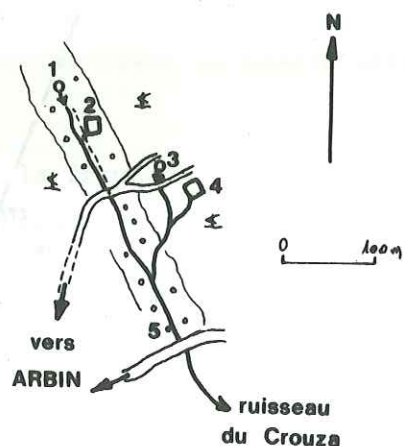
Les coordonnées Lambert du captage du ruisseau sont les suivantes :

X = 891,525 ; Y = 63,775 ; Z = 330m.

Toutes les sources sont issues des calcaires bien lités de la base du Tithonique.

Fig. 81 : Situation des sources d'ARBIN

- 1 : source du ruisseau du Crouza
- 2 : ancien captage
- 3 : source du Chemin
- 4 : captage de la source du Ruisseau
- 5 : échelle limnimétrique



III.2.1.1. Les caractères physiques.

Les débits de toutes les sources ont été contrôlés globalement au point 4. La courbe de tarage (figure 82) a été réalisée à partir de jaugeages chimiques à débit constant. L'échelle limnimétrique a été relevée très souvent en période de crues et moins fréquemment en période d'étiage.

Nous avons également ajouté les débits prélevés par le captage de la source du ruisseau.

Le débit d'étiage de 1978 a été relevé au mois de novembre avec 14,5 l/s. La variabilité des débits est de 75, le débit maximum observé ayant été de 1170 l/s fin mars.

D'après les débits moyens journaliers calculés à partir des observations, ou estimés, nous avons déterminé les débits moyens mensuels ainsi qu'un débit moyen annuel. La précision ne dépasse pas toutefois 20%, la mesu-

SOURCES D'ARBIN

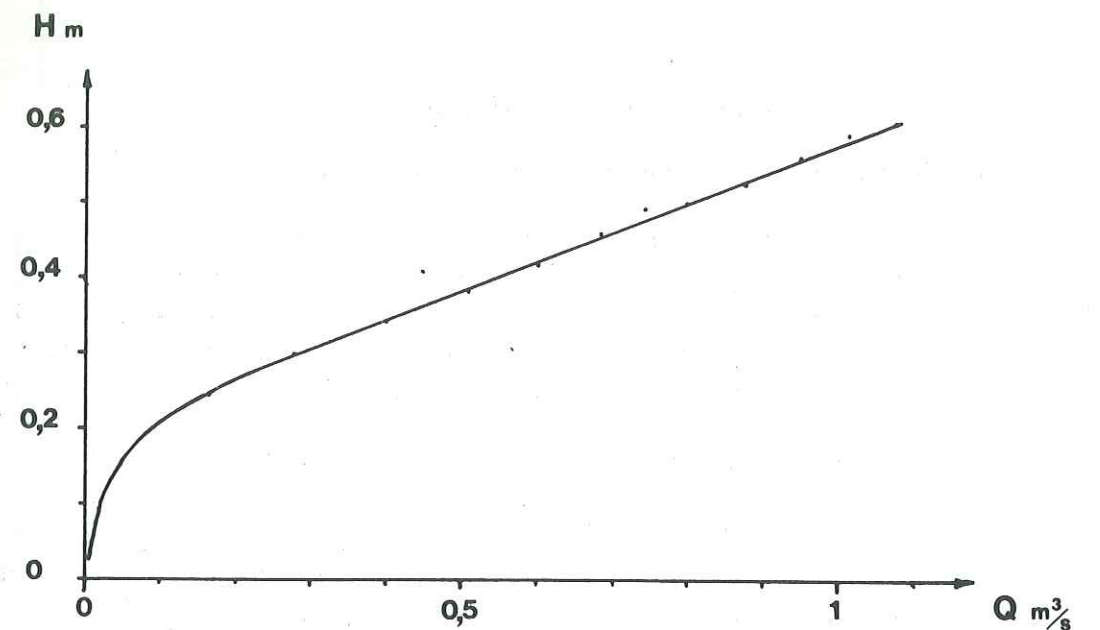


Fig 82 : Courbe de tarage de l'échelle limnimétrique

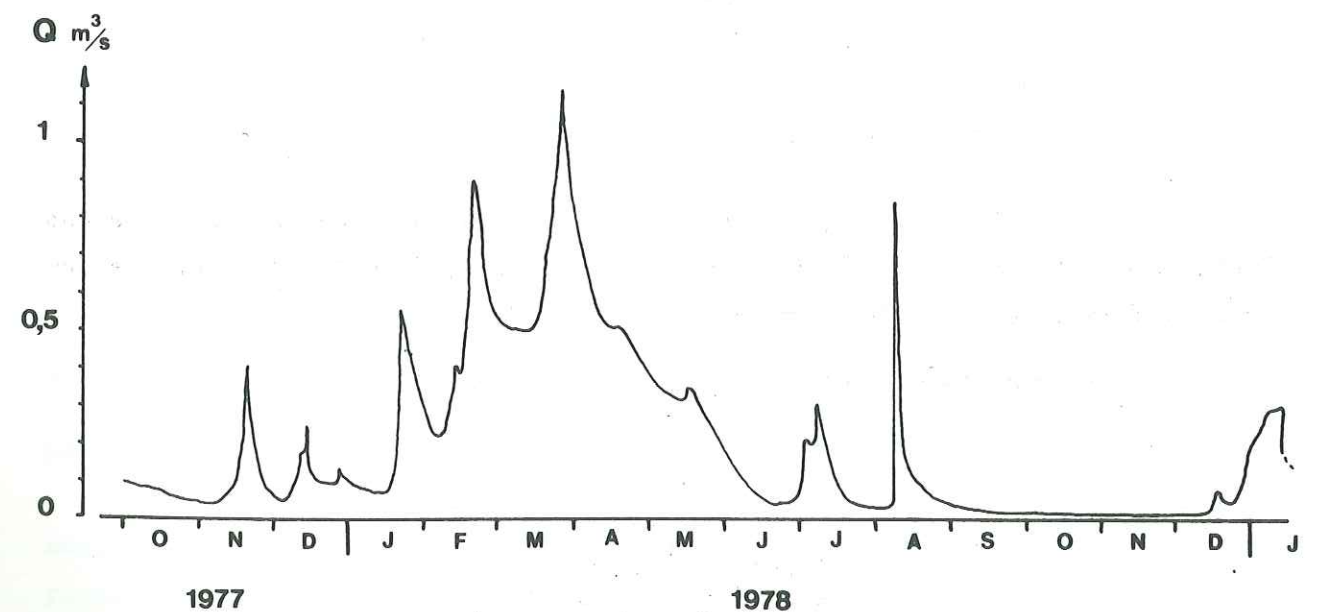


Fig 83 : Hydrogramme

re des débits n'étant pas pratiquée en continu.

Les débits moyens mensuels sont les suivants :

O	N	D	J 1978	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
65	110	95	135	360	580	475	285	80	105	115	27	18	14,5	45

Le débit moyen annuel pour 1978 est de 176 l/s ± 35 l/s.

Le volume de la lame d'eau écoulee est de 5 550 000 m³. Cela représente pour un bassin versant réel de 3,85 km², dont la surface a été corrigée au paragraphe sur les bilans hydrologiques, une hauteur de lame d'eau de 1442 mm.

Le débit spécifique moyen annuel est de 45,7 l/s/km² et celui d'étiage de 3,76 l/s/km².

La température est comprise entre 10,1 et 11,4, avec une moyenne de 11°C.

La résistivité oscille entre 1900 Ωcm et 2700 Ωcm.

III.2.1.2. Les caractères chimiques.

Les analyses reportées en annexe ne constituent qu'une part des analyses effectuées sur les sources. Nous avons retenu, dans le tableau, les valeurs des analyses les plus complètes.

La composition chimique moyenne est la suivante :

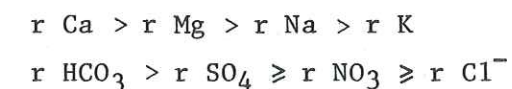
Paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima
Q l/s		14,5	1170
pH	7,4	7,1	7,7
R Ωcm à 18°C	2387	1922	2715
T °C	11	10,1	11,4
Ca ⁺⁺ mg/l	79,9	70,5	101,8
Mg ⁺⁺	10,97	7,6	19,21
Na ⁺	4,97	1,9	7,7
K ⁺	0,71	0,54	0,99
Cl ⁻	1,09	0,40	1,87
SO ₄ ⁻⁻	11,34	6	18,5
HCO ₃ ⁻	287	256	328
r Ca/Mg	4,42		
r Na/Cl	7		
r SO ₄ /Cl	7,66		
r HCO ₃ /SO ₄	20,43		

Tableau 78 : Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes des sources d'Arbin.

Les variations des paramètres physicochimiques sont très rapides, liées à la variabilité importante des débits.

La minéralisation totale moyenne est de 396 mg/l.

Le faciès chimique de la source est :



Les teneurs moyennement élevées des sulfates pourraient provenir de l'oxydation des pyrites contenues dans les niveaux marneux du Jurassique supérieur.

Les teneurs en Cl⁻, très faibles par rapport aux autres valeurs, ne sont pas très significatives pour l'étude générale portant sur une longue période. Elles seront plus significatives lors de l'étude d'une crue.

Les variations des principaux paramètres sont illustrées par la figure 84.

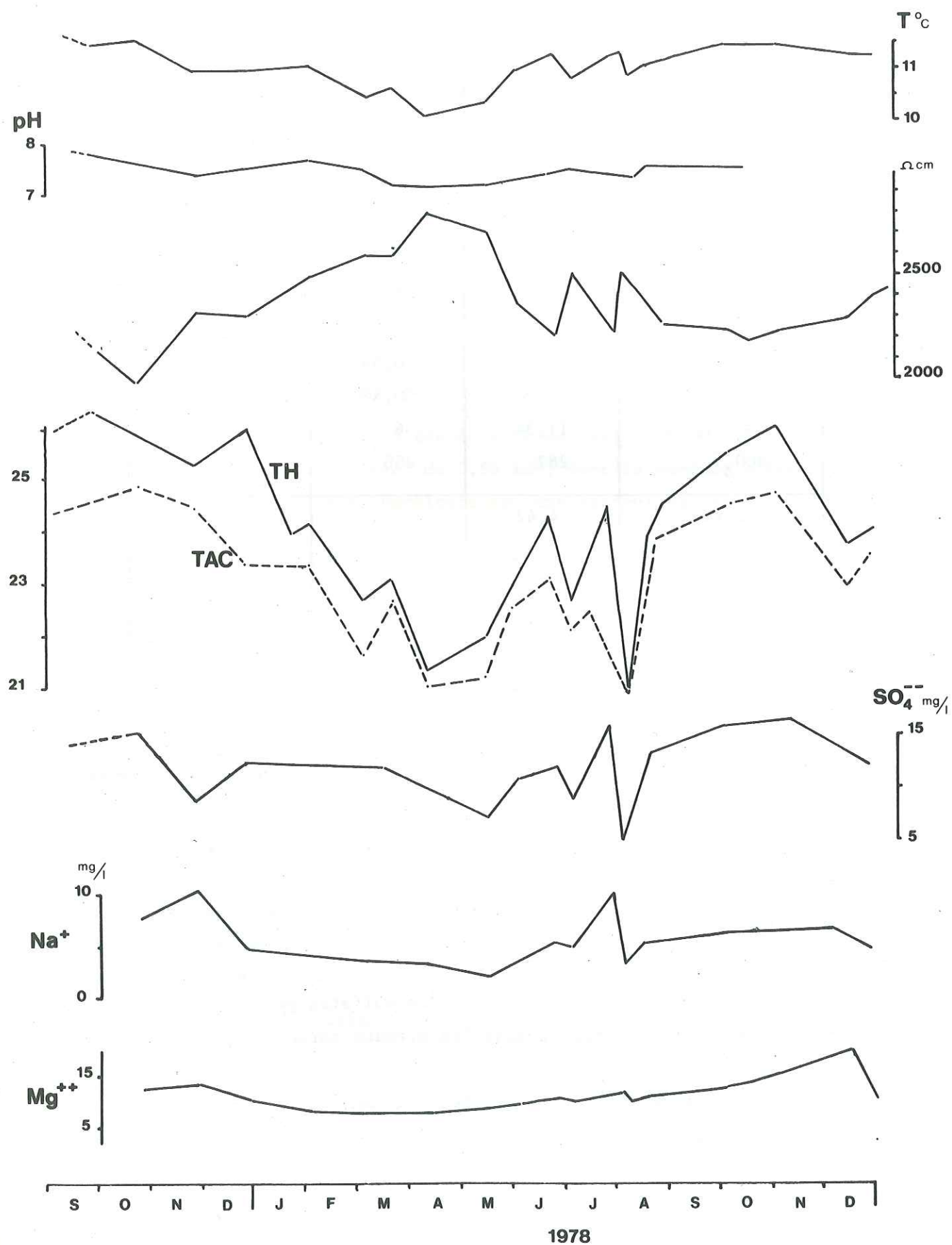


Figure 84 : Variations des paramètres physicochimiques des sources d'Arbin.

III.2.1.3. Etude de la crue du 8 août 1978.

Les paramètres physicochimiques caractérisant une eau peuvent subir des variations importantes lors d'une crue. Ces subites variations des paramètres physicochimiques, liées à l'apport d'un volume d'eau important, permettent de mieux connaître le fonctionnement de l'aquifère et de ses émergences.

Les très fortes précipitations, enregistrées durant la journée du 7 août 1978 (80mm à Challes-les-Eaux), ont fourni un apport d'eau très important et instantané aux sources d'Arbin. Le débit de pointe de crue a été de 800 l/s durant la journée du 8 août 1978, alors que le débit des sources les 6 et 7 août n'était que de 35 l/s.

Tous les paramètres physicochimiques mesurés lors de la crue sont indiqués dans le tableau 79 et illustrés par la figure 85.

Les mesures ont été effectuées, d'une part, sur la source du ruisseau (point 4) et, d'autre part, sur les différentes autres émergences au fur et à mesure de l'accroissement des débits.

Cette augmentation des débits se fait de la manière suivante :

- pour les débits supérieurs à 40 l/s au point 4, l'émergence n° 3 entre en fonctionnement ;
- pour les débits supérieurs à environ 300 l/s aux points 3 et 4, le point 1 s'amorce.

Les débits de l'émergence 2 sont compris entre 2 l/s et 22 l/s.

L'hydrogramme indiqué sur la figure 85 correspond au débit total noté à l'échelle limnimétrique du point 5. Le débit maximum enregistré au point 4 a été de 56 l/s.

La turbidité a été mesurée à l'émergence n°1, celle des autres émergences a une valeur très faible 1 unité JTU.

Les autres paramètres physicochimiques de la figure 85 ont été mesurés à la source du ruisseau (point 4). On constate une faible diminution de la résistivité et une augmentation du TH précédant la crue. Cette variation résulte de l'expulsion d'un faible volume d'eau, plus minéralisée, contenue dans l'aquifère avant la crue, par l'augmentation de charge provoquée par l'arrivée d'eaux d'infiltration. Cette variation est faible car les eaux peu minéralisées se mélangent progressivement à ces réserves antérieures, ce qui a pour effet d'entraîner une augmentation brutale de la résistivité et une chute du TH.

La résistivité et le TH n'atteindront toutefois des valeurs respecti-

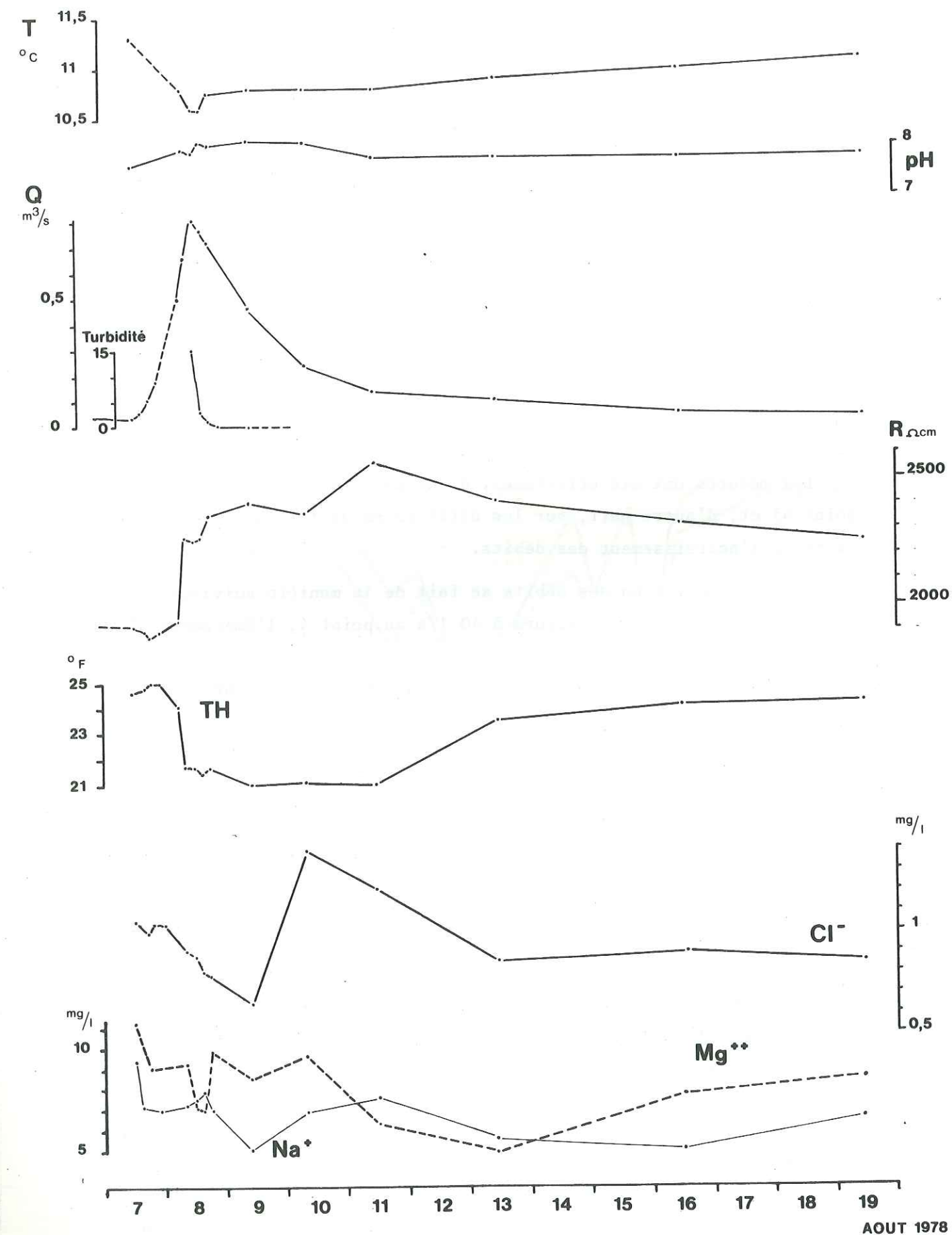


Figure 85 : Evolution des principaux paramètres physicochimiques des sources d'Arbin lors de la crue du 8 août 1978.

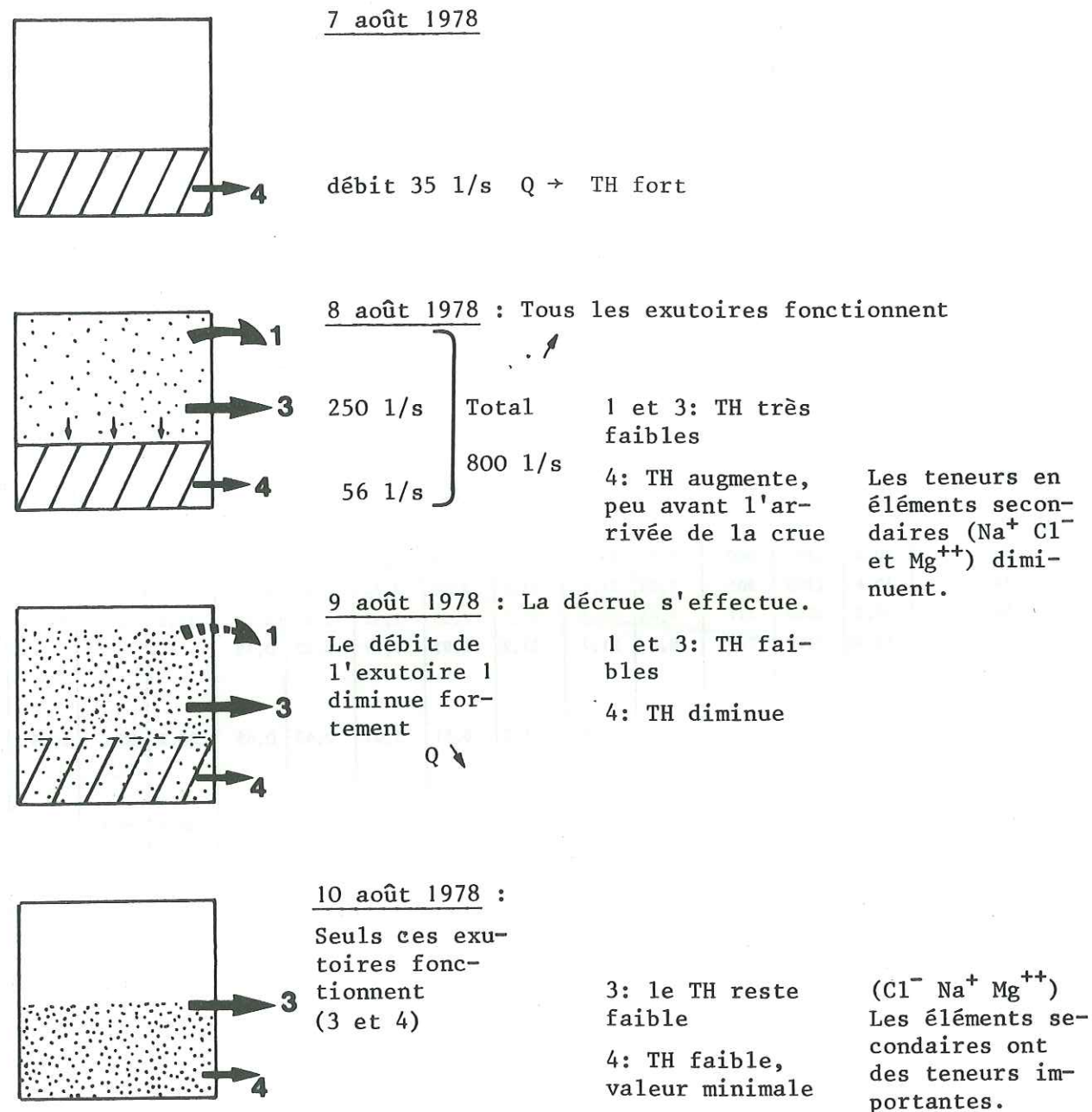
vement maximales et minimales que les 10 et 11 août 1980, lorsque les eaux, peu minéralisées, atteindront véritablement la source n° 4. Ces valeurs seront, malgré tout, peu différentes de celles enregistrées pendant la pointe de crue.

Date	T	R	Q	pH	Source du Ruisseau - point 4						point 3		point 1	
					TH point 4	TAC	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	TH	T		
7.08.1978														
12h	11,3	1922	35	7,6	24,6	25	11,18	9,40	0,56	1,06	-	-	-	
15h		1903	58		24,8	24,8	-	7,15	0,57	1,00	-	-	-	
18h		1880	106	-	25,0	24,8	9,02	-	-	1,05	-	-	-	
21h		1887	182	-	25,1	24,8	-	7,09	0,43	1,04	-	-	-	
8.08.1978														
6h		1940	502	-	24,1	24,0	-	-	-	-	22,0	-	19,9	
8h	10,8	2273	660	7,9	21,7	21,7	9,24	7,12	0,44	0,92	19,9	10,6	19,1	
12h	10,6	2250	805	7,85	21,7	21,7	7,29	7,64	0,42	0,89	-	-	-	
15h	10,6	2269	771	8,05	21,5	21,7	7,05	7,92	0,61	0,82	19,8	10,7	19,0	
18h	10,75	2360	720	8,0	21,7	21,2	9,97	7,17	0,62	0,79	-	-	-	
9.08.1978														
10h	10,8	2406	465	8,1	21,0	21,0	8,51	5,05	0,43	0,65	20,8	10,6	20,8	
10.08.1978														
8h	10,8	2367	240	8,05	21,1	21,2	9,72	6,90	0,38	1,42	20,9	10,7	-	
11.08.1978														
11h	10,8	2568	153	7,7	21,0	20,6	6,35	7,62	0,36	1,22	-	-	-	
13.08.1978	10,9	2508	112	7,7	23,5	23,0	4,89	5,64	0,62	0,85	-	-	-	
16.08.1978	11,0	2425	50	7,7	24,1	24,1	7,78	5,02	0,52	0,90	24,0	10,8	-	
19.08.1978	11,1	2250	40	7,8	24,2	24,1	8,45	6,73	0,69	0,85	-	-	-	

Tableau 79 : Variations des principaux paramètres physicochimiques lors de la crue du 8 août 1978 aux sources d'Arbin.

Le retour aux conditions normales de ces deux paramètres ne s'effectuera que très progressivement durant les jours suivants. On remarque, également, que la température chute lors de la crue, mais elle n'atteint son minimum que quelques heures après la pointe de crue. Le retour aux conditions précédant la perturbation, s'effectue d'abord de manière rapide puis progressivement durant les jours suivants.

Pour les autres paramètres chimiques (Cl⁻, Mg⁺⁺, Na⁺), on enregistre une diminution pendant la crue générale, puis une nette augmentation durant les 10 et 11 août 1978. Ceci est particulièrement visible dans les variations des teneurs en chlorures. Les teneurs en Na⁺ et Mg⁺⁺ présentent aussi cette tendance, mais elle est moins spectaculaire. Les concentrations en K⁺



/// eau fortement minéralisée.

1: source du ruisseau du Couza .

3: source du chemin.

⋈ eau faiblement minéralisée.

4: captage du "Ruisseau".

Fig. 86 : Fonctionnement schématique de l'aquifère des sources d'Arbin durant la crue du 8 août 1978.

restent faibles et leurs variations sont moins significatives.

Le retour aux conditions normales s'effectue de manière irrégulière.

Nous avons tenté d'expliquer par les schémas de la figure 86 le fonctionnement de l'aquifère, en tenant compte des variations des paramètres physicochimiques enregistrés durant cette crue à la source du ruisseau et ceux des autres exutoires temporaires.

Le 7 août, seul l'exutoire 4 fonctionne avec un débit faible, les eaux sont fortement minéralisées (TH forte), les teneurs en éléments secondaires sont moyennes.

Le 8 août, la crue est à son maximum, tous les exutoires fonctionnent, le débit de pointe de crue est de 800 l/s.

Les eaux sont peu minéralisées aux points 1 et 3 (TH faible) alors qu'au point 4, on enregistre une augmentation du TH traduisant l'expulsion d'eaux plus minéralisées. L'augmentation de la valeur du TH est toutefois faible (de 24,6 à 25,1) et de courte durée. Aucune modification n'est nettement visible au même instant dans les variations du TAC.

La teneur des éléments secondaires, Na⁺ et Cl⁻ surtout, diminue progressivement.

Le 9 août, les débits diminuent, surtout ceux concernant l'exutoire n° 1. Les eaux de tous les exutoires sont peu minéralisées, les valeurs du TH sont faibles.

Le 10 août, seuls les exutoires 3 et 4 fonctionnent, les débits ont fortement diminué. Les valeurs du TH, aux deux exutoires, sont faibles. Au point 4, on enregistre la valeur minimale du TH (21,0).

Les éléments secondaires ont des teneurs qui augmentent rapidement, valeurs élevées qui se maintiennent également durant 1 ou 2 jours suivants. Ceci est très net sur les apports en chlorures qui présentent un pic de concentration maximale le 10 août, alors que les éléments Na⁺ et Mg⁺⁺ présentent deux pics de teneurs élevées, lors de la crue et les 10 et 11 août.

La cause de cet apport en éléments secondaires est à rechercher dans les eaux récemment infiltrées et responsables de la crue. Les fortes précipitations enregistrées ont pu créer un ruissellement et un lessivage partiel des terrains superficiels. L'augmentation brusque, la plus importante, ne s'observe, malgré tout, que postérieurement à la pointe de crue, c'est-à-dire les 10 et 11 août 1978. Les eaux d'infiltration responsables de cette anomalie ont vraisemblablement une origine plus lointaine que celles qui ont en-

généralisé la pointe de crue du 8 août.

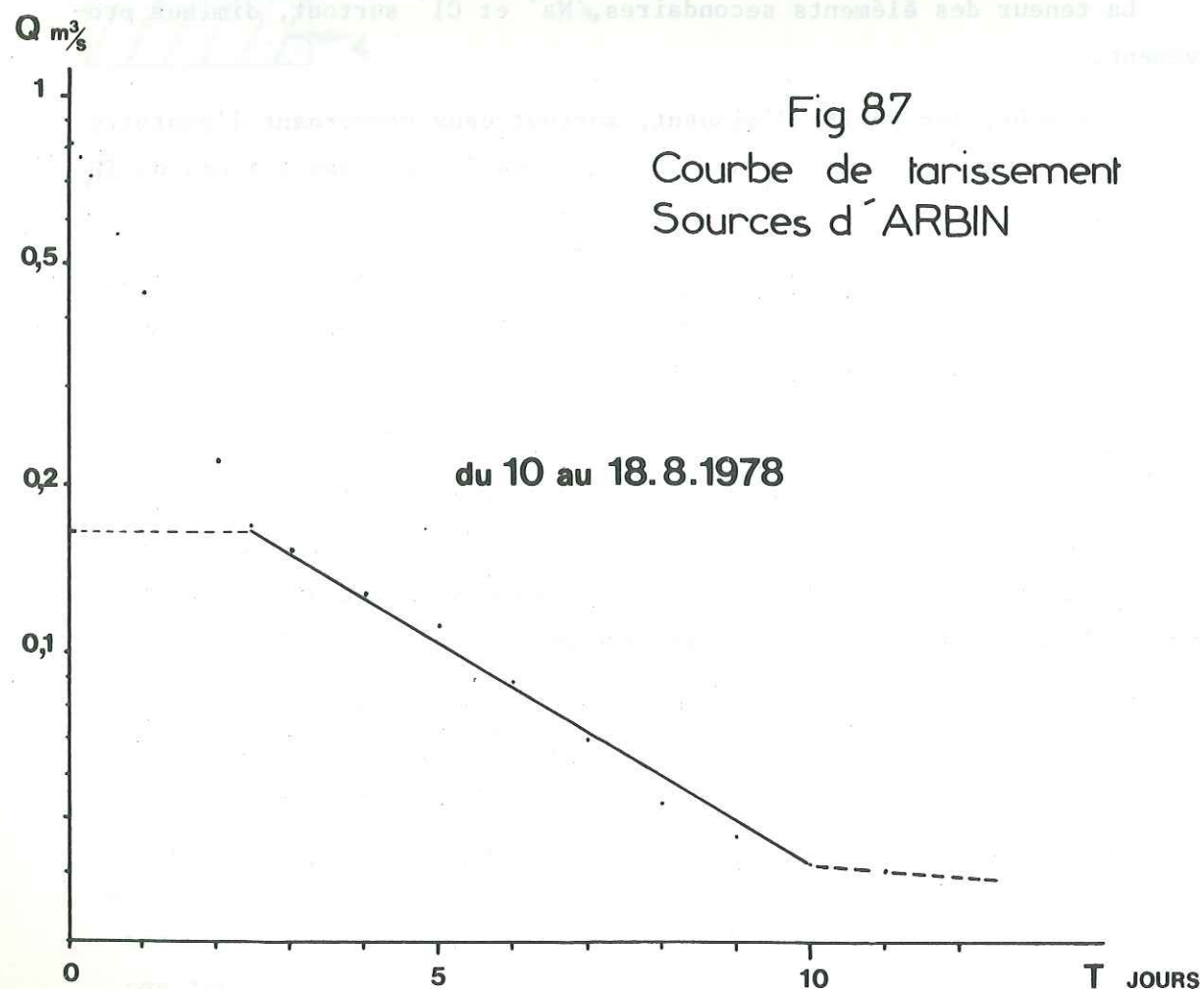
En tenant compte des résultats de cette expérience nous avons, plus tard, effectué deux jaugeages du Ternèze à l'amont et à l'aval de son passage sur les calcaires du Jurassique supérieur, juste à l'amont de la station limnimétrique du pont de Boyat (débit 452 l/s). Les jaugeages ont eu des résultats comparables dans les deux cas, dans les limites d'erreurs de ces mesures faites au micromoulinet.

. Courbe de tarissement :

Nous avons, grâce aux mesures de débits faites sur les sources d'Arbin, durant cette crue du 8 août, pu établir une courbe de tarissement. La période de tarissement, étudiée par la méthode de Maillet, est très courte et ne représente que le tarissement de la source n° 3.

Les caractéristiques de cette courbe représentée sur la figure 87 sont les suivantes :

- période d'étude tarissement du 10.08 au 18.08.1978 :
- $Q_0 = 165 \text{ l/s}$ $\alpha = 0,184 \text{ j et m}^3/\text{s}$ $W = 77\,390 \text{ m}^3$.



Le coefficient de tarissement très élevé est caractéristique d'une émergence de type karstique.

Les coefficients de tarissement de la source n° 4 sont très faibles mais les mesures trop imprécises des débits du captage de la source du ruisseau ne nous ont pas permis d'établir une courbe de tarissement et un calcul du volume des réserves pour cet exutoire.

III.2.2. La source de la ferme de Lourdens :

Cette source est située dans les sous-sols de la ferme de Lourdens.
 $X = 892,13$; $Y = 64,63$; $Z = 390\text{m}$.

Elle est captée dans cette ferme et exploitée par la Compagnie Générale des Eaux pour l'alimentation en eau potable des communes d'Arbin et Montmélian. L'accessibilité au captage étant quelquefois difficile, nous avons prélevé cette source au bassin situé dans la cour de la ferme. Le débit n'a pu être alors mesuré. La source émerge des calcaires du Kimméridgien inférieur du flanc Est de l'anticlinal de Rochefort.

Le débit maximum observé a été de 15 l/s au mois de février 1978, le débit d'étiage de 2 l/s au début du mois de décembre.

Les variations de température sont restreintes, ce qui laisse supposer une origine assez profonde de la source.

La résistivité varie entre 1930 Ωcm et 2700 Ωcm .

Les caractères physicochimiques moyens et extrême de la source sont indiqués dans le tableau suivant et les variations sont illustrées par la figure 88.

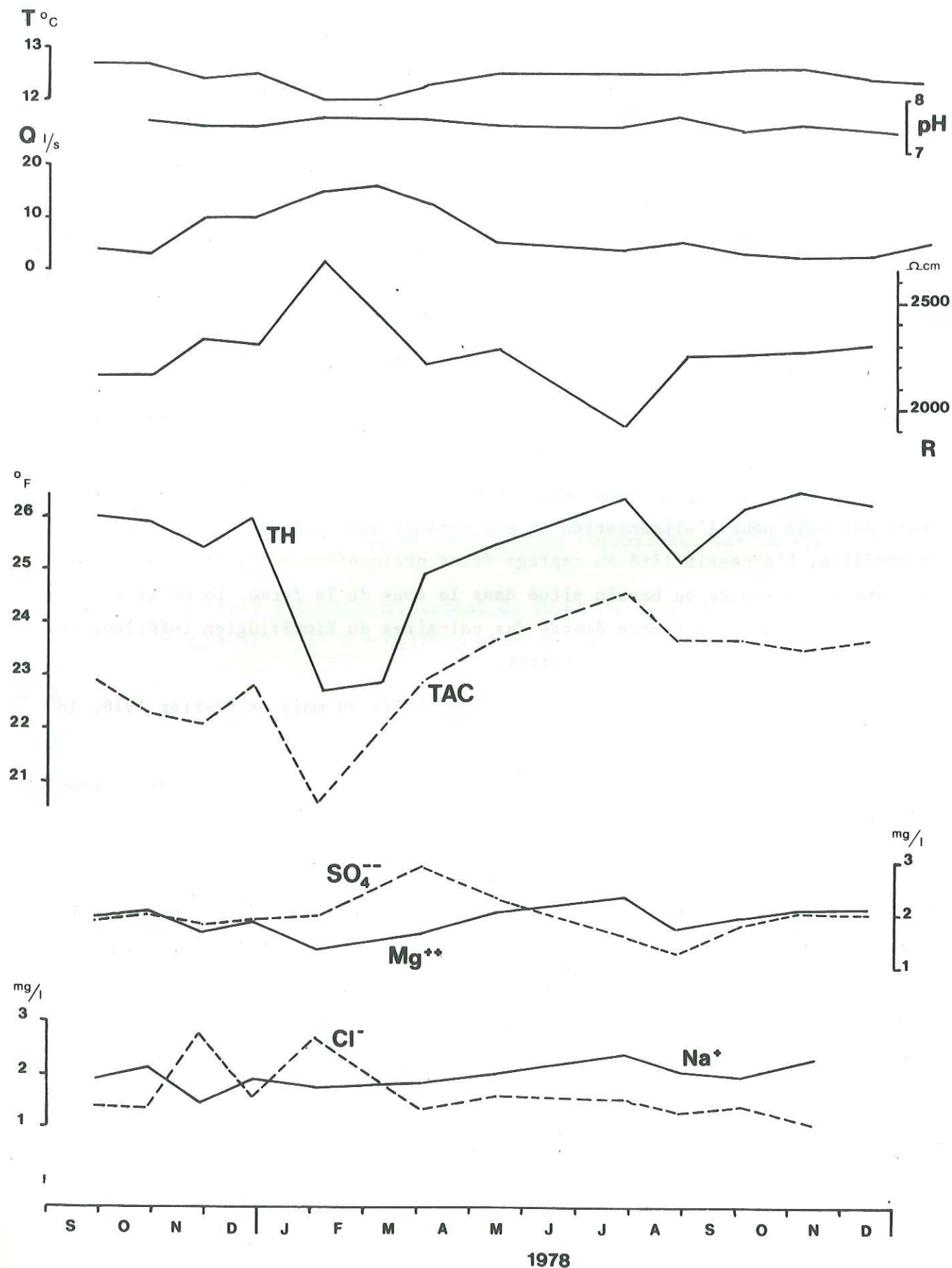


Fig. 88 : Variations des paramètres physicochimiques de la source de la Ferme de Lourdens.

paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima
Q		2,0	15
pH	7,55	7,4	7,7
R	2278	1930	2702
T	12,4	12,0	12,7
Ca ⁺⁺	73,6	68,5	98,6
Mg ⁺⁺	18,9	13,6	23,1
Na ⁺	2,16	1,4	2,4
K ⁺	0,68	0,56	0,82
Cl ⁻	1,61	0,92	2,75
SO ₄ ⁻⁻	19,6	13,0	29,0
HCO ₃ ⁻	279	251	300
rCa/rmg	2,36		
rNa/Cl	2,06		
rSO ₄ /rCl	8,88		
rHCO ₃ /rCO ₄	11,42		

Tableau 80 : Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de la ferme de Lourdens.

Le mur de l'aquifère de la source est formé par les marnes et marno-calcaires de l'Oxfordien supérieur, ce qui explique les fortes teneurs en sulfates dans ses eaux.

Le faciès chimique de la source est :

$$rCa > rMg > rNa > rK$$

$$rHCO_3 > rSO_4 > rNO_3 \geq rCl$$

Par rapport aux sources d'Arbin qui émergent également des calcaires du Jurassique supérieur, cette source de la ferme de Lourdens présente des caractères analogues. Ses teneurs en sulfates sont toutefois plus élevées et celles en Ca⁺⁺ et HCO₃⁻ plus faibles.

III.2.3. Source de Lourdens n° 23 :

Les sources appelées "sources de Lourdens" sont situées au NW du village de la Chapelle.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

$$X = 892,62 \quad ; \quad Y = 65,05 \quad ; \quad Z = 400m.$$

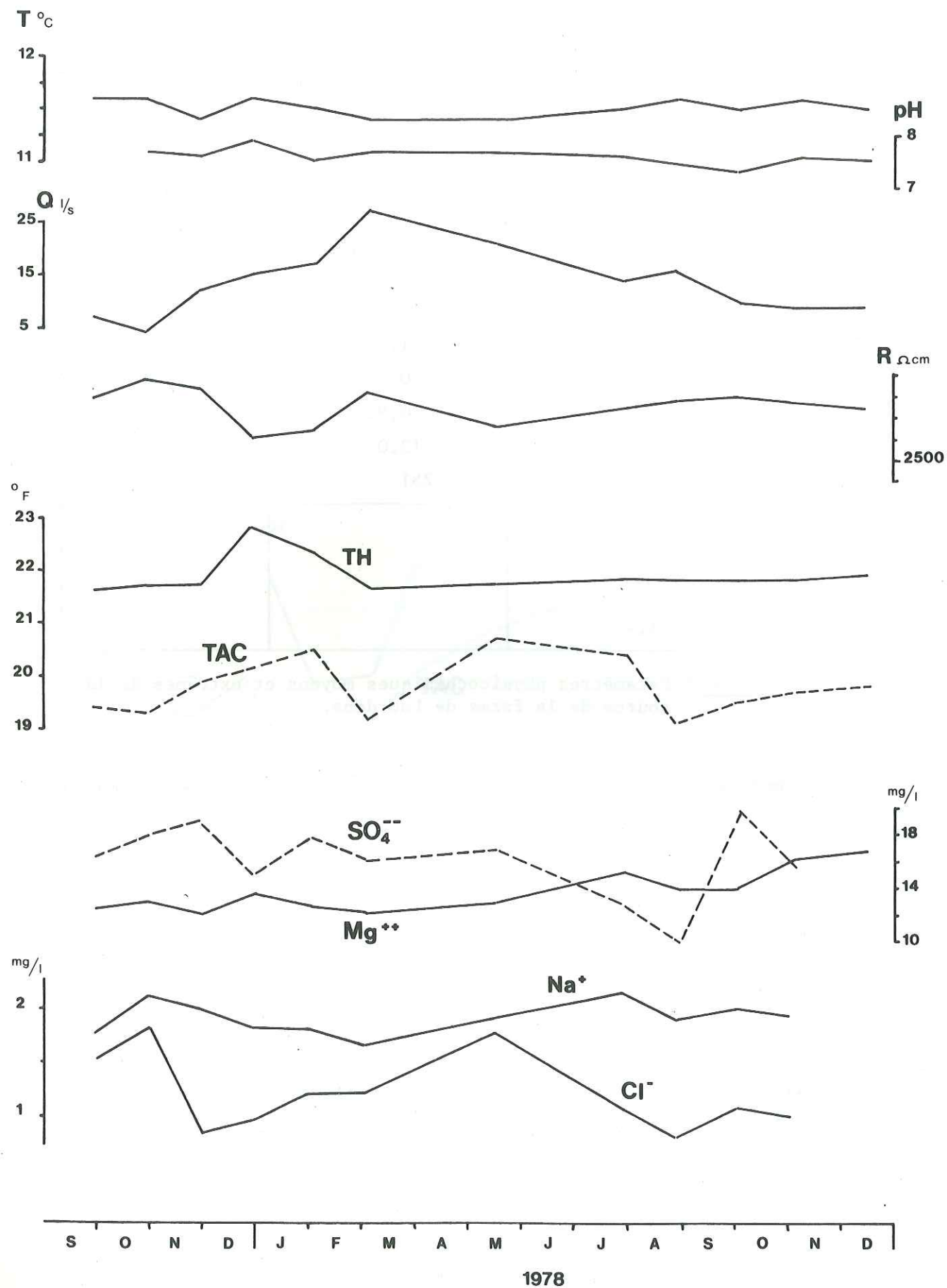


Fig. 89. Variations des paramètres physicochimiques de la source de Lourdens.

Ces sources sont également exploitées par la Compagnie Générale des Eaux pour l'alimentation en eau potable des villages de la Chapelle et d'Arbin.

Le captage comporte quatre arrivées d'eau. Trois de ces arrivées sont permanentes, la quatrième, qui a un débit important, tarit rapidement. Cette dernière est liée au cône de déjection mixte qui recouvre une partie des calcaires du Jurassique supérieur et s'étend sous le village de la Chapelle. Les trois autres émergences présentent les mêmes caractéristiques et sont issues des calcaires du Kimméridgien moyen du flanc Est de l'anticlinal de Rochefort.

Le débit maximum enregistré a été de 27 l/s au mois de mars, le débit d'étiage de 3,2 l/s fin novembre.

Les écarts de température sont très faibles sans tenir compte de la source issue des terrains quaternaires, qui laisse supposer une origine profonde des eaux avec des circulations lentes.

Les résistivités présentent également des variations faibles entre 2600 et 2900 Ω.cm.

Les variations des paramètres physicochimiques sont reportés sur la figure 89.

Les caractères physicochimiques moyens et extrêmes des sources issues du Jurassique supérieur sont les suivants :

Paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima
Q		3,2	27
pH	7,6	7,3	7,9
R	2780	2617	2891
T	11,5	11,4	11,6
Ca ⁺⁺	65,11	60,9	68,5
Mg ⁺⁺	13,54	12,16	15,07
Na ⁺	1,91	1,65	2,15
K ⁺	0,59	0,50	0,67
Cl ⁻	1,20	0,80	1,78
SO ₄ ⁻⁻⁻	16,2	10,0	20,0
HCO ₃ ⁻	242	235	253
rCa/rMg	2,91		
rNa/rCl	2,51		
rSO ₄ /rCl	10		
rHCO ₃ /rSO ₄			

Tableau 81 : Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de Lourdens.

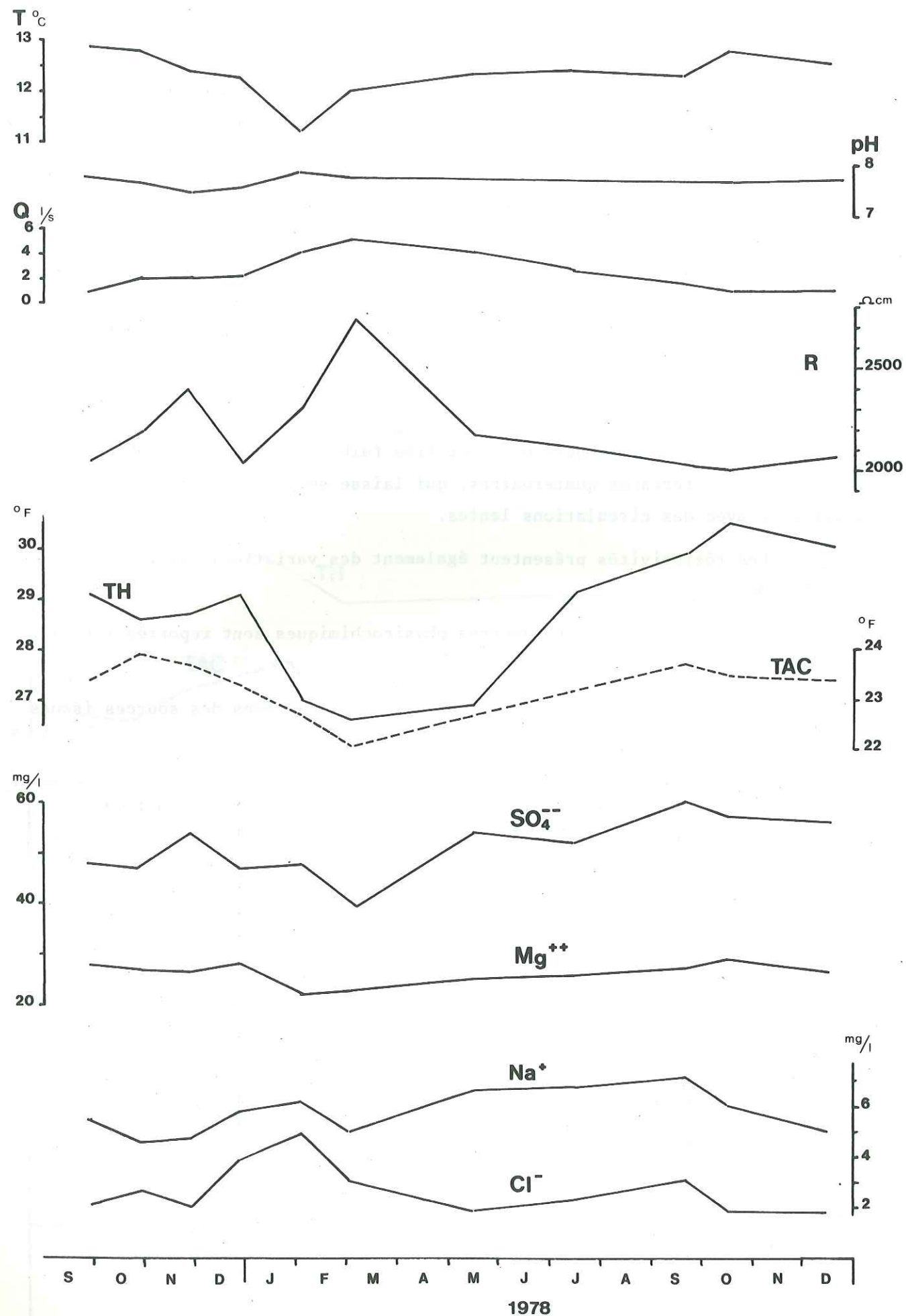
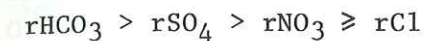
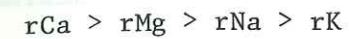


Fig. 90 : Variations des paramètres physicochimiques de la source du Boisset.

Le faciès chimique des source est :



Les sources ont des caractéristiques chimiques comparables à celles de la source de la ferme de Lourdens. Les teneurs des différents éléments sont toutefois légèrement plus faibles.

III.2.4. Les sources du Boisset n° 6 :

Elles sont situées en rive gauche du ruisseau du Bondeloge au Nord de Francin.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

$$X = 889,25 \quad ; \quad Y = 62,80 \quad ; \quad Z = 285$$

Ces deux sources ne sont pas captées mais sont utilisées depuis longtemps par les habitants de leur voisinage.

Elles sont issues du cône de déjection adossé aux versants aboutissant au Rocher de la Savoyarde. Une partie des eaux peut également provenir des calcaires jurassiques supérieurs du bord de la falaise de ce rocher de la Savoyarde.

Nous avons prélevé la source, la plus en amont du ruisseau, recueillie dans un petit bassin en bordure de la route nationale. L'autre source présente les mêmes caractéristiques physicochimiques.

Les variations des paramètres physicochimiques sont illustrées à la figure 90.

Les débits maximums ont été enregistrés au mois de février et mars avec 5 l/s et le débit d'étiage au début du mois de décembre a été de 0,9 l/s.

Les températures sont comprises entre 11°C et 13,4°C.

Les résistivités oscillent entre 2000 et 2850 Ωcm.

Les caractéristiques physicochimiques moyennes et extrêmes de la source sont indiquées dans le tableau suivant :

Paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima
Q		0,9	5,0
pH	7,7	7,5	7,9
R	2202	2000	2841
T	12,85	11,7	13,4
Ca ⁺⁺	71,6	66,1	76,9
Mg ⁺⁺	26,29	22,12	29,42
Na ⁺	5,76	4,60	7,25
K ⁺	1,44	1,00	2,05
Cl ⁻	2,71	1,82	4,97
SO ₄ ⁻⁻	51,1	40,0	60,0
HCO ₃ ⁻	283	269	292
rCa/rMg	2,72		
rNa/rCl	2,13		
rSO ₄ /rCl	18,86		
rHCO ₃ /rSO ₄	5,54		

Tableau 82 : Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source du Boisset.

Les fortes teneurs en Na⁺ et K⁺ peuvent provenir des dépôts argileux contenus dans les matériaux du cône de déjection.

Les teneurs très élevées en SO₄⁻⁻, peuvent être celles d'eaux profondes circulant sur les niveaux marneux de l'Oxfordien supérieur.

Les très fortes valeurs de TH de ces sources (>30°F) peuvent affecter leur potabilité.

Le faciès chimique de la source est :

rCa > rMg > rNa > rK

rHCO₃ > rSO₄ > rCl ≥ rNO₃

III.2.5. Conclusion :

En conclusion à cette étude hydrochimique des sources de la bordure Sud du bassin versant du Ternèze, nous pouvons remarquer que seule les sources d'Arbin participent largement au déficit hydrologique de ce bassin versant du Ternèze. Les variations rapides de leurs caractères physicochimiques leur con-

fèrent un terme de sources karstiques.

Les autres sources issues des calcaires du Jurassique supérieur présentent des caractères chimiques semblables.

Les eaux circulant dans les cônes de déjection jalonnant les versants sous le rebord subalpin, dont les eaux de la source du Boisset en sont un exemple, sont fortement minéralisées. Les teneurs en éléments secondaires sont très élevées. Les caractères physicochimiques indiquent que les circulations dans ces cônes s'effectuent lentement.

III.3. LES SOURCES DU BASSIN VERSANT DU TERNEZE.

Les sources du bassin versant du Ternèze les plus importantes sont des sources captées pour l'alimentation en eau potable des communes du bassin versant.

Les autres sources sont de moindre importance, leurs débits d'étiages étant souvent très faibles. D'un point de vue géologique, elles seront surtout situées dans des formations quaternaires.

III.3.1. La source de "Le Bois" n° 1 :

Cette source est située au SW du village du Bois, en bordure de la terrasse fluvio-glaciaire, qui s'étend des villages du Bois à Marle.

Les coordonnées Lambert sont :

X = 887,70 ; Y = 69,63 ; Z = 690m.

La source émerge des formations sableuses de la terrasse fluvioglaciale.

Les débits maximaux sont enregistrés en février et mai 1978. Le débit d'étiage est de 0,1 l/s en novembre 1977 ainsi qu'en novembre 1978. L'étiage d'hiver est peu marqué à cette altitude.

Les températures présentent des variations importantes calquées sur les variations saisonnières. La source est d'origine très superficielle.

Les variations de la résistivité comprises entre 1675 et 2560 Ωcm concordent bien avec les variations du TH et TAC.

Les paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source sont indiqués dans le tableau suivant.

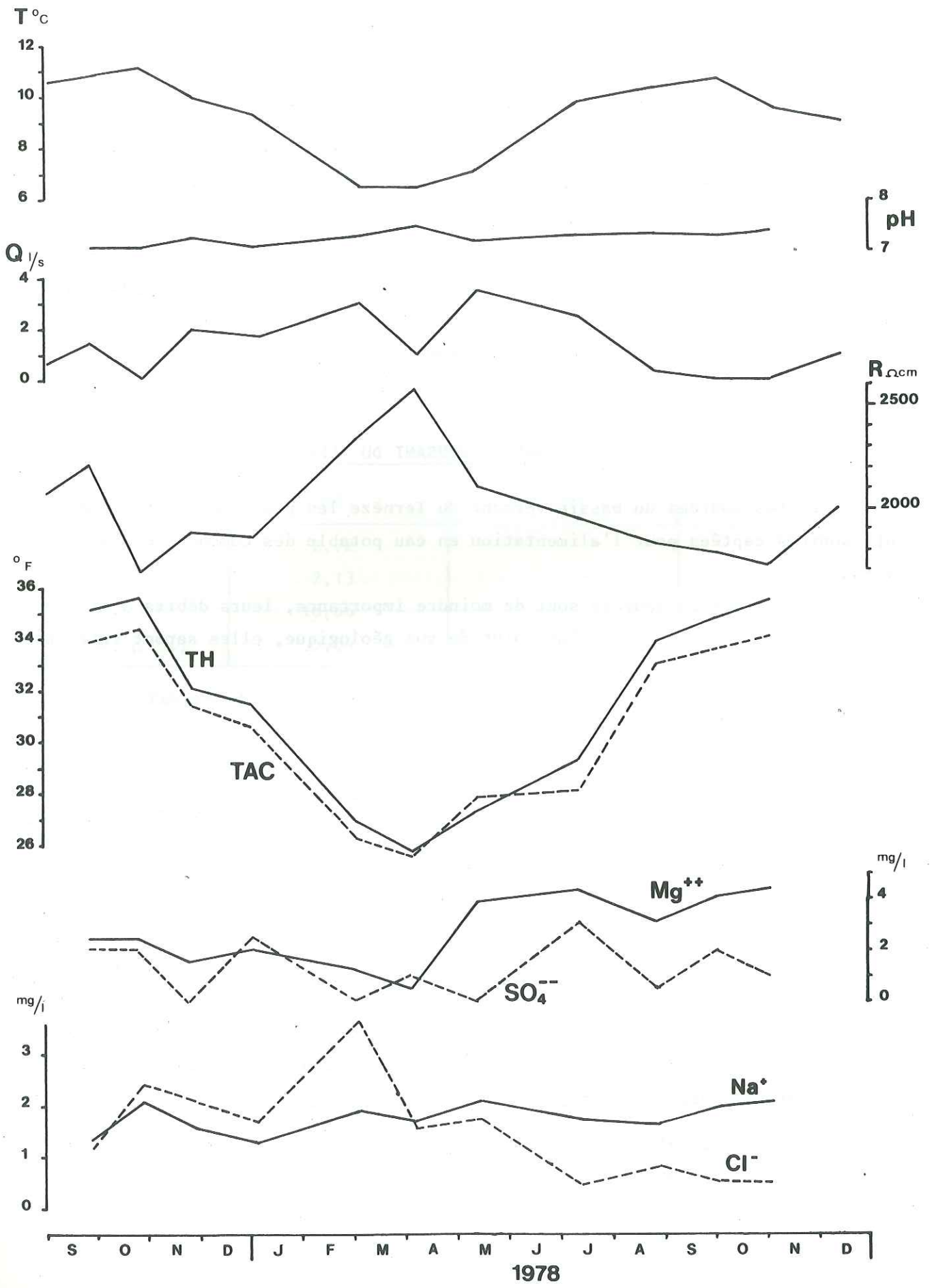


Fig. 91 : Variations des paramètres physicochimiques de la source de Le Bois

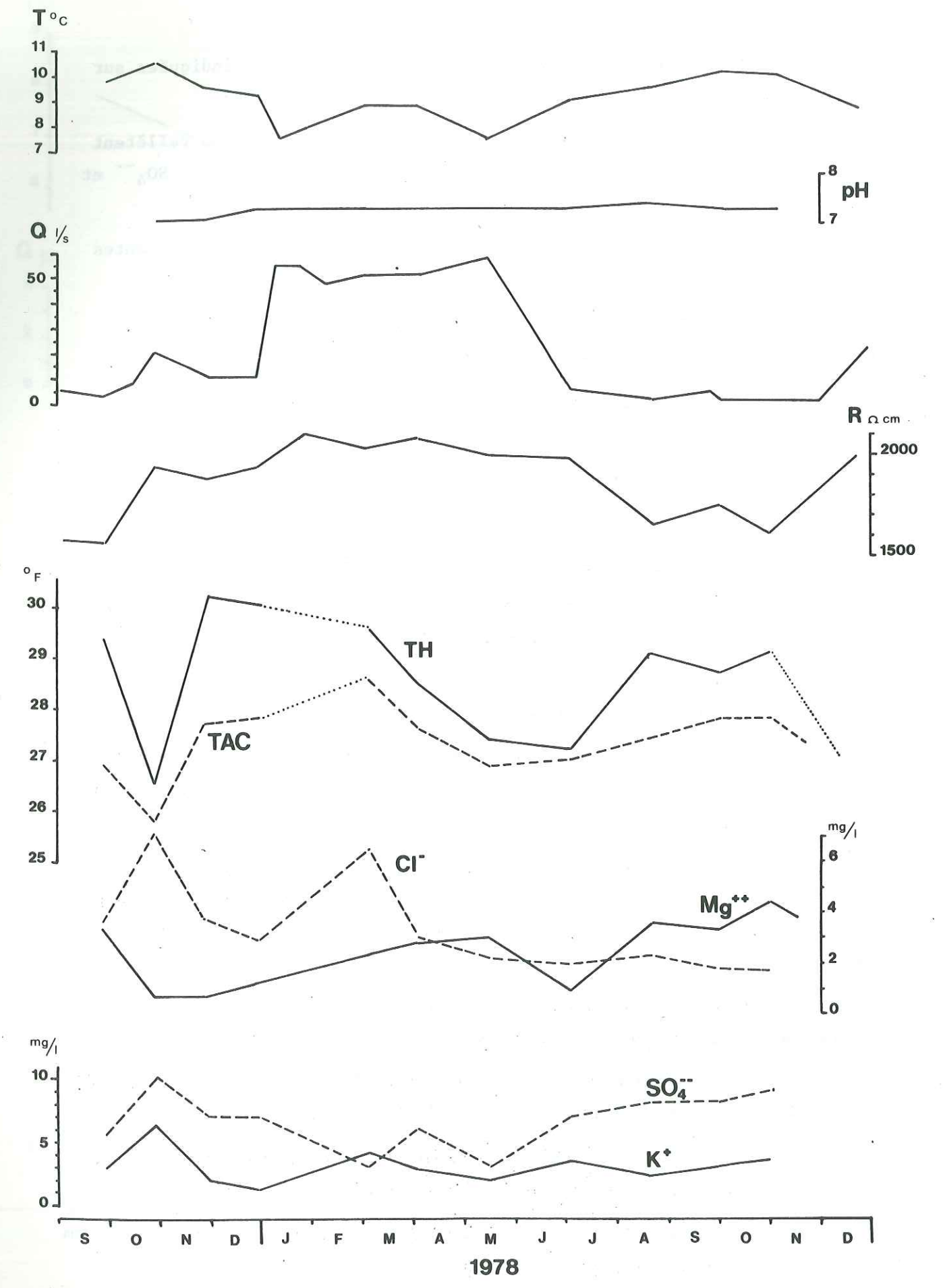


Fig. 92 : Variations des paramètres physicochimiques des sources de la Touvière.

Les variations des paramètres physicochimiques sont indiquées sur la figure 92.

Les variations du TH et du TAC sont très étendues et ne reflètent pas les variations de la résistivité, car les autres éléments (Cl^- , SO_4^{--} et K^+) ont également des teneurs élevées.

On remarque également que les teneurs en K^+ sont plus importantes que celles en Na^+ .

Les concentrations élevées en éléments secondaires Cl^- et SO_4^{--} sont liées à l'activité humaine au village d'Arvey.

Le faciès chimique de la source est :

$r\text{Ca} > r\text{Mg} > r\text{K} > r\text{Na}$

$r\text{HCO}_3 > r\text{SO}_4 > r\text{HO}_3 \approx r\text{Cl}$

III.3.3. Les sources du Rocher du Gros Molard n° 3 :

Ces sources sont situées sous la falaise urgonienne de Combe Noire, au-dessus du village Entrenant. Elles ne sont pas captées.

Les coordonnées Lambert des sources sont :

$X = 889,53$; $Y = 67,65$; $Z = 920\text{m}$.

On distingue 3 sources échelonnées le long de la base des éboulis garnissant le pied de la falaise. Nous avons prélevé la source la plus importante située la plus au Sud.

Ces éboulis sont essentiellement constitués d'éléments de calcaires urgoniens reposant sur les niveaux marneux de l'Hauterivien, ou sur des dépôts morainiques argileux. A l'emplacement des émergences on distingue d'énormes blocs de calcaires témoins d'un éboulement ancien.

Les débits maximaux sont de 4 l/s pour l'émergence prélevée, le débit total des 3 sources est d'environ 10 l/s.

Le débit d'étiage mesuré en novembre 1978 a été de 0,1 l/s pour l'émergence prélevée et de 0,3 l/s pour le total des 3 sources.

Les températures de l'eau présentent des variations semblables aux variations saisonnières. Les sources ont une origine peu profonde.

La résistivité dont les volumes oscillent entre 3600 Ωcm et 4350 Ωcm a des variations concordantes avec celles du TH et TAC.

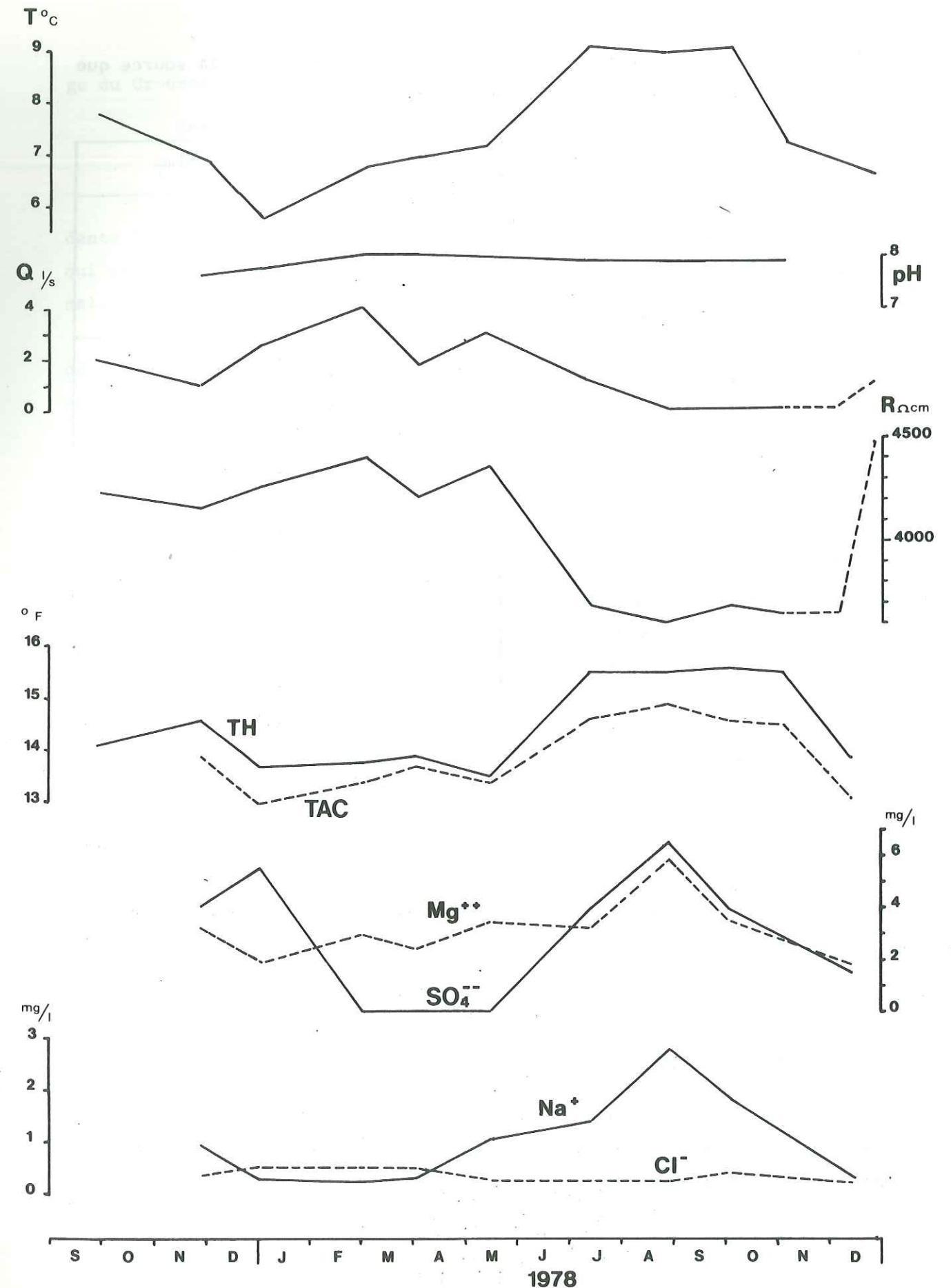


Fig. 93 : Variations des paramètres physicochimiques de la source du Roc du Gros Molard.

Les paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source que nous avons prélevée sont indiqués dans le tableau 85.

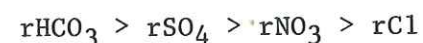
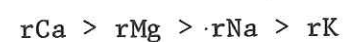
paramètres physicochimiques	Moyens	minima	maxima
Q		0,1	4,0
pH	7,9	7,6	8,0
R	4031	3603	4350
T	7,4	5,7	9,0
Ca ⁺⁺	52,7	48,5	56,9
Mg ⁺⁺	3,12	1,80	5,84
Na ⁺	1,01	0,28	2,81
K ⁺	0,30	0,07	0,80
Cl ⁻	0,36	0,24	0,50
SO ₄ ⁻⁻	4,3	0	6,50
HCO ₃ ⁻	171	158	188
rCa/rMg	10,5		
rNa/rCl	4,25		
rSO ₄ /rCl	8,81		
rHCO ₃ /SO ₄	31,5		

Tableau 85 : Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source du Rocher du Gros Molard.

Les teneurs en Mg⁺⁺, SO₄⁻⁻ et Na⁺ augmentent lors des débits d'étiage.

Les variations des valeurs trop faibles, en Cl⁻, ne sont pas significatives.

Le faciès chimique de la source est :



L'eau est peu minéralisée et les valeurs des paramètres chimiques sont bien caractéristiques d'une eau circulant rapidement dans un milieu très poreux et de surcroît formé de blocs de calcaires urgoniens.

III.3.4. La source du Crouzat n° 4 :

La source du Crouzat est une source captée, située à l'Est du villa-

ge du Crouzat.

Ses coordonnées Lambert sont les suivantes :

$$X = 889,65 \quad ; \quad Y = 67,09 \quad ; \quad Z = 870m.$$

Cette source se situe à proximité du tracé de la faille qui accidente le flanc W du synclinal de Combe Noire et, dans les éboulis et moraines qui recouvrent les terrains du Crétacé inférieur, du soubassement de ce synclinal.

L'origine de ces eaux est certainement liée, comme le prouvent les caractères physicochimiques, aux éboulis de calcaires urgoniens et marno-calcaires Hauterivien, qui tapissent le versant sous les falaises urgoniennes de Combe Noire.

Les variations de température des eaux sont importantes et concordent avec les variations saisonnières des températures de l'air.

Le débit maximum mesuré a été de 5,4 l/s aux mois de décembre 1977 et janvier 1978. Le débit d'étiage est de 0,35 l/s.

Les valeurs de résistivité sont comprises entre 2800 Ωcm et 3700 Ωcm.

Les paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source sont indiqués dans le tableau 86.

paramètres physicochimiques	Moyens	minima	maxima
Q		0,35	5,4
pH	7,8	7,6	7,9
R	3249	2790	3718
T	9,5	8,1	10,6
Ca ⁺⁺	62,4		
Mg ⁺⁺	6,98	5,13	9,0
Na ⁺	0,73	0,41	1,19
K ⁺	0,23	0,12	0,36
Cl ⁻	0,56	0,20	0,94
SO ₄ ⁻⁻	3,9	1,5	6,5
HCO ₃ ⁻	211	195	231
rCa/rMg	5,45		
rNa/rCl	2,06		
rSO ₄ /rCl	5,4		
rHCO ₃ /rSO ₄	42,6		

Tableau 86 : Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source du Crouzat.

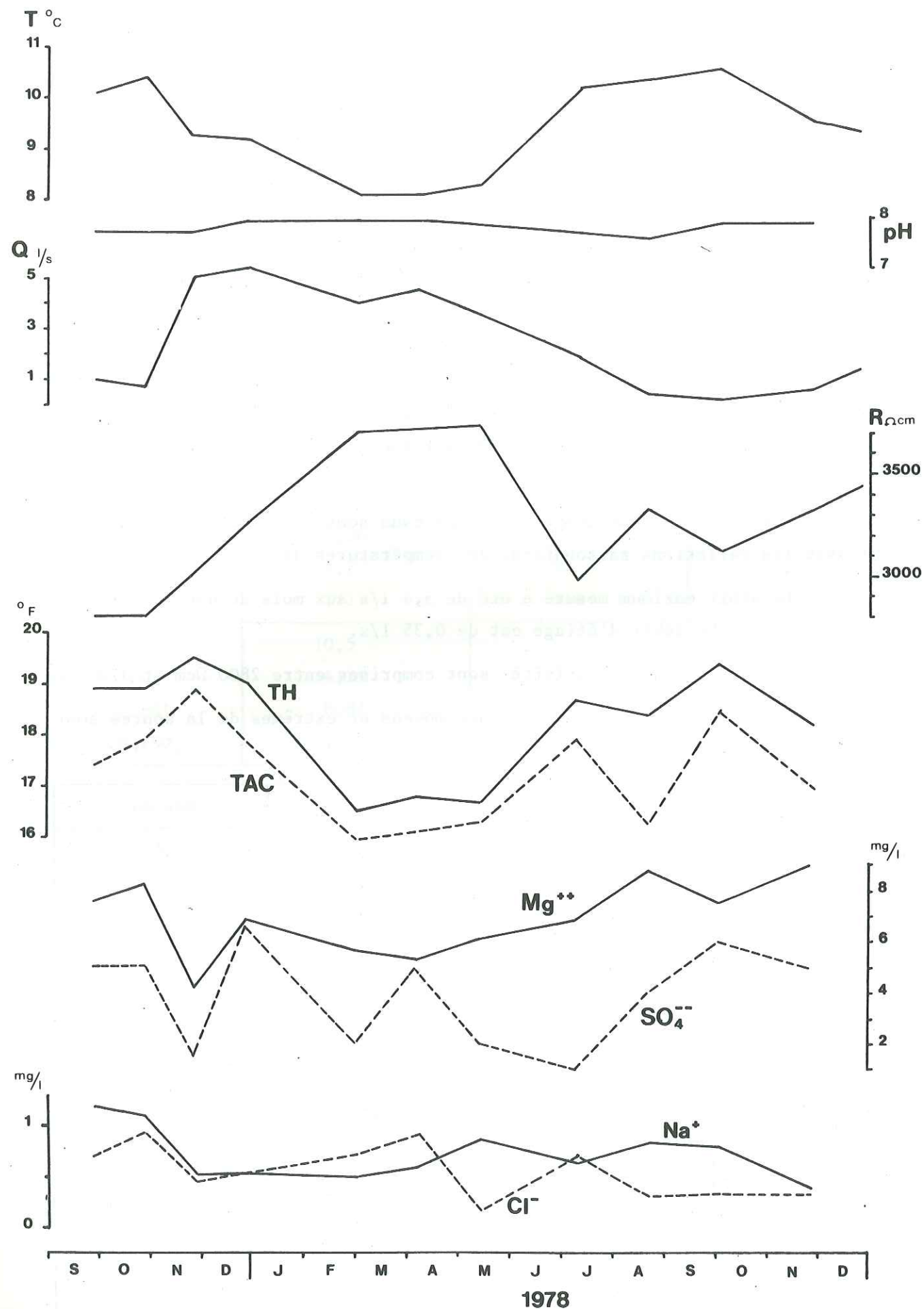


Fig. 94 : Variations des paramètres physicochimiques de la source du Couzat.

Les teneurs en SO_4^{--} , parfois élevées, sont à attribuer aux eaux circulant sur les niveaux marneux de l'Hauterivien.

Les variations des concentrations faibles en Na et Cl^- ne sont pas représentatives.

Le faciès chimique de la source est :

$rCa > rMg > rNa > rK$

$rHCO_3 > rSO_4 \geq rNO_3 > rCl$

III.3.5. La source de la Rongère n° 20 :

La source de la Rongère est située au Nord du village de la Rongère. Le captage est destiné à l'alimentation en eau potable de ce village.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

$X = 890,98$; $Y = 67,43$; $Z = 980m$

La source émerge, en rive droite du petit thalweg qui aboutit au village, des éboulis recouvrant les marnes et marno-calcaires du Crétacé inférieur. Ces éboulis sont formés par des éléments de calcaires urgoniens mais également par des marno-calcaires et marnes hauteriviennes et valanginiennes. Ils sont, par conséquent, très argileux.

Certains des prélèvements ont été effectués au trop-plein du réservoir situé à proximité du village et directement approvisionné par cette source, ce qui explique les fortes variations de la température de l'eau influencée par la température de l'air.

Les débits maximum mesurés à la source sont de 4,5 l/s au mois de mars 1978. Le débit d'étiage de nombre 1977 à été de 0,8 l/s.

Les résistivités varient de 2018 à 2964 Ωcm .

Les paramètres physicochimiques moyens et extrêmes sont indiqués dans le tableau 87.

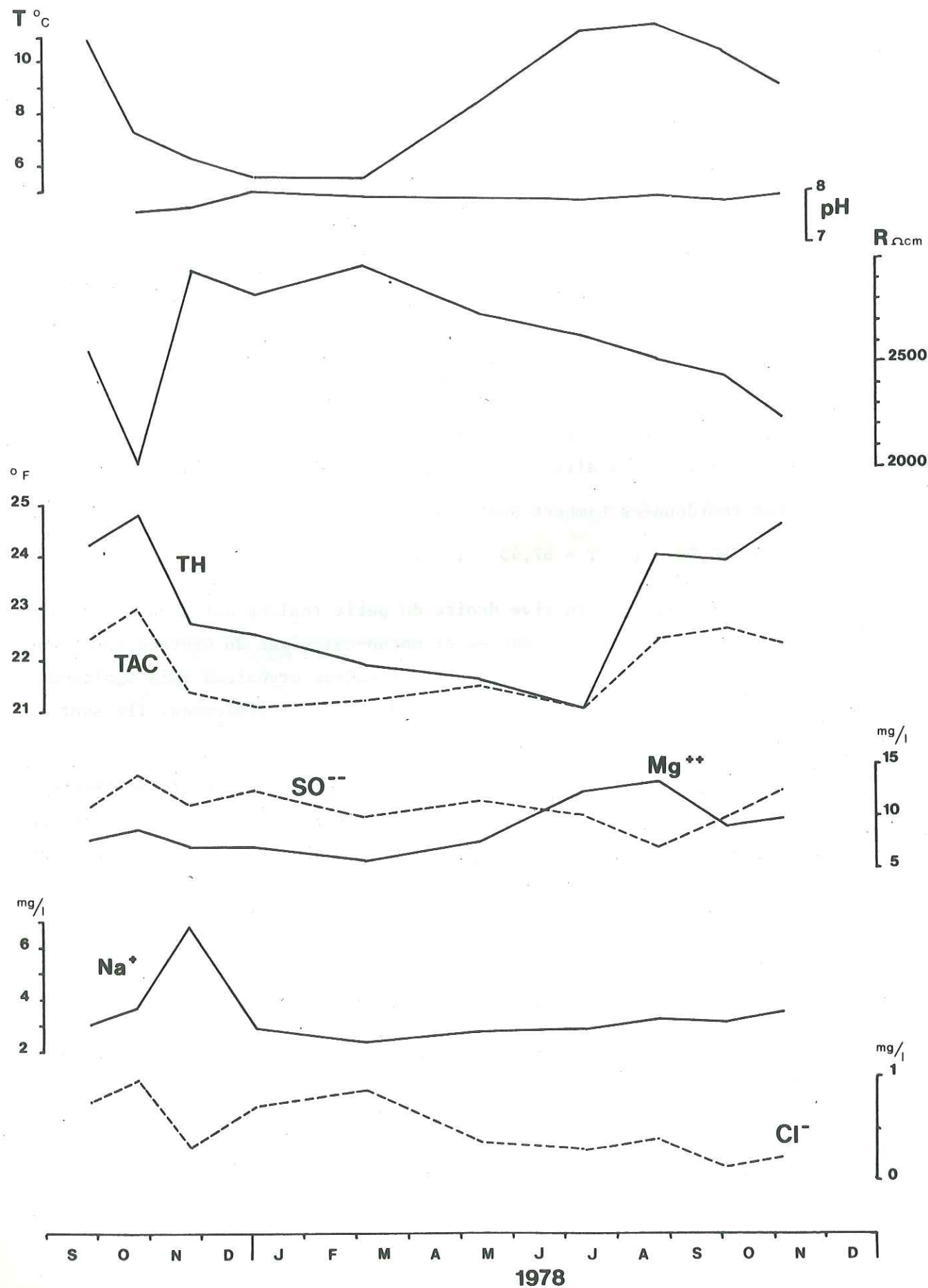


Fig. 95 : Variations des paramètres physicochimiques de la source de la Rongère.

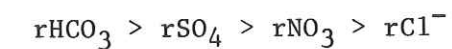
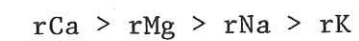
paramètres physicochimiques	moyens mg/l	minima	maxima
Q		0,8	4,5
pH	7,8	7,6	8,0
R	2588	2018	2964
T	8,9	5,5	11,4
Ca ⁺⁺	78,2	63,7	85,0
Mg ⁺⁺	8,81	5,60	13,30
Na ⁺	3,40	2,30	6,80
K ⁺	0,28	0,18	6,80
Cl ⁻	0,51	0,13	0,39
SO ₄ ⁻⁻	10,9	7,0	14,0
HCO ₃ ⁻	267	256	280
rCa/rMg	5,41		
rNa/rCl	10,0		
rSO ₄ /rCl	15,71		
rHCO ₃ /rSO ₄	19,9		

Tableau 87 : Paramètres physico-chimiques moyens et extrêmes de la source de la Rongère.

On remarque les teneurs élevées en Na et SO₄. Les niveaux marneux du Crétacé inférieur sont à l'origine de ce phénomène.

Les concentrations en K et Cl⁻ sont faibles et non significatives.

Le faciès chimique de la source est :



III.3.6. La source de Combe Noire n° 19 :

La source de Combe Noire est située dans le flanc Ouest du synclinal de Combe Noire au-dessus du village d'Entrenants.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

$$X = 889,83 \quad ; \quad Y = 68,05 \quad ; \quad Z = 1080m.$$

L'altitude de cette émergence est très élevée, et supérieure à toutes les autres sources déjà examinées.

D'un point de vue géologique, elle se situe à la base des calcaires

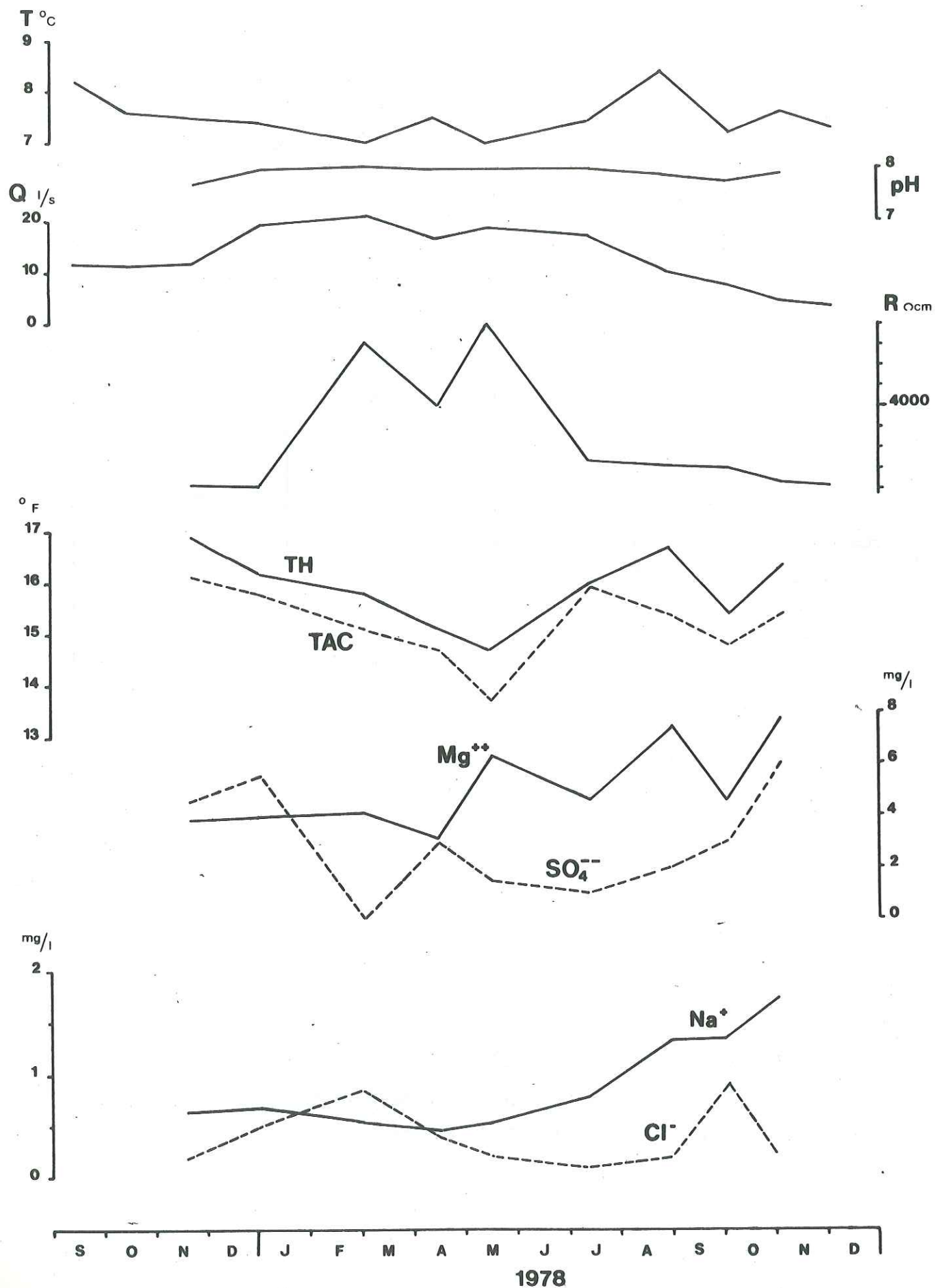


Fig. 96 : Variations des paramètres physicochimiques de la source de Combe Noire.

du Sénonien.

Les prélèvements et mesures des caractères physiques ont été effectués au réservoir situé à proximité des sources du Roc du Gros Molard, précédemment décrites.

La source de Combe Noire est captée pour l'alimentation en eau potable des villages de la commune de la Thuile. Cette source est la plus importante du réseau d'eau potable de cette commune.

Les débits maximum sont de 21 l/s au mois de mars lors de la fonte des neiges. Les débits présentent de faibles variations (variabilité 5) et le débit d'étiage du mois de novembre 1978 a été de 4,5 l/s.

Les variations de température sont limitées entre 7,0 et 8,4°C indiquant une origine profonde des eaux.

Les résistivités vont de 3600 à 4400 Ωcm.

Les caractères physicochimiques moyens et extrêmes sont les suivants :

paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima
Q		4,5	21
pH	7,9	7,75	8,05
R	3866	3617	4401
T	7,4	7,0	8,4
Ca ⁺⁺	55,2	48,5	61,3
Mg ⁺⁺	5,11	3,16	7,78
Na ⁺	0,88	0,46	1,75
K ⁺	0,25	0,12	0,41
Cl ⁻	0,31	0,10	0,90
SO ₄ ⁻⁻	2,9	0	5,5
HCO ₃ ⁻	186	167	196
rCa/rMg	6,52		
rNa/rCl	4,37		
rSO ₄ /rCl	6,93		
rHCO ₃ /rSO ₄	50,4		

Tableau 88 : Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de Combe Noire.

Les eaux de la source sont faiblement minéralisées, les teneurs sont comparables aux teneurs des eaux issues des calcaires urgoniens. Les teneurs

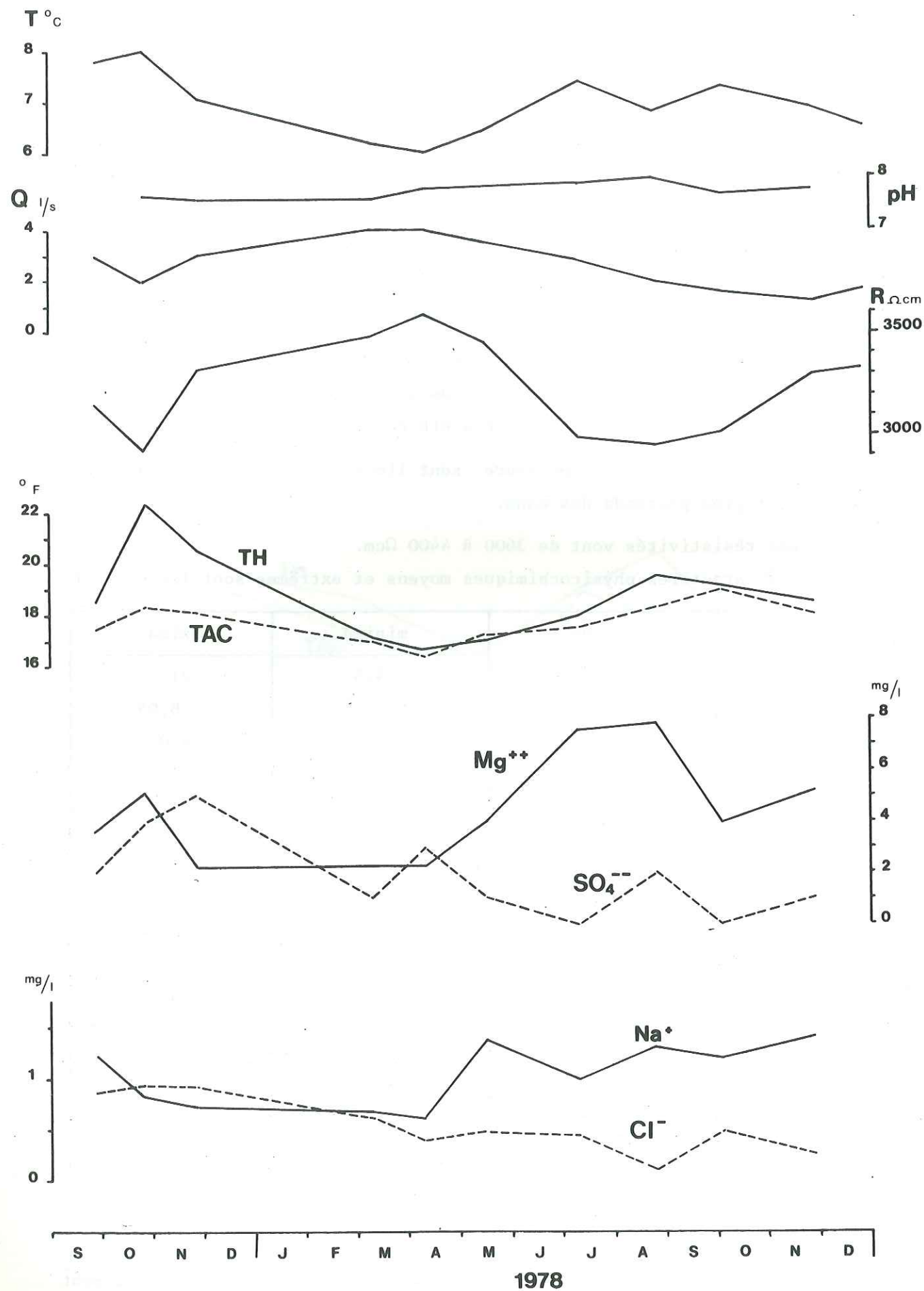


Fig. 97 : Variations des paramètres physicochimiques de la source des Pichards 2.

en magnésium sont plus élevées que dans ces derniers.

Les teneurs en Mg^{++} et Na^+ augmentent avec les débits d'étiages.

Le faciès chimique de la source est :

$rCa > rMg > rNa > rK$

$rHCO_3 > rNO_3 \geq rSO_4 > rCl$

III.3.7. Les sources des Pichards n° 17 :

Les sources des Pichards sont captées pour l'alimentation en eau potable de la commune de Puygros. Les sources ont été appelées Pichards 1 et Pichards 2.

Pichards 1 est située en rive droite du torrent du Dard à proximité de celui-ci, Pichards 2 en rive gauche et légèrement plus en amont.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

$X = 890,08$; $Y = 69,18$; $Z = 970m$.

Les deux sources émergent des éboulis à éléments variés (calcaires urgoniens, sénoniens et tertiaires) garnissant toutes les pentes sous la pointe de la Galoppaz. Les deux sources sont également proches de la faille qui accidente le flanc W du synclinal de Combe Noire, Pointe de la Galoppaz et du lambeau de falaise de calcaires urgoniens visible dans ce secteur. L'origine des eaux peut donc être mixte.

Nous avons régulièrement prélevé la source de Pichards 2 durant la période d'étude ; la source de Pichards 1, aux débits toutefois plus importants, n'a pu être prélevée qu'aux mois de septembre et octobre 1977, mars, avril, mai et novembre 1978. Le captage de cette dernière n'est accessible qu'en déplaçant à plusieurs personnes, une énorme plaque en béton.

Nous donnons dans le tableau 89 les paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source des Pichards 2 et des 6 prélèvements à la source des Pichards 1.

Les deux sources présentent des paramètres physicochimiques semblables. La source des Pichards 1 est légèrement moins minéralisée. Ces teneurs en Mg^{++} sont nettement plus faibles. Les eaux de Pichards 1 semblent pouvoir être d'origine mixte alors que les eaux de Pichards 2 proviendraient uniquement des éboulis.

Paramètres physicochimiques	Source des Pichards 1		Source des Pichards 2	
	moyens	minima	maxima	moyens
Q		1,8	8	
pH	7,8			1,2
R	3259	2740	3630	7,6
T	6,6	6,0	7,0	2928
Ca ⁺⁺	66,1	61,3	70,1	6,0
Mg ⁺⁺	1,78	1,21	2,91	59,7
Na ⁺	0,70	0,42	1,00	2,18
K ⁺	0,33	0,18	0,61	0,60
Cl ⁻	0,69	0,33	1,01	0,19
SO ₄ ⁻⁻	2,53	0,5	4,0	0,10
HCO ₃ ⁻	207	193	227	0
rCa/rMg	23,5			179
rNa/rCl	1,60			
rSO ₄ /rCl	2,73			
rHCO ₃	65,2			

Tableau 89 : Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes des sources des Pichards.

A noter qu'il existe également une autre petite source 30m à l'aval de Pichards 2 qui émerge directement dans le ruisseau. Nous l'avons prélevée le 22.08.1978, son débit était d'environ 1 l/s. Elle semble avoir la même origine que la source de Pichards 2.

Le faciès chimique des deux sources Pichards est le suivant :

rCa > rMg > rNa > rK

rHCO₃ > rSO₄ ≥ rNO₃ > rCl

III.3.8. Les sources des Fontanettes n° 18 :

Les sources des Fontanettes sont situées à l'amont des sources des Pichards. L'altitude de ces émergences est semblable à celle de la source de Combe Noire.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

X = 890,43 ; Y = 69,13 ; Z = 1080m.

Ces sources sont captées pour l'alimentation en eau potable des communes extérieures au bassin versant du Ternèze (Curienne, Barby).

L'émergence s'effectue dans les niveaux conglomératiques et gréseux du Priabonien du synclinal de la Galoppaz - Combe Noire.

Nous avons effectué les prélèvements dans le captage aval constitué par une profonde galerie creusée dans ces conglomérats où l'eau apparaît dans les interbancs.

Les débits et températures sont ceux des trois captages des Fontanettes.

Les débits maximum ont été mesurés en octobre 1977 et mai 1978. Le débit d'étiage mesuré au mois de novembre 1978 a été de 1 l/s.

Les températures varient de 5,2°C, au mois de janvier et mars 1978 à 7,2°C, au mois d'octobre 1978.

Les résistivités oscillent entre 2780 et 3310 Ωcm.

Les paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de cette source des Fontanettes sont les suivants :

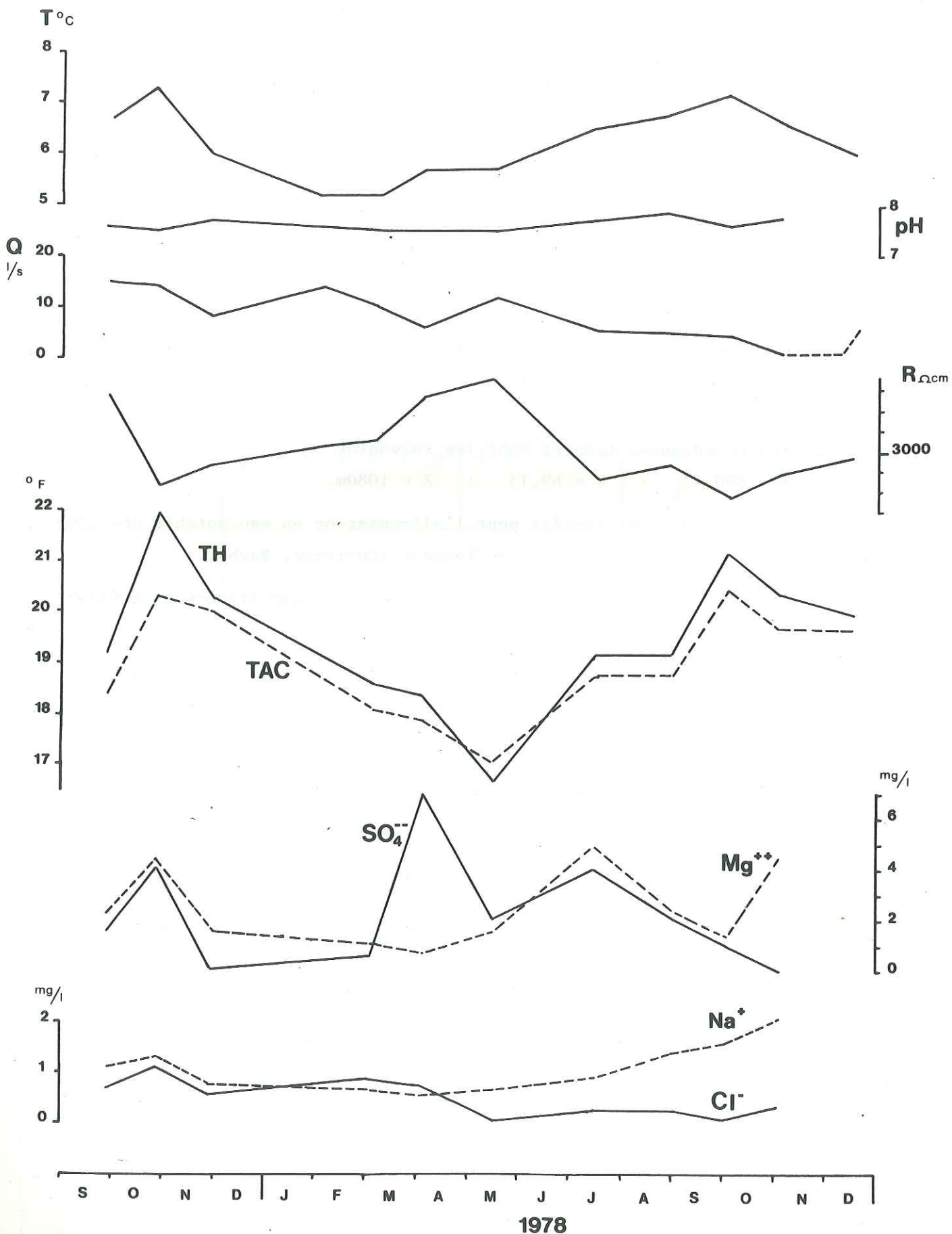
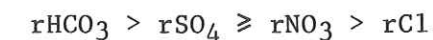
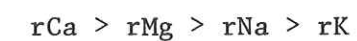


Fig. 98 : Variations des paramètres physicochimiques de la source des Fontanettes.

Paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima
Q		1	14
pH	7,7	7,5	7,9
R	3013	2779	3313
T	6,2	5,2	7,2
Ca ⁺⁺	74,2	64,5	82,6
Mg ⁺⁺	2,45	0,72	4,86
Na ⁺	1,14	0,59	2,09
K ⁺	0,31	0,15	0,49
Cl ⁻	0,50	0,10	1,08
SO ₄ ⁻⁻⁻	2,8	0	7,0
HCO ₃ ⁻	231	208	250
rCa/rMg	18,4		
rNa/rCl	3,50		
rSO ₄ /rCl	4,14		
rHCO ₃ /rSO ₄	65,17		

Tableau 90 : Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source des Fontanettes.

Le faciès chimique de la source est :



III.3.9. La source minérale de Morion n° 5 :

La source de Morion a attiré notre attention par sa minéralisation particulière. Le débit très faible et l'ouvrage de protection mal conçu, qui a été réalisé sur la source, n'ont pas facilité les prélèvements.

La source, composée de plusieurs et faibles émergences très diffuses, est située au Sud du village de Morion.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

$$X = 889,75 \quad ; \quad Y = 65,45 \quad ; \quad Z = 840m.$$

Ses émergences s'effectuent au niveau des marnes du Valanginien inférieur, à proximité de la faille qui accidente le flanc Ouest du petit synclinal des Combes et qui se poursuit jusqu'au lac de la Thuile.

Les débits sont très faibles (0,1 à 0,5 l/mn) et difficilement mesurables, voire même nuls durant l'hiver 1978.

Les températures de l'eau mesurées à la sortie du "captage" sont for-

tement influencées par la température extérieure de l'air. Nous ne pouvons donc nous y référer pour expliquer l'origine de ces eaux.

Les résistivités oscillent entre 670 et 875 Ω cm.

Les paramètres physicochimiques moyens et extrêmes calculés sur 6 prélèvements sont :

paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima
Q l/mn		très faibles	0,5
pH	8,6	8,5	8,7
R	742	660	875
T	10,4	5,3	15,2
Ca ⁺⁺	5,28	0	10,42
Mg ⁺⁺	2,96	0,97	6,07
Na ⁺	342	304	445
K ⁺	1,60	1,12	2,28
Fe total	0,2	0,07	0,40
Cl ⁻	18,06	12,49	23,2
SO ₄ ⁻⁻	147	110	175
CO ₃ ⁻⁻	27,0	16,8	40,8
HCO ₃ ⁻	748	710	881
SiO ₂	6,54	3,31	7,90
rCa/rMg	1,08		
rNa/rCl	28,6		
rSO ₄ /rCl	5,9		
rHCO ₃ /rSO ₄	4,01		

Tableau 91 : Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de Morion.

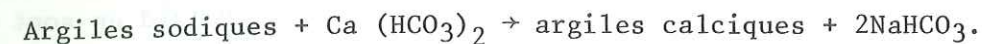
Les analyses chimiques que nous avons réalisées sont toutefois très incomplètes. L'eau de cette source doit également contenir des teneurs non négligeables d'autres éléments "secondaires".

On remarque les fortes teneurs en sulfates, chlorures et Na⁺ de ses eaux et les faibles teneurs en Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ et K⁺ ont des concentrations normales.

La source est bicarbonatée sodique.

Les fortes teneurs en Na peuvent résulter d'un échange d'ions à l'intérieur des minéraux argileux. Les minéraux argileux sodiques seraient, en effet, susceptibles de libérer du sodium et de retenir du calcium suivant la

réaction suivante.



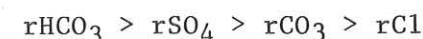
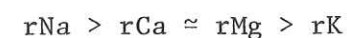
Ces minéraux argileux sont sans doute très abondants dans les marnes valanginiennes.

Les teneurs élevées en sulfates sont toutefois plus difficilement explicables par la seule oxydation des pyrites contenues dans les niveaux marneux du Valanginien.

Le faible débit et donc les faibles circulations souterraines de ces eaux dans les horizons marneux peuvent être à l'origine de cette minéralisation particulière.

Une origine profonde, liée à l'accident des Combes, peut également être envisagée.

Le faciès chimique de la source est :



La source ne présente pas d'intérêt d'exploitation, compte-tenu de son débit très faible.

A noter que l'on rencontre également dans le vallon de la Boisserette, une source qui possède des caractéristiques chimiques comparables à la source de Morion.

III.3.10. Conclusion sur les sources du bassin versant du Ternèze :

Les sources normales du bassin versant du Ternèze qu'elles soient issues des terrains quaternaires ou du substratum sont bicarbonatées calciques. La source minérale de Morion est bicarbonatée sodique.

Les sources du substratum les plus importantes sont situées dans le synclinal Galoppaz-Combe Noire. Ces sources assurent la plus grande partie de l'alimentation en eau potable des communes du bassin versant et de communes extérieures.

Les sources, dont les débits présentent un intérêt pour les besoins futurs en eau potable, sont situées dans les terrains quaternaires (La Touvière, Le Bois) et émergent de zones où les risques de pollution sont importants, et inévitables quelles que soient les protections adoptées.

Les travaux complémentaires d'adduction d'eau, s'ils se révèlent né-

céssaires dans les années à venir devront donc s'orienter vers des petites sources du substratum ou d'éboulis existants sur le pourtour du massif de Combe Noire - Galoppaz. Les sources du Rocher du Gros Molard en sont un exemple.

III.4. LES SOURCES DU BASSIN VERSANT DE LA REYSSE.

Le bassin versant de la Reysse est situé entre les bassinsversants du Ternèze et du Nant d'Aillon (voir figure 45, p. 130). Nous y distinguerons deux sources de moyenne importance captées sur les pentes Ouest des arêtes du Grand Roc.

III.4.1. La source des côtes de Marle n° 16 :

La source des côtes de Marle est située à proximité des chalets des "côtes gueulets". Elle est captée pour l'alimentation en eau potable des communes de Saint-Alban-Leyse et Barby.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

X = 890,08 ; Y = 71,23 ; Z = 1120m.

Elle émerge des éboulis (en majorité formée par des éléments Sénomien d'après B. Doudoux), recouvrant les pentes sous les crêtes de calcaires urgoniens du Grand Roc. Ces éboulis reposent sur les marnes à Meletta et sur les dépôts morainiques, au niveau de la source, puis sur les calcaires nummulitiques et sénoniens lorsqu'on s'élève dans la pente.

Les prélèvements durant l'hiver 1977-1978 n'ont pu être effectués.

Le débit maximum a été mesuré au mois de mai 1978 avec 22 l/s, le débit d'étiage, au mois de novembre (2,8 l/s).

Les variations de température sont réduites (0,6°C) mais nous ne possédons pas les valeurs d'hiver.

Les résistivités varient de 3220 à 3720 Ωcm.

Les caractères physicochimiques moyens et extrêmes des 7 prélèvements effectués sont :

paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima
Q		2,8	22,0
pH	7,7	7,5	8,1
R	3376	3220	3722
T	6,0	5,6	6,2
Ca ⁺⁺	64,3	61,3	66,5
Mg ⁺⁺	2,98	1,70	3,64
Na ⁺	1,43	0,69	2,29
K ⁺	0,47	0,29	0,62
Cl ⁻	0,43	0,22	0,61
SO ₄	2,9	0	6,0
HCO ₃	205	209	201
rCa/rMg	13,09		
rNa/rCl	5,13		
rSO ₄ /rCl	4,98		
rHCO ₃ /rSO ₄	55,65		

Tableau 92 : Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source des Côtes de Marles.

La source est peu minéralisée, les variations des différents paramètres sont faibles et peu significatives.

A noter qu'une partie de l'alimentation peut provenir de la barre de calcaires urgoniens du flanc inverse du synclinal.

Le faciès chimique de la source est :

rCa > rMg > rNa > rK

rHCO₃ > rSO₄ > rCl

III.4.2. La source des chalets de l'Allier n° 24 :

La source des chalets de l'Allier située au Nord de la source des côtes de Marles, est captée pour l'alimentation en eau potable de la commune de Thoiry.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

X = 890,80 ; Y = 71,78 ; Z = 1070m.

Sa situation géologique est similaire à celle de la source des côtes de Marles.

Ses débits sont malgré tout nettement inférieurs. Nous l'avons prélevée à deux reprises au mois de mai et au mois de novembre 1978. Nous donnons

dans le tableau suivant (1) les valeurs des paramètres physicochimiques de ces 2 analyses.

Ces valeurs sont proches de celles de la source des Côtes de Marles.

Chalets de l'Allier n° 24

	Q l/s	T °C 18°C	R Ωcm	pH	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l
24.11.1978	1,4	6,8	3350	7,9	68,1	2,91	1,41	0,69	0,50	208	3
14.05.1978	4,5	5,9	3560	7,8	67,3	3,70	1,22	0,53	0,58	200	0

Tableau n° 1

III.4.3. Conclusion :

Ces sources du bassin versant de la Reysse ont été étudiées dans le but de vérifier si leur bassin versant était situé sur le bassin versant du Ternèze. Or, d'après les caractéristiques physicochimiques, il semble que leur origine soit à attribuer plus aux terrains quaternaires des versants du Grand Roc qu'aux calcaires urgoniens formant les crêtes du Grand Roc à la pointe de la Galoppaz. Le bassin versant de cette source des Côtes de Marles ne s'étend pas au-delà des limites du bassin versant de la Reysse.

III.5. LES SOURCES DU BASSIN VERSANT DU NANT D'AILLON.

Les plus importantes sources du bassin versant du Nant d'Aillon sont des émergences karstiques issues des calcaires urgoniens.

Les autres sources, moins importantes, sont localisées dans les terrains quaternaires et dans les niveaux calcaires du Crétacé supérieur et du Tertiaire.

III.5.1. Les Emergences karstiques des calcaires urgoniens :

Elles présentent des variations de débit importantes suivant les conditions atmosphériques. Ces variations de débits entraînent des variations également très brutales des caractères physicochimiques que nous nous sommes efforcé de bien enregistrer pour les 2 sources les plus importantes, c'est-à-dire le Pissieux et Fontaine Noire. Ces variations rapides impliquent d'ef-

fectuer des mesures fréquentes plus ou moins espacées suivant les conditions hydrologiques qu'il n'est pas possible de réaliser pour toutes les sources.

Les autres sources karstiques de Faverge, Prés Paissard, du Lot du Bois, scierie de Leyat, Martinet (ruines) ont été suivies à l'échelle annuelle.

III.5.1.1. La source du Pissieux n° 9.

C'est l'exurgence karstique qui possède le bassin versant le plus important de toutes les émergences étudiées (17 km²).

Elle est située au NE du massif du Margérian, à proximité du Nant d'Aillon.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

X = 893,30 ; Y = 82,25 ; Z = 670m.

Elle émerge d'une grotte, 20m au-dessus du lit du ruisseau.

A l'étiage, cette émergence se situe à l'extérieur de la grotte, dans une zone de gros blocs. Lors des crues, l'eau jaillit de plusieurs autres siphons. L'un d'eux a été reconnu par plongée, par le spéléo Club de Savoie sur une hauteur de 50m.

La grotte est développée dans les interbancs de Barrémien supérieur aptien inférieur et dans deux fractures N85. Plus à l'aval de l'exurgence, les calcaires urgoniens disparaissent sous les terrains molassiques et le remplissage alluvial du Nant d'Aillon.

Nous ne reparlerons pas des mesures de débits effectuées sur la source dont nous avons présenté les résultats dans l'étude hydrologique (cf. p.194). Nous rappellerons toutefois que le débit maximum a été enregistré au mois d'août avec 8 m³/s et le débit d'étiage au mois de novembre avec 11 l/s, soit une variabilité de 727. C'est la plus forte variabilité concernant les émergences karstiques urgoniennes obtenue dans le massif des Bauges.

Les températures présentent des variations liées aux conditions hydro-météorologiques sur le plateau du Margérian. Au mois de décembre et janvier, l'eau contenue dans l'aquifère est encore chaude. Puis, au fur et à mesure des fontes de neiges successives, la température décroît pour devenir minimale au mois de juin lorsque la fonte des neiges est terminée. L'eau contenue dans l'aquifère est alors très froide, mais sera rapidement réchauffée par les précipitations chaudes des premiers orages d'été.

En plus de ces variations à long terme, on note des variations plus

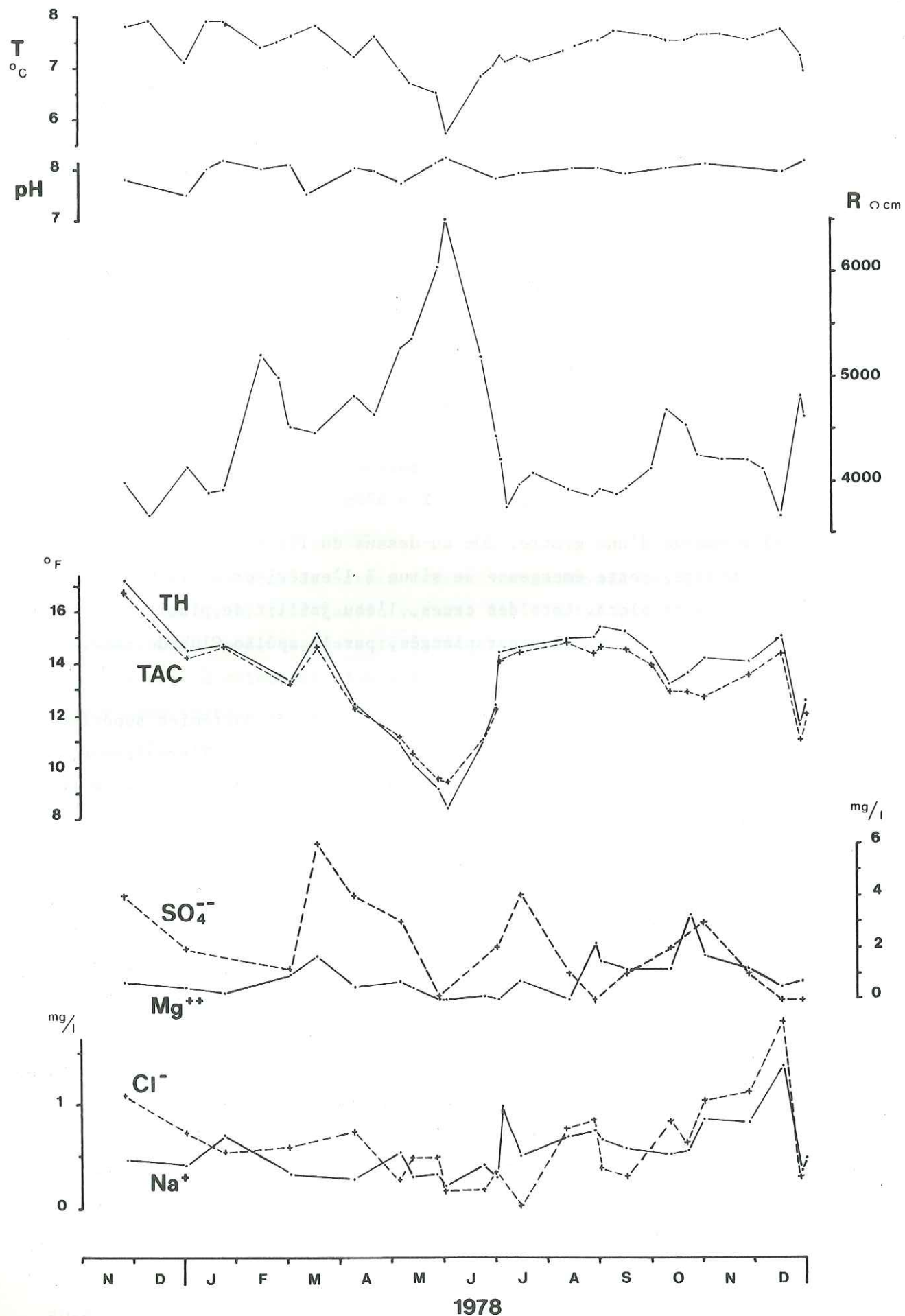


Fig. 99 : Variations des paramètres physicochimiques de la source du Pissieux.

brutales liées à un court épisode pluvieux. Le retour aux conditions précédentes sera également rapide.

Les résistivités varient de 3660 Ωcm au mois de décembre 1978 (fin de l'étiage) à 6500 Ωcm au mois de juin 1978 (fin des fontes de neige). Les eaux de la source du Pissieux sont les seules de toutes les eaux étudiées à présenter un tel écart de résistivité.

Nous donnons en annexe les résultats des analyses les plus complètes effectuées sur les eaux de la source.

Les variations des paramètres physicochimiques durant la période d'étude sont indiquées sur la figure 99.

Les valeurs des paramètres physicochimiques moyens et extrêmes des eaux de l'exurgence sont les suivantes :

paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima
Q		11,0	8000
pH	7,9	7,5	8,15
R	4423	3663	6503
T	7,3	5,7	7,9
Ca ⁺⁺	52,04	33,66	67,73
Mg ⁺⁺	1,03	0	3,27
Na ⁺	0,55	0,22	1,36
K ⁺	0,20	0,06	0,44
Cl ⁻	0,60	≈ 0	1,08
SO ₄ ⁻⁻	2,6	0	6,0
HCO ₃ ⁻	159	115	204
rCa/rMg	30,66		
rNa/rCl	1,41		
rSO ₄ /rCl	3,20		
rHCO ₃ /rSO ₄	48,14		

Tableau 93 : Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source du Pissieux.

Les variations de résistivité concordent bien avec les variations du TH et TAC. Les variations du TH sont comprises entre 8,4°F et 17,2°F, celles du TAC entre 9,4°F et 16,7°F. Les eaux sont peu minéralisées et très agressives.

Les teneurs en Mg⁺⁺ sont très faibles, voire nulles. On note une faible augmentation durant l'étiage.

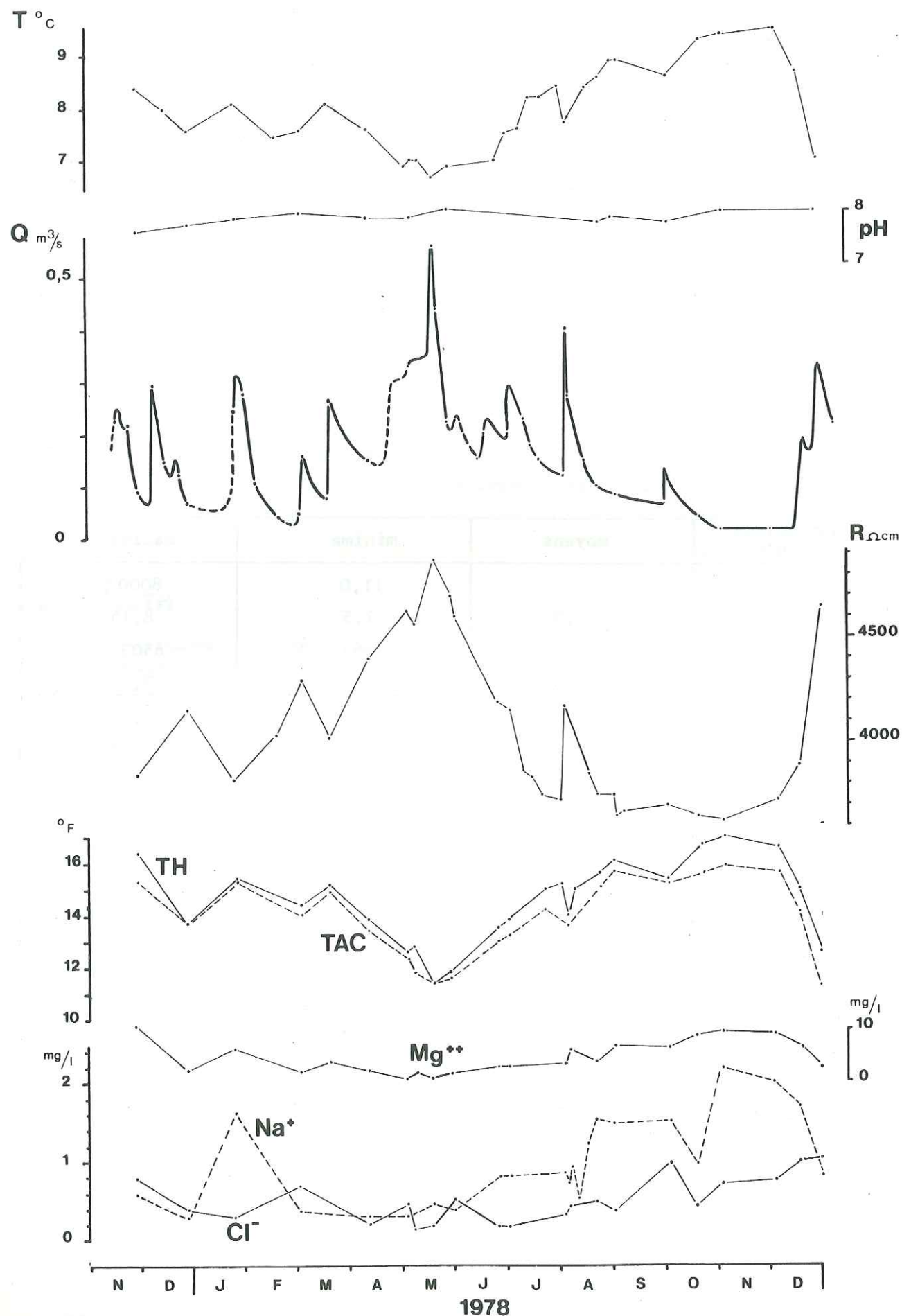


Fig. 100 : Variations des paramètres physicochimiques des sources de Fontaine Noire.

Les teneurs en Cl^- et Na^+ sont également faibles, elles varient également brutalement à court terme et augmentent régulièrement pour atteindre leur valeurs maximales à l'été.

Le faciès chimique de la source est :

$r\text{Ca} > r\text{Mg} > r\text{Na} > r\text{K}$

$r\text{HCO}_3 > r\text{SO}_4 > r\text{Cl}$

Nous n'avons pas pu réaliser d'étude de crue sur cette source durant la période d'étude.

III.5.1.2. La source de Fontaine Noire n° 15 :

Les sources de Fontaine Noire sont situées à l'Est d'Aillon le Jeune, dans la "Cluse de Crévibert".

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

$X = 892,96$; $Y = 75,05$; $Z = 920\text{m}$.

L'eau est captée pour l'alimentation de la station de ski d'Aillon-le-Jeune qui s'effectue par pompage depuis le réservoir situé en rive droite du Nant d'Aillon.

Les 3 captages qui sont situés dans les alluvions du Nant d'Aillon, en rive gauche, permettent d'observer que les émergences s'effectuent au niveau des calcaires urgoniens. A noter, également, qu'il existe 2 autres exutoires temporaires : la source de la Croix du Martinet, en rive droite du Nant d'Aillon, et la Grotte du "Nant de Rossanaz", située 70m au-dessus de la côte du ruisseau dans les falaises de la montagne de Motzon. Cette grotte verticale constitue un véritable piézomètre naturel de la nappe aquifère contenue dans les calcaires urgoniens.

III.5.1.2.1. Caractères physiques :

Les débits de ces sources de Fontaine Noire ont été mesurés à l'aide d'échelles limnimétriques, au trop-plein de la station de pompage, celle-ci ne fonctionnant que durant la nuit.

Compte-tenu de l'accessibilité facile et de la situation en bordure de route et du Nant d'Aillon de ce trop-plein, les mesures de débit ont nécessité la pose et le tarage de trois échelles successives. Les mesures de débits pour ces tarages ont été effectuées au micromoulinet.

Les débits de l'exutoire de la grotte ont été mesurés par jaugeage

chimique lors des plus fortes crues.

L'échelle limnimétrique a été relevée très souvent en période de crue et moins fréquemment en étiage.

L'hydrogramme des débits ainsi mesurés est illustré sur la figure 100, la précision n'est pas supérieure à 25%.

Le débit maximum mesuré a été de 560 l/s le 20 mai 1978. Le débit d'étiage est de 16 l/s (5,7 l/s/km²) au mois de novembre 1978. La variabilité des débits est donc de 35. L'étiage d'hiver est peu marqué durant les mois de février et mars 1978. L'exutoire de la grotte du Nant de Rossanaz fonctionne lorsque les autres émergences plus basses totalisent un débit d'environ 350 l/s. Le débit moyen annuel est d'environ 95 l/s, soit 33,7 l/s/km². La hauteur de la lame d'eau écoulee est de 1060mm.

Les températures présentent de brusques variations lors des crues et des variations plus lentes à l'échelle annuelle.

La température minimale s'observe comme à l'exurgence du Pissieux au mois de mai 1978 lors de la fonte des neiges. Les températures maximales s'observent en fin d'étiage du mois de novembre. On remarque également que les crues d'hiver produisent un réchauffement de l'eau alors que celles d'été produisent un abaissement de la température.

La température moyenne annuelle de l'eau de 7,9° se rapproche plus de la température moyenne de l'air à l'altitude de l'émergence qu'à celle de l'altitude moyenne du bassin versant. Cela évoquerait un réchauffement de l'eau dans un réservoir situé à l'altitude de l'émergence.

Les valeurs des résistivités sont minimales à l'étiage (3620 Ωcm) et maximales à la fonte des neiges à la fin du mois de mai (4700 Ωcm). Les variations concordent avec les valeurs du TH et TAC et sont beaucoup moins importantes qu'à l'exurgence du Pissieux.

Les variations de tous les paramètres physicochimiques sont illustrés par la figure 100. Les caractères physicochimiques moyens et extrêmes sont indiqués dans le tableau 94.

III.5.1.2.2. Caractères chimiques.

Les teneurs en Mg⁺⁺ sont plus importantes qu'au Pissieux et semblent élevées pour une émergence des calcaires urgoniens. Les variations des teneurs en Ca⁺⁺ sont moins étendues, la valeur moyenne est toutefois inférieure à celle de la source du Pissieux.

paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima
Q		16	560
pH	7,9	7,6	8,0
R	4069	3620	4696
T	7,9	6,7	9,5
Ca ⁺⁺	50,5	44,5	55,7
Mg ⁺⁺	4,20	0,48	9,72
Na ⁺	0,30	0,12	0,50
Cl ⁻	0,51	0,20	1,06
SO ₄ ⁻⁻	2,5	0	5
HCO ₃ ⁻	170	138	194
rCa/rMg	7,30		
rNa/rCl	2,78		
rSO ₄ /rCl	3,62		
rHCO ₃ /rSO ₄	53,53		

Tableau 94 : paramètres physicochimiques moyens et extrêmes des sources de Fontaine Noire.

La teneur moyenne en Na est plus importante que celle du Pissieux ; les valeurs maximales sont atteintes avec les débits d'étiages (janvier et novembre 1978).

Le rapport rCa/rMg est faible (7,3) en raison de la teneur élevée en Mg⁺⁺. Les autres rapports sont comparables à ceux calculés pour les eaux du Pissieux.

III.5.1.2.3. Etude de la crue du 8 août 1978.

Nous avons pu également étudier la crue du 8 août des sources de Fontaine Noire.

Les précipitations à Aillon-le-Jeune, durant la journée du 7 août, ont été de 88,5mm, celles du 8 août, de 16mm.

Le débit de pointe de crue a été enregistré le 8 août à 2h avec 402 l/s ; le débit des sources dans les jours précédant la crue était de 120 l/s. La variabilité des débits lors de cette crue est donc faible pour une source à caractères karstiques (3,35). En comparaison, les débits de la source du Pissieux ont subi une variation de 16 l/s à 8000 m³/s (ΔQ 500). On remarque donc que lors des débits maximum, on assiste à un stockage important et que cette réserve ainsi accumulée est déstockée lors de la décrue et du tarissement.

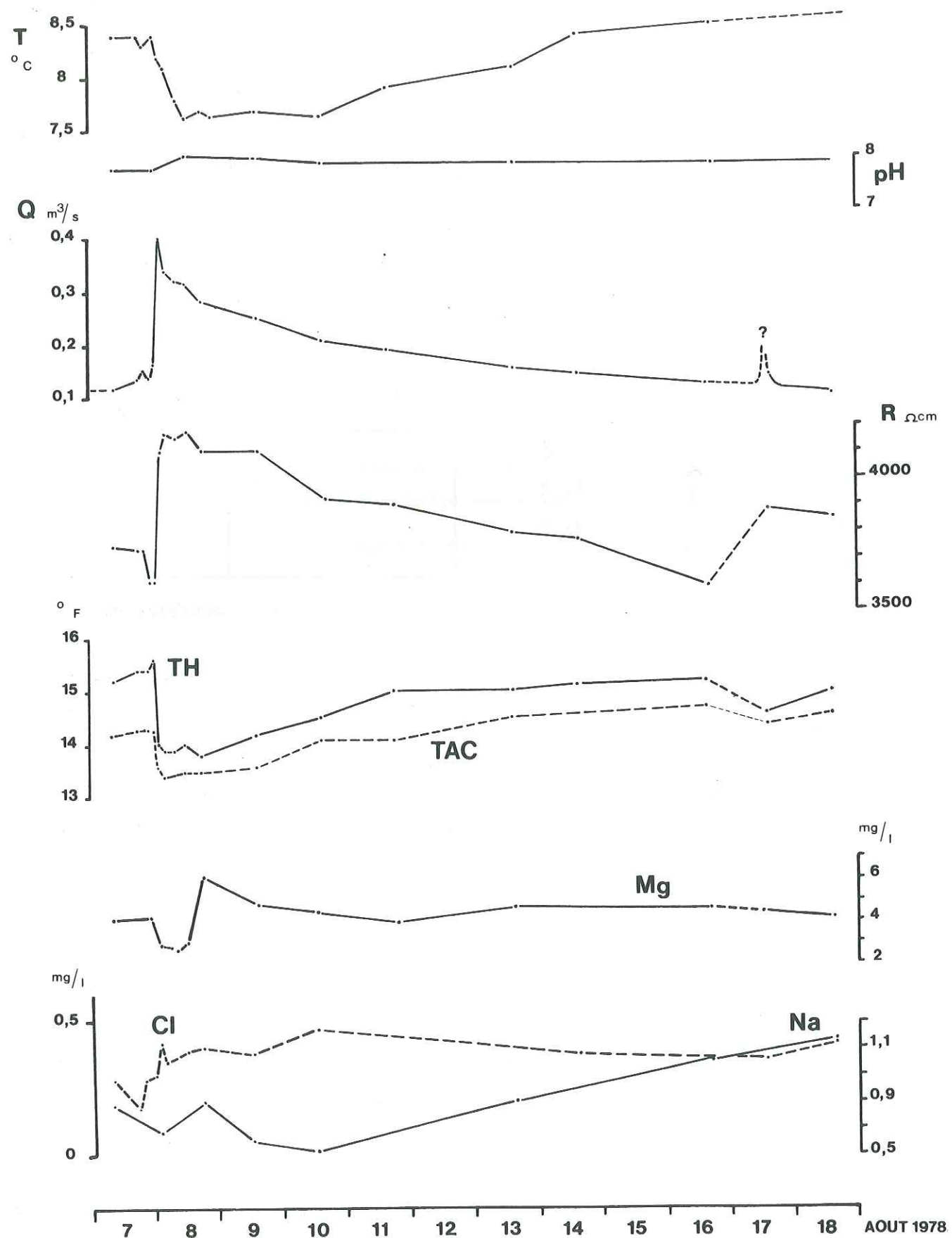


Fig. 101 : Evolution des principaux paramètres physicochimiques des sources de Fontaine Noire lors de la crue du 8 Août 1978.

Date	T	R	Q	TH	TAC	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻
7.08.1978									
9h	8,4	3743	120	15,2	14,2	4,13	0,87	0,30	0,28
18h30	8,4	3727	137	15,4	14,3	-	-	-	0,18
20h	8,3	3727	151	15,4	14,3	-	-	-	-
22h	8,4	3615	140	15,4	14,3	4,37	-	-	0,28
8.08.1978									
0h	8,4	3615	163	15,6	13,6	-	-	-	0,30
2h10	8,2	4106	402	14,0	13,4	2,92	0,69	0,22	0,42
4h	8,1	4175	340	13,9	13,5	2,67	-	-	0,35
8h30	7,8	4152	321	14,0	13,5	-	-	-	-
12h	7,65	4180	318	13,9	13,5	3,16	-	-	0,39
18h	7,7	4110	282	13,8	13,5	6,08	0,90	0,30	0,40
9.08.1978									
15h	7,7	-	250	14,2	13,6	4,86	0,62	0,37	0,38
10.08.1978									
15h	7,65	3921	210	14,5	14,1	4,37	0,53	0,22	0,47
11.08.1978	7,9	3902	192	15,0	14,1	3,89	-	-	-
13.08.1978	8,1	3785	158	15,0	14,5	4,62	0,93	0,19	-
14.08.1978	8,4	3777	147	15,1	14,5	4,62	-	-	0,38
16.08.1978	8,5	3591	138	15,2	14,7	4,62	1,22	0,12	-
17.08.1978	-	3875	141	14,6	14,4	4,37	-	-	0,36
18.08.1978	-	3850	119	15,0	14,6	4,13	1,34	0,28	0,42

Tableau 95 : Evolution des principaux paramètres physicochimiques lors de la crue du 8 août 1978 à Fontaine Noire.

ment. Ce phénomène, déjà vu à la source de Pissieux par l'étude des débits classés selon la méthode de Mangin, semble également s'appliquer à cette exsurgence, mais avec un débit de début de stockage très faible. Le stockage, lorsqu'il devient trop important, engendre le fonctionnement de l'exutoire temporaire de la Grotte du Nant de Rossanaz, situé 70m plus haut que les sources principales de Fontaine Noire.

Les prélèvements, lors de cette crue, ont été effectués sur le trop plein du réservoir de Fontaine Noire et la diminution du débit enregistrée à 22h le 7 août, correspond à la mise en marche de la station de pompage.

Les variations des paramètres physicochimiques lors de cette crue sont indiquées dans le tableau 95 et illustrées par la figure 101.

On remarque, dans ces variations, une faible diminution de la résistivité ainsi qu'une légère augmentation du TH résultant de l'expulsion d'eaux plus minéralisées, puis une augmentation brutale de cette résistivité lors de

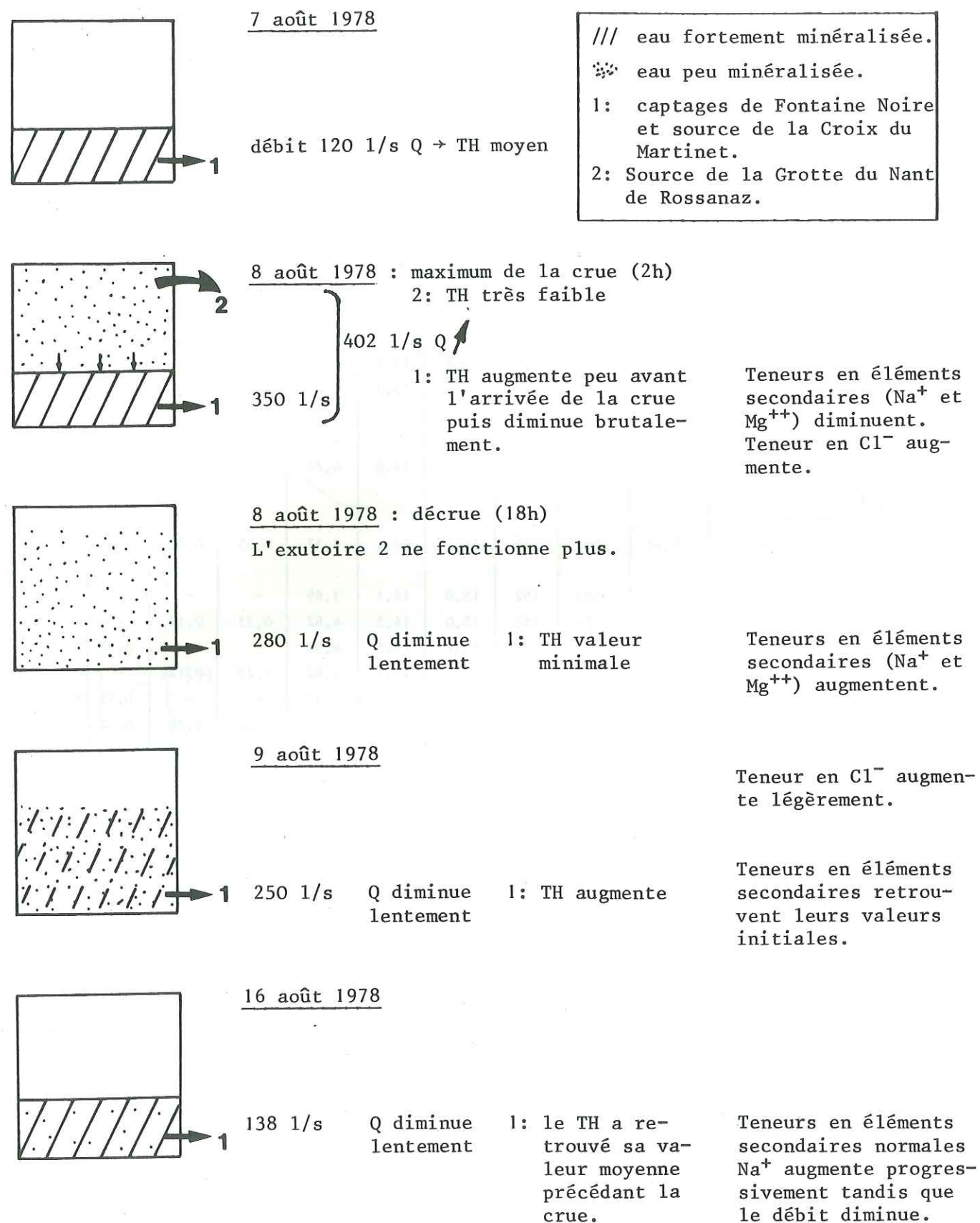


Figure 102 : Fonctionnement schématique de l'aquifère des sources de Fontaine Noire durant la crue du 8 août 1978.

la pointe de crue parallèlement à une chute soudaine du TH. Cette variation est, malgré tout, moins importante que celle enregistrée lors de l'étude de crue des sources d'Arbin.

La température n'atteint son minimum que postérieurement à la crue (16h après) et la perturbation apportée par la crue sera encore ressentie 5 à 6 jours après son maximum.

Les eaux contenues dans le réservoir souterrain se minéraliseront progressivement et les valeurs du TH atteindront rapidement les valeurs précédant la perturbation. Une deuxième crue, plus réduite, le 17 août, que nous n'avons pas pu étudier apporte des variations supplémentaires dans les valeurs de TH, de TAC et de résistivité.

Les éléments secondaires (Na⁺ et Mg⁺⁺) présentent, comme pour les sources d'Arbin, un pic de teneurs élevées, postérieur à la crue dont l'origine est à attribuer au lessivage des terrains après une longue période sans précipitations.

Les variations de Cl⁻ sont plus difficilement explicables en raison des faibles teneurs de cet élément dans l'eau. Comme pour les sources d'Arbin, nous avons proposé, sur la figure 102, une suite de schémas pour expliquer le fonctionnement de l'aquifère de ces sources de Fontaine Noire durant la crue.

Le retour à la situation précédant la crue est plus rapide que celui enregistré aux sources d'Arbin et les variations sont beaucoup moins importantes.

L'étude de la courbe de tarissement de cette crue du 8 août, nous a permis de calculer un volume de réserve suivant la formule de Maillet.

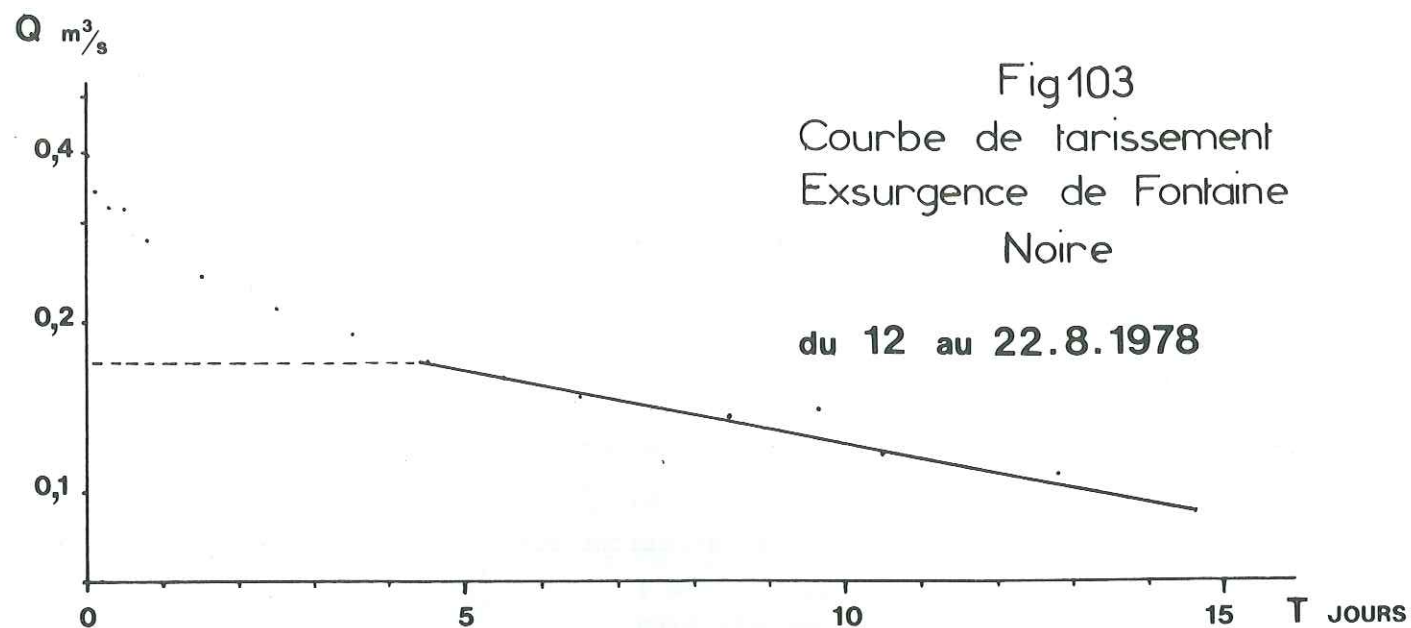
Les caractéristiques de courbe (figure 103) sont :

$$Q_0 = 170 \text{ l/s} \quad \alpha = 0,0635 \quad W = 231\,000 \text{ m}^3 (\alpha \text{ en m}^3 \text{ et jours})$$

Période d'étude du tarissement : du 12 au 22.08.1978.

On remarque le faible coefficient de tarissement obtenu par cette courbe et l'important volume de réserve emmagasiné.

Ceci confirme l'existence d'un réservoir souterrain important au niveau de la barre de calcaires urgoniens qui alimentent ces sources de Fontaine Noire. Les exutoires, trop restreints, ne permettent pas l'expulsion rapide de l'eau qui s'emmagasine dans ce réservoir et acquiert ainsi une température supérieure à la normale.



III.5.1.3. Sources de Pré Paissard n° 14 et Faverges n° 13.

Nous avons regroupé ces deux sources car elles présentent les mêmes caractéristiques physicochimiques. Seuls leur débits et les variations de ces débits sont différents.

Elles sont situées au Nord-Est du village de la Bottière et sont captées pour l'alimentation en eau potable de la commune d'Aillon-le-Vieux.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

Pré Paissard : X = 892,83 ; Y = 78,10 ; Z = 975m.

Faverges : X = 893,05 ; Y = 78,20 ; Z = 1030m.

La source de Pré Paissard émerge dans un cône d'éboulis anciens occupant le thalweg qui contient dans sa partie supérieure le petit ruisseau du Chalet de la Cochette. Ces éboulis sont formés par de gros éléments de calcaires urgoniens et sénoniens.

La source de Faverges est captée directement sur le substratum formé par les calcaires urgoniens du flanc W du synclinal de Longe Fullie. L'eau sort d'une large fissure dans la roche.

Les sources n'ont pu être visitées durant l'hiver 1978. Nous avons prélevé les eaux de ces sources du mois d'avril au mois de novembre 1978.

Les débits maximum mesurés ont été de 22 l/s pour Pré Paissard et de 18 l/s pour les Faverges au mois de juin 1978. Les débits d'étiage mesurés au mois de novembre 1978 ont été de 0,5 l/s pour les Faverges et 7,8 l/s pour Pré Paissard.

Les variations de température sont extrêmement réduites pour les 2 émergences (0,5°C). Les températures de la source de Pré Paissard sont légèrement supérieures.

Les paramètres physicochimiques moyens des 6 prélèvements sont indiqués dans le tableau 96.

Les teneurs en Ca^{++} et HCO_3^{--} sont similaires pour les 2 sources. Les teneurs en éléments secondaires sont plus élevées à la source de Pré Paissard. Cette légère différence provient de la traversée des éboulis anciens par les eaux de la source de Pré Paissard alors que la source des Faverges émerge directement des calcaires urgoniens.

Paramètres physicochimiques moyens	source de Pré Paissard	source des Faverges
Q	7,8 < Q < 22	0,5 < Q < 18
pH	8	7,8
R	4353	4196
T	7,4	6,8
Ca^{++}	47,6	47,9
Mg^{++}	5,3	4,42
Na^+	0,94	0,70
K^+	0,25	0,23
Cl^-	0,51	0,35
SO_4^{--}	2,6	1,0
HCO_3^-	158	157
rCa/rMg	5,45	6,57
rNa/rCl	2,84	3,08
rSO ₄ /rCl	3,76	2,11
rHCO ₃ /rSO ₄	47,84	123,6

Tableau 96 : Paramètres physicochimiques moyens des sources des Faverges et Pré Paissard.

L'eau des deux sources est très peu minéralisée. Les teneurs faibles en Ca^{++} et les teneurs moyennes en Mg^{++} donnent un rapport rCa/rMg peu élevé.

Les sources ont une origine profonde et sont liées au même aquifère souterrain, les calcaires urgoniens du synclinal de Longe Fullie.

Le faciès chimique commun aux 2 sources est :

rCa > rMg > rNa > rK

rHCO₃ > rSO₄ > rCl

III.5.1.4. Source du Martinet (ruines) n° 8.

La source du Martinet est située dans la cluse de Crévibert, légèrement en aval du réservoir de Fontaine Noire, en rive gauche du Nant d'Aillon, aux ruines du Martinet.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

X = 892,90 ; Y = 75,03 ; Z = 920m.

Elle n'est pas captée.

Elle émerge des alluvions anciennes du Nant d'Aillon, à proximité des affleurements de calcaires urgoniens.

Les débits varient de 3,8 l/s au mois de novembre 1978 à 15 l/s au mois de mai 1978.

Les températures minimales ont été observées en février 1978 avec 7,4°C, la température maximale au mois de novembre avec 9,4°C.

Les résistivités varient de 3570 Ω cm à 5100 Ω cm.

Les paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source sont indiqués dans le tableau 97 et résultent de 6 analyses effectuées sur cette source.

paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima
Q		3,8	15,0
pH	7,9		
R	4362	3575	5103
T	8,5	7,4	9,3
Ca ⁺⁺	50,9	44,9	55,3
Mg ⁺⁺	5,63	4,37	7,53
Na ⁺	1,18	0,83	2,09
K ⁺	0,29	0,23	0,36
Cl ⁻	0,66	0,42	0,87
SO ₄	1,0	0	2,0
HCO ₃	179	166	189
rCa/Mg	5,49		
rNa/rCl	2,76		
rSO ₄ /rCl	1,12		
rHCO ₃ /rSO ₄	141		

Tableau 97 : Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source du Martinet (ruines).

La minéralisation totale est faible et bien caractéristique d'eau issue des calcaires urgoniens.

Les teneurs sont comparables à celles des éléments des eaux de Fontaine Noire. Les teneurs en SO₄ sont toutefois plus faibles, ce qui donne un rapport rHCO₃/rSO₄ plus élevé qu'à Fontaine Noire.

Bien que les caractéristiques physicochimiques de cette source soient identiques à celles de Fontaine Noire, nous avons déjà démontré lors des expériences de traçage que ces sources avaient une origine différente. La source du Martinet provient essentiellement des calcaires urgoniens du Mont Nau. Il n'est pas exclu cependant qu'une partie des eaux issues de ce secteur participe également à l'alimentation des sources de Fontaine Noire. Leur participation doit être toutefois très réduite, compte-tenu du débit d'étiage important de la source du Martinet.

Le faciès chimique de cette source est :

rCa > rMg > rNa > rK

rHCO₃ > rSO₄ ≈ rCl

III.5.2. Les autres émergences :

III.5.2.1. Les sources du substratum :

Les autres émergences les plus importantes de notre secteur, issues du substratum, sont localisées dans les calcaires du Sénonien ou du Lutétien.

III.5.2.1.1. Source du Martinet n° 1 n° 7.

Une fois franchie la barre urgonienne de la cluse de Crévibert, on entre dans les calcaires sénoniens du flanc Est du synclinal des Aillons. Dans les interbancs de ces calcaires et dans les zones les plus fissurées, on remarque un grand nombre de petites sources qui émergent au niveau du lit du Nant d'Aillon en rive gauche. La plus importante de ces sources est située en face de la scierie du Moulin Gas, en rive gauche du Nant d'Aillon.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

X = 892,48 ; Y = 75,25 ; Z = 900m.

Les débits varient de 1,8 l/s à l'étiage de novembre 1978 à 3 l/s en mai 1978.

Les températures varient peu, de 6,2 à 6,8°C.

Les valeurs des résistivités oscillent entre 2554 Ω cm et 3080 Ω cm.

Les paramètres physicochimiques moyens de cette source, résultant de 4 prélèvements en mars, mai, novembre et décembre 1978, sont réunis dans le tableau suivant :

	Q	pH	T	R	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃	SO ₄
paramètres physicochimiques moyens	de 1,8 à 3,8	7,6	6,6	2894	71,5	0,55	1,53	0,65	0,71	225	0

Les teneurs en SO₄ sont très faibles et non mesurables par la méthode employée.

Les rapports sont les suivants :

$$rCa/rMg = 78,9 \quad rSO_4/rCl \approx 0 \quad rNa/rCl = 3,32$$

Les teneurs en Mg sont faibles, ce qui donne un fort rapport rCa/rMg.

Le faciès chimique est : $rCa > rNa > rMg \geq rK$

III.5.2.1.2. Source du Martinet n° 2.

n° 7

La source du Martinet n° 2 n'est pas captée, elle est située à l'aval de la source du Martinet n° 1.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

$$X = 892,43 \quad ; \quad Y = 75,38 \quad ; \quad Z = 900m.$$

Elle émerge dans une zone d'éboulis à gros blocs, masquant les affleurements de calcaires lutétiens.

Les débits varient de 1,7 l/s au mois de novembre 1978 à 3,2 l/s au mois de mai 1978.

Les températures varient de 7,1 à 7,7°C.

Les résistivités de 3120 Ω cm à 3454 Ω cm

Nous avons effectué 4 analyses chimiques complètes de cette source durant l'année 1978.

Les paramètres physicochimiques moyens sont :

paramètres physicochimiques moyens	Q l/s	R	T	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻
	de 1,7 à 3,2	3272	7,4	7,8	64,4	3,34	2,42	0,64	1,15	1,5	204

Les rapports sont :

$$rCa/rMg = 11,70 \quad rNa/rCl = 3,24 \quad rSO_4/rCl = 0,96 \quad rHCO_3/rSO_4 = 107$$

Les teneurs en Na⁺ sont élevées et les teneurs en Mg⁺⁺ sont normales.

Le faciès chimique est :

$$rCa > rMg > rNa > rK$$

$$rHCO_3 > rSO_4 \approx rCl$$

III.5.2.1.3. Les sources de la Daube n° 25.

Les sources de la Daube sont situées à l'Est d'Aillon le Jeune. Ces sources captées comportent 3 émergences importantes (les débits totaux ne sont au maximum pas supérieurs à 6 l/s).

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

$$X = 892,53 \quad ; \quad Y = 75,88 \quad ; \quad Z = 960m.$$

Ces captages sont situés sur les calcaires du Lutétien et du Nummulitique.

Les températures varient de 7,4°C à 7,9°C, les résistivités de 2600 à 3050 Ω cm. Le débit d'étiage est de 0,5 l/s.

Nous avons effectué 3 analyses complètes des eaux du captage le plus important durant l'année 1978. Les valeurs moyennes de ces analyses sont :

Q	R	T	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻
de 0,5 à 4 l/s	2870	de 7,4 à 7,9	7,6	80,4	0,73	0,41	0,3	0,80	1,3	244

$$rCa/rMg = 126 \quad rNa/rCl = 0,79 \quad rSO_4/rCl = 1,20 \quad rHCO_3/rSO_4 = 148$$

Comparativement à la source du Martinet n° 2 qui se trouve dans la même situation géologique, les teneurs en Mg⁺⁺ et Na⁺ sont nettement plus faibles pour cette source de la Daube.

III.5.2.2. Les sources des terrains quaternaires.

Les sources des terrains quaternaires de notre secteur sont en majorité des sources captées. Leurs débits sont, malgré tout, peu conséquents. Ces sources sont toutes issues d'éboulis.

III.5.2.2.1. La source de Combaveyre n° 12.

La source de Combaveyre est située au SE du village des Combes. Elle est captée pour l'alimentation en eau potable du village du Chainay.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

X = 893,45 ; Y = 80,43 ; Z = 950m.

La source est issue des éboulis calcaires urgoniens et marno-calcaires hauteriviens, qui garnissent les pentes sous le Roc de la Lavanche. Elle est située également au voisinage du chevauchement du Colombier.

Son débit d'étiage est de 1,9 l/s. Le débit maximum mesuré est de 8 l/s au mois de juin 1978.

Les températures varient de 6,4 à 7°C.

Les résistivités oscillent entre 2750 et 3125 Ωcm.

Les paramètres moyens et extrêmes déterminés d'après 6 analyses complètes sont réunis dans le tableau 98.

paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima
Q		1,9	8,0
pH	7,8		
R	2904	2750	3125
T	6,8	6,4	7,0
Ca ⁺⁺	59,5	55,3	63,3
Mg ⁺⁺	9,81	8,51	11,18
Na ⁺	5,12	4,22	5,60
K ⁺	0,76	0,67	0,80
Cl ⁻	0,47	0,30	0,72
SO ₄ ⁻⁻	21,8	18,0	26,0
HCO ₃ ⁻	215	200	228
rCa/rMg	3,68		
rNa/rCl	16,79		
rSO ₄ /rCl	34,24		
rHCO ₃ /rSO ₄	7,76		

Tableau 98 : Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de Combaveyre.

On remarque les fortes teneurs en Mg⁺⁺, Na⁺ et SO₄⁻⁻. Ces fortes teneurs en Na⁺ et SO₄⁻⁻ peuvent résulter de circulations lentes au contact des marnes et marno-calcaires de l'Hauterivien.

Le faciès chimique de la source est :

rCa > rMg > rNa > rK

rHCO₃ > rSO₄ > rNO₃ > rCl

Remarque : La source du village des Combes présente les mêmes caractères physicochimiques que la source de Combaveyre. Elle est captée dans le village et utilisée sur place. Son débit d'étiage est inférieur à 0,1 l/s.

III.5.2.2.2. Les sources des Folliets n° 26.

Les sources des Folliets, qui sont captées, sont situées dans le Bois de Saint Bruno au N du village du Couvent.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

X = 894,33 ; Y = 75,88 ; Z = 1150m.

Les positions des captages ne permettent pas d'observer leur situation géologique, mais il est fort probable que ces sources soient issues des éboulis recouvrant toutes les pentes du versant Est du Rocher de la Bade. Ces éboulis reposent sur les marno-calcaires de l'Hauterivien.

Les débits varient de 0,8 l/s à l'étiage de novembre à 10 l/s en janvier 1980.

Les températures varient de 6,1 à 7,4°C.

Les résistivités vont de 2854 à 3459 Ωcm.

Les paramètres physicochimiques moyens de 5 analyses complètes sont indiquées dans le tableau suivant :

Q l/s	T	pH	R	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻
8 à 10 l/s	6,8	7,8	3162	67,9	4,42	1,09	0,24	0,47	4	222

Les rapports sont :

rCa/rMg = 9,32 rNa/rCl = 3,58 rSO₄/rCl = 6,28 rHCO₃/rSO₄ = 43,69

Le faciès chimique est :

rCa > rMg > rNa > rK

rHCO₃ > rSO₄ > rCl

Les teneurs en Mg⁺⁺, Na⁺ et SO₄⁻⁻ sont beaucoup plus faibles qu'à la source de Combaveyre.

. Ceci laisse supposer des circulations moins profondes et plus rapides dans ces éboulis.

III.5.2.2.3. La source de Penon n° 28.

La source de Penon est située sur les versants Ouest du Mont Morbié et captée pour l'alimentation en eau potable de ce village.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

X = 893,63 ; Y = 72,63 ; Z = 1100m.

Elle émerge d'une zone d'éboulis formés d'éléments calcaires du Jurassique supérieur et de marno-calcaires berriasiens.

Le débit d'étiage est faible, 0,5 l/s au mois de novembre 1978 et les débits maximum de 8 l/s. La source n'a pu être visitée durant l'hiver. La température au mois de mai 1978 indique des variations importantes (au minimum 5,6 à 7,4°C).

Les paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de 7 analyses complètes sont réunis dans le tableau suivant :

Paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima
Q		0,5	8
pH	7,9		
R	2987	2412	3667
T	6,8	5,6	7,3
Ca ⁺⁺	74,4	64,5	97,8
Mg ⁺⁺	6,03	3,64	7,53
Na ⁺	1,09	0,50	2,41
K ⁺	0,30	0,10	0,42
Cl ⁻	0,57	0,18	1,41
SO ₄ ⁻⁻	1,9	0	4,0
HCO ₃ ⁻	247	219	298
rCa/rMg	7,486		
rNa/rCl	2,95		
rSO ₄ /rCl	2,46		
rHCO ₃ /rSO ₄	102		

Tableau 99 : Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de Penon.

Le faciès chimique de la source est :

rCa > rMg > rNa > rK

rHCO₃ > rSO₄ > rCl

Les teneurs en Mg⁺⁺ et Ca⁺⁺ sont fortes et semblables à celles des eaux issues des assises du Jurassique supérieur.

III.5.2.2.4. La source de Sainte Blaise n° 27.

La source de Sainte Blaise captée, est située au N de la source de Penon.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

X = 894,05 ; Y = 73,58 ; Z = 1140m.

Sa situation géologique est similaire à celle de la source de Penon, elle est à une altitude supérieure à cette dernière.

Le débit d'étiage est très faible, 0,1 l/s et le débit maximum de 6 l/s.

Les variations de température sont similaires à celles des eaux de la source de Penon (5,5 à 6,9°C).

Les résistivités varient entre 2540 et 3340 Ωcm.

Les paramètres physicochimiques moyens de 6 analyses complètes sont indiqués dans le tableau suivant.

Q l/s	T	R	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻
0,1 à 6	5,5 à 6,9	2926	7,8	77,4	2,10	0,75	0,49	0,49	0,6	242

rCa/rMg = 22,4 rNa/rCl = 2,36 rSO₄/rCl = 0,90 rHCO₃/rSO₄ = 317

Le faciès chimique est : rCa > rMg > rNa > rK

rHCO₃ > rNO₃ > rCl⁻ ≈ rSO₄

Cette source présente des caractères similaires à ceux de la source de Penon. Les teneurs en Mg⁺⁺ sont plus faibles et entraînent un rapport rCa/rMg fort.

III.5.2.2.5. La source des Ginets n° 29.

La source des Ginets est située elle, au Sud des chalets des Ginets.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

X = 894,83 ; Y = 74,58 ; Z = 1110m.

Elle est captée dans les éboulis, sous les cimes de calcaires jurassiques supérieurs du Mont de la Vierge.

Nous l'avons prélevé 2 fois au mois de janvier et au mois de novembre. Le débit d'étiage était de 0,1 l/s.

Elle présente les mêmes caractères chimiques que la source de Penon. Elle est toutefois légèrement plus minéralisée.

III.5.3. Conclusion sur les sources du bassin versant du Nant d'Aillon.

Les sources les plus importantes du bassin versant du Nant d'Aillon sont issues des calcaires urgoniens. Elles présentent toutes de faibles minéralisations ; la résistivité des eaux est, en conséquence, très élevée. Les caractères physicochimiques sont fortement influencés par la fonte des neiges, période pendant laquelle on observe les valeurs minimales, et plus modestement par les crues épisodiques lors de fortes précipitations. La grande variabilité des valeurs des principaux paramètres est liée à une grande variabilité des débits.

Chaque source possède ses propres valeurs en éléments secondaires (K^+ , Cl^- , Na^+ , Mg^{++}) suivant la nature des formations géologiques (outre les calcaires urgoniens) que les circulations souterraines traversent accessoirement (Hauterivien, Sénonien, Tertiaire).

Les comportements karstiques des sources de l'Urgonien, dont certaines ont été captées pour l'alimentation en eau potable de la station d'Aillon, permettent de prévoir les risques de pollution susceptibles de se manifester aux exutoires.

Comme nous l'avons vu à Fontaine Noire, c'est surtout, pendant les mois d'été et au début de l'automne, donc pendant et après la période d'utilisation des prairies d'alpages d'altitude, que le lessivage des terrains, qui se manifeste lors des épisodes à précipitations importantes, est à redouter.

Les sources issues des autres formations du substratum, sont peu nombreuses dans le secteur du bassin versant du Nant d'Aillon et leurs caractères physicochimiques sont peu comparables, même au sein d'une formation identique.

Les terrains quaternaires ont des possibilités aquifères nombreuses mais peu importantes, qui se manifestent surtout dans les éboulis garnissant les pentes des massifs. Les propriétés physicochimiques de ces eaux sont très diversifiées selon la nature des éléments constituants. On y retrouve, malgré tout, certains caractères communs avec les eaux des formations du substratum.

III.6. LES SOURCES SITUÉES AU NORD DU BASSIN VERSANT DU NANT D'AILLON.

Il existe deux sources karstiques, issues des calcaires urgoniens du massif du Margérian et du synclinal du Colombier, situées à l'extérieur du bassin versant du Nant d'Aillon. Ce sont les sources du Lot du Bois (Nord du massif du Margérian) et de la scierie de Leyat (Nord du synclinal du Colombier).

III.6.1. Source du Lot du Bois n° 10 :

La source du Lot du Bois est située à proximité du Chéran.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

X = 893,95 ; Y = 84,58 ; Z = 670m.

Elle est captée pour alimenter le plan d'eau de la base de loisir de Lescheraines.

Son émergence s'effectue à la limite des calcaires urgoniens et des grès molassiques. Le contact anormal, par faille, a été découvert lors des travaux de captage (B. Doudoux, 1971).

Les variations des paramètres physicochimiques sont indiquées sur la figure 104.

Les débits maximum varient de 8,7 à 9,3°C.

Les résistivités de 2916 à 3980 Ωcm .

Les paramètres physicochimiques moyens et extrêmes sont indiqués dans le tableau 100.

Les variations des résistivités concordent avec les variations du TH et TAC.

Cette source du Lot du Bois présente une minéralisation importante face aux autres sources issues des calcaires urgoniens.

Les teneurs en SO_4^{--} et Na^+ augmentent aux débits d'étiage. Le pic de concentration en Cl^- au mois d'avril 1978 paraît anormal, car la route située au-dessus de la source ne doit pas être en principe soumise aux opérations de salage durant l'hiver (rapport B. Doudoux (1971) sur les protections de la source).

Le bassin versant de cette source est situé, en partie, sur le bassin versant du Nant d'Aillon, mais ses limites exactes sont difficiles à préciser. Aucune opération de traçage n'est possible sur la barre de calcaires urgoniens de la partie Nord du massif du Margérian.

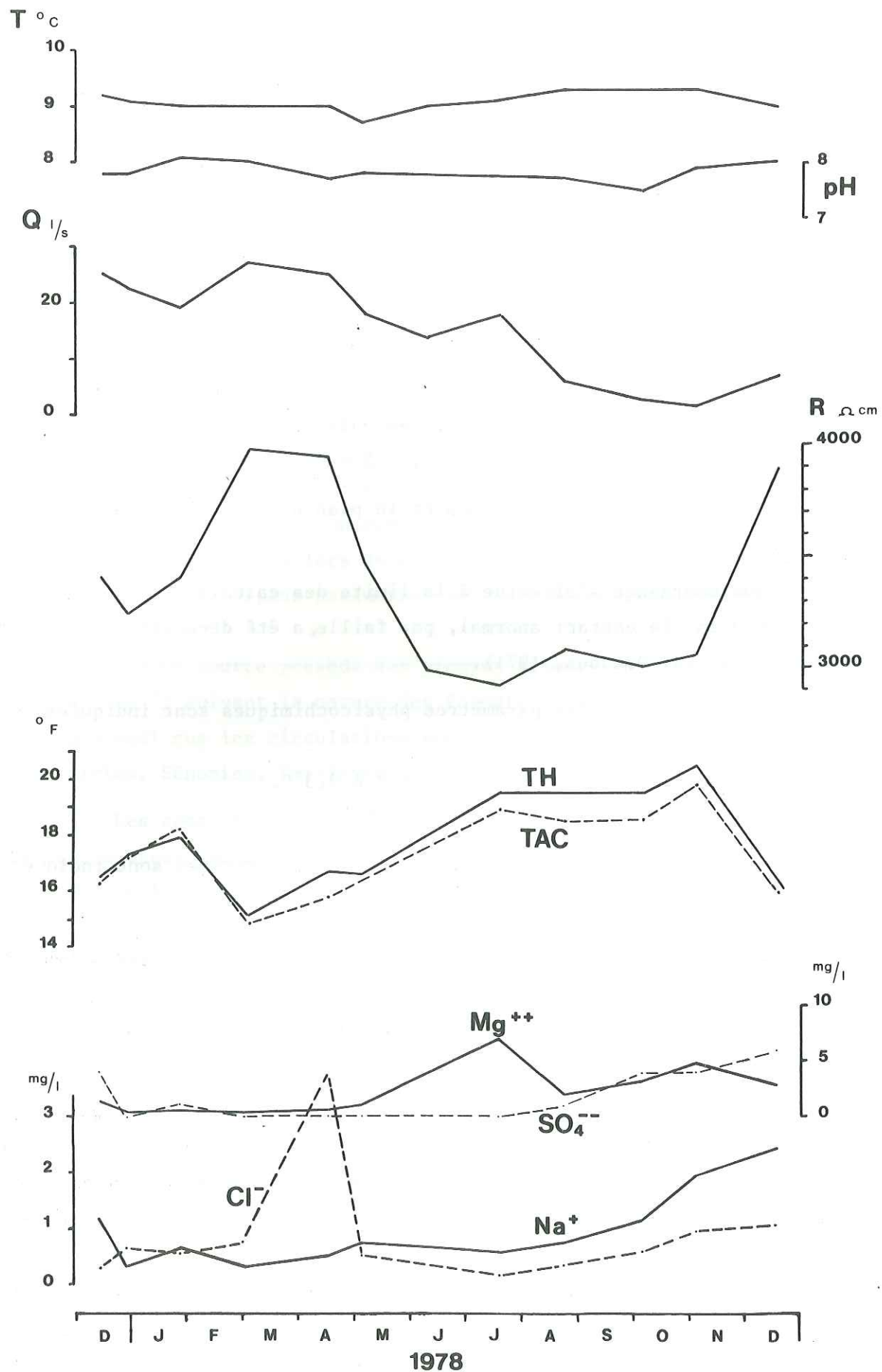


Fig. 104 : Variations des paramètres physicochimiques de la source du Lot du Bois.

paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima
Q		1,7	29
pH	7,8	7,5	8,1
R	3400	2916	3977
T	9,1	8,7	9,3
Ca ⁺⁺	67,7	60,1	74,9
Mg ⁺⁺	2,14	0,24	4,86
Na ⁺	0,94	0,31	2,42
K ⁺	0,22	0,04	0,67
Cl ⁻	0,88	0,32	3,71
SO ₄ ⁻⁻	3,3	0	6,0
HCO ₃ ⁻	210	182	130
rCa/rMg	19,1		
rNa/rCl	1,64		
rSO ₄ /rCl	2,77		
rHCO ₃ /rSO ₄	50,1		

Tableau 100 : Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source du Lot du Bois.

Le faciès chimique est : $rCa > rMg > rNa > rK$ $rHCO_3 > rSO_4 \geq rCl$

III.6.2. Source de la scierie de Leyat n° 11 :

La source de la scierie de Leyat est située au Nord du massif du Colombier, à proximité du Chéran, elle n'est pas captée.

Les coordonnées Lambert sont les suivantes :

X = 896,00 ; Y = 82,05 ; Z = 660m.

Elle émerge des calcaires urgoniens du synclinal du Colombier dont l'axe s'abaisse ici jusqu'au niveau du Chéran.

Les débits d'étiage de novembre 1978 sont faibles : < 1 l/s.

Les débits maximum ont été mesurés aux mois de juin et juillet 1978 avec 75 l/s.

Nous avons prélevé à 5 reprises cette source, les résultats des analyses sont indiqués en annexe.

En examinant ces résultats, on remarque les faibles valeurs des températures et des TH et les forts débits durant le mois de juin. Ces faibles valeurs sont dues à l'eau de fonte de neige provenant de la partie la plus élevée du synclinal du Colombier, c'est-à-dire la Combe de l'Ilette. Ces températures montrent donc que le bassin versant de cette source est situé, en majeure partie, dans cette Combe de l'Ilette. Les expériences de traçage n'ont

malheureusement pu mieux démontrer cette situation.

La source possède des caractères physicochimiques équivalent à ceux des sources karstiques issues des calcaires urgoniens (peu minéralisées et à variabilité des débits importants).

Les rapports moyens déduits des 5 analyses sont :

$$rCa/rMg = 41,4 \quad rNa/rCl = 1,81 \quad rSO_4/rCl = 2,17 \quad rHCO_3/rSO_4 = 104.$$

III.7. CONCLUSION SUR L'ETUDE HYDROCHIMIQUE DES SOURCES.

Nous avons regroupé, dans le tableau 101, toutes les sources étudiées ainsi que leurs paramètres physicochimiques. Ces sources ont été classées par type d'aquifères.

On remarque, en premier lieu, que le plus grand nombre de sources importantes appartient aux aquifères urgoniens et quaternaires (éboulis surtout).

La variabilité des débits indique la rapidité ou la lenteur des circulations ; les variations de températures indiquent la profondeur à laquelle s'effectuent ces circulations. A noter, cependant, que des circulations profondes mais rapides peuvent avoir des variations importantes de températures. Les circulations profondes et lentes auront, par contre, de faibles variations de températures.

III.7.1. Les sources du Jurassique supérieur (figure 105).

Les sources du Jurassique supérieur sont minéralisées. Les valeurs moyennes de résistivités sont comprises entre 2300 et 2700 Ω cm. Leur TAC et TH moyens sont supérieurs à 20. A de faibles variabilités de débits sont associées de faibles variations des températures et des TH (Lourdens, Ferme de Lourdens). Les sources d'Arbin sont caractérisées par une forte variabilité de débits, de températures et de TH.

Ces sources du Jurassique supérieur présentent des rapports rCa/rMg , rNa/rCl , rSO_4/rCl , $rHCO_3/rSO_4$ similaires, c'est-à-dire qu'ils sont tous compris entre 2 et 20, et c'est la caractéristique principale qui se dégage de l'étude chimique des émergences de cet ensemble calcaire.

III.7.2. Les sources de l'Urgonien (figure 106).

Les sources issues des calcaires urgoniens sont peu minéralisées.

Jurassique sup.	ΔQ	ΔT	ΔTH °F	R Ω cm	ΔR	rCa/rMg	rNa/rCl	rSO_4/rCl	$rHCO_3/rSO_4$
Jurassique sup.									
Arbin	75	1,3	5,4	2387	800	4,42	7,00	7,66	20,4
Ferme Lourdens	7,5	0,7	3,8	2278	770	2,36	2,06	8,88	11,4
Lourdens	8,4	0,2	1,2	2780	274	2,91	2,51	10	12
Urgonien									
Pissieux		2,1	8,8	4423	2840	30,7	1,41	3,20	48,1
Fontaine Noire	35	2,8	5,1	4069	1076	7,3	2,78	3,62	53,5
Favergeres	36	0,5	1,5	4196	325	6,57	3,08	2,11	123
Pré Paissard	2,8	0,4	1,4	4353	452	5,45	2,84	3,76	47,8
Lot du Bois	17	0,6	5,4	3400	1061	19,1	1,64	2,77	50
Martinet (ruines)	3,9	1,9	3,4	4362	1528	5,49	9,76	1,12	141
Leyat (scierie)	75	0,9	4,2	5302	1575	41,4	1,81	2,17	104
Sénonien									
Combe Noire	4,7	1,4	1,2	3886	784	6,52	4,37	6,09	50,4
Martinet n° 1	1,7	0,6	1,7	2894	526	78,9	3,32	-	-
Tertiaire									
La Daube	8	0,5	2,6	2870	415	126	0,79	1,20	148
Martinet n° 2	1,9	0,6	2,8	3272	334	11,70	3,24	0,96	107
Fontanettes	14	2,0	5,3	3073	534	18,4	3,05	4,14	65,2
Cône de déjection									
Boisset	5,6	1,7	3,9	2202	841	1,65	3,28	13,94	4,4
Fluvio-glaciaire + moraine									
Le Bois	35	4,7	9,8	1990	889	27,8	1,81	0,85	171
Fluvio-glaciaire + cône de déjection									
Touvière	41	0,8	3,7	1853	509	29,4	0,79	1,38	42
Eboulis									
Fichards 2	3,3	2,0	5,7	3220	657	9,68	2,93	3,26	71,6
Côtes de Marles	7,9	0,6	1,0	3376	500	13,1	5,13	4,98	55,6
Gros Molard	40	3,3	2,1	4031	747	10,5	4,25	8,81	31,5
Fichards 1	4,4	1,0	3,1	3259	890	23,5	1,60	2,73	65,2
Folliets	12,5	1,3	3,0	3162	605	9,32	3,58	6,28	43,1
Crouzat	15,4	2,5	3,0	3249	928	5,45	2,06	5,4	42,6
Rongère	5,6	5,9	3,8	2588	946	5,41	10,0	15,7	19,9
Combaveyre	4,2	0,6	3,1	2904	375	3,68	16,8	34,24	7,76
Penon	16,0	1,8	7,7	2987	1255	7,48	2,95	2,46	102
Sainte Blaise	60,0	1,4	6,3	2926	802	22,4	2,36	0,90	317

Tableau 101 : Résumé des principaux paramètres physicochimiques des sources étudiées.

Les valeurs moyennes de résistivités sont importantes (3400 à 5300 Ω cm), leur TH et TAC moyens sont faibles. Les variations de températures sont comprises entre 0,4 et 2,8°C. Les variations de TH sont comprises entre 10% et 75% de la valeur de ce paramètre.

Le rapport rCa/rMg est compris entre 5 et 41, et on remarque qu'en général une forte valeur de ce rapport est associée à une variabilité importante et inversement. Le rapport $rHCO_3/rSO_4$ est compris entre 47 et 140. Les autres rapports rNa/rCl et rSO_4/rCl sont compris entre 1 et 3.

III.7.3. Les sources du Sénonien :

Les deux sources que nous avons étudiées sont très différentes par leurs caractères physicochimiques.

La source de Combe Noire est peu minéralisée. Son TH varie peu mais sa température et son débit présentent des variations plus marquées. Ces

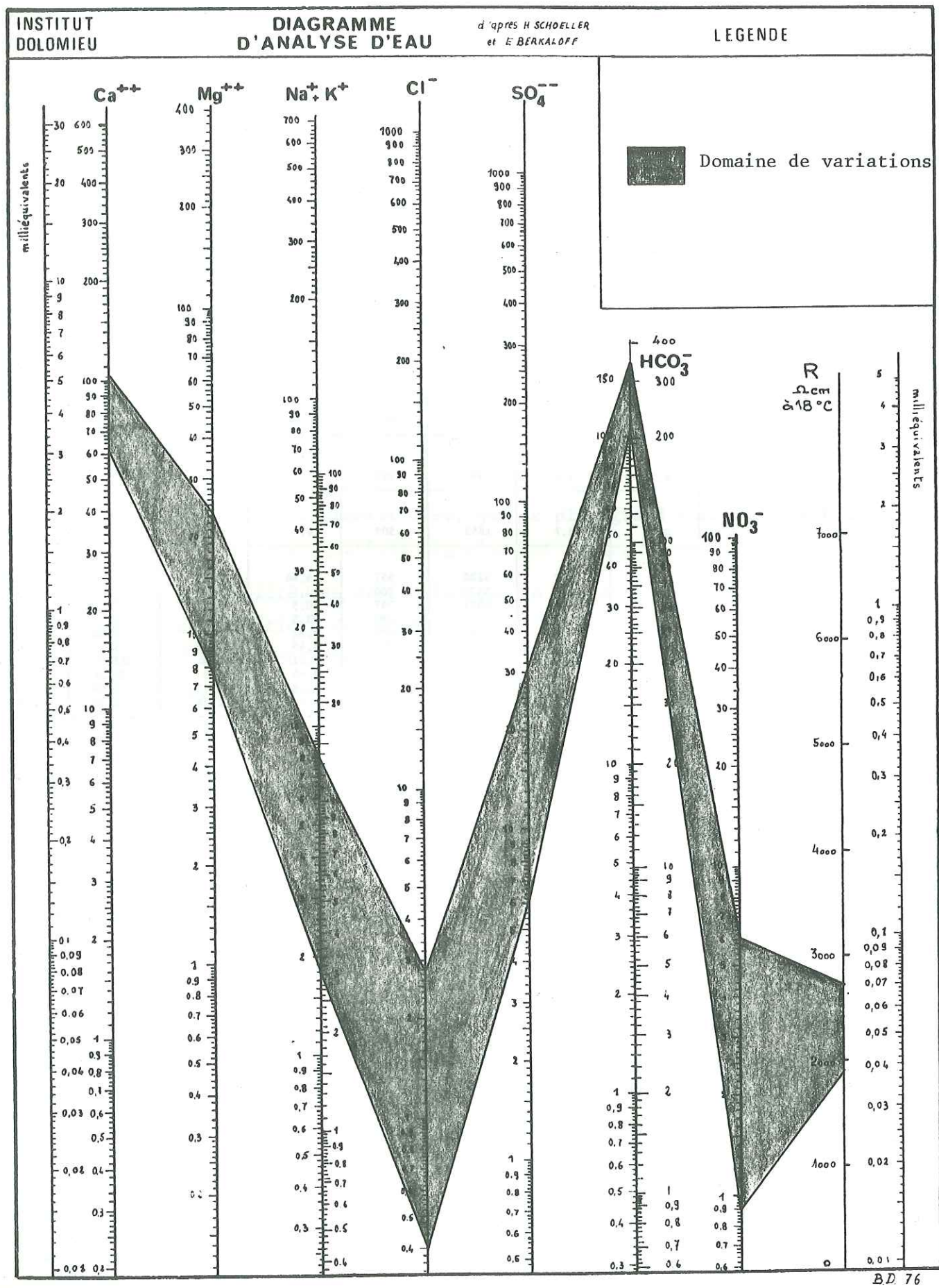


Fig. 105 : Eaux issues des calcaires du Jurassique supérieur.

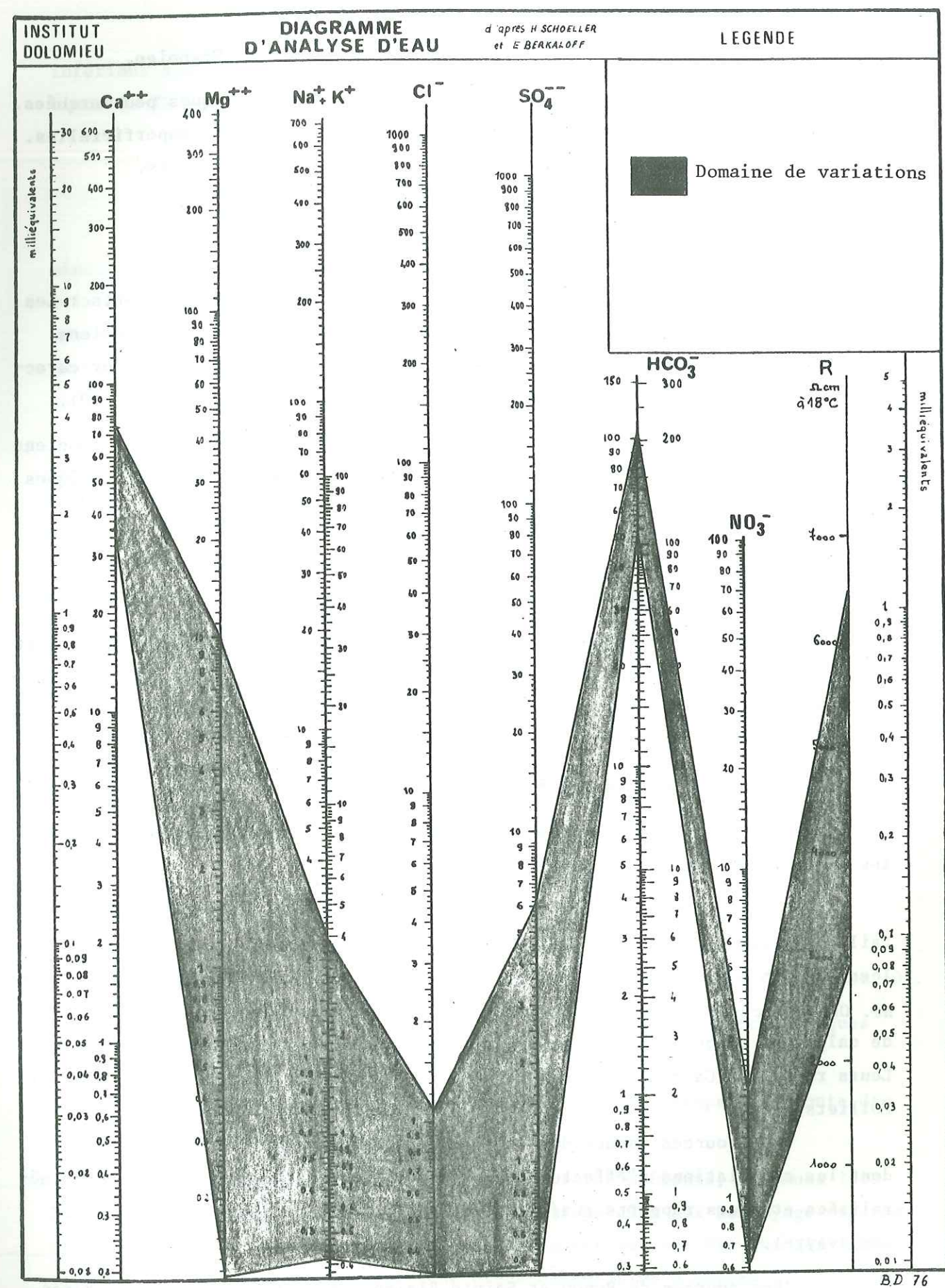


Fig. 106 : Eaux issues des calcaires urgoniens.

rappports chimiques la rapprochent des sources de l'aquifère Urgonien.

La source du Martinet présente des variations physiques peu marquées. Elle est minéralisée et résulte de circulations lentes et semi-superficielles. Son rapport rCa/rMg est le plus fort de toutes les sources étudiées.

III.7.4. Les sources du Tertiaire.

Les sources du Tertiaire sont liées à des aquifères différents : Les sources de la Daube et du Martinet n° 2 sont issues des calcaires lutétiens. Elles présentent sensiblement les mêmes caractéristiques physiques. Leur caractéristique chimique principale est la valeur du rapport $rHCO_3/rSO_4$ (> 100).

La source des Fontanettes, issue des conglomérats et grès priaboniens est moyennement minéralisée. Les variations de ses paramètres physicochimiques sont importantes.

III.7.5. Les cônes de déjection mixtes.

La source du Boisset est très minéralisée. Les variations du débit et du TH sont peu importantes. La température varie plus nettement. Les rapports rCa/rMg et $rHCO_3/rSO_4$ sont les plus faibles de toutes les sources étudiées.

III.7.6. Sources des éboulis :

Les sources issues des éboulis présentent une grande diversité dans les paramètres physicochimiques.

La variabilité des débits est comprise entre 3,3 et 60 suivant la taille des éléments constitutifs. Les variations de température sont très étalées (de 0,6 à 5,9°C), celle du TH oscillent entre 6% et 30% de la valeur moyenne. On peut cependant remarquer que les sources, issues des éboulis à éléments de calcaires urgoniens, ont des valeurs de résistivités légèrement supérieures. Leurs rapports rCa/rMg sont compris entre 10 et 20 (Gros Molard, Pichards 2 et Folliets).

Les sources issues d'éboulis à éléments en majorité néocomiens ou dont les circulations s'effectuent à proximité de ces terrains, sont plus minéralisées et leurs rapports rCa/rMg sont faibles (3 à 5) (Crouzat, Rongère et Combaveyre).

Les sources de Penon et Sainte Blaise, alimentées par des aquifères situés dans les éboulis à éléments de calcaires Jurassique supérieur et Crétacé

inférieur sont minéralisées. Leurs rapports $rHCO_3/rSO_4$ sont élevés. Les variations du TH sont importantes.

III.7.7. Sources des dépôts fluvio-glaciaires :

Les sources issues des dépôts quaternaires glaciaires sont fortement minéralisées. La variabilité des débits est importante (≈ 40). La source de le Bois a des températures très variables, liées à la grande variabilité de son débit et à des circulations peu profondes. Ces deux sources présentent des rapports rCa/rMg très proches.

CHAPITRE IV. ETUDE PHYSICOCHIMIQUE DES RUISSEAUX.

Nous avons régulièrement étudié les variations des paramètres physicochimiques des divers ruisseaux de notre secteur. Nous avons ainsi prélevé les eaux du ruisseau du Ternèze, son affluent le ruisseau de Nécuidet, qui présente parfois de fortes teneurs en éléments secondaires, ainsi que l'exutoire du Lac de la Thuile.

Pour le Nant d'Aillon, seule une étude suivie a été réalisée au Pont du Villaret. Des analyses comparatives, effectuées en différents points du ruisseau, ont montré que les teneurs en éléments étaient peu différentes le long de son cours.

IV.1. LE RUISSEAU DU TERNEZE AU PONT DE BOYAT.

Nous avons prélevé le Ternèze d'août 1977 à décembre 1978.

Les variations de ces paramètres sont représentées sur la figure 107.

Nous donnons dans le tableau 102 les paramètres physicochimiques moyens et extrêmes ainsi que ceux de l'étiage de novembre 1978.

Les teneurs en éléments sont minimales au printemps à la fonte des neiges où lors de grosses crues.

Les teneurs maximales sont, pour certains éléments, obtenues lors des débits d'étiages où lors de courtes pollutions dues aux nettoyage des installations d'élevages. Ces vagues de pollution ont surtout été enregistrées le matin sur le ruisseau de Ternèze. Une étude comparative a montré que ces pollutions instantanées provenaient du ruisseau du Dard qui traverse le village d'Arvey.

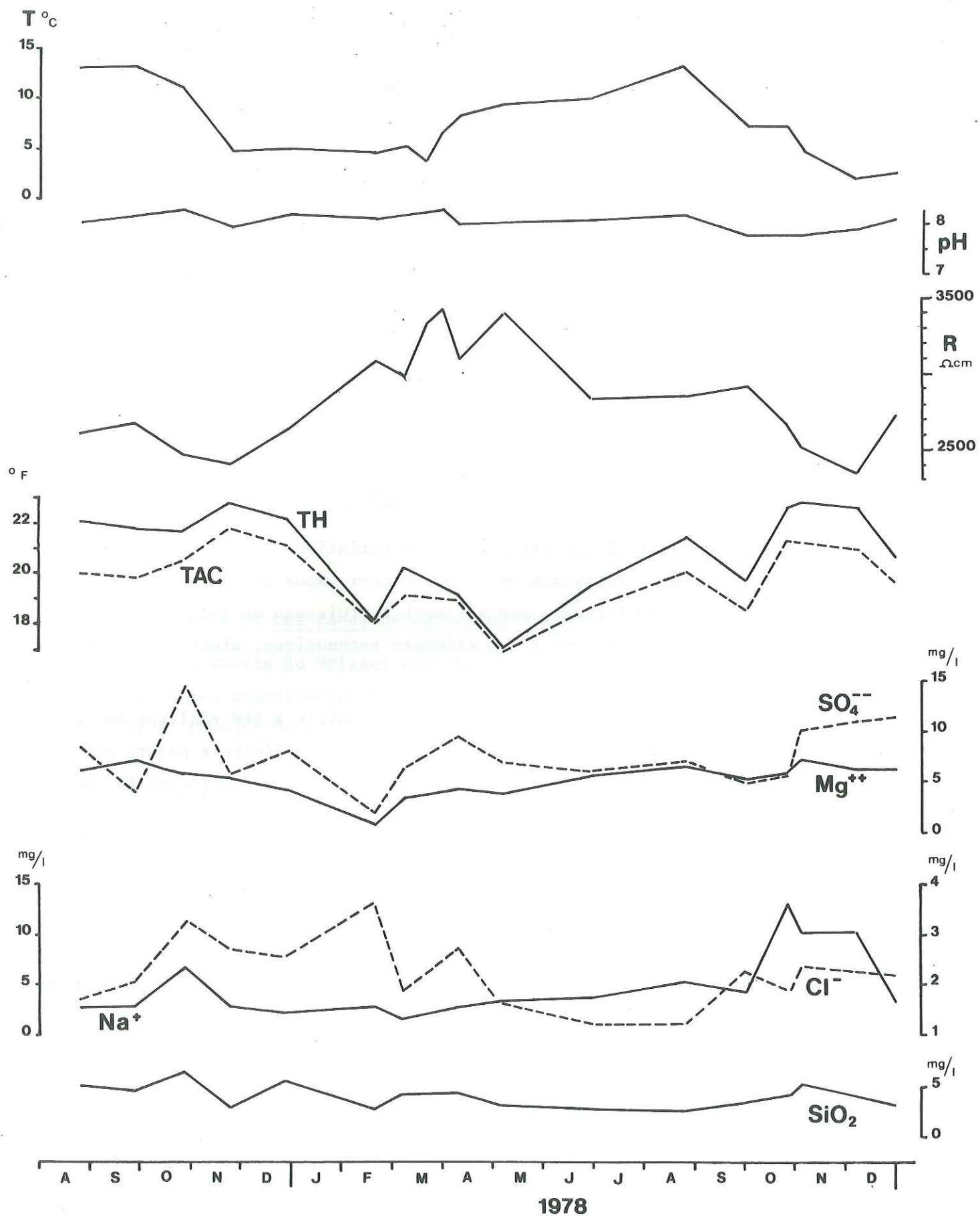


Fig. 107 : Variations des paramètres physicochimiques du Ternèze.

. Relation, résistivité, paramètres physicochimiques.

Nous avons calculé les relations entre la résistivité et les paramètres physicochimiques les plus importants, soit le TH, TAC ; minéralisation totale (mg/l) et Ca^{++} (en mg/l).

Les résultats sont exprimés dans le tableau :

Elements	Coef. corrélat.	Relations
TH	0,81	$\frac{1}{R} = 1,76 \cdot 10^{-6}$ TH - $6,34 \cdot 10^{-6}$
TAC	0,82	$\frac{1}{R} = 23,87 \cdot 10^{-6}$ TAC - $112 \cdot 10^{-6}$
Ca^{++} mg/l	0,80	$\frac{1}{R} = 5,08 \cdot 10^{-6}$ (Ca^{++}) - $22 \cdot 10^{-6}$
C mg/l	0,84	$\frac{1}{R} = 1,13 \cdot 10^{-6}$ C - $27,3 \cdot 10^{-6}$

Les corrélations sont assez bonnes pour ces paramètres, les valeurs les plus éloignées résultent de mesures faites avec le résistivimètre de terrain.

paramètres physicochimiques	moyens	minimas	maxima	étiage 1978
Q		43	2900	43
pH	8,1	7,8	8,3	7,8
R	2847	2350	3420	2518
T		2,0	13,2	4,8
Ca^{++}	73,2	62,1	82,9	79,8
Mg^{++}	5,16	0,72	7,05	7,3
Na^+	4,90	1,60	13,36	10,30
K^+	2,41	0,99	5,73	4,58
Cl^-	2,24	1,25	3,67	2,40
SO_4^{--}	7,84	6,0	14,5	10,0
HCO_3^-	242	207	266	260
NO_3^-	2,48	0,89	5,97	3,54
SiO_2	3,94	2,55	6,50	5,20

Tableau 102 : Paramètres physicochimiques, moyens, extrêmes et d'étiage du ruisseau du Ternèze.

IV.2. LE RUISSEAU DE NECUIDET.

Le ruisseau de Nécuidet draine toute la plaine du Tiolet à Nécuidet.

Les eaux du ruisseau ont été prélevées d'octobre 1977 à novembre 1978. Les résultats des analyses sont en annexes. Les variations des paramètres physicochimiques sont indiquées sur la figure 108. Dans le tableau 103, nous donnons les valeurs moyennes, extrêmes et à l'étiage de novembre 1978.

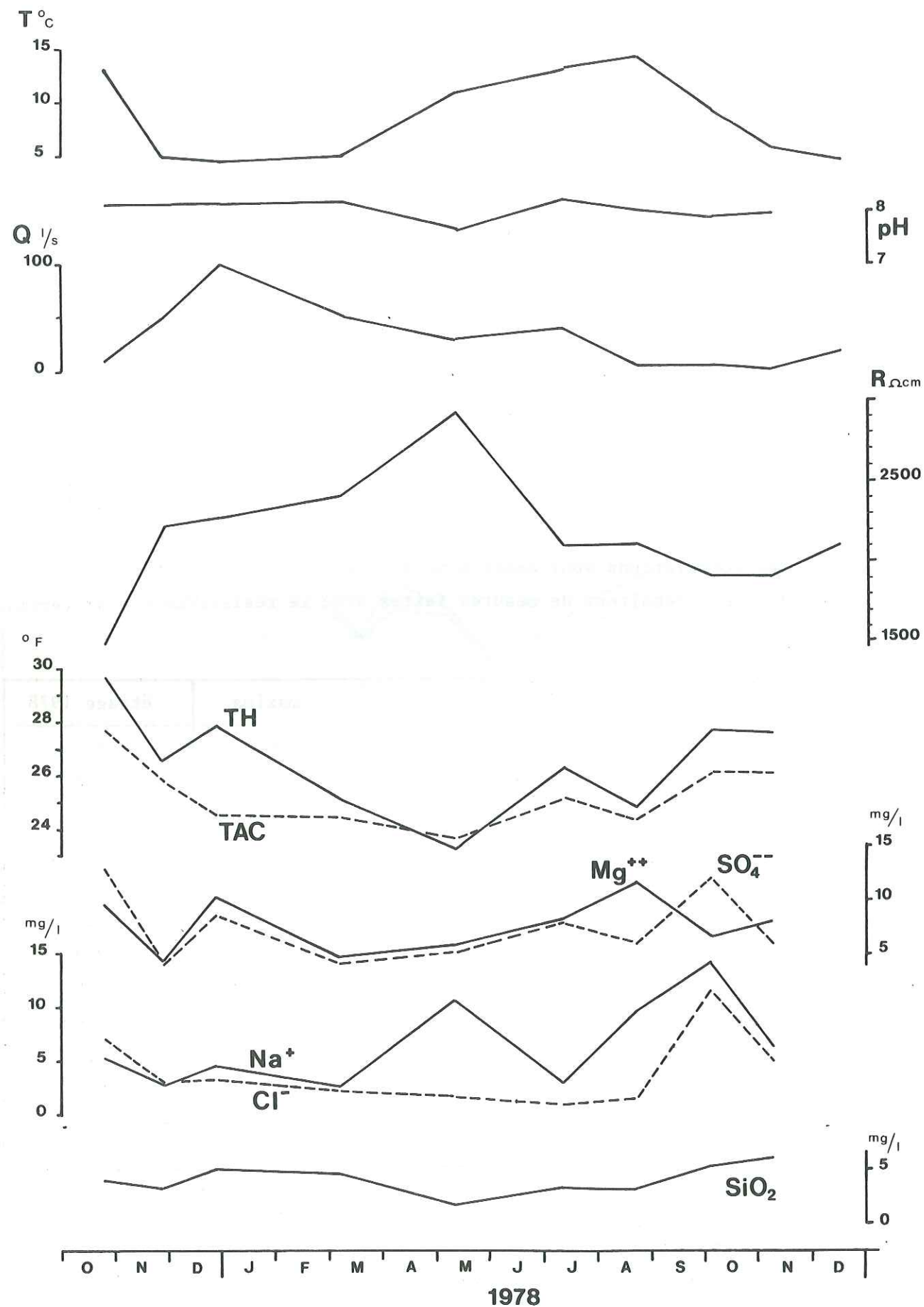


Fig. 108 : Variations des paramètres physicochimiques du ruisseau de Nécuidet.

paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima	étiage novembre 1978
Q		3	100	3
pH	8	7,6	8,2	7,95
R	2113	1462	2913	1921
T		4,5	14,1	5,8
Ca ⁺⁺	93,7	80,2	103	97,4
Mg ⁺⁺	7,72	4,37	11,7	8,02
Na ⁺	6,61	2,60	14,4	6,41
K ⁺	3,65	2,10	13,6	1,21
Cl ⁻	4,15	1,0	11,65	5,03
SO ₄ ⁻⁻	7,3	4	13,0	6,0
HCO ₃ ⁻	309	287	338	318
NO ₃	6,2	1,99	15,7	10,62
NO ₂	0,02	0,01	0,05	-
PO ₄	0,21	0,1	0,5	0
SiO ₂	4,0	1,7	6,0	6,0

Tableau 103 : Paramètres physicochimiques moyens, extrêmes et d'étiage du ruisseau de Nécuidet.

On remarque les très fortes teneurs en éléments secondaires dans ce ruisseau. Une part de ces teneurs élevées est due à la source de Morion et aux autres filets d'eau de la même origine, diffus autour de cette source. Le petit ruisseau qui s'écoule au Nord de la colline du Serpolet et qui collecte les eaux de ces sources, présente des teneurs élevées en SO₄⁻⁻, Cl⁻, Na⁺. Les autres éléments sont dus à des pollutions. Ceci est vrai pour les débits d'étiages, mais aux forts débits, la dilution devient trop importante pour expliquer les teneurs en éléments secondaires. L'activité humaine aux villages de Morion et Nécuidet ainsi que l'activité agricole dans la plaine de Nécuidet peuvent être à l'origine des fortes teneurs en NO₃, Cl⁻ et SO₄.

Le ruisseau de Nécuidet présente une minéralisation supérieure à celle du Ternèze au Pont de Boyat.

IV.3. L'EXUTOIRE DU LAC DE LA THUILE.

L'exutoire du Lac de la Thuile, situé sous le village de la Thuile, a été doté d'une échelle limnimétrique. En raison des moyens techniques dont nous disposions, nous n'avons pas pu réaliser une étude physicochimique com-

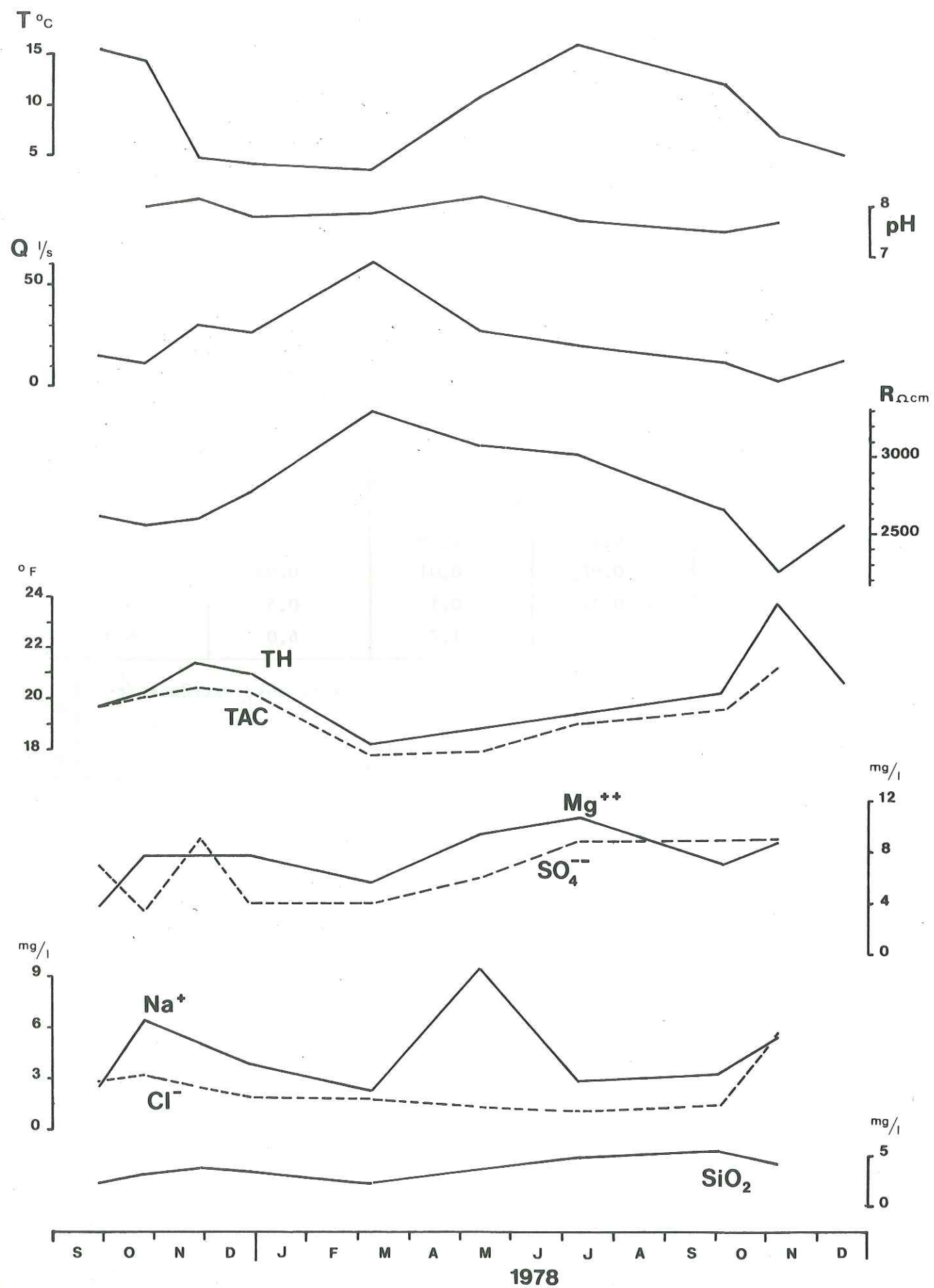


Fig. 109 : Variations des paramètres physicochimiques de l'exutoire du Lac de la Thuile.

plète avec analyse des eaux du Lac, des apports et des sorties et établir un bilan chimique. De plus, les apports sont, soit très diffus, soit constitués par les eaux de fonte de neige et dispersés sur tout le périmètre du Lac. Le ruisseau du village du Lac ne constitue un approvisionnement que pendant 2 à 3 mois au printemps.

Nous avons, malgré tout, effectué des prélèvements à l'exutoire, d'octobre 1977 à novembre 1978.

Les variations des paramètres physicochimiques sont représentées sur la figure 109.

Les paramètres moyens et extrêmes et d'étéage sont notés dans le tableau 104.

L'eau présente une faible minéralisation à la fonte des neiges et de la couche de glace qui recouvre le Lac. Le Lac est alors à son niveau le plus haut.

On remarque les valeurs similaires des teneurs en Na^+ et K^+

paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima	étéage novembre 1978
Q		2,5	63	2,5
pH	7,8	7,5	8,2	7,7
R	2831	2218	3302	2218
T		3,5	15,8	7,0
Ca^{++}	68,9	59,7	80,5	80,5
Mg^{++}	7,64	3,89	10,69	8,75
Na^+	4,55	2,22	9,51	5,31
K^+	3,63	1,84	6,32	4,40
Cl^-	2,49	1,12	5,54	5,54
SO_4^{--}	5,7	3,0	9,0	3,0
HCO_3^-	242	218	281	281
NO_3^-	1,41	0,22	2,66	1,33
NO_2^-	0,015	0,005	0,027	0,005
SiO_2	3,25	2,3	3,9	-

Tableau 104 : Paramètres physicochimiques moyens, extrêmes et d'étéage de l'exutoire du Lac de la Thuile.

IV.4. LE RUISSEAU DE LA REYSSE.

Le ruisseau de la Reysse avait été équipé d'une échelle limnimétrique au Moulin de Chabert. Cette échelle a été arrachée avant que nous ayons pu réa-

liser la courbe de tarage complète de cette station.

Nous avons effectué deux prélèvements des eaux du ruisseau à l'étiage et à la fonte des neiges.

Les résultats de ces 2 analyses sont indiqués dans le tableau suivant :

	Q l/s	pH	R Ωcm	T 18°C	T °C	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻	SiO ₂
18.04.1978	430	7,9	3520	1,3	66,9	0,97	0,65	0,17	0,50	1	201	0,52	0,000	0,00	2,20	
28.11.1978	10	7,85	2998	14	73,7	1,94	1,62	0,26	2,06	4,5	240	0,88	0,000	0,015	3,5	

IV.5. LE NANT D'AILLON AU PONT DU VILLARET.

Nous avons prélevé les eaux du Nant d'Aillon au Pont du Villaret, de décembre 1977 à décembre 1978.

Les paramètres physicochimiques moyens, extrêmes ainsi que ceux de l'étiage de novembre 1978, sont indiqués dans le tableau 105.

paramètres physicochimiques	moyens	minima	maxima	étiage novembre 1978
Q		154		154
pH	8,1	7,7	8,2	-
R	3558	2917	4622	3337
T		2,0	11,8	2,0
Ca ⁺⁺	62,6	48,5	69,0	62,9
Mg ⁺⁺	3,09	0,24	5,1	4,37
Na ⁺	1,65	0,64	2,33	2,33
K ⁺	1,08	0,39	2,02	2,02
Cl ⁻	1,42	0,32	2,51	1,22
SO ₄ ⁻⁻	4,3	1,0	8,0	5,0
HCO ₃ ⁻	197	153	233	205
NO ₃ ⁻	1,99	0,10	4,02	1,86
NO ₂ ⁻	0,013	0,000	0,05	-
PO ₄ ⁻	0,22	0,000	0,55	0,04
SiO ₂	2,97	2,15	4,98	2,27

Tableau 105 : Paramètres physicochimiques moyens, extrêmes et d'étiage du Nant d'Aillon.

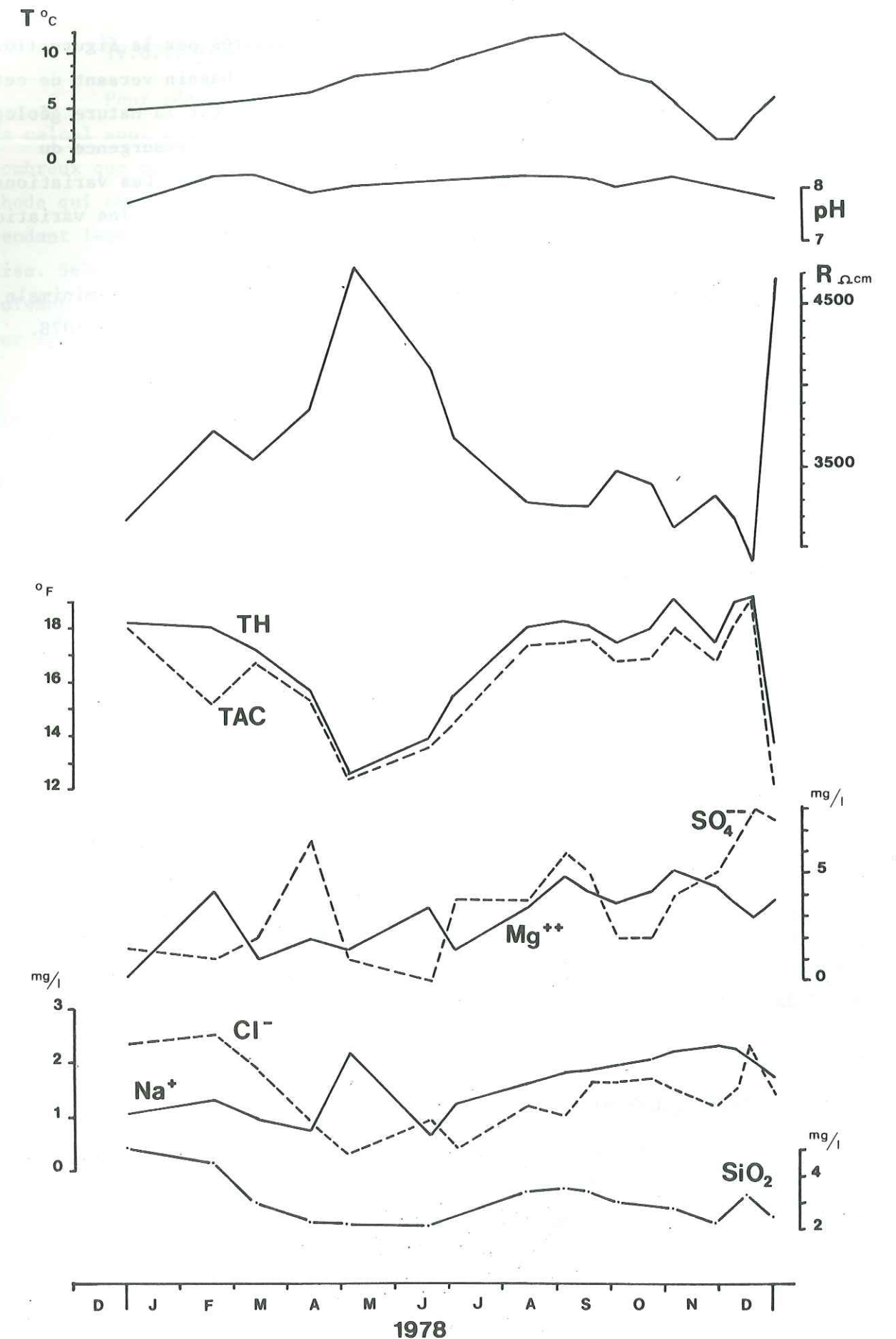


Fig. 110 : Variations des paramètres physicochimiques du Nant d'Aillon.

Les variations de ces paramètres sont illustrés par la figure 110.

La minéralisation totale est faible pour un bassin versant de cette dimension. Cette minéralisation qui est conditionnée par la nature géologique des terrains est ici perturbée par l'apport d'eau de l'exurgence du Pissieux. Cet apport est important et surtout peu minéralisé. Les variations des paramètres physicochimiques sont grossièrement calquées sur les variations de ces mêmes paramètres à l'exurgence du Pissieux.

Il en résulte que la minéralisation du Nant d'Aillon est minimale aux mois de mai et juin. Elle est maximale au début du mois de novembre 1978.

Les variations du TH sont importantes, de 12,6 à 19,2°F.

. Relation résistivité principaux paramètres chimiques.

Comme pour le Ternèze, nous avons établi les relations entre la résistivité et les paramètres chimiques TH, TAC, Ca⁺⁺ (mg/l) et la minéralisation totale.

Ces relations sont indiquées dans le tableau suivant :

paramètres physicochimiques	coef. correlat.	Relation
TH °F	0,94	$\frac{1}{R} = 16,76 \cdot 10^{-6}$ TH + $0,19 \cdot 10^{-6}$
TAC °F	0,98	$\frac{1}{R} = 17,69 \cdot 10^{-6}$ TAC - $2,63 \cdot 10^{-6}$
Ca ⁺⁺ mg/l	0,93	$\frac{1}{R} = 4,69 \cdot 10^{-6}$ (Ca ⁺⁺) - $8,35 \cdot 10^{-6}$
C mg/l	0,97	$\frac{1}{R} = 1,05 \cdot 10^{-6}$ C - $4,5 \cdot 10^{-6}$

Les coefficients de corrélation sont meilleurs que ceux obtenus au Ternèze. Ils montrent que la résistivité est surtout liée à la teneur en HCO₃⁻ dans l'eau.

IV.6. BILAN HYDROCHIMIQUE.

A partir des mesures des différents paramètres chimiques effectuées durant la période d'étude, nous allons pouvoir réaliser une approche d'un bilan chimique pour les ruisseau du Ternèze et du Nant d'Aillon.

IV.6.1. Transport dissous :

Pour réaliser cette approche du bilan chimique, plusieurs méthodes de calcul sont à notre disposition. Compte-tenu du nombre d'échantillons peu nombreux que nous avons prélevés sur les ruisseaux, nous avons choisi la méthode qui consiste à prendre l'analyse mensuelle comme représentative du mois pendant lequel elle a été effectuée. Cette méthode est évidemment très imprécise. Selon M. Haubert (1975), elle donne des résultats supérieurs de 6 à 20% suivant les éléments à ceux donnés par les autres méthodes qu'il a appliquées sur le Brévon.

Par cette méthode, nous donnerons donc une valeur nettement supérieure à la réalité, mais compte-tenu du nombre d'échantillons, nous ne prétendons pas donner une valeur exacte, mais plutôt une estimation du volume de matière transportée par les ruisseaux durant la période d'étude.

Dans le tableau 106, nous donnons les quantités d'éléments dissous transportés par le Ternèze et le Nant d'Aillon, ainsi que les charges spécifiques annuelles pour les bassin versants réels.

		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻⁻	SiO ₂	Total
Bassin versant du Ternèze	T/an	1065	55,4	45,7	18,2	36,5	3633	90,3	64,8	5009
	T/Km ² par an	57,1	2,98	2,45	0,98	1,96	195	4,84	3,5	269
Nant d'Aillon	T/an	5042	180	113	58	112	16050	243	240	22034
	T/km ² par an	85,8	3,06	1,92	0,98	1,90	273	4,12	4,09	375

Tableau 106 : Transport dissous par le Ternèze et le Nant d'Aillon (1978).

Les charges spécifiques sont liées aux débits moyens. Nous avons vu que le débit moyen spécifique avait une valeur plus élevée pour le Nant d'Aillon que pour le Ternèze. Il en résulte que les charges spécifiques des éléments principaux, c'est-à-dire Ca⁺⁺ et HCO₃⁻ sont plus importantes pour le Nant d'Aillon. Les charges spécifiques en Mg⁺⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄⁻⁻ et SiO₂ sont comparables pour les deux cours d'eaux.

La charge spécifique en Na⁺ est plus élevée pour le bassin versant du Ternèze. Les caractères géologiques sont à l'origine de cette valeur élevée. Nous avons vu que le bassin versant du Ternèze se logeait en grande partie dans

les niveaux marneux du Néocomien. Le sodium est associé aux minéraux argileux abondants dans ces séries marneuses.

IV.6.2. Approche de l'érosion chimique :

L'érosion chimique sur les bassins versants peut être chiffrée par différence entre les transports dissous et les apports atmosphériques. Cette érosion chimique ne représentera qu'une estimation puisque nous avons vu que la précision sur les transports dissous était supérieure de 6 à 20% aux valeurs réelles.

Dans le tableau 107, nous donnons les valeurs de l'érosion chimique en charge spécifique pour les bassins versants réels du Ternèze et du Nant d'Aillon.

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	SiO ₂	Total
Ternèze T/km ² /an	55,2	2,76	1,73	0,38	0,76	189	- 0,3 (0,73)	3,33	253
Nant d'Aillon T/km ² /an	83,4	2,80	1,04	0,24	0,43	266	- 0,08 (0,16)	3,88	356

Tableau 107 : Erosion chimique sur les bassins versants réels du Ternèze et du Nant d'Aillon.

On remarque pour SO₄⁻ une valeur négative, c'est-à-dire que les apports sont plus importants que les transports dissous. Mais nous n'avons pas tenu compte dans ce calcul des résultats des bilans hydrologiques qui indiquaient un déficit de 22% pour le Ternèze et 6% pour le Nant d'Aillon. En corrigeant donc les apports des précipitations, on obtient, pour cet élément, les valeurs notées entre parenthèses.

IV.7. CONCLUSION A L'ETUDE PHYSICOCHIMIQUE DES RUISSEAUX.

Durant l'année d'étude (1978) les étiages des différents ruisseaux étudiés ont eu lieu au mois de novembre.

Les teneurs minimales, en éléments, s'observent en mars, lors de la fonte des neiges, pour le ruisseau du Ternèze et, en mai, pour le ruisseau du Nant d'Aillon. Cet écart est dû, en partie, à la différence d'altitude moyenne entre les deux bassins versants, mais surtout à l'influence de la source du

Pissieux sur le Nant d'Aillon.

Les teneurs maximales s'observent en général lors de l'étiage.

Durant l'année 1978, le Ternèze a transporté 5000 T d'éléments dissous, ce qui correspond à une charge spécifique de 270^t/an/km². Le Nant d'Aillon, pendant la même période, a transporté 22000 T d'éléments dissous, soit une charge spécifique de 375^t/km²/an. Ces charges spécifiques sont directement liées aux débits moyens spécifiques.

Compte-tenu des apports atmosphériques qui sont de 15,9^t/km²/an sur le bassin versant du Ternèze et de 17,5^t/km²/an sur le bassin versant du Nant d'Aillon, nous avons pu calculer l'érosion chimique sur ces deux bassins versants qui est respectivement de 250^t/km²/an et de 360^t/km²/an.

Toutes ces charges spécifiques ont été calculées pour les bassins versants réels avec une précision d'environ 20%.

CONCLUSION A L'ETUDE HYDROCHIMIQUE

L'étude hydrochimique nous a permis de confirmer les relations hydrologiques entre les sources d'Arbin et le bassin versant du Ternèze. L'alimentation de leur aquifère s'effectue par la quasi totalité des calcaires du Jurassique supérieur contenus dans le bassin versant du Ternèze. Le régime karstique de ces sources et l'étendue de leur bassin versant leur confèrent une grande vulnérabilité aux pollutions.

Les aquifères les plus importants du bassin versant du Ternèze se situent dans les terrains crétacés supérieurs et tertiaires du synclinal de la pointe de la Galoppaz-Combe Noire. La plupart de ces sources sont déjà captées et assurent largement la consommation en eau potable des communes du bassin versant.

Les sources des terrains quaternaires sont également abondantes dans les éboulis et les dépôts glaciaires, mais leurs débits restent faibles.

Les aquifères du bassin versant du Nant d'Aillon sont essentiellement situés dans les calcaires urgoniens des massifs du Margéraz et du Colombier. Les exurgences qui en résultent présentent toutes des caractères karstiques définis par les propriétés physiques ou chimiques de leurs eaux. Il est donc également nécessaire, ici, d'insister sur la vulnérabilité de ces karsts dont certaines exurgences ont été captées pour l'alimentation en eau potable.

L'étude hydrochimique à l'échelle annuelle et à l'échelle d'une crue, nous a permis en outre de mieux connaître le fonctionnement des aquifères des sources de Fontaine Noire et d'Arbin.

L'étude hydrochimique des ruisseaux nous a également fourni une valeur approchée de l'érosion chimique sur les bassins versants du Ternèze ($250^t/an/km^2$) et du Nant d'Aillon ($360^t/an/km^2$).

CONCLUSIONS GENERALES

GEOLOGIE DU SECTEUR SUD-EST DU MASSIF DES BAUGES

=====

Dans notre étude géologique, nous avons successivement examiné la stratigraphie des formations du substratum, les formes tectoniques visibles dans notre secteur, ainsi que la géologie des terrains quaternaires.

- Stratigraphie rôle hydrologique :

Le rôle hydrologique des différentes formations a pu être défini grâce à l'analyse de la lithologie qui montre l'existence de deux niveaux aquifères importants. Ces deux niveaux aquifères sont représentés par les calcaires du Jurassique supérieur et par les calcaires urgoniens; ils sont séparés par un puissant ensemble de marnes et marnocalcaires imperméable.

Hormis ce rôle important, on remarque le rôle hydrologique secondaire, mais néanmoins subséquent, de la base des calcaires marneux du berriasien, lorsque les dispositions géologiques le permettent, des calcaires du valanginien peu développés dans notre secteur, et du sommet des marno-calcaires de l'Hauterivien.

Quant aux formations tertiaires, leurs possibilités aquifères sont liées principalement à leurs dispositions géologiques.

- Tectonique :

Le secteur que nous avons étudié se situe à la limite de deux domaines tectoniques distincts : à l'ouest, les "plateaux" ou flancs normaux des plis qui constituent de vastes dalles monoclinales où les réseaux karstiques sont bien développés (Mont Revard, Montagne des Banges, Semnoz, Margériaz) et à l'est, le domaine des massifs formés en général de synclinaux perchés (Colombier, Galoppaz, Arclusaz).

La forme des structures dans les massifs à soubassement de calcaires urgoniens, conditionne la direction et le sens des écoulements des eaux souterraines. Les grandes fractures affectant les massifs n'ont qu'un rôle secondaire.

La fissuration, à une échelle plus réduite, contribue par contre au développement et à l'extension des réseaux karstiques.

Cette fissuration, que nous avons étudiée sur le massif du Margé-riaz, fait apparaître quatre grandes familles de fissures :

- deux systèmes de fissures de distension d'orientation moyenne N 10°-30° et N 80°-100° très ouvertes,
- deux systèmes de fissures de cisaillement d'orientation moyenne N 60°-80° et N 120°-140°.

Lorsque la densité de fracturation devient plus importante, apparaît une nouvelle famille de fissures de direction N 40°-50°.

Cette étude de la fissuration nous a permis d'établir une carte des perméabilités équivalentes, que nous avons calculées à partir des données mesurées en surface. Les valeurs de ces perméabilités s'échelonnent entre 10^{-7} et 10^{-2} m/s et les plus fortes valeurs s'observent dans les systèmes de fissures N 10° - N 30°.

L'examen des tronçons de galeries du réseau karstique pénétrable de la Tanne aux Cochons fait apparaître, pour ce secteur, deux directions privilégiées dans le développement du réseau : N 10° et N 40°. Ces deux orientations sont comparables à celles mises en évidence lors de l'étude de la fissuration.

A la faveur de l'érosion, toute la bordure sud de notre secteur est constituée par une série de plis à soubassement de calcaires du Jurassique supérieur, qui plongent vers le Nord sous les structures crétacées du synclinal d'Aillon-le-Jeune et des Déserts et l'anticlinal du Margériaz. Ces structures jurassiques viennent former le rebord Sud et Est du massif de la Thuile.

Malgré leurs dispositions géologiques particulières (plongement des axes des plis vers le Nord), l'allure générale en synclinorium et les quelques accidents majeurs qui morcellent ce secteur, favorisent un écoulement des eaux souterraines vers la plaine de l'Isère au Sud, jusqu'aux sources d'Arbin. Les parties sommitales de ces calcaires du Jurassique supérieur (Tithonique) sont karstifiées, mais les nombreux lits marneux qui s'intercalent dans les niveaux inférieurs (kiméridgien) ont contrarié l'extension et un développement important d'un réseau karstique profond.

= Géologie du quaternaire :

Notre étude morphologique des terrains quaternaires glaciaires nous a permis de préciser les limites du glacier wurmien alpin sur notre secteur. Nous avons pu, également, avec une étude sédimentologique, caractériser les différents dépôts glaciaires et périglaciaires des vallées du Ternèze, de la Boisserette et de la Leysse et proposer, en conclusion de cette étude, la définition de quatre stades de stationnement du glacier wurmien alpin, lors de son retrait, sur la bordure Sud du massif des Bauges :

- le premier stade, très discret, est représenté par la moraine latérale des Pachouds et le cône de déjection des Barriers.

Dans les autres stades, plus marqués, on retrouve le dispositif moraines latérales, frontales et terrasses fluvioglaciaires. A ces dernières, sont quelquefois associés un ou des épisodes lacustres.

- le deuxième stade est représenté par les moraines latérales des Pachouds, Entremonts, les Poncets et les terrasses fluvioglaciaire et lacustre du Tiolet et de Puygrôs,
- le troisième stade est marqué par les terrasses fluvioglaciaires de Curienne, Le Noyer et Le Bois,
- le quatrième stade, par les moraines de la Combe de Mars et de "les Granges", ainsi que le faible épisode lacustre du Fornet.

L'encaissement de la vallée des Aillons et le mauvais état des affleurements sur ce secteur, ne nous ont pas permis de réaliser une étude approfondie des dépôts glaciaires.

Seules, les grandes lignes de l'évolution des phénomènes glaciaires dans cette vallée ont pu être dégagées.

HYDROGEOLOGIE

=====

= Les traçages :

Le multitraçage que nous avons réalisé dans le "synclinal" des Aillons nous a permis de préciser les limites des bassins versants des exurgences karstiques du Margérianz et du Colombier.

Compte tenu des résultats de ces traçages et de l'étude hydrogéologique en général, nous pouvons remarquer que la totalité du plateau du Margérianz constitue le bassin versant de l'exurgence du Pissieux, qui apparaît comme le seul et unique exutoire du massif. Les circulations souterraines s'effectuent soit directement vers le Nord, dans la combe des Biolles, soit vers l'Est, puis vers le Nord pour la zone plus méridionale du plateau. Le bassin versant que nous avons délimité a une surface de 17 km².

Le massif du Colombier est caractérisé par des écoulements simultanés vers le Nord (source de Leyat) et vers le Sud (Fontaine Noire, Faverges, Pré Paissard). Le bassin versant des exurgences de Fontaine Noire occupe la surface la plus importante du massif, avec 2,82 km².

Les systèmes karstiques urgoniens que nous avons étudiés, présentent des caractères semblables aux karsts de la bordure Ouest du massif des Bauges (Y. Lemordant - 1977) et du massif voisin de la Chartreuse (B. Talour - 1976). Les vitesses de transit des eaux souterraines sont très élevées dans des chenaux à écoulements libres, les dénivelés sont importants et les réserves sont faibles.

Nous avons également entrevu, par un traçage simple, la possibilité d'une liaison hydrologique entre le ruisseau du Chalet de la Cochette et la source de Pré Paissard.

L'expérience réalisée sur la bordure sud du massif de la Thuile, malgré son échec apparent, nous a permis de confirmer les relations hydrologiques entre le bassin versant du Ternèze et la plaine de l'Isère.

= Climatologie

L'étude climatologique durant l'année 1978 permet de remarquer que la pluviosité est semblable à celle d'une année moyenne pour la plupart des stations, sauf pour Aillon-le-Jeune où l'année 1978 a été excédentaire de 18%.

Les données journalières comparées de deux stations à même altitude (La Thuile - Aillon-le-Jeune), font apparaître le contraste pluviométrique entre la bordure et l'intérieur du massif des Bauges.

Les précipitations 1978 sur les bassins versants étudiés ont été de 1712 mm pour le Ternèze, 2100 mm pour le Nant d'Aillon au Villaret (contre respectivement 1722 mm pour le Ternèze et 1890 mm pour la période 1959-1978).

Compte tenu de cette situation particulière de la station des Aillons, il nous a été difficile de calculer un gradient altimétrique de pluviométrie. On remarque que, pour 1978 et les stations orientées WSW, ce gradient pluviométrie/altitude est de 83 mm/100 m et pour celles orientées E NE de 90 mm/100 m (en excluant la station d'Aillon-le-Jeune).

L'étude des températures nous a permis de déterminer un gradient altimétrique de température de 0,40°/100 m, bien inférieur à celui déterminé par Angot dans les Alpes (0,53°/100 m).

Le calcul de l'évapotranspiration, déterminé à partir de la pluviométrie et des températures, nous donne des valeurs comprises entre 25% et 32% des précipitations pour le bassin versant du Ternèze et entre 19% et 25% des précipitations pour celui du Nant d'Aillon.

= Hydrologie

L'étude des eaux de ruissellements nous a permis de connaître les débits moyens annuels et les hauteurs de lame d'eau écoulée; ces valeurs sont les suivantes :

Ternèze	: 0,502 m ³ /s	- 837 mm
Nant d'Aillon:	2,674 m ³ /s	- 1431 mm
Pissieux	: 1,030 m ³ /s	- 1839 mm

Tous ces résultats nous ont permis d'établir un bilan hydrologique pour l'année 1978. Ces bilans, qui se rapportent aux quatre bassins versants les plus importants que nous avons étudiés, sont :

Ternèze :

$$P = Q_r + E_{TR} + Q_c + W + (Q_F - Q_A)$$

100%	49%	28%	1%	22%
------	-----	-----	----	-----

soit un déficit de 22% ou de 220 l/s

Nant d'Aillon au Villaret :

$$P = Q_r + E_{TR} + (Q_F - Q_A)$$

100%	68%	22%	10%
------	-----	-----	-----

soit un déficit de 10% ou 396 l/s

Nant d'Aillon au Cimeteret :

$$P = Q_r + E_{TR} + (Q_F - Q_A)$$

100%	66%	22%	12%
------	-----	-----	-----

soit un déficit de 12% ou 290 l/s

Pissieux :

$$P = Q_r + E_{TR} + (Q_F - Q_A)$$

100%	86%	20%	- 6%
------	-----	-----	------

soit un excédent de 6% ou 67 l/s

Les écoulements extérieurs au bassin versant du Ternèze, ainsi mis en évidence, se produisent à partir des calcaires du Jurassique supérieur du Montgelaz, vers la vallée de l'Isère et les sources d'Arbin, et plus modestement dans les calcaires urgoniens vers la vallée des Aillons.

Quant aux résultats obtenus dans la vallée des Aillons, ils se situent dans la fourchette d'erreur généralement admise dans ce genre de calcul. Les apports et les fuites, s'ils existent, se compensent et ont des valeurs faibles.

Les apports peuvent provenir des calcaires urgoniens de la pointe de la Galoppaz; les écoulements vers l'extérieur du bassin versant du Nant d'Aillon sont susceptibles de se produire depuis les calcaires urgoniens de l'extrémité Nord du Mont Margéraz, vers la source du Lot du Bois, et depuis les calcaires du Jurassique supérieur du Mont Char-donnet vers la vallée du Chéran.

HYDROCHIMIE

=====

L'étude des caractères physicochimiques des sources du substratum dans le secteur étudié, a fait apparaître deux types d'aquifères prépondérants et bien caractérisés : les eaux issues des calcaires urgoniens et celles issues du tithonique.

Les autres sources importantes sont localisées dans les niveaux calcaires du tertiaire et surtout dans les éboulis qui garnissent abondamment les pentes des bassins étudiés.

Par l'étude de l'évolution des caractères chimiques lors des crues, nous avons tenté d'expliquer le fonctionnement des aquifères karstiques tithonique d'Arbin et urgonien de Fontaine Noire.

Le bilan hydrochimique, pour l'année 1978, a montré que le Ternèze a transporté 5000 tonnes d'éléments dissous, soit une charge spécifique de 270 T/km²/an et le Nant d'Aillon 22000 tonnes d'éléments dissous, soit une charge spécifique de 375 T/km²/an.

L'étude des apports atmosphériques nous a permis de déterminer l'érosion chimique de ces deux cours d'eau, soit 253 T/km²/an pour le Ternèze et 356 T/km²/an pour le Nant d'Aillon. Ces résultats sont donnés avec une précision de ± 20%, compte tenu de la méthode que nous avons employée.

CONCLUSION

=====

Malgré l'échec de certaines expériences durant notre travail, nous pensons, grâce à notre étude, réalisée sur le secteur Sud Est du massif des Bauges, avoir contribué à la connaissance de l'hydrogéologie régionale et des phénomènes de circulations souterraines dans les massifs calcaires.

Nous espérons également avoir démontré la vulnérabilité de certains des systèmes karstiques, dont les eaux sont utilisées pour la consommation courante et il paraît nécessaire d'attirer l'attention, même si le taux de pollution n'est que peu élevé actuellement, sur les risques de contamination qu'encourent ces systèmes peu ou pas protégés.

Sur un plan plus général, nous espérons avoir montré l'importance de la connaissance de la géologie régionale lors de notre étude hydrogéologique, mais également la nécessité de la réalisation de mesures hydrologiques et physicochimiques précises, nombreuses et systématiques pour la compréhension du régime des eaux souterraines, qui est conditionné par de très nombreux facteurs, mais dont le principal paraît bien être la fissuration des massifs calcaires, témoin fidèle de toute l'histoire géologique de la région.

-o-o-o-o-o-

A N N E X E S

- Analyses chimiques des précipitations
- Analyses chimiques des sources
- Analyses chimiques des ruisseaux

ANALYSES CHIMIQUES DES PLUIES

LA THUILE 1978

Date	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	Hauteur de P en mm
01.78	0,48	0,06	0,30	0,10	0,54	184
02.78	1,22	0,04	0,18	0,18	0,68	194
03.78	0,25	0,03	0,09	0,15	1,02	251
04.78	1,80	0,13	0,18	0,29	0,40	112
05.78	0,79	0,04	0,20	0,10	0,24	160
06.78	1,05	0,05	0,33	0,26	0,31	139
07.78	1,11	0,06	0,30	0,20	0,22	108
08.78	3,10	0,31	0,35	0,42	0,58	122
09.78	1,35	0,18	1,15	1,55	0,20	68
10.78	1,65	0,08	0,36	1,05	-	34
11.78	1,50	0,19	1,80	0,56	-	18
12.78	1,29	0,11	1,44	1,85	0,62	170

ANALYSES CHIMIQUES DES SOURCES

Source	Date	T °C	R Ω cm 18°C	Q l/s	pH	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l
LE BOIS N° 1	27.09.77	10,9	2200	1,5	7,1	137	2,43	1,32	0,06	1,19	2	414	1,37	0,090	0,04	2,51
	24.10.77	11,2	1675	0,1	7,1	139	2,43	2,08	0,11	2,42	2	420	3,05	0,040	0,04	
	25.11.77	10	1875	2	7,3	126	1,46	1,59	0,31	2,06	0	383	8,02	0,099		
	03.01.78	9,4	1852	1,7	7,1	123	1,94	1,28	0,09	1,66	2,5	373	3,10			
	07.03.78	6,5	2328	3	7,3	106	1,21	1,88	0,06	3,65	0,0	321	2,01	0,008	0,03	
	09.04.78	6,5	2564	1	7,45	103	0,48	1,66	0,06	1,52	1	315	1,11		0,02	
	12.05.78	7,1	2102	3,5	7,2	103	3,89	2,05	0,18	1,72	0,0	340				
	11.07.78	9,8	1956	2,5	7,3	110	4,37	1,72	0,20	0,48	3	344				
	23.08.78	10,4	1824	0,4	7,35	131	3,16	1,65	0,23	0,81	0,5	404				
	04.10.78	10,7	1784	0,1	7,3	133	4,13	1,98	0,27	0,51	2	411				
	06.11.78	9,6	1731	0,1	7,4	136	4,37	2,09	0,23	0,50	1	417	7,05	0,040	0,01	
	LA TOUVIERE N° 2	27.09.77	9,8	1568			112	3,40	1,61	3,08	3,62	5,5	328	1,50		
24.10.77		10,5	1933	2	7,1	105	0,73	1,88	6,35	7,24	10	315	0,27	0,027	0,73	
25.11.77		9,5	1879	10	7,1	120	0,73	1,90	1,90	3,78	7	338	1,10			
29.12.77		9,2	1922	10	7,3	118	1,22	1,60	1,20	2,93	7	339	1,85		0,04	
07.03.78		8,7	2024	50	7,3	115	2,18	1,90	4,20	6,55	3	350	1,60		0,10	
09.04.78		8,7	2077	50		110	2,43	1,54	2,90	2,96	6	337				
12.05.78		7,3	1991	57		105	2,91	1,56	1,90	2,23	3	328			0,06	
04.07.78		8,9	1981	4,5	7,35	107	0,97	1,83	3,42	1,93	7	329				
23.08.78		9,4	1646	1,5	7,4	111	3,64	1,81	2,28	2,18	8	334	3,00	0,020	0,16	
04.10.78		10	1750	1,5	7,3	109	3,40	1,88	3,02	1,80	8	339	3,02	0,090	0,03	
LE ROCHER DU GROS MOLARD N° 3	25.11.77	6,9	4150	1	7,6	53,3	3,16	0,93	0,31	0,36	4	170	1,11			0,97
	03.01.78	5,7	4259	2,5	7,75	51,7	1,94	0,32	0,29	0,50	5,5	158	1,77	0,003		
	07.03.78	6,7	4395	4	8,0	50,5	2,91	0,29	0,07	0,47	0,0	163	0,58			
	09.04.78	6,9	4202	1,8	8,0	51,7	2,43	0,30	0,07	0,50	0,0	167				
	12.05.78	7,1	4353	3		48,5	3,40	1,03	0,23	0,24	0,0	164				
	11.07.78	9	3663	1,2	7,9	56,9	3,16	1,39	0,17	0,30	4	184	0,72	0,002	0,00	
	23.08.78	8,9	3603	0,1	7,9	52,0	5,84	2,81	0,80	0,26	6,5	188	1,30	0,000	0,00	
	04.10.78	9	3664	0,2		56,9	3,50	1,80	0,67	0,39	4	184				
08.12.78	7,2	3995	0,7	7,9	52,9	1,80	0,28	0,09	0,24	1,5	160	0,42	0,000			

Source	Date	T	R	Q	p H	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻	SiO ₂
		°C	Ω cm 18°C	l/s		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
LE CROUZAT N° 4	27.09.77	10,1	2790	1,1	7,6	63,3	7,54	1,19	0,36	0,69	5	212	0,75			2,47
	24.10.77	10,4	2794	0,7		62,1	8,26	1,09	0,18	0,94	5	218	1,37			
	25.11.77	9,3	3032	5	7,7	71,3	5,13	0,51	0,15	0,47	1,5	231	1,50	0,002		
	29.12.77	9,2	3265	5,4	7,9	64,9	6,80	0,54	0,12	0,54	6,5	218	1,33			
	07.03.78	8,1	3694	4	7,9	56,9	5,59	0,50	0,13	0,72	2	195	0,66	0,000	0,000	
	09.04.78	8,1	3702	4,5	7,9	58,5	5,34	0,60	0,22	0,90	5	196	1,27	0,000		
	12.05.78	8,3	3718	3,5		56,9	6,07	0,87	0,24	0,20	2	199				
	11.07.78	10,2	2976	1,9	7,7	63,7	6,80	0,64	0,34	0,74	1	218	1,20	0,009		
	23.08.78	10,4	3321	0,5	7,6	65,3	8,75	0,86	0,19	0,32	4	199				
	04.10.78	10,6	3122	0,35	7,9	65,3	7,54	0,82	0,30	0,35	6	226	1,10			
26.11.78	9,6	3329	0,7	7,9	58,1	9,00	0,41	0,34	0,35	5	207	1,02	0,004	0,000		
BOISSET N° 6	27.09.77	13,4	2050			70,2	28,21	5,46	1,20	2,14	48	286	0,89			4,25
	24.10.77	13,3	2203	1,1	7,7	70,5	26,75	4,60	1,08	2,67	47	292	2,35	0,003	0,12	
	25.11.77	12,9	2400	2	7,5	70,9	26,75	4,80	1,05	2,00	54	289	0,65		0,11	
	29.12.77	12,8	2032	2,2	7,6	70,5	28,00	5,80	1,09	3,90	47	284				
	07.02.78	11,7	2313	4	7,9	71,7	22,12	6,20	1,4	4,97	48	277				
	08.03.78	12,5	2841	5	7,8	68,1	23,33	5,00	1,0	3,11	40	269	3,09	0,001		
	15.05.78	12,8	2178	4		66,1	25,18	6,64	1,59	1,88	54	277	3,12	0,007		
	15.07.78	12,9	2110	2,2		73,9	26,02	6,70	1,61	2,40	52	283	4,22			
	25.09.78	12,8	1900	1,5		74,9	27,23	7,25	2,05	3,08	60	289	3,44	0,017		
	20.10.78	13,3	2000	1	7,7	73,7	29,42	5,95	1,92	1,89	57	287	1,70			
20.12.78	13,0	2070	0,9		76,9	26,26	5,05	1,86	1,82	56	285					
MARTINET N° 1 N° 7	22.03.78	6,2	3080	2,5	7,6	68,1	0,24	1,48	0,62	0,78		220				
	30.06.78	6,8	2962	3	7,5	70,1	0,49	1,25	0,59	0,80		226				
	07.11.78	6,7	2554	2	7,6	74,9	0,24	1,61	0,76	0,60		228				
	26.12.78	6,6	2979	2		72,9	1,21	1,76	0,62	0,66		227				
MARTINET N° 2 N° 7	22.03.78	7,1	3120	2,6	7,8	70,9	3,40	3,22	0,77	0,97		220				
	30.06.78	7,7	3454	3,2	7,9	60,1	3,16	2,20	0,61	1,42	2	183				
	07.11.78	7,5	3271	1,7	7,7	62,1	4,13	2,25	0,59	0,90	4	205				
	26.12.78	7,4	3243	2,8		64,5	2,67	2,00	0,57	1,29	0	206				

Source	Date	T	R	Q	p H	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ⁻	SiO ₂
		°C	Ω cm 18°C	l/s		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
MARTINET (ruines) N° 8	11.02.78	7,4	5103	5,5	-	44,9	5,59	1,05	0,26	0,87	1	166				
	12.05.78	7,9	4820	15,0	7,8	48,6	4,37	0,97	0,23	0,70	0	175				
	22.08.78	8,9	4686	7	7,9	53,3	4,86	1,07	0,24	0,62	2	181				
	02.10.78	9,3	3693	5	7,8	53,3	5,84	1,05	0,30	0,42	1	187				
	07.11.78	9,4	3573	4	7,9	55,3	7,53	2,09	0,36	0,64	2	189				
	26.12.78	8,2	4297	5	8,0	49,7	5,59	0,83	0,33	0,68	0	174				
PISSIEUX N° 9	28.11.77	7,8	4005	150	7,7	67,7	0,73	0,48	0,16	1,08	4	204	0,52			1,57
	02.01.78	7,1	4143	302	7,5	57,3	0,48	0,43	0,44	0,72	2	173	1,76	0,000	0,64	
	14.01.78	7,9	3900	183	8,0											
	23.01.78	7,9	3928	2102	8,1	58,5	0,24	0,71	0,26	0,54		178				
	18.01.78	7,4	5239	3023	8,0	51,3	0,49					156				
	25.02.78	7,5	5008	2827												
	06.03.78	7,6	4520	1570	8,1	52,1	0,97	0,33	0,06	0,58	1	161	0,66			
	19.03.78	7,8	4495	901	7,5	58,1	1,70				6	178				
	10.04.78	7,2	4815	1556	8,0	48,9	0,49	0,29	0,07	0,74	4	149				1,40
	07.05.78	6,9	5286	3560	7,7	42,5	0,73	0,53	0,13	0,26	3	135				
	13.05.78	6,7	5375	2922		40,1	0,43	0,30	0,14	0,48		128				
	27.05.78	6,5	6063	3000	8,1	36,5	0,00	0,33	0,19	0,48	0	118				
	03.06.78	5,7	6507	2730	8,2	33,7	0,00	0,24	0,14	0,16	0	115				
	24.06.78	6,8	5204	2300		44,8	0,12	0,41	0,14	0,16	0	134				
	01.07.78	7,0	4437	1921		49,7	0,00	0,30	0,19	0,28	0	150				
	04.07.78	7,2	4218	1499		56,1	0,00	0,97	0,20	0,30	2	171				
	15.07.78	7,2	3970	284		57,3	0,72	0,49	0,22	0,00	4	176				
	12.08.78	7,3	3913	745		59,3	0,00	0,68	0,19	0,74	1	181				2,05
	26.08.78	7,5	3857	62		56,5	2,18	0,74	0,21	0,84	0	176				
	02.09.78	7,5	3932	47		59,3	1,46	0,66	0,18	0,38	0	178				
	16.09.78		3936	38		58,5	1,21	0,56	0,18	0,30	1	177				
	02.10.78	7,6	4127	36		55,3	1,21					170				
	11.10.78	7,5	4708	30		50,9	1,21	0,50	0,18	0,83	2	157				
20.10.78	7,5	4548	46		51,7	3,27	0,55	0,23	0,64		157					
04.11.78	7,6	4269	15		54,1	1,7	0,85	0,33	1,03	3	155					
27.11.78	7,5	4207	15		54,1	1,22	0,82	0,26	1,13	1	164					
19.12.78	7,7	3663	640		59,3	0,48	1,36	0,41	1,80		174					
29.12.78	7,2	4839	5020		45,2	0,72	0,36	0,21	0,29	0	134					
30.12.78	6,9	4627	3700		48,9	0,72	0,46	0,26	0,15	0	146					

Source	Date	T °C	R Ω cm 18° C	Q l/s	p H	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l
LE LOT DU BOIS N° 10	14.12.77	9,2	3397	25	7,8	64,1	1,22	1,20	0,27	0,32	4	199				1,47
	29.12.77	9,1	3231	23	7,8	68,9	0,24	0,31	0,04	0,65		210	1,55			
	23.01.78	9,0	3401	19	8,1	70,9	0,48	0,69	0,14	0,54	0	222				
	06.03.78	9,0	3977	27	8,0	60,1	0,24	0,31	0,67	0,76	1	182	0,22	0,000	0,00	
	19.04.78	9,0	3940	25	7,7	66,4	0,48	0,48	0,22	3,71		193				
	06.05.78	8,7	3478	18	7,8	64,9	0,97	0,64	0,10	0,54	0	201				
	18.07.78	9,1	2916	17		66,5	7,04	0,55	0,17	0,19	0	230				
	22.08.78	9,3	3091	6	7,7	74,9	1,94	0,74	0,12	0,35	1	225				
	05.10.78	9,3	3009	3	7,5	72,8	3,16	1,13	0,18	0,61	4	226	0,32	0,000		
	04.11.78	9,3	3062	1,7	7,9	74,1	4,86	1,92	0,24	0,94	4	229				3,12
19.12.78	9,1	3895	7	8,0	60,9	2,92	2,42	0,28	1,07	6	195	0,47	0,000	0,00		
LEYAT (Scierie) N° 11	07.05.78	5,4	5380	67		39,3	0,72	0,20	0,07	0,40	1	122				
	03.06.78	5,2	6100	75	8,0	36,5	0,00	0,32	0,09	0,22	0	112				
	15.07.78	6,1	5875	52		39,3	0,24	0,37	0,21	0,30	0	118				
	13.11.78	6,5	4525	1		51,3	1,22	0,70	0,20	0,50	3	159				
	19.03.78	5,8	4630	21	7,9	48,5	0,97	0,40	0,10	0,30	1	151				
COMBAVEYRE N° 12	28.01.78	6,8	2840	3	7,9	57,3	9,24	4,22	0,67	0,43	22	220	1,30			4,28
	16.03.78	6,4	3020	3,5	7,7	57,7	8,51	5,22	0,80	0,42	18	200				
	19.05.78	6,6	3125	5,5	7,9	55,3	8,80	5,60	0,77	0,72	20	205	1,90	0,000		
	22.08.78	6,9	2925	3	7,9	60,5	9,72	5,36	0,79	0,44	20	214	1,02	0,000		
	05.10.78	7,0	2760	2	7,8	62,9	11,18	4,91	0,73	0,30	26	224				5,45
	07.11.78	6,9	2753	1,9	7,9	63,3	11,40	5,40	0,80	0,50	25	228	2,26	0,000		
FAVERGES N° 13	28.04.78	6,5	4075	13	7,9	48,1	3,90	0,30	0,10	1,00	0	165	1,42			
	27.05.78	6,5	4400	17		46,9	3,20	0,28	0,20	0,20	0	148				
	18.07.78	6,6	4140	14	7,8	47,7	3,60	0,76	0,25	0,10	0	155				
	22.08.78	6,9	4179	10	7,8	47,3	5,35	0,84	0,29	0,60	1	157				
	05.10.78	7,0	4190	1,5	7,9	49,3	4,37	0,82	0,26	0,80	0	160				
	07.11.78	7,0	4190	0,5	7,9	48,1	6,12	1,20	0,30	0,40	5	160				
PRE PAISSARD N° 14	28.04.78	7,3	4380	16	8,1	51,3	2,40	0,50	0,12	0,60	5,5	172	2,43			
	27.05.78	7,2	4620	20	8,0	45,2	3,00	0,70	0,31	0,70	2	153				
	18.07.78	7,4	4490	15	8,0	47,7	3,90	0,83	0,25	0,19	0	155				
	22.08.78	7,6	4168	13	8,0	46,1	6,10	1,03	0,26	0,60	3	155				
	05.10.78	7,4	4241	8,5	7,9	47,7	4,10	0,87	0,24	0,80	0	157				
	07.11.78	7,2	4218	7,8		47,7	6,10	1,70	0,30	0,30	5	157				

Source	Date	T °C	R Ω cm 18° C	Q l/s	p H	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l
FONTAINE NOIRE N° 15	28.11.77	8,4	3856	90	7,7	55,7	6,07	0,57	0,12	0,79	5	187	1,99		0,08	2,28
	29.12.77	7,6	4162	67	7,8	50,9	2,43	0,28	0,18	0,36	0	167	0,30			
	23.01.78	8,1	3821	243	7,9	51,3	6,32	1,64	0,41	0,30		192				
	06.03.78	7,6	4294	158	8,0	54,1	2,18	0,37	0,14	0,72	0	171	0,89			
	19.03.78	8,1	4025	263		53,3	4,37					182				
	10.04.78	7,6	4397	148	7,9	51,7	2,18	0,29	0,13	0,21	4	163	0,58		0,07	
	06.05.78	6,9	4620	332	7,9	49,7	0,48	0,33	0,27	0,45	2,5	150				
	10.05.78	7,0	4536	341		47,3	1,43	0,32	0,23	0,20	1	161				
	19.05.78	6,7	4884	553		44,5	0,72	0,32	0,26	0,24	0	139				0,50
	27.05.78	6,9	4696	228	8,0	45,5	1,21	0,45	0,36	0,54	0	141				
	31.05.78	6,9	4593	206	8,0	44,9	1,94	0,37	0,34	0,54	0	146				
	24.06.78	7,0	4190	201		49,7	2,67	0,79	0,46	0,17		159				
	01.07.78	7,5	4157	200		50,1	3,16	0,80	0,50	0,17	0	161				
	18.07.78	8,2	3757	150		54,1	3,65					173				
	18.08.78	8,4	3856	150		53,3	4,13	1,34	0,28	0,42		178				
	22.08.78	8,6	3751	101	7,8	55,7	4,13	1,45	0,21	0,45	0	184				
	02.09.78	8,9	3754	82	7,9	52,9	7,05	1,42	0,34	0,38	1	191				
	05.10.78	8,6	3699	111	7,8	50,5	6,80	1,45	0,32	0,97		185				
	20.10.78	9,3	3643	42		52,1	8,90	0,95	0,36	0,43		190				
	07.11.78	9,4	3620	19	8,0	52,1	9,72	2,13	0,43	0,68	1	194	0,77	0,000	0,00	
08.12.78	9,5	3719	16		53,3	8,90	2,01	0,40	0,71		190				3,42	
19.12.78	8,7	3890	191		48,9	6,80	1,68	0,38	0,98	0	172					
29.12.78	7,0	4652	332	8,0	45,7	2,91	0,83	0,24	1,06	3	138	0,56	0,000	0,03		
COTES DE MARLE N° 16	28.11.77	6,1	3334	8	7,7	66,5	1,94	0,96	0,34	0,61	6	206	0,58			
	14.05.78	5,6	3722	22		61,3	3,64	0,69	0,29	0,43	0	201				
	16.07.78	6,0	3250	15	8,1	62,9	3,64	1,13	0,49	0,22	0	203				
	22.08.78	6,2	3473	8,7	7,5	62,5	3,64	1,35	0,46	0,38	3	206				
	11.10.78	6,1	3354	7	7,9	65,1	3,16	1,38	0,49	0,42	5	207				
	13.11.78	6,1	3276	4,5	7,6	65,7	1,70	2,29	0,59	0,43	4	204				
	09.12.78	6,0	3220	2,8		66,1	3,16	2,18	0,62	0,50	2	209				
PICHARD N° 1 N° 17	27.09.77	6,8	3207	2		68,0	1,95	0,93	0,39	1,01	2	206				
	24.10.77	6,8	2773	12	7,9	69,0	1,70	0,42	0,18	0,65	3,5	227	1,77			
	06.03.78	6,0	3584	5	7,8	64,5	1,70	1,00	0,61	0,85	0,7	195				
	09.04.78	6,4	3630	5	7,7	63,7	1,21	0,54	0,22	0,86	4	193				
	15.05.78	6,3	3619	8		61,3	1,21	0,64	0,31	0,33	2	194				
	26.11.78	7,0	2740	1,8		70,1	2,91	0,67	0,28	0,42	3	225	1,90			

Source	Date	T °C	R Ω cm 18° C	Q l/s	p H	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l
PICHARD N° 2 N° 17	27.09.77	7,8	3157	3		68,2	3,65	1,23	0,48	0,87	2	214	0,88			
	24.10.77	8,0	2928	2	7,7	81,4	5,10	0,83	0,36	0,44	4	223	0,90	0,000	0,09	
	28.11.77	7,1	3322	3	7,6	78,6	2,18	0,72	0,25	0,92	5	221	1,24			
	09.03.78	6,2	3488	4	7,6	65,3	2,18	0,67	0,21	0,61	1	207	0,79	0,500		
	09.04.78	6,0	3585	4	7,8	63,3	2,18	0,60	0,19	0,39	3	179				
	15.05.78	6,4	3453	3,5		61,7	3,88	1,36	0,34	0,46	1	209				
	11.07.78	7,4	2993	2,8	7,9	59,7	7,53	0,97	0,40	0,00	0	213				
	23.08.78	6,8	2963	2	8,0	65,7	7,78	1,30	0,29	0,10	2	223				
	04.10.78	7,3	3018	1,6	7,7	70,54	3,89	1,19	0,40	0,48	0	232	1,20	0,030		
	26.11.78	6,9	3292	1,2	7,8	65,7	5,10	1,39	0,49	0,25	1	219				
LES FONTANETTES N° 18	27.09.77	6,7	3279	7		73,4	2,19	1,19	0,36	0,69	1,5	225	0,22			
	24.10.77	7,3	2819	14	7,5	80,9	4,36	1,27	0,25	1,08	4	248	2,08			
	28.11.77	6,0	2912	8	7,7	79,0	1,46	0,77	0,22	0,54	0	240	0,49	0,090		
	09.03.78	5,2	3052	10	7,5	72,9	0,97	0,68	0,19	0,83	1	221	0,76			
	09.04.78	5,7	3266	7		72,5	0,72	0,59	0,15	0,79	7	218				
	15.05.78	5,7	3313	12	7,5	64,5	1,45	0,69	0,28	0,11	2	208				
	11.07.78	6,5	2862	5,5	7,7	68,9	4,86	0,92	0,34	0,30	4	229				
	23.08.78	6,8	2938	5,5	7,9	72,9	2,43	1,40	0,43	0,29	2	229				
	04.10.78	7,2	2779	5	7,6	82,6	1,46	1,60	0,40	0,10	1	250				
	06.11.78	6,6	2898	1	7,8	74,2	4,62	2,09	0,49	0,35	0	240				
COMBE NOIRE N° 19	25.11.77	7,5	3625	12	7,7	61,3	3,88	0,63	0,24	0,18	4,5	196	1,08			
	03.01.78	7,4	3617	19	8,0	58,5	3,98	0,66	0,24	0,50	5,5	193	1,77			
	07.03.78	7,0	4314	21	8,05	56,5	4,13	0,51	0,12	0,83	0	185	0,75	0,003	0,001	
	09.04.78	7,5	4007	16,5	8,0	55,3	3,16	0,46	0,12	0,39	3	179				
	12.05.78	7,0	4401	18,5		48,5	6,32	0,51	0,26	0,20	1,5	167				
	11.07.78	7,4	3742	17	8,0	56,0	4,61	0,76	0,28	0,10	1	195	1,40			
	23.08.78	8,4	3727	10	7,9	54,5	7,54	1,32	0,29	0,22	2	188				
	04.10.78	7,2	3722	7,5	7,75	54,1	4,62	1,33	0,36	0,90	3	181	1,29	0,002		
06.11.78	7,6	3641	4,5	7,9	52,5	7,78	1,75	0,41	0,22	0	188					
LA RONGERE N° 20	27.09.77	10,8	2568			84,2	7,78	3,01	0,22	0,78	11	273	0,93		0,030	
	24.10.77	10,3	2018	1,5	7,6	85,0	8,75	3,70	0,26	0,97	14	280	1,20		0,470	
	25.11.77	6,3	2949	3	7,7	79,3	7,04	6,80	0,23	0,32	11	261	0,75			
	03.01.78	5,6	2831		8,0	78,6	7,04	2,90	0,18	0,72	12,5	257	1,33			
	07.03.78	5,5	2964	4,5	7,9	78,5	5,60	2,30	0,19	0,86	10	259	0,31	0,000	0,000	
	12.05.78	8,4	2725	2,5		74,4	7,53	2,74	0,37	0,37	11,5	262	2,43	0,090	0,010	
	11.07.78	11,1	2636		7,8	63,7	12,39	2,79	0,37	0,30	10	256				

Source	Date	T °C	R Ω cm 18° C	Q l/s	p H	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l
LA RONGERE N° 20 (suite)	23.08.78	11,4	2518		7,9	74,5	13,30	3,20	0,29	0,40	7	273	2,20			
	04.10.78	10,3	2441	1,5	7,8	80,9	9,00	3,14	0,34	0,13	10	276	1,50	0,009	0,020	
	06.11.78	9,1	2232	0,8	7,9	82,5	9,73	3,49	0,39	0,22	12,5	272	1,40	0,002	0,000	
ARBIN N° 21	24.10.77	11,5	1986	55		83,8	12,20	7,70	0,64	1,60	15,5	304	1,50	0,060	0,003	
	25.11.77	10,9	2316	80	7,4	101,8	13,64	2,12	0,64	1,12	8	328	6,50	0,060		
	29.12.77	10,9	2292	120	7,5	87,7	10,21	4,50	0,48	1,19	10,5	285	1,80	0,000		1,60
	07.02.78	11,0	2494	205	7,7	84,2	7,80	4,40	0,69	1,18	13	285	0,44			
	08.03.78	10,4	2587	520	7,5	78,2	7,80	3,50	0,49	1,21	11	264				
	13.04.78	10,1	2800	510	7,1	74,5	7,60	2,90	0,54	1,44	9	256				
	15.05.78	10,3	2715	340	7,1	74,4	8,50	1,90	0,49	0,69	6	258	1,10	0,030		1,05
	01.06.78	10,9	2347	160	7,7	77,4	9,20	4,20	0,89	1,48	10	287	4,40	0,068	0,009	1,25
	23.06.78	11,1	2200	50	7,4	80,5	10,10	5,20	0,77	1,10	7	290				
	02.07.78	10,8	2491	210		74,5	9,90	4,60	0,67	0,77	7	269	0,30			
	07.08.78	11,3	1922	35		80,2	11,18	9,40	0,56	1,06	17,5	305				
	08.08.78	10,8	2360	805	7,4	70,5	9,97	5,40	0,62	0,79	11,5	265	0,90			2,15
	19.08.78	11,1	2250	40	7,5	82,2	10,45	6,70	0,69	0,90	13	294	0,40			0,80
	03.10.78	11,4	2238	22	7,3	82,2	12,40	5,74	0,90	0,40	16	302			0,014	2,80
20.10.78	11,4	2182	19,5		81,0	13,37	6,20	0,99	0,80		305					
06.11.78	11,4	2210	15,5	7,4	80,6	14,83	6,11	0,99	0,70	18,5	303	0,50		0,020		
16.12.78	11,2	2279	50		63,3	19,21	6,38	0,96	1,40		280					
29.12.78	11,4	2300	155	7,5	81,4	9,24	4,35	0,89	1,87	12	289	0,40		0,000	2,90	
FERME DE LOURDENS N° 22	27.09.77	12,7	2150			71,4	19,94	1,91	0,70	1,38	19	279	1,06			
	24.10.77	12,7	2154	3	7,6	69,7	20,66	2,11	0,60	1,33	20	272	1,46			
	25.11.77	12,4	2335	10	7,5	74,5	16,53	1,44	0,57	2,75	18	269	3,08	0,017		
	29.12.77	12,5	2304	10	7,5	74,4	18,23	1,92	0,58	1,57	19	278				
	07.02.78	12,0	2702	15	7,7	68,5	13,61	1,70	0,65	2,69	20	251				
	05.04.78	12,3	2230		7,6	72,5	16,53	1,82	0,56	1,33	29	279	1,10	0,000		
	15.05.78	12,5	2277	5,5	7,5	68,9	20,17	1,97	0,79	1,59	23	289	4,43	0,013	0,040	
	26.07.78	12,5	1930	4	7,5	98,6	23,10	2,43	0,82	1,54	16	300	1,00	0,000	0,000	
	28.08.78	12,5	2250	5,5	7,7	72,1	17,51	2,06	0,73	1,30	13	283	0,22	0,000		
	03.10.78	12,6	2286	3,3	7,4	70,1	19,94	1,97	0,75	1,40	18	283				2,48
06.11.78	12,6	2290	2,4	7,5	68,5	21,64	2,33	0,82	0,92	20,5	281					
LOURDENS N° 23	27.09.77	11,6	2802			65,7	12,65	1,76	0,57	1,52	16,5	237	0,50			
	24.10.77	11,6	2891	4,4	7,7	65,3	13,12	2,11	0,60	1,84	18	235	1,43			2,20
	25.11.77	11,4	2850	12	7,6	66,9	12,16	2,00	0,55	0,81	19	243	0,40			
	29.12.77	11,6	2617	15	7,9	68,5	13,85	1,83	0,49	0,94	15	245				

Source	Date	T °C	R Ω cm 18° C	Q l/s	p H	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l
LOURDENS N° 23 (suite)	07.02.78	11,5	2649	17	7,45	68,5	12,64	1,79	0,63	1,23	18	250				
	08.03.78	11,4	2824	27	7,7	64,1	12,16	1,65	0,51	1,19	16	234	0,25			
	15.05.78	11,4	2660	16		65,3	13,12	1,88	0,67	1,78	17	253	3,98			
	26.07.78	11,5		9	7,65	62,5	15,07	2,15	0,67	1,03	13	249	0,22			
	28.08.78	11,6	2774	7	7,7	64,5	13,86	1,88	0,59	0,80	10	233				
	03.10.78	11,5	2876	5	7,3	63,7	14,34	2,03	0,61	1,08	20	238				
	06.11.78	11,6	2855	3,9	7,6	60,9	16,05	1,93	0,66	0,98	16	240				
CHALET DE L'ALLIER N° 24	14.05.78	5,9	3560	4,5	7,8	67,3	1,70	1,22	0,53	0,58	0	200				
	24.11.78	6,8	3350	1,4	7,9	68,1	2,91	1,41	0,69	0,50	3	208				
DAUBE N° 25	29.03.78	7,4	2869	2	7,55	80,9	0,72	0,33	0,23	0,54	1	248				
	30.06.78	7,4	3015	4	7,5	75,4	0,49	0,27	0,15	0,82	2	231				
	07.11.78	7,9	2600	0,5	7,8	85,0	0,97	0,62	0,52	1,03	1	252				
LES FOLLIETS N° 26	03.01.78	6,4	3459	10	7,85	64,5	4,13	0,50	0,13	0,76	6	204	2,40			
	13.05.78	6,1	3381	8		62,5	3,64	0,64	0,26	0,40	4	207	1,20			
	18.07.78	7,2	3160	4	7,7	70,5	4,13	1,13	0,25	0,29	2	226	2,15			
	22.08.78	7,4	2958	1,3	7,8	70,1	5,11	1,56	0,22	0,40	4	233	2,60			
	25.11.78	6,9	2854	0,8	7,9	72,1	5,11	1,63	0,32	0,50	4	240	2,18			
ST BLAISE N° 27	03.01.78	5,9	3217	5	7,95	72,5	1,45	0,42	0,13	0,27	1,5	222	1,88			
	13.05.78	5,5	3342	6		66,1	0,72	0,87	0,23	0,20	0	210	1,22			
	18.07.78	6,9	3073	1	8,0	75,3	1,70	0,60	0,19	0,30	0	234	1,57			
	22.08.78	6,9	2778	0,5	7,65	78,6	2,19	0,97	0,19	0,42	0	245	1,46			
	05.10.78	6,1	2611	0,15	7,8	84,6	3,16	0,82	0,26	0,82	1	265	1,48			
25.11.78	6,0	2540	0,1	7,7	87,0	3,40	0,80	0,22	0,90	1	275	1,69				
PENON N° 28	28.11.77	7,4	2879	0,9	7,6	97,8	3,64	0,50	0,10	1,41	1	298	1,02	0,000		3,28
	29.12.77	6,3	3667	7	8,0	70,5	6,07	0,51	0,42	0,18	1,5	224	1,33			
	13.05.78	5,6	3181	8		64,5	5,10	0,66	0,33	0,46	0	219	0,91			
	18.07.78	7,4	3093	1,7	8,05	67,7	7,53	0,92	0,31	0,30	0	238				
	22.08.78	7,1	2915	1,2	8,0	72,5	6,80	1,37	0,29	0,19	0	249				
	05.10.78	7,3	2861	0,8	7,9	74,2	6,81	1,28	0,32	0,98	1	250	0,52			
	07.11.78	6,3	2412	0,5		73,7	6,32	2,41	0,39	0,47	4	245				
LES GINETTS N° 29	03.01.78	6,4	2685	1	7,7	80,2	5,83	0,78	0,28	0,54	7,5	264	1,40			
	25.11.78	7,0	2321	0,1	7,9	86,2	6,07	1,42	0,27	0,95	4	281	1,28			

ANALYSES CHIMIQUES DE LA SOURCE MINERALE DE MORION - N° 5

Date	T °C	R cm 18° C	Q l/mm	p H	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l	CO ₃ ⁻⁻ mg/l	Fe mg/l
22.08.77	15,2	875		8,5	2,81	0,97	323	1,59	17,6	149	754	1,1	0,000	0,000	7,9	22,8	0,07
27.09.77	11,2			8,6	4,80	0,97	309	1,62	21,5	170	750	0,44	0,050	0,100	3,31	22,8	0,29
24.10.77	10,9	684	0,25	8,7	2,40	2,68	380	1,12	23,2	175	755	1,06		0,050	7,35	27,6	0,17
25.11.77	5,3	661	0,2	8,65	10,42	4,13	290	1,21	15,8	110	710	0,88		0,030	7,5	31,2	0,13
10.05.78	8,4	797	0,5	8,5	11,22	6,07	304	2,28	12,49	140	637	1,76		0,100	5,75	16,8	0,13
04.07.78	11,3	697	0,1	8,7	0,00	2,91	445	1,80	17,73	135	881				7,42	40,8	0,40

Ruisseau	Date	T °C	R Ω cm 18° C	Q l/s	p H	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l	
TERNEZE N° A	22.08.77	13	2592	64	8,03	78,6	6,08	2,82	1,63	1,70	8,5	244	4,02			4,95	
	27.09.77	13,1	2678	104		75,8	7,05	2,90		2,09	4,0	241	4,28		0,25	4,56	
	24.10.77	11	2450	1827	8,3	77,3	5,83	6,80	6,50	3,25	14,5	250	3,94	0,050		6,50	
	25.11.77	4,7	2350	786	7,95	83,0	5,11	2,90	2,20	2,73	5,5	266	1,84			2,85	
	29.12.77	5	2637	747	8,15	82,3	4,13	2,30	1,20	2,57	8,0	257	2,43		0,14	5,45	
	18.02.78	4,5	3073	2367	8,1	71,7	0,72	2,80	1,00	3,67	2,0	221	0,84	0,003	0,09	2,65	
	07.03.78	5,2	2960	901	8,3	75,8	3,40	1,60	1,00	1,88	6,5	234	1,77	0,005	0,18	4,20	
	21.03.78	3,6	3312	2906		60,5											
	29.03.78	6,7	3420	2135		58,5											
	09.04.78	8,3	3077	670	8,0	70,1	4,13	2,70	1,40	2,71	9,5	232	0,89		0,18	4,20	
	06.05.78	9,4	3389	901	8,1	62,1	3,88	3,46	0,99	1,70	7,0	207	1,55		0,10	2,90	
	28.06.78	10	2827	180		69,3	5,59	3,65	1,60	1,25	6,0	229	5,97	0,003	0,17	2,90	
	23.08.78	13,2	2849	82	8,2	75,8	6,57	5,30	1,40	1,26	7,0	246	2,88	0,009	0,15	2,55	
	02.10.78	7,1	2918	46	7,8	70,5	5,35	4,10	2,80	2,27	5,0	228	3,08		0,10	3,50	
	23.10.78	7,2	2679	46		80,9	6,08	13,16	3,92	1,93	6,0	261	1,77		0,08	4,10	
	04.11.78	4,8	2518	43	7,8	79,8	7,30	10,30	4,58	2,40	10,0	260	3,54	0,075	0,42	5,20	
	08.12.78	2	2357	46	7,9	80,6	6,32	10,31	5,73		11,0	256					
	29.12.78	2,5	2730	450	8,1	72,9	6,32	3,42	0,28	2,19	11,5	242	2,42	0,004	0,09	3,20	
	NECUIDET N° B	24.10.77	13,1	1462	10	8,1	103	9,72	5,40	1,54	7,27	13,0	338	15,72	0,010	0,50	4,05
		25.11.77	5	2223	50	8,1	99,0	4,37	2,80	2,32	3,14	4,0	314	2,86	0,510		3,22
29.12.77		4,5	2277	100	8,1	95,0	10,21	4,70	3,00	3,43	8,5	299	4,87		0,23	5,00	
07.03.78		5,0	2213	50	8,15	93,0	4,86	2,60	2,10	2,57	4,0	299	2,88	0,042	0,00	4,05	
11.05.78		10,9	2910	30	8,2	83,8	5,83	10,60	3,50	1,78	5,0	289	1,99		0,11	1,70	
11.07.78		13,3	2090	40	7,6	92,2	8,02	3,00	1,60	1,00	8,0	307	2,05	0,050	0,13	3,40	
23.08.78		14,1	2104	6	8,0	80,2	11,7	9,60	4,00	1,51	6,0	297	4,87		0,10	3,30	
04.10.78		9,1	1917	6	7,9	99,8	6,8	14,40	13,60	11,65	12,0	318	10,01	0,052	0,20	5,40	
06.11.78	5,8	1921	3	7,95	97,4	8,02	6,41	1,21	5,03	6,0	318	10,62		0,00	6,05		
EXUTOIRE DE LA THUILE N° C	27.09.77	15,1	2618	15		73,0	3,89	2,55	2,28	2,82	7,0	240	0,22	0,000	0,80	2,30	
	24.10.77	14,3	2565	11	8,15	68,5	7,77	6,51	6,32	3,07	3,5	245	1,46	0,000	0,12	3,25	
	25.11.77	4,8	2612	30	7,8	72,9	7,77	5,02	5,28	2,58	9,0	249	1,77		0,90	3,90	
	29.12.77	4,1	2771	27	7,85	71,3	7,77	3,80	2,80	2,06	4,0	246	2,66	0,027	0,02	3,50	
	07.03.78	3,5	3302	63	8,2	63,7	5,59	2,22	1,84	2,09	4,0	218	1,51	0,015	0,01	2,30	
	12.05.78	10,7	3076	26		59,7	9,48	9,51	2,92	1,52	6,0	218	0,22		0,01		
	08.07.78	15,8	3037	20	7,7	60,1	10,69	2,80	3,20	1,12	9,0	231	2,10	0,000		4,85	
	04.10.78	12,2	2661	12	7,5	69,3	7,05	3,25	3,68	1,62		239				5,20	
	06.11.78	7	2218	25	7,7	80,5	8,75	5,31	4,40	5,54	9,0	259	1,33	0,005	0,05	4,25	

Ruisseau	Date	T °C	R Ω cm 18° C	Q l/s	p H	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	PO ₄ ⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l
REYSSE N° D	28.11.78	1,4	2998	10	7,85	73,7	1,94	1,62	0,26	2,06	4,5	240	0,88	0,000	0,15	3,50
	18.04.78	1,3	3520	430	7,9	66,9	0,97	0,65	0,17	0,50	1,0	201	0,52	0,000	0,00	2,20
NANT d'AILLON N° E	29.12.77	4,7	3160	4810	7,7	69,0	0,24	1,06	0,75	2,35	1,5	220	2,43		0,55	4,98
	18.02.78	5,3	3715	9220	8,2	65,3	4,13	1,32	0,72	2,51	1,0	185	3,15	0,007		4,52
	06.03.78	5,6	3539	5522	8,2	67,3	0,97	0,96	0,56	1,91	2,0	204	0,89		0,40	3,05
	10.04.78	6,2	3850	4730	7,85	60,1	1,70	0,73	0,65	0,83	6,5	187	0,42		0,11	2,35
	06.05.78	7,8	4622	7500	8,0	48,5	1,21	2,14	0,39	0,32	1,0	153	1,99	0,002	0,09	2,21
	19.06.78	8,4	4120	3000		50,1	3,40	0,64	0,44	0,91	0	166	1,00	0,000	0,00	2,15
	01.07.78	9,1	3677	4225		59,7	1,45	1,22	0,65	0,41	4,0	177	0,10	0,000	0,00	
	12.08.78	14,0	3280	1668	8,2	66,5	3,40	1,61	0,92	1,21	4,0	212	1,99		0,30	3,35
	02.09.78	11,8	3258	335	8,2	65,3	4,86	1,79	1,26	0,99	6,0	213	0,22	0,003	0,17	3,54
	16.09.78	10,0	3269	275	8,15	65,7	4,13	1,85	1,26	1,64	5,0	214	3,05	0,050	0,27	3,36
	02.10.78	8,2	3453	315	8,0	64,2	3,64	1,95	1,37	1,61	2,0	205	4,02			3,07
	20.10.78	7,4	3367	276		65,3	4,13	2,05	1,67	1,68	2,0	206	3,77			
	04.11.78	5,2	3122	155	8,2	68,1	5,10	2,20	1,79	1,46	4,0	220	1,99	0,007	0,06	2,80
	27.11.78	2,0	3337	149		62,9	4,37	2,33	2,02	1,22	5,0	205	1,86		0,04	2,27
	08.12.78	2,0	3187	340		65,3	3,64	2,27	2,25	1,53		220				
	19.12.78	4,1	2917	1500		72,1	2,91	2,25	1,59	2,30	8,0	233				3,12
29.12.78	6,0	4614	10700	7,8	48,9	3,88	1,72	1,32	1,41	7,5	156				2,45	

L I S T E d e s F I G U R E S

Fig. 1	Situation géographique	p. 2
Fig. 2	Carte géologique simplifiée du Massif des Bauges	p. 4
Fig. 3	Carbonatimétrie - lithologie du Jurassique supérieur	p. 12
Fig. 4	Profils schématiques des cavités karstiques	p. 19
Fig. 5	Carte des formes karstiques (Mt Margérianz)	p. 20
Fig. 6	Schéma structural du SE du massif des Bauges	p. 24
Fig. 7	Coupes sériées dans le SE du massif des Bauges	p. 26-27
Fig. 8	Carte des isohypses du toit de l'Hauterivien	p. 33
Fig. 9a	Fissuration : orientation, ouverture, espacement (Mt Margérianz)	p. 38
Fig. 9b	Orientation des plans moyens des différents systèmes de fissures	p. 39
Fig. 10	Carte des perméabilités équivalentes	p. 41
Fig. 11	Répartition angulaire des longueurs cumulées des cavités (Tanne aux Cochons - Margérianz)	p. 43
Fig. 12	Histogramme des fréquences des tronçons linéaires du réseau (Tanne aux Cochons - Margérianz)	p. 43
Fig. 13	Coupe des dépôts quaternaires du Tiolet	p. 52
Fig. 14	Coupe des dépôts quaternaires de Monthoux	p. 52
Fig. 15	Coupe des dépôts quaternaires de la Touvière	p. 52
Fig. 16	Coupe des dépôts quaternaires du Noyer	p. 55
Fig. 17	Coupe des dépôts quaternaires de Curienne	p. 56
Fig. 18	Morphologie et coupes schématiques des dépôts glaciaires du Sud du massif des Bauges	p. 57
Fig. 19	Chronologie de la mise en place des dépôts glaciaires : les prin- cipaux stades de retrait du glacier Alpin au sud du massif des Bauges	p. 62-63
Fig. 20	Situation des points d'injection et de prélèvements du multitraçage du "synclinal" des Aillons	p. 77
Fig. 21	Situation géologique des points d'injection	p. 78
Fig. 22	Mont Colombier - Injection du chalet de la Cochette - Courbes de restitution de l'uranine aux exurgences de Fontaine Noire et Croix du Martinet	p. 81
Fig. 23	Mont Margérianz - Injection de la Tanne G. Cher - Courbe de restitu- tion de la rhodamine B au Pissieux	p. 82
Fig. 24	Mont Margérianz - Injection de la Tanne aux Lambeaux - Courbe de restitution du Dichromate de Sodium au Pissieux	p. 84
Fig. 25	Circulations souterraines - Bassins versants des exutoires kars- tiques dans le "synclinal" des Aillons	p. 86
Fig. 26	Injection du Ruisseau de la Cochette - Courbe de restitution de l'uranine - Source de Pré Paissard	p. 89
Fig. 27a	Plan de situation du traçage d'Arvey	p. 91
Fig. 27b	Carte schématique des points de contrôle des sources de la Touvière	p. 91

Fig. 28	La Savoyarde - Traçage du "Chalet des Combes" - Situation des points de prélèvements	p. 93
Fig. 29	Traçage du "Chalet des Combes" - Situation hydrométéorologique	p. 94
Fig. 30	Ecoulements souterrains sur le rebord Sud du Massif de la Thuile	p. 96
Fig. 31	Bassin versant du Ternèze - Fréquences altimétriques et courbes hypsométriques	p.102
Fig. 32	Bassin versant du Ternèze - Carte hypsométrique	p.103
Fig. 33	Bassin versant du Ternèze - Réseau hydrographique - Profil en long du Ternèze et ses affluents	p.105
Fig. 34	Bassin versant du Ternèze - Carte lithologique schématique	p.106
Fig. 35	Bassin versant du Nant d'Aillon à la station du Villaret Fréquences altimétriques - courbes hypsométriques	p.110
Fig. 36	Bassin versant du Nant d'Aillon à la station du Cimeteret Fréquences altimétriques - courbes hypsométriques	p.111
Fig. 37	Bassin versant du Nant d'Aillon - Carte hypsométrique	p.113
Fig. 38	Bassin versant du Nant d'Aillon - Réseau hydrographique	p.115
Fig. 39	Profil en long du Nant d'Aillon et de ses affluents	p.116
Fig. 40	Bassin versant du Nant d'Aillon - Carte lithologique schématique Fréquences altimétriques - courbes hypsométriques	p.118
Fig. 41	Source du Pissieux	p.121
Fig. 42	Sources de Fontaine Noire	p.121
Fig. 43	Sources de Pré Paissard Faverges	p.121
Fig. 44	Fréquence altimétrique - courbe hypsométrique du bassin versant des sources d'Arbin	p.125
Fig. 45	Réseau hydro-météorologique	p.130
Fig. 46	Corrélation entre les hauteurs d'eau recueillie au pluviomètre Hp et au tube totalisateur Ht	p.131
Fig. 47	Pluviométries annuelles à Challes-les-Eaux, Lescheraines, Aillon-le-Jeune	p.133
Fig. 48	Moyenne mobile sur 10 ans de précipitations annuelles à Lescheraines (1939-1978)	p.134
Fig. 49	Répartition des précipitations mensuelles à Challes-les-Eaux (1947-1978), Lescheraines (1947-1978), Aillon-le-Jeune (1955-1978) et aux Déserts (1959-1978)	p.137
Fig. 50	Variations des coefficients pluviométriques mensuels	p.138
Fig. 51	Observations pluviométriques journalières à la Thuile (1978)	p.142
Fig. 52	Observations pluviométriques journalières à Aillon-le-Jeune (1978)	p.143
Fig. 53	Précipitations cumulées à Challes-les-Eaux et Aillon-le-Jeune	p.146
Fig. 54	Pluviométries annuelles - Relation pluviométrie-altitude	p.149
Fig. 55	Méthode des isohyètes - carte pluviométrique 1978	p.152
Fig. 56	Températures moyennes annuelles - Relation température-altitude	p.157

Fig. 57	Bassin versant du Ternèze - Courbe de tarage de la station du pont de Boyat	p.169
Fig. 58	Débits moyens journaliers du Ternèze à la station du pont de Boyat	p.171
Fig. 59	Débits moyens mensuels	p.172
Fig. 60	Courbe des débits classés	p.172
Fig. 61	Courbes de tarissement du Ternèze au Pont de Boyat	p.176-177
Fig. 62	Bassin versant du Nant d'Aillon : courbes de tarages Stations du Villaret et du Cimeteret	p.180
Fig. 63	Débits moyens journaliers du Nant d'Aillon à la station du Villaret	p.182
Fig. 64	Débits moyens journaliers du Nant d'Aillon à la station du Cimeteret	p.183
Fig. 65	Débits moyens mensuels - Station du Villaret	p.185
Fig. 66	Courbes des débits classés - Station du Villaret	p.185
Fig. 67	Débits moyens mensuels - Station du Cimeteret	p.186
Fig. 68	Courbes des débits classés - Station du Cimeteret	p.186
Fig. 69	Courbes de tarissement - Station du Villaret	p.191
Fig. 70	Courbes de tarissement - Station du Cimeteret	p.192
Fig. 71	Mesure par différence des débits de l'exurgence du Pissieux	p.193
Fig. 72	Débits moyens journaliers au Pissieux	p.194
Fig. 73	Débits moyens mensuels	p.197
Fig. 74	Courbes des débits classés	p.197
Fig. 75	Histogrammes des débits classés du Pissieux	p.200
Fig. 76	Pourcentages cumulés des débits (échelle arithmétique)	p.200
Fig. 77	Pourcentages cumulés des débits (échelle logarithmique)	p.202
Fig. 78	Courbe de tarissement de l'exurgence du Pissieux	p.204
Fig. 79	Hydrochimie - lieux de prélèvements des échantillons d'eau	p.224
Fig. 80	Température moyenne de l'air et températures des émergences en fonction de l'altitude	p.227
Fig. 81	Situation des sources d'Arbin	p.228
Fig. 82	Courbe de tarage de l'échelle limnimétrique - Sources d'Arbin (1977-1978)	p.229
Fig. 83	Hydrogramme - Sources d'Arbin (1977-1978)	p.229
Fig. 84	Variations des paramètres physicochimiques des sources d'Arbin	p.232
Fig. 85	Evolution des principaux paramètres physicochimiques des sources d'Arbin lors de la crue du 8 Août 1978	p.234
Fig. 86	Fonctionnement schématique de l'aquifère des sources d'Arbin durant la crue du 8 Août 1978	p.236
Fig. 87	Courbe de tarissement des sources d'Arbin	p.238
Fig. 88	Variations des paramètres physicochimiques de la source de la ferme de Lourdens	p.240
Fig. 89	Variations des paramètres physicochimiques des sources de Lourdens	p.242

Fig. 90	Variations des paramètres physicochimiques de la source du Boisset	p. 244
Fig. 91	Variations des paramètres physicochimiques de la source de Le Bois	p. 248
Fig. 92	Variations des paramètres physicochimiques de la source de la Touvière	p. 251
Fig. 93	Variations des paramètres physicochimiques de la source du Rocher du Gros Molard	p. 253
Fig. 94	Variations des paramètres physicochimiques de la source du Crouzat	p. 256
Fig. 95	Variations des paramètres physicochimiques de la source de la Ron-gère	p. 258
Fig. 96	Variations des paramètres physicochimiques de la source de Combe Noire	p. 260
Fig. 97	Variations des paramètres physicochimiques de la source des Pichards 2	p. 262
Fig. 98	Variations des paramètres physicochimiques de la source des Fontanettes	p. 266
Fig. 99	Variations des paramètres physicochimiques de la source du Pissieux	p. 274
Fig. 100	Variations des paramètres physicochimiques des sources de Fontaine Noire	p. 276
Fig. 101	Evolution des principaux paramètres physicochimiques des sources de Fontaine Noire lors de la crue du 8 Août 1978	p. 280
Fig. 102	Fonctionnement schématique de l'aquifère des sources de Fontaine Noire lors de la crue du 8 Août 1978	p. 282
Fig. 103	Courbe de tarissement - Exurgences de Fontaine Noire	p. 284
Fig. 104	Variations des paramètres physicochimiques de la source du Lot du Bois	p. 296
Fig. 105	Diagramme Schoeller Berkaloff - Eaux issues du Jurassique supérieur	p. 300
Fig. 106	Diagramme Schoeller Berkaloff - Eaux issues de l'Urgonien	p. 301
Fig. 107	Variations des paramètres physicochimiques du ruisseau de Ternèze	p. 304
Fig. 108	Variations des paramètres physicochimiques du ruisseau de Nécuidet	p. 306
Fig. 109	Variations des paramètres physicochimiques de l'exutoire du Lac de la Thuile	p. 308
Fig. 110	Variations des paramètres physicochimiques du Nant d'Aillon	p. 311

L I S T E d e s T A B L E A U X

Tableau 1	Coordonnées Lambert des lieux de prélèvements pour l'étude sédimentologique	p. 47
Tableau 2	Indices granulométriques des moraines frontales et latérales	p. 48
Tableau 3	Indices granulométriques des sables du Crouzat	p. 49
Tableau 4	Indices granulométriques des argiles et sables de la Terrasse du Tiolet	p. 51
Tableau 5	Résultats des sédimentométries des argiles du Tiolet	p. 51
Tableau 6	Indices granulométriques des argiles et sables de la Terrasse du Tiolet à Monthoux	p. 53
Tableau 7	Indices granulométriques des dépôts de la Terrasse de Puygros	p. 54
Tableau 8	Résultats des sédimentométries des argiles de la Terrasse de Puygros	p. 54
Tableau 9	Indices granulométriques des dépôts de la Terrasse du Noyer	p. 55
Tableau 10	Indices granulométriques des argiles et sables de la Terrasse de Curienne	p. 56
Tableau 11	Caractéristiques des traceurs employés	p. 72
Tableau 12	Anciennes expériences de traçages - Plateau du Margériaz	p. 75
Tableau 13	Résultats des traçages du synclinal des Aillons	p. 80
Tableau 14	Répartition hypsométrique sur les bassins versants du Ternèze à la station du Pont de Boyat	p.100
Tableau 15	Caractéristiques géologiques du bassin versant du Ternèze	p.107
Tableau 16	Répartition hypsométrique sur le bassin versant du Nant d'Aillon aux stations du Villaret et du Cimeteret	p.112
Tableau 17	Caractéristiques géologiques des bassins versants du Nant d'Aillon	p.119
Tableau 18	Répartition altimétrique sur le bassin versant de l'exurgence du Pissieux	p.122
Tableau 19	Répartition altimétrique sur le bassin versant des exurgences de Fontaine Noire	p.123
Tableau 20	Répartition altimétrique sur le bassin versant des sources de Pré Paissard et des Faverges	p.124
Tableau 21	Répartition altimétrique sur le bassin versant des sources d'Arbin	p.126
Tableau 22	Liste des stations utilisées pour l'étude	p.129
Tableau 23	Variations du module annuel des précipitations sur différentes périodes	p.135
Tableau 24	Précipitations mensuelles à Challes-les-Eaux (47-78), Lescheraines (47-78), Aillon-le-Jeune (55-78) et aux Déserts (59-78)	p.136
Tableau 25	Coefficients pluviométriques mensuels	p.136

Tableau 26	Précipitations mensuelles et annuelles moyennes (1959-1978)	p.138
Tableau 27	Répartition des précipitations suivant les saisons (1959-1978)	p.139
Tableau 28	Gradients altimétriques mensuels et annuels des précipitations (1959-1978)	p.139
Tableau 29	Précipitations moyennes calculées sur les bassins versants étudiés (1959-1978)	p.141
Tableau 30	Répartition des précipitations sur les bassins versants étudiés, suivant les saisons (1959-1978)	p.141
Tableau 31	Précipitations mensuelles et annuelles sur le secteur étudié (1978)	p.147
Tableau 32	Répartition des précipitations suivant les saisons pour l'année 1978	p.148
Tableau 33	Gradients mensuels moyens des précipitations sur le bassin versant du Ternèze (1978)	p.150
Tableau 34	Gradients mensuels moyens des précipitations sur le bassin versant du Nant d'Aillon (1978)	p.150
Tableau 35	Précipitations mensuelles sur le bassin versant du Ternèze	p.151
Tableau 36	Pluviométrie mensuelle sur les bassins versants du Nant d'Aillon	p.153
Tableau 37	Lame d'eau précipitée sur les bassins versants étudiés	p.155
Tableau 38	Températures moyennes annuelles	p.156
Tableau 39	Gradients altimétriques de température	p.157
Tableau 40	Température moyenne mensuelle et amplitude thermique moyenne à Challes-les-Eaux (1947-1978)	p.159
Tableau 41	Températures moyennes mensuelles 1978	p.159
Tableau 42	Températures moyennes minimales et maximales à Challes-les-Eaux (1978)	p.160
Tableau 43	Gradients mensuels de température pour l'année 1978	p.160
Tableau 44	Températures moyennes mensuelles calculées à Challes-les-Eaux et sur les bassins versants réels étudiés (1978)	p.161
Tableau 45	Evapotranspiration selon Turc	p.163
Tableau 46	Déficit d'écoulement selon Coutagne	p.164
Tableau 47	Déficit d'écoulement selon Serra	p.164
Tableau 48	Valeurs mensuelles de l'évapotranspiration selon Thornwhaite (1978)	p.169
Tableau 49	Evapotranspiration selon Primault	p.166
Tableau 50	Valeurs moyennes et extrêmes de l'évapotranspiration pour chaque bassin versant réel en mm et en % des précipitations	p.167
Tableau 51	Débits mensuels moyens absolus et spécifiques du Ternèze	p.170
Tableau 52	Débits caractéristiques	p.173
Tableau 53	Lame d'eau écoulée sur les bassins versants du Ternèze à la station du Pont de Boyat	p.175
Tableau 54	Caractéristiques des courbes de tarissement du Ternèze	p.178

Tableau 55	Débits moyens absolus et spécifiques des stations du Villaret et du Cimeteret	p.184
Tableau 56	Débits caractéristiques	p.187
Tableau 57	Comparaison des débits entre quelques cours d'eau des massifs subalpins	p.188
Tableau 58	Volume et hauteur de la lame d'eau écoulée à la station du Villaret	p.189
Tableau 59	Volume et hauteur de la lame d'eau écoulée à la station du Cimeteret	p.189
Tableau 60	Caractéristiques des courbes de tarissement du Nant d'Aillon à la station du Villaret	p.190
Tableau 61	Caractéristiques des courbes de tarissement du Nant d'Aillon à la station du Cimeteret	p.190
Tableau 62	Débits moyens absolus et spécifiques de l'exsurgence du Pissieux	p.196
Tableau 63	Débits caractéristiques du Pissieux	p.196
Tableau 64	Fréquence simple et cumulée des débits moyens journaliers classés de l'exsurgence du Pissieux	p.201
Tableau 65	Complément au tableau 64	p.201
Tableau 66	Lame d'eau écoulée à l'exsurgence du Pissieux	p.203
Tableau 67	Caractéristiques des courbes de tarissement de l'exsurgence du Pissieux	p.205
Tableau 68	Termes du bilan hydrologique des bassins versants du Ternèze	p.207
Tableau 69	Termes des bilans hydrologiques des bassins versants du Nant d'Aillon	p.208
Tableau 70	Termes du bilan exprimés en volumes et débits	p.208
Tableau 71	Termes du bilan hydrologique du bassin versant de l'exsurgence du Pissieux	p.209
Tableau 72	Bilans déficitaires minima et maxima des bassins versants réel et géographique du Ternèze	p.210
Tableau 73	Bilans minima et maxima du bassin versant réel et géographique à la station du Villaret	p.211
Tableau 74	Bilans minima et maxima pour les bassins versants du Nant d'Aillon à la station du Cimeteret	p.212
Tableau 75	Bilans hydrologiques minima et maxima du bassin versant de l'exsurgence du Pissieux	p.212
Tableau 76	Principaux paramètres morphologique, climatologique et hydrologique des bassins versants étudiés	p.214
Tableau 77	Apports atmosphériques sur les bassins versants	p.223
Tableau 78	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes des sources d'Arbin	p.231
Tableau 79	Variations des principaux paramètres physicochimiques lors de la crue du 8 Août 1978 aux sources d'Arbin	p.235
Tableau 80	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de la ferme de Lourdens	p.241

Tableau 81	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de Lourdens	p. 243
Tableau 82	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source du Boisset	p. 246
Tableau 83	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de Le Bois	p. 249
Tableau 84	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de la Touvière	p. 250
Tableau 85	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source du Rocher du Gros Molard	p. 253
Tableau 86	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de Crouzat	p. 255
Tableau 87	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de Rongère	p. 259
Tableau 88	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de Combe Noire	p. 261
Tableau 89	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes des sources des Pichards	p. 264
Tableau 90	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source des Fontanettes	p. 267
Tableau 91	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de Morion	p. 268
Tableau 92	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source des Côtes de Marle	p. 271
Tableau 93	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source du Pissieux	p. 275
Tableau 94	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de Fontaine Noire	p. 279
Tableau 95	Variations des principaux paramètres physicochimiques lors de la crue du 8 Août 1978 à Fontaine Noire	p. 281
Tableau 96	Paramètres physicochimiques moyens des sources des Faverges et Pré Paissard	p. 285
Tableau 97	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source du Martinet (ruines)	p. 286
Tableau 98	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de Combaveyre	p. 290
Tableau 99	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source de Penon	p. 292
Tableau 100	Paramètres physicochimiques moyens et extrêmes de la source du Lot du Bois	p. 297
Tableau 101	Résumé des principaux paramètres physicochimiques des sources étudiées	p. 299
Tableau 102	Paramètres physicochimiques moyens, extrêmes et d'étiage du ruisseau de Ternèze	p. 305

Tableau 103	Paramètres physicochimiques moyens, extrêmes et d'étiage du ruisseau de Nécuidet	p. 307
Tableau 104	Paramètres physicochimiques moyens, extrêmes et d'étiage de l'exutoire du Lac de la Thuile	p. 309
Tableau 105	Paramètres physicochimiques moyens, extrêmes et d'étiage du Nant d'Aillon	p. 310
Tableau 106	Transport dissous par le Ternèze et le Nant d'Aillon (1978)	p. 313
Tableau 107	Erosion chimique sur les bassins versants du Ternèze et du Nant d'Aillon (1978)	p. 314

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

- AMINOT A. (1974) - Géochimie des eaux d'aquifères karstiques. Les analyses chimiques en hydrogéologie karstique. Ann. spéléo. T. 29-4 p. 461-483
- AMINOT A. (1975) - Géochimie des eaux d'aquifères karstiques : le Ph, aspect théorique, mesure et interprétation géochimique. Ann.spéléo. T. 30-1 p. 7-20
- ARMAND C. DELAQUAIZE B. (1978) - Analyse physico-chimique des eaux. Mémento pratique. Publication interne au Laboratoire d'hydrogéologie - GRENOBLE
- BARBIER J.L. (1972) - Etude hydrogéologique de la haute vallée de la Vernaion et de ses bordures. Thèse 3ème cycle - GRENOBLE
- BARFETY J.C. GIDON M. (1969) - Carte géologique de la France - Feuille MONTMELIAN au 1/50.000
- BAKALOWICZ M. (1974) - Géochimie des eaux d'aquifères karstiques. Relation entre minéralisation et conductivité. Ann. spéléo. T. 29-2 p. 167-174
- BENEDETTI-CROUZET E. (1972) - Etude géodynamique du Lac d'ANNECY et de son bassin versant. Thèse 3ème cycle C.R.G. THONON - PARIS VI
- CAILLEUX A. TRICART J. (1959) - Initiation à l'étude des sables et des galets. Centre de documentation de l'Université de Paris - 3 Tomes
- CASTANY G. (1967) - Introduction à l'étude des courbes de tarissements. B.R.G.M. Chronique d'Hydrogéologie, 10
- CASTANY G. (1967) - Traité pratique des eaux souterraines. Ed. Dunod PARIS
- CHARRIERE R. (1974) - Perfectionnements à la mesure des traceurs fluorescents. Applications à l'hydrogéologie. Thèse 3ème cycle. GRENOBLE
- COLLOQUE (1968) sur l'hydrogéologie karstique du massif du VERCORS. Tra. Lab. Géol. GRENOBLE N° 8 T. I et II
- COMBAZ P. (1913) - Glaciaire et fluvioglaciaire du massif des BAUGES. Bull. Soc. Hist. Nat. SAVOIE T. XVI p. 81-148
- DELEBECQUE A. (1898) - Les Lacs Français. Edit. Chamerot et Renouard - PARIS
- DOUDOUX B. (1963) - Nouvelle étude sur le massif de CURIENNE. Ann. du Cent. d'Ens. Sup. de CHAMBERY - N° 1 p. 79-93
- DOUDOUX B. (1966) - Rapport sur les conditions géologiques d'une source destinée à l'alimentation en eau potable de la Commune d'AILLON-le-JEUNE (Savoie) Inédit.
- DOUDOUX B. (1966) - Rapport sur les conditions géologiques d'une source destinée à l'alimentation en eau potable de la Commune de CHIGNIN (Savoie). Inédit.

- DOUDOUX B. (1969) - La cluse du Chéran (Massif des BAUGES - Savoie).
Ann. du Cent. d'Ens. Sup. de CHAMBERY - N° 7 p. 9-22
- DOUDOUX B. (1969) - Les Gorges de la Reysse à la sortie du synclinal des AILLONS (Massif des BAUGES - Savoie).
Ann. du Cent. d'Ens. Sup. de CHAMBERY - N° 7 p. 23-30
- DOUDOUX B. (1971) - Rapport sur les conditions géologiques d'une source destinée à l'alimentation en eau potable de la base de Loisirs de la Commune de LESCHERAINES (Savoie). Inédit.
- DOUDOUX B. (1971) - Rapport complémentaire sur les conditions géologiques d'une source destinée à l'alimentation en eau potable de la Commune d'AILLON-le-JEUNE (Savoie). Inédit.
- DOUDOUX B. (1972) - Rapport sur les conditions géologiques de sources destinées à l'alimentation en eau potable du Syndicat BARBY - CURIENNE - St ALBAN LEYSSE (Savoie). Inédit.
- DOUDOUX B. (1973) - Nouvelles données tectoniques sur le Massif des BAUGES (Savoie).
Ann. du Cent. Univ. de Savoie - N° 1 p. 125-139
- DOUDOUX B. (1973) - Définition des périmètres de protection de la source du Lot du Bois, Commune de LESCHERAINES (Savoie). Inédit.
- DOUDOUX B. (1975) - Rapport géologique sur des sources destinées à l'alimentation en eau potable de la Commune de CRUET (Savoie). Inédit.
- DOUDOUX B. (1975) - Carte géologique simplifiée du Massif des BAUGES (Savoie).
Ann. du Cent. Univ. de Savoie -
- DOUDOUX B. (1977) - Rapport géologique sur les risques de pollution chimique de puits utilisés pour l'alimentation en eau potable des Communes de St JEOIRE PRIEURE et CHIGNIN (Savoie). Inédit.
- FOURNEAUX J.C. (1976) - Les formations quaternaires de la Vallée de l'Isère dans l'ombilic de GRENOBLE.
Géol. Alp. T. 52 p. 31-72
- GIDON M. (1964) - Vues nouvelles sur la géologie de la Chartreuse septentrionale et de l'extrémité sud des BAUGES.
Ann. du Cent. d'Ens. Sup. de CHAMBERY - N° 2 p. 7-25
- GIDON M. GIDON P. LUNSKI S. (1966) - Un procédé d'identification de failles cachées sous une couverture de terrains meubles.
Ann. du Cent. d'Ens. Sup. de CHAMBERY - N° 4 p. 63-66
- GIDON M. MONTJUVENT G. STEINFATT E. (1968) - Sur la morphologie fluvioglacière aux marges des glaciers wurmiens alpins, le dispositif moraine-chenal marginal.
Bull. Assoc. franç. Etu. Quater. 2 p. 125-149
- GIDON P. DOUDOUX B. PERRIER R. (1969) - Carte géologique de la France - Feuille CHAMBERY au 1/50.000
- GIDON P. (1950) - La Bordure Orientale de la Vallée de CHAMBERY.
Trav. Lab. Géol. GRENOBLE T. 28 p. 57-78
- GIDON P. (1951) - Rapport sur les conditions géologiques d'un projet de captage destiné à renforcer l'alimentation en eau potable de la Commune de THOIRY (Savoie). Inédit.

.../...

- GIDON P. (1957) - Rapport sur les conditions géologiques de sources destinées à l'alimentation en eau potable de la Commune d'AILLON-le-VIEUX (Savoie). Inédit.
- GIDON P. (1958) - Observations géologiques nouvelles dans le synclinal des DESERTS et le synclinal des AILLONS.
Bull. du Serv. de la Carte Géol. N° 257 T. 56 p. 449-450
- GIDON P. (1960) - Rapport sur les conditions géologiques des sources susceptibles d'être utilisées pour assurer l'alimentation en eau potable des Communes de MONTMELIAN - ARBIN et CRUET (Savoie). Inédit.
- GIDON P. (1961) - Rapport complémentaire sur les conditions géologiques d'une source destinée à alimenter en eau potable les Communes de MONTMELIAN - CRUET et ARBIN (Savoie). Inédit.
- GIDON P. (1963) - Géologie Chambérienne. Guide du Géologue et de l'amateur.
Ann. du Cent. d'Ens. Sup. de CHAMBERY - Hors série.
- GIDON P. (1970) - Rapport sur les conditions géologiques de protection de la source de LOURDENS, exploitée pour l'alimentation en eau potable de la Ville de MONTMELIAN (Savoie). Inédit.
- GIDON P. (1971) - Rapport complémentaire sur les conditions de protection du captage de la source du RUISSEAU, destinée à l'alimentation en eau potable de la Ville de MONTMELIAN (Savoie). Inédit.
- GUTIERREZ-COUTINO R. (1975) - Contribution à l'étude géologique du S W du Massif des BAUGES (Savoie). Thèse 3ème cycle - PARIS
- HAUBERT M. (1975) - Bilan Hydrochimique d'un bassin versant de moyenne montagne : La Dranse de BELLEVAUX (Hte Savoie).
Thèse 3ème cycle - PARIS
- JAMIER D. (1975) - Etude de la fissuration, de l'hydrogéologie et de la géochimie des eaux profondes du Massif de l'Arpille et du Mont Blanc.
Thèse 3ème cycle - NEUCHATEL
- JAMIER D. MATHEY B. (1977) - Fissuration et orientation des dépressions karstiques (Jura Neuchatelois/SUISSE).
Bull. de la Soc. Neuchat. des Sc. Nat. T. 100 p. 149-156
- JAMIER D. SIMEONI P. (1979) - Etude statistique de la distribution spatiale des éléments structuraux dans deux massifs des Alpes Helvétiques. Conséquences pour l'hydrologie karstique.
Bull. du B.R.G.M.- Deuxième série III N° 1 p. 67-79
- JEREMIE (1976) - Contribution à l'étude des paramètres hydrologiques de la région Lémanique. Thèse 3ème cycle - PARIS
- KAZO S. (1975) - Sédimentologie du Tertiaire du Massif des BAUGES (Alpes de Savoie).
Thèse 3ème cycle - GRENOBLE
- KERCKHOVE C. ANTOINE P. (1964) - Sur l'existence de failles de décrochement dans le massif des BAUGES (zone subalpine - Savoie).
Trav. Lab. Géol. Fac. des Sc. GRENOBLE - T. 40 p. 81-89
- KIRALY L. (1969) - Anisotropie et hétérogénéité de la perméabilité dans les calcaires fissurés.
Eclogae géol. Helv. Vol. 62-2 p. 613-619

.../...

- KIRALY L. (1969) - Statistical analysis of fracture (orientation and density).
Géol. Rundschau T. 59-1 p. 125-151
- LALLEMAND A. PALOC H. (1964) - Possibilités offertes par la méthode de détection au charbon actif pour les expériences de traçage à la fluorescéine
Spélunca - Mémoires N° 4 p. 27-40
- LEMORDANT Y. (1977) - Infiltration et transfert des eaux souterraines en Pays karstique. Le Plateau du Mont Revard (Savoie).
Thèse 3ème cycle - GRENOBLE
- LEPILLER M. (1976) - Résultats et interprétation de cinq opérations de traçages effectuées sur les systèmes karstiques du SEMNOZ et de la Montagne de BANGES - Bois de PREPOULAIN (Massif subalpin des BAUGES - Savoie et Haute-Savoie - FRANCE).
Deuxième colloque d'hydrogéologie en pays calcaire - BESANCON
Octobre 1976.
- LETOURNEUR J. MICHEL R. (1971) - Géologie du Génie Civil.
Ed. Colin PARIS
- LUGEON M. (1900) - Les dislocations des BAUGES (Savoie).
Bull. Serv. Carte Géol. FRANCE - N° 77 T. XI
- LUPARINI V. (1975) - Etude hydrogéologique du Massif du DEVOLUY.
Thèse 3ème cycle - GRENOBLE
- MANGIN A. (1970) - Contribution à l'étude des aquifères karstiques à partir de l'analyse des courbes de décrue et de tarissement.
Ann. Spéléo. T. 25-3 p. 581-610
- MANGIN A. (1971) - Etude des débits classés d'exutoires karstiques.
Ann. Spéléo. T. 26-2 p. 283-329
- MANGIN A. (1974-1975) - Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques.
Ann. Spéléo. 1974 T. 29-3 p. 283-332 et p. 495-601
1975 T. 30-1 p. 21-124
- MARJOLET G. SALADO J. (1978) Le système karstique de la source du LEZ (Hérault).
Revue Méditerranée 1 et 2 p. 71-83
- METEOROLOGIE NATIONALE - Relevés pluviométriques et thermométriques
1977 - 1978 - 1979
- MICHEL R. (1960) - Contribution à l'étude de la température des sources dans le département de l'ISERE.
Trav. Lab. Géol. Fac. des Sc. GRENOBLE T. 36 p. 115-131
- MUGNIER C. (1965) - Les karstifications antépliocènes et plioquaternaires dans les BAUGES, la CHARTREUSE septentrionale et les chaînons jurassiens voisins (Savoie - Hte Savoie - Isère).
Ann. Spéléo. T. 20-1 et 2
- NICOUD G. (1973) - Hydrogéologie de la Haute Vallée du CHERAN.
Thèse 3ème cycle - GRENOBLE
- NICOUD G. (1978) - Hydrogéologie de la Vallée de COUZ (Savoie).
Ann. du Cent. Univ. de Savoie - T. 3 p. 1-37
- NICOUD G. (1978) - Etude d'Impact - Rapport hydrogéologique - Plan neige du Margériaz - Communes d'AILLON-le-JEUNE et AILLON-le-VIEUX - Massif des BAUGES (Savoie).
Inédit.
- OLIVE P. (1976) - Le système $C O_2 / H_2 O / Ca C O_3$ - Mémento pratique.
Cent. de Rech. Géol. de THONON - N° 178
- PAPPINI G. (1976) - Hydrogéologie du Bassin versant du Haut Gelon (Savoie).
Thèse 3ème cycle - GRENOBLE
- PERRIER R. (1958) - Monts Margériaz et Colombier, Vallées du Noyer et des Aillons (BAUGES - Savoie).
Carte géologique au 1/20.000 extraite du Dipl. Etud. Sup. GRENOBLE
- PERRIER R. (1960) - Monts Margériaz et Colombier, Vallées du Noyer et des Aillons (Massif des BAUGES).
Trav. Lab. Géol. Fac. des Sc. GRENOBLE T. 36 p. 59-74
- RAMPNOUX J.P. (1976) - Rapport géologique sur les périmètres de protection des sources de CHIGNIN (Savoie).
Inédit.
- REMIERAS G. (1976) - Hydrologie de l'Ingénieur - 2ème édition revue et augmentée.
Ed. Eyrolles PARIS
- REVIL (1913) - Géologie des chaînes jurassiennes et subalpines de la Savoie.
Mém. Acad. de Savoie - 5ème série - T. II
- SARROT - REYNAULD J. FOURNEAUX J.C. (1976) - Comparaison des types de circulation dans les massifs karstiques des chaînes subalpines françaises à partir des études hydrogéologiques et des traçages récents.
Deuxième colloque d'hydrogéologie en pays calcaire - BESANCON.
Fasc. 25-3 p. 369-379
- SCHOELLER H. (1962) - Les eaux souterraines. Ed. Masson PARIS
- SPELEO CLUB DE SAVOIE (1973) - Grottes de Savoie - Tome 3-Massif du Margériaz.
Cartes au 1/1.000 des différents gouffres.
- TALOUR B. (1976) - Hydrogéologie karstique du Massif du Grand-Som - CHARTREUSE (Isère).
Thèse 3ème cycle - GRENOBLE
- TRIPET J.P. (1973) - Etude hydrogéologique du bassin de la source de l'Areuse (Jura neuchâtelois) - Matériaux pour la Géologie de la SUISSE.
Thèse de Doctorat - NEUCHATEL
- VIAL R. (1976) - Etude géologique et hydrogéologique de la région THONON-DOUVAIN (Hte Savoie).
Thèse 3ème cycle - GRENOBLE