

TYPOLOGIE DES AQUIFERES EVAPORITQUES DU TRIAS DANS LE BASSIN LEMANIQUE DU RHONE (ALPES OCCIDENTALES)

THESE No 948 (1991)

PRESENTEE AU DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE

POUR L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR ES SCIENCES

PAR

YVAN MANDIA

Géologue diplômé de l'Université de Fribourg
originaire d'Ecuvillens (FR)

acceptée sur proposition du jury :

Prof. J. H. Gabus, rapporteur
Prof. P. Forti, corapporteur
Dr A. Gautschi, corapporteur
M. G. Nicoud, corapporteur
Prof. H. R. Pfeifer, corapporteur
Prof. A. Parriaux, corapporteur

Lausanne, EPFL
1991



TABLE DES MATIERES

RESUME.....	i
ABSTRACT.....	iii
REMERCIEMENTS.....	v
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	xiii
1. INTRODUCTION.....	1
1.1 Préambule.....	1
1.2 Projet AQUITYP.....	1
2. OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	3
3. CADRE DE L'ETUDE.....	5
3.1 Géographie générale.....	5
3.1.1 Limites du territoire.....	5
3.1.2 Relief, climat, végétation.....	5
3.1.3 Hydrologie générale.....	7
3.1.4 Colonisation de la montagne.....	7
3.2 Géologie générale.....	7
3.3 Hydrogéologie générale.....	9
4. METHODOLOGIE D'ACQUISITION DES DONNEES.....	11
4.1 Collecte de données antérieures.....	11
4.1.1 Données géologiques.....	11
4.1.2 Données géochimiques.....	11
4.1.3 Données hydrologiques.....	11
4.1.4 Données hydrogéologiques.....	12
4.2 Travaux de terrain.....	14
4.2.1 Création de trois réseaux d'observation.....	14
4.2.2 Mesures sur le terrain et matériel utilisé.....	16
4.2.3 Acquisition de données hydrogéologiques à l'aide de traceurs artificiels.....	16
4.2.4 Echantillonnage de roches.....	18
4.2.5 Echantillonnage de neiges.....	19
4.3 Préparations et analyses en laboratoire.....	19
4.3.1 Eaux.....	19
4.3.1.1 Méthodes analytiques.....	18
4.3.1.2 Analyses et problèmes rencontrés.....	20
4.3.1.3 Contrôle des mesures et des analyses.....	21
4.3.2 Traceurs artificiels.....	22
4.3.3 Roches.....	23
4.3.3.1 Méthode I: lixiviation à l'eau.....	23
4.3.3.2 Méthode II: barbotage avec l'eau et le gaz carbonique.....	24
4.3.3.3 Méthode III: attaque à l'HCl.....	24
4.3.3.4 Méthode IV: fusion alcaline au métaborate de lithium.....	24
4.3.3.5 Méthode V: fluorescence des rayons-X.....	25
4.4 Moyens de représentation des résultats.....	25

4.4.2	Représentations graphiques.....	26
4.5	Méthodes statistiques	26
4.6	Tests de saturation des eaux souterraines vis à vis de certains minéraux	27
5.	GEOLOGIE DES AQUIFERES.....	29
5.1	Aperçu tectonique.....	29
5.1.1	Préalpes Médiannes.....	29
5.1.2	Helvétique.....	31
5.1.3	Ultrahelvétique.....	31
5.1.4	Pennique.....	31
5.2	Lithostratigraphie du Trias	33
5.3	Lithologies et géochimie des roches du Trias	34
5.3.1	Roches évaporitiques.....	34
5.3.1.1	Gypses	34
5.3.1.2	Anhydrites.....	45
5.3.1.3	Brèche à halite.....	45
5.3.2	Roches carbonatées	45
5.3.3	Roches détritiques.....	46
5.4	Structure des bassins hydrogéologiques.....	46
5.4.1	Modèle jointif J.....	47
5.4.2	Modèle non jointif NJ	47
5.5	Définition et dénomination des aquifères évaporitiques retenus.....	47
6.	COMPOSITION CHIMIQUE ET ISOTOPIQUE DES EAUX SOUTERRAINES	49
6.1	Faciès hydrochimiques des eaux.....	49
6.1.1	Hydrofaciès "majeurs" M.....	49
6.1.1.1	Faciès M1 avec Ca, Mg, SO ₄ et HCO ₃	49
6.1.1.2	Faciès M2 avec Ca, Mg, SO ₄ , HCO ₃ , Cl et NO ₃	54
6.1.1.3	Faciès M3 avec Ca, Mg, HCO ₃ et SO ₄	54
6.1.1.4	Faciès M4 avec Ca, Mg et SO ₄	55
6.1.1.5	Faciès M5 avec Ca, SO ₄ et HCO ₃	55
6.1.1.6	Faciès M6 avec Ca, Na, Mg, SO ₄ et Cl.....	55
6.1.2	Hydrofaciès "mineurs" m.....	56
6.1.3	Hydrofaciès "traces" T.....	56
6.1.4	Hydrofaciès globaux MmT	58
6.2	Composition chimique détaillée des eaux	58
6.3	Caractéristiques isotopiques des eaux	60
6.3.1	Oxygène-18 et deutérium.....	60
6.3.2	Tritium.....	61
6.4	Degré de saturation des eaux des évaporites vis à vis de certains minéraux.....	62
6.4.1	Les minéraux carbonatés	62
6.4.2	Les minéraux sulfatés	62
6.4.3	Les minéraux de la silice	64
7.	REGIMES HYDROLOGIQUES ET VARIATIONS TEMPORELLES DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	65
7.1	Régimes hydrauliques.....	70
7.2	Régimes géochimiques.....	72

7.3	Régimes thermiques.....	73
7.4	Essais de traçage dans le karst évaporitique	75
7.4.1	Essai dans les aquifères des Préalpes Médiannes (PM).....	76
7.4.2	Essais dans les aquifères ultrahelvétiques (UH).....	76
7.4.3	Essais dans les aquifères penniques (PN).....	78
7.5	Déductions sur les vitesses de transfert dans le karst évaporitique	81
7.6	Déductions sur les formes de perméabilité dans les roches du Trias.....	82
7.7	Déductions sur les systèmes d'écoulement dans le karst évaporitique.....	83
7.7.1	Système d'écoulement I.....	84
7.7.2	Système d'écoulement II.....	84
8.	VARIATIONS SPATIALES DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET ORIGINE DE LA MINERALISATION.....	87
8.1	Introduction à l'interprétation des variations spatiales.....	87
8.2	Etude détaillée des différents paramètres.....	88
8.2.1	Température.....	89
8.2.2	Minéralisation totale (TSD).....	91
8.2.3	Sulfates et calcium.....	93
8.2.4	Hydrogénocarbonates.....	98
8.2.5	Magnésium	101
8.2.6	Strontium	104
8.2.7	Sodium et chlorures	107
8.2.8	Silicium	113
8.2.9	Nitrates.....	116
8.2.10	Potassium.....	118
8.2.11	Fluor.....	120
8.2.12	Bore.....	123
8.2.13	Lithium.....	125
8.2.14	Rubidium.....	128
8.2.15	Iode.....	131
8.2.16	Aluminium	134
8.2.17	Manganèse	137
8.2.18	Baryum.....	140
8.2.19	Brome	142
8.2.20	Uranium et radon.....	145
8.2.21	Zinc.....	149
8.2.22	Nickel	152
8.2.23	Cuivre.....	154
8.2.24	Scandium.....	157
8.2.25	Yttrium	159
8.2.26	Arsenic.....	162
8.2.27	Vanadium.....	164
8.2.28	Germanium	167
8.2.29	Chrome	169
8.2.30	Cadmium.....	172
8.3	Conclusion sur l'interprétation des variations spatiales.....	176
9.	SYNTHESE TYPOLOGIQUE DES AQUIFERES	177

9.1	Définition hydrogéochimique.....	177
9.1.1	Pouvoir de marquage des lithologies triasiques.....	177
9.1.1.1	Gypses	178
9.1.1.2	Anhydrites.....	178
9.1.1.3	Brèche à halite.....	178
9.1.1.4	Roches calcaréo-dolomitiques.....	179
9.1.1.5	Quartzites.....	179
9.1.1.6	Argilites	179
9.1.2	Pouvoir de marquage des lithologies extra-triasiques	179
9.1.3	Répartition des hydrofaciès MmT dans les aquifères PM, HE, UH et PN	181
9.1.3.1	Aquifères des Préalpes Médiannes (PM)	181
9.1.3.2	Aquifères helvétiques (HE).....	181
9.1.3.3	Aquifères ultrahelvétiques (UH)	183
9.1.3.4	Aquifères penniques (PN)	183
9.1.3.5	Bilan général des hydrofaciès MmT	186
9.1.4	Potentiel de discrimination des marqueurs chimiques.....	187
9.1.4.1	Marqueurs chimiques d'ordre 1	190
9.1.4.2	Marqueurs chimiques d'ordre 2.....	191
9.2	Comportement hydrogéologique des aquifères.....	192
9.2.1	Aquifère des Préalpes Médiannes (PM).....	192
9.2.2	Aquifère helvétique (HE)	193
9.2.3	Aquifère ultrahelvétique (UH).....	193
9.2.4	Aquifère pennique (PN).....	194
10.	COMPARAISON HYDROGEOCHIMIQUE AVEC D'AUTRES AQUIFERES EVAPORITQUES	195
10.1	Comparaison avec les aquifères du Trias jurassien.....	195
10.2	Comparaison avec les aquifères du Trias italien	197
10.2.1	Aquifère de Tanone.....	198
10.2.2	Aquifère de Poiano.....	198
11.	COMPARAISON HYDROGEOCHIMIQUE AVEC LE RESEAU AQUITYP.....	201
11.1	Degré de représentativité des stations AQUITYP de Noches et des Bains de Leytron.....	201
11.1.1	Station de Noches.....	203
11.1.2	Station des Bains de Leytron.....	203
11.2	Comparaison avec les groupes d'aquifères 1, 2, 3 et 5.....	205
11.2.1	Différenciation entre groupe 4 et groupe 1	206
11.2.2	Différenciation entre groupe 4 et groupe 2	207
11.2.3	Différenciation entre groupe 4 et groupe 3	208
11.2.4	Différenciation entre groupe 4 et groupe 5	210
11.3	Bilan général de la comparaison avec AQUITYP.....	212
12.	CONCLUSION.....	213
	BIBLIOGRAPHIE.....	215
	LISTE DES ANNEXES.....	223
	CURRICULUM VITAE	343
	LISTE DES PUBLICATIONS	345

RESUME

La typologie des aquifères évaporitiques fait partie intégrante du projet AQUITYP, dont le but principal est la caractérisation hydrogéologique des différents types d'aquifères entre le Jura et les Alpes suisses. Cette étude est menée depuis 1981 par le Laboratoire de géologie de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (GEOLEP).

Plus de cent sources ont été étudiées. Elles font partie d'un vaste réseau d'observation implanté dans le bassin hydrographique du Rhône, en amont du Léman. Elles sont liées aux aquifères évaporitiques du Trias, qui se développent à la base des grandes unités tectoniques des Alpes occidentales suisses: Préalpes Médiannes, Helvétique, Ultrahelvétique et Pennique. Ces considérations tectoniques nous ont permis de scinder les aquifères du Trias rhodanien en quatre sous-types d'aquifères évaporitiques. Cette différenciation s'est avérée nécessaire pour aboutir à une synthèse typologique sur le comportement hydrogéologique et les caractéristiques géochimiques de chacun des sous-types.

Aucune étude hydrogéologique générale sur les eaux froides des évaporites du Trias de la région n'a été réalisée jusqu'à ce jour. Nous avons choisi de nous occuper principalement des sources séléniteuses dont la température moyenne annuelle est inférieure à 12 °C. Nous avons étudié le comportement au cours du temps, ainsi que les variations spatiales de l'ensemble des paramètres physico-chimiques de ces eaux, aussi bien à l'échelle d'une unité tectonique qu'à celle des quatre réunies. En plus des composants majeurs et mineurs, nous avons détecté pour la première fois dans ces eaux souterraines un grand nombre d'éléments en traces.

De par leur degré de karstification, les gypses constituent les principaux aquifères du Trias. Nous les avons analysés de manière intensive. En effet, plusieurs méthodes ont permis de sonder les composants et les éléments chimiques de ces roches, selon qu'ils soient solubles dans l'eau, les acides faibles et forts ou encore après une fusion alcaline.

L'empreinte chimique des gypses se marque très nettement sur les eaux. Caractérisées par une minéralisation totale moyenne de 1,8 g/l, elles se composent de 50 à 90% de SO_4 (teneur moyenne = 1041 mg/l) et Ca (teneur moyenne = 419 mg/l).

D'autres roches karstifiables minéralisent aussi plus ou moins fortement ces eaux: il s'agit des roches calcaréo-dolomitiques du Trias (dolomie, calcaire dolomitique et cornieule). En effet, on note des teneurs en HCO_3 (teneur moyenne = 251 mg/l) et en Mg (teneur moyenne = 66,6 mg/l) qui peuvent représenter chacune 10 à 20% de la composition chimique totale. Ces roches carbonatées forment des aquifères secondaires associés au karst gypseux.

Environ 80 % des sources dénotent une composition chimique comparable, où Ca, Mg, SO_4 et HCO_3 forment les ions majeurs.

Afin de mieux caractériser la composition chimique des eaux, nous avons créé des faciès hydrochimiques théoriques fondés sur les éléments mineurs et en traces détectés dans les eaux.

Le ion strontium dans l'eau s'est révélé un élément marqueur des gypses au même titre que les ions sulfate et calcium. Il est notamment lié à la présence de minéraux authigènes de célestine caractéristiques des conduits gypseux. La concentration moyenne en Sr des eaux est de 7,9 mg/l. Dans 70 % des cas, elle a été supérieure à celles du K ou du Na. En effet, les eaux séléniteuses froides sont faiblement minéralisées en K et en Na, ainsi qu'en Cl. Leurs teneurs moyennes sont inférieures à 7 mg/l.

Le marquage significatif des gypses sur l'eau a en outre été confirmé par notre découverte d'éléments en traces caractéristiques de cette roche: il s'agit surtout de Rb, Ni, Cu, Sc et Y. D'autres éléments comme Al et Li semblent provenir du karst carbonaté ou encore des argiles souvent présentes comme matériau de remplissage des microdiscontinuités dans les gypses.

Les eaux séléniteuses peuvent aussi transiter temporairement dans des quartzites fracturés. Ceci a surtout été observé dans le Pennique.

L'approche du régime hydrologique et des variations temporelles des paramètres physico-chimiques de l'eau a mis en évidence que malgré des débits variables, liés à la fonte des neiges, la température surtout et la minéralisation dans une moindre mesure restent stables. Ceci témoigne d'un séjour suffisamment long dans l'aquifère pour qu'un équilibre thermique et géochimique s'établisse. Le comportement hydrogéologique des aquifères dépend du modèle de bassin hydrogéologique auquel il appartient. Si les zones d'infiltration et d'émergence sont jointives, des modifications peuvent avoir lieu dans leurs comportements hydraulique, géochimique et thermique (mélange de deux types d'eau de minéralisation et de température différente). En revanche, si ces zones ne jouxtent pas, les fluctuations sont faibles. Les modèles jointifs ont été observés dans le cas de l'Ultrasuisse, ceux non jointifs sont plutôt caractéristiques des bassins hydrogéologiques des Préalpes Médiannes, de l'Helvétique et du Pennique.

Les différents essais de traçage réalisés dans le karst évaporitique ont permis de déterminer des vitesses assez faibles variant entre 10 et 1000 m/j. Elles sont nettement inférieures à celles que l'on peut rencontrer dans le karst à chenaux du Jura. Ces vitesses modérées sont liées au modèle de bassin hydrogéologique: le transit des eaux est plus rapide lorsque les zones d'alimentation et d'émergence sont jointives.

L'étude des variations spatiales des paramètres physico-chimiques de l'eau a montré une assez faible hétérogénéité à l'échelle du Bassin rhodanien. Nous l'avons également observée dans la composition chimique des gypses. Les débits maximum enregistrés ont été de l'ordre de 5000 l/mn. La température moyenne des eaux a été de 8,7 °C.

Une étude approfondie des caractéristiques géochimiques des aquifères a montré que ceux du Pennique et dans une moindre mesure ceux de l'Ultrasuisse sont différents. D'une manière générale, les eaux provenant de ces aquifères sont plus minéralisées que celles des aquifères des Préalpes Médiannes et de l'Helvétique.

Des teneurs particulièrement élevées en uranium ont été notées dans les eaux séléniteuses des aquifères du Pennique. Les valeurs maximales ont été de l'ordre de 70 µg/l. Elles sont rattachées à la présence de formations extra-triasiques au sein des roches du Trias. Il s'agit en particulier des schistes noirs permo-carbonifères du Pennique. Cette structure géologique n'existe pas dans les trois autres cas.

D'une manière générale, les aquifères évaporitiques du Pennique ont des caractéristiques hydrauliques et géochimiques plus exotiques que les trois autres sous-types.

La comparaison de nos données avec celles provenant des eaux de même origine lithologique et stratigraphique de la Suisse nord-orientale a fait ressortir une assez forte homogénéité. Par contre, ce n'est pas le cas lorsque nous les comparons aux données sur certains aquifères du Trias du nord de l'Italie.

D'une manière globale, les eaux des évaporites ont une composition chimique très différente de celles qui caractérisent d'autres types d'aquifères, notamment ceux étudiés dans l'hydrotraverse d'AQUITYP. Elles sont surtout plus minéralisées. Les teneurs minimales en SO₄, Ca, Mg, Sr et Rb observées dans les eaux séléniteuses sont dans de nombreux cas supérieures aux précédentes.

Les objectifs de cette étude ont été amplement atteints. En effet, nous avons mis en évidence les caractéristiques géochimiques de quatre sous-types d'aquifères évaporitiques, susceptibles de les différencier dans des systèmes hydrogéologiques plus complexes.

ABSTRACT

The typology of evaporitic aquifers is part of the AQUITYP research project, whose principal aim is the hydrogeological characterization of different aquifer types between the Jura and the Swiss Alps. This study has been directed by the Geology laboratory of the Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (GEOLEP) since 1981.

More than one hundred sources were studied. These sources are part of the vast observation network laid out in the Rhone Basin, above Lake Geneva, and are linked to the evaporitic aquifers of Trias, which developed at the base of the important tectonic unit of the Western Swiss Alps: Median Prealps, Helvetic, Ultrahelvetic and Penninic. These tectonic considerations permitted the division of the aquifers of Rhone Trias into four secondary evaporitic aquifers. This division seemed necessary in order to arrive at a typological synthesis of the hydrogeological behaviour and the geochemical characteristics of each one of these types.

No general hydrogeological study of the cold waters of Triassic evaporites of this regions had ever previously been carried out. The emphasis in this study was placed on the selenitic sources whose annual average temperature is less than 12°C. The behaviour of the physical-chemical parameters of these waters were studied as a function of time and space at the scale of one tectonic unit as well as the four together. In addition to the major and minor components, a large number of trace elements in the groundwaters were detected for the first time.

According to degree of karstification, the gypseous rocks constitute the principal aquifers of Trias. These were analyzed very intensively, using several methods to determine the components and the chemical elements of these rocks, according to whether they were soluble in water, weak or strong acid or after alkaline fusion.

The gypsum leaves a very strong chemical imprint on the waters. This is characterized by a total average mineralization of 1.8 g/l with 50 to 90% SO₄ (average level = 1041 mg/l) and Ca (average level = 419 mg/l).

Other karstic rocks mineralize more or less strongly in these waters; they are calcareous dolomitic rocks of Trias (dolomite, dolomitic limestone and cellular dolomite). Levels of HCO₃ (average level = 251 mg/l) and Mg (average level = 66.6 mg/l) were observed, each which may represent 10 to 20% of the total chemical composition. The carbonated rocks make up the secondary aquifers associated with the gypseous karst.

Approximately 80% of the sources showed similar chemical compositions, where Ca, Mg, SO₄ and HCO₃ formed the major ions.

In order to better characterize the chemical composition of these waters, theoretical hydrochemical facies based on the minor and trace elements detected in the waters were created.

The ion strontium found in the water showed itself to be a marker of the gypsum bearing the same name as did the sulfate and calcium ions. It is linked to the presence of authigenic crystals of celestine, characteristic of gypseous conduits. The average concentration of Sr in the waters is 7.9 mg/l. In 70% of the cases, it was higher than that of K or Na. The cold selenitic waters are slightly mineralized with K and Na, as well as with Ca. Their average levels were less than 7 mg/l.

The significant marking of the gypsum on the water has also been confirmed by the discovery of trace elements which are characteristic of this rock: these are Rb, Ni, Cu, Sc and Y. Other elements, such as Al and Li, seem to come from the carbonated karst or from the clays which are often present as filling material in the microdiscontinuities of the gypsum.

The selenitic waters may also flow through fractured quartzite. This was observed in the Penninic.

The approach based on hydrological flow patterns and time variations in the physical-chemical parameters of the water showed that, in spite of variable flows linked to snow thaw, the temperature and the mineralization remained stable. This signals that the water remained a sufficient amount of time in the aquifer for thermal and geochemical equilibrium. The hydrogeological behaviour of the aquifers depends on the model of the hydrogeological basin to which it belongs. If the infiltration and emergence zones are adjoining, then modifications in their hydraulic, geochemical and thermal behaviours may occur (mixing of two types of waters with different mineralization and temperature). On the other hand, if the zones are not adjoining, the fluctuations are small. The joining models were observed in the Ultrahelvetic, while the non-joining ones characterize the hydrogeological basins of the Median Prealps, the Helvetic and the Penninic.

The various tracing studies carried out in the evaporitic karst permitted the determination of rather weak velocities, between 10 and 1000 m/day. These are clearly inferior to those observed and the karstic conduits of Jura. The moderate speeds are linked to the hydrogeological basin model; the water movement is more rapid when the infiltration and emergence zones are adjoining.

The study of spatial variations of the physical-chemical parameters of the water showed a rather weak heterogeneity at the scale of Rhone Basin. This was also observed in the composition of the gypsum. The maximum measured flows were approximately 5000 l/min. The average temperature was 8.7°C.

A detailed study of the geochemical characteristics of the aquifers showed that those of the Penninic, and to a slight degree, those of the Ultrahelvetic, were different. Generally, the waters from these aquifers are more mineralized than those of the Median Prealps and the Helvetic.

Particularly high levels of uranium were observed in the selenitic waters of the Penninic. The maximum values were on the order of 70 mg/l. They are due to the presence of extra-Triassic formations in Triassic rocks, particularly the permo-carboniferous black shales of the Penninic. This geological structure does not exist in the other three cases.

Generally speaking, the evaporitic aquifers of the Penninic have hydraulic and geochemical characteristics which are more exotic than the other three secondary types.

A comparison of the data from this study with those of waters from the same lithologic and stratigraphic origin in the northern part of Switzerland show a strong homogeneity. However, this is not the case for certain aquifers of Trias in Northern Italy.

Globally, the evaporitic aquifers have a chemical composition which is very different from those which characterize other aquifer types, especially those studied in the AQUITYP project. They are especially more mineralized, and the minimum levels of SO₄, Ca, Mg, Sr and Rb observed in the selenitic waters are superior to the former in many cases.

The aims of this study were more than achieved. The geochemical characteristics of the four secondary types of evaporitic aquifers were observed and distinguished in complex hydrogeological systems.

REMERCIEMENTS

Arrivé au terme de ce travail, il m'est fortement agréable de pouvoir remercier toutes les personnes qui en ont permis ou facilité la réalisation par leur appui scientifique, leur collaboration, leur aide matérielle ou leur aide financière.

En premier lieu, j'ai beaucoup de gratitude à adresser à Monsieur Professeur J.H. Gabus qui m'a accueilli comme assistant-doctorant au Laboratoire de géologie de l'EPFL.

Je remercie très sincèrement Monsieur Dr. A. Parriaux qui a accepté de suivre avec compétence toutes les étapes de cette recherche. Nos très nombreuses discussions sur les différents sujets scientifiques traités dans ce travail, ainsi que sa lecture pertinente et constructive, m'ont été fort utiles.

C'est avec grand plaisir que je remercie Madame Erika Zoller pour sa collaboration et ses suggestions dans la présentation de ce travail.

Pendant les deux dernières années, cette recherche a pu bénéficier de l'aide financière du Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique (n° du projet 20-27860-89). Que ses membres trouvent dans ces quelques lignes toute ma reconnaissance.

J'ai été également très honoré que Messieurs P. Forti, A. Gautschi, G. Nicoud et H.R. Pfeifer aient accepté de faire partie du jury de thèse.

Les nombreuses analyses chimiques pratiquées sur les eaux et les roches ont pu être réalisées grâce à la collaboration du personnel du GEOLEP. Mes remerciements vont ainsi à M. Bensimon, T. Lutz, S. Burli, B. Schmidt, A. Wisniewski, R. Menendez. Ils sont adressés également aux autres membres du GEOLEP qui m'ont aidé aussi bien à l'Ecole que sur le terrain: B. Sperandio et P. Gallay. D'autres personnes m'ont apporté leur appui en qualité d'assistant-étudiant ou d'aide de terrain: V. Basabe, V. Gamboni, M. Golliard, P.A. Chevalley, G. Parriaux.

Je remercie également mes collègues pour leur aide en matière d'informatique ou leurs suggestions: J.D. Dubois, R. Mayoraz, G. de los Cobos, P. Basabe.

A ma demande, M. Luescher et Mme Baudin du Laboratoire de Gips-Union S.A. ont mis leur expérience et leur compétence dans l'analyse de certains de mes gypses. Je les en remercie encore fortement.

Il me plaît encore de remercier l'ensemble des communes vaudoises et valaisannes pour m'avoir accueilli si sympathiquement, les Laboratoires cantonaux de Vaud et Valais pour m'avoir autorisé l'accès aux cadastres sanitaires des communes concernées par mes travaux, le Bureau d'Etudes Géologiques (BEG) de Vétroz pour la mise à disposition de leurs études hydrogéologiques réalisées dans le Valais, la CEDRA et l'Institut de géologie de l'Université de Berne par l'intermédiaire de MM. A. Gautschi, T. Peters et J. Sillanpää pour m'avoir remis les résultats géochimiques des roches triasiques des forages de la CEDRA exécutés en Suisse orientale.

Enfin, une dernière pensée va à famille, qui m'a beaucoup aidé et supporté au cours de ces cinq dernières années, et tout particulièrement à mon père décédé voici deux ans à qui je dédie ma thèse de doctorat.

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Carte des aquifères du réseau AQUITYP.....	2
Figure 3.1	Situation géographique du territoire d'étude.....	5
Figure 3.2	Situation géologique du territoire d'étude.....	8
Figure 4.1	Localisation et environnement géologique des sources évaporitiques.....	15
Figure 4.2	Localisation et environnement géologique des roches.....	18
Figure 5.1	Profils synthétiques du Trias des Alpes occidentales	30
Figure 5.2	Structure tectonique de la nappe du Grand St-Bernard	35
Figure 5.3	Solubilité des composants chimiques des gypses à l'attaque à HCl et à la fusion alcaline.....	36
Figure 5.4	Fraction de chaque composant chimique dans les parties soluble et insoluble des gypses selon les méthodes de l'attaque à HCl et de la fusion alcaline.....	37
Figure 5.5	Fraction soluble dans les lixiviats de gypses.....	38
Figure 5.6	Fraction soluble dans les lixiviats d'anhydrites et de la brèche à halite.....	39
Figure 5.7	Fraction soluble dans les lixiviats des roches calcaréo- dolomitiques.....	39
Figure 5.8	Fraction soluble dans les lixiviats des quartzites et d'une argilite.....	40
Figure 5.9	Comparaison des teneurs en SO ₄ , Ca, HCO ₃ , Sr, Mg, K, Si, Na, Ba, Cu, Br, Rb, Mn, Zn, Ni, Sc, Al, I, Y, V, As, Li, U, Cd, Ge, Cr et Cl dans les lixiviats des évaporites	41
Figure 5.10	Analyse en composantes principales relative aux lixiviats des roches du Trias	43
Figure 5.11	Comparaison entre la composition chimique de l'eau de Combioula et celle du lixiviat de la brèche à halite (selon les composés majeurs).....	44
Figure 5.12	Modèles de bassins hydrogéologiques	48
Figure 6.1	Images chimiques des hydrofaciès M1 à M6.....	52
Figure 6.2	Carte de répartition spatiale des hydrofaciès M.....	53
Figure 6.3	Composition chimique détaillée des eaux représentatives des hydrofaciès M1 à M5 (majeurs, mineurs et traces)	57
Figure 6.4	Composition chimique détaillée des eaux de Combioula représentative de l'hydrofaciès M6.....	59
Figure 6.5	Degré de saturation des eaux des évaporites vis à vis des minéraux carbonatés (IAP=indice de saturation, KT=constante d'équilibre).....	63
Figure 6.6	Degré de saturation des eaux des évaporites vis à vis des minéraux sulfatés	63
Figure 6.7	Degré de saturation des eaux des évaporites vis à vis des minéraux de la famille de la silice.....	64
Figure 7.1	Localisation géographique et géologique des sources retenues pour l'étude des variations temporelles	66
Figure 7.2	Variations temporelles des caractéristiques physico-chimiques de la source Muellacheren (Tourtemagne).....	67
Figure 7.3	Variations temporelles des caractéristiques physico-chimiques de la source Huémoz (Villars-sur-Ollon).....	68

Figure 7.4	Variations temporelles des caractéristiques physico-chimiques de la source Maupas (Val d'Illicz).....	69
Figure 7.5	Comparaison des régimes hydrologiques de la source Muellacheren et de la rivière Saltina.....	71
Figure 7.6	Situation géographique et géologique générale des essais de traçage	75
Figure 7.7	Profil géologique schématique entre le plateau de Nax et le Rhône (Pennique)	79
Figure 7.8	Profil géologique schématique entre Unterems et Tourtemagne (Pennique).....	80
Figure 8.1	Histogramme des fréquences des températures des eaux	90
Figure 8.2	Série ordonnée des températures des eaux.....	90
Figure 8.3	Répartition spatiale des températures des eaux	91
Figure 8.4	Histogramme des fréquences des minéralisations totales des eaux	92
Figure 8.5	Série ordonnée des minéralisations totales des eaux	92
Figure 8.6	Répartition spatiale des minéralisations totales des eaux.....	93
Figure 8.7	Histogramme des fréquences des teneurs en SO_4 des eaux	94
Figure 8.8	Histogramme des fréquences des teneurs en Ca des eaux	94
Figure 8.9	Série ordonnée des teneurs en SO_4 des eaux	95
Figure 8.10	Série ordonnée des teneurs en Ca des eaux	95
Figure 8.11	Répartition spatiale des teneurs en SO_4 des eaux	96
Figure 8.12	Répartition spatiale des teneurs en Ca des eaux.....	96
Figure 8.13	Ordre de grandeur des concentrations en SO_4 et Ca dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques.....	97
Figure 8.14	Histogramme des fréquences des teneurs en HCO_3 des eaux	98
Figure 8.15	Série ordonnée des teneurs en HCO_3 des eaux	99
Figure 8.16	Répartition spatiale des teneurs en HCO_3 des eaux.....	99
Figure 8.17	Ordre de grandeur des concentrations en HCO_3 dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques.....	100
Figure 8.18	Histogramme des fréquences des teneurs en Mg des eaux	101
Figure 8.19	Série ordonnée des teneurs en Mg des eaux	102
Figure 8.20	Répartition spatiale des teneurs en Mg des eaux.....	103
Figure 8.21	Ordre de grandeur des concentrations en Mg dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques.....	103
Figure 8.22	Histogramme des fréquences des teneurs en Sr des eaux	105
Figure 8.23	Série ordonnée des teneurs en Sr des eaux	105
Figure 8.24	Répartition spatiale des teneurs en Sr des eaux	106
Figure 8.25	Ordre de grandeur des concentrations en Sr dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques	106
Figure 8.26	Histogramme des fréquences des teneurs en Na des eaux	108
Figure 8.27	Histogramme des fréquences des teneurs en Cl des eaux.....	108
Figure 8.28	Série ordonnée des teneurs en Na des eaux	109
Figure 8.29	Série ordonnée des teneurs en Cl des eaux.....	109

Figure 8.30	Répartition spatiale des teneurs en Na des eaux.....	110
Figure 8.31	Répartition spatiale des teneurs en Cl des eaux.....	110
Figure 8.32	Relation Na-Cl dans les eaux.....	111
Figure 8.33	Ordre de grandeur des concentrations en Na et Cl dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques.....	112
Figure 8.34	Histogramme des fréquences des teneurs en Si des eaux.....	113
Figure 8.35	Série ordonnée des teneurs en Si des eaux.....	114
Figure 8.36	Répartition spatiale des teneurs en Si des eaux.....	115
Figure 8.37	Ordre de grandeur des concentrations en Si dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques.....	115
Figure 8.38	Histogramme des fréquences des teneurs en NO ₃ des eaux.....	116
Figure 8.39	Série ordonnée des teneurs en NO ₃ des eaux.....	117
Figure 8.40	Répartition spatiale des teneurs en NO ₃ des eaux.....	117
Figure 8.41	Histogramme des fréquences des teneurs en K des eaux.....	118
Figure 8.42	Série ordonnée des teneurs en K des eaux.....	119
Figure 8.43	Répartition spatiale des teneurs en K des eaux.....	119
Figure 8.44	Ordre de grandeur des concentrations en K dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques.....	120
Figure 8.45	Histogramme des fréquences des teneurs en F des eaux.....	121
Figure 8.46	Série ordonnée des teneurs en F des eaux.....	121
Figure 8.47	Répartition spatiale des teneurs en F des eaux.....	122
Figure 8.48	Histogramme des teneurs en B des eaux.....	123
Figure 8.49	Série ordonnée des teneurs en B des eaux.....	124
Figure 8.50	Répartition spatiale des teneurs en B des eaux.....	124
Figure 8.51	Histogramme des fréquences des teneurs en Li des eaux.....	126
Figure 8.52	Série ordonnée des teneurs en Li des eaux.....	126
Figure 8.53	Répartition spatiale des teneurs en Li des eaux.....	127
Figure 8.54	Ordre de grandeur des concentrations en Li dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques.....	127
Figure 8.55	Histogramme des fréquences des teneurs en Rb des eaux.....	128
Figure 8.56	Série ordonnée des teneurs en Rb des eaux.....	129
Figure 8.57	Répartition spatiale des teneurs en Rb des eaux.....	129
Figure 8.58	Ordre de grandeur des concentrations en Rb dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques.....	130
Figure 8.59	Relation Sr-Rb-Y dans les eaux.....	130
Figure 8.60	Histogramme des fréquences des teneurs en I des eaux.....	131
Figure 8.61	Série ordonnée des teneurs en I des eaux.....	133
Figure 8.62	Répartition spatiale des teneurs en I des eaux.....	133
Figure 8.63	Ordre de grandeur des concentrations en I dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques.....	134

Figure 8.64	Histogramme des fréquences des teneurs en Al des eaux.....	135
Figure 8.65	Série ordonnée des teneurs en Al des eaux.....	135
Figure 8.66	Répartition spatiale des teneurs en Al des eaux.....	136
Figure 8.67	Ordre de grandeur des concentrations en Al dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques.....	136
Figure 8.68	Histogramme des fréquences des teneurs en Mn des eaux	137
Figure 8.69	Série ordonnée des teneurs en Mn des eaux	138
Figure 8.70	Répartition spatiale des teneurs en Mn des eaux.....	139
Figure 8.71	Ordre de grandeur des concentrations en Mn dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques.....	139
Figure 8.72	Histogramme des teneurs en Ba des eaux.....	140
Figure 8.73	Série ordonnée des teneurs en Ba des eaux.....	141
Figure 8.74	Répartition spatiale des teneurs en Ba des eaux.....	141
Figure 8.75	Ordre de grandeur des concentrations en Ba dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques.....	142
Figure 8.76	Histogramme des fréquences des teneurs en Br des eaux	143
Figure 8.77	Série ordonnée des teneurs en Br des eaux	143
Figure 8.78	Répartition spatiale des teneurs en Br des eaux	144
Figure 8.79	Ordre de grandeur des concentrations en Br dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques.....	144
Figure 8.80	Histogramme des fréquences des teneurs en U des eaux.....	145
Figure 8.81	Série ordonnée des teneurs en U des eaux.....	146
Figure 8.82	Répartition spatiale des teneurs en U des eaux.....	147
Figure 8.83	Répartition spatiale des teneurs en Rn des eaux	147
Figure 8.84	Ordre de grandeur des concentrations en U dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques.....	148
Figure 8.85	Histogramme des fréquences des teneurs en Zn des eaux	149
Figure 8.86	Série ordonnée des teneurs en Zn des eaux	150
Figure 8.87	Répartition spatiale des teneurs en Zn des eaux.....	150
Figure 8.88	Ordre de grandeur des concentrations en Zn dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques.....	151
Figure 8.89	Histogramme des fréquences des teneurs en Ni des eaux.....	152
Figure 8.90	Série ordonnée des teneurs en Ni des eaux.....	153
Figure 8.91	Répartition spatiale des teneurs en Ni des eaux.....	153
Figure 8.92	Ordre de grandeur des concentrations en Ni dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques.....	154
Figure 8.93	Histogramme des fréquences des teneurs en Cu des eaux.....	155
Figure 8.94	Série ordonnée des teneurs en Cu des eaux.....	155
Figure 8.95	Répartition spatiale des teneurs en Cu des eaux	156

Figure 8.96	Ordre de grandeur des concentrations en Cu dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques	156
Figure 8.97	Histogramme des fréquences des teneurs en Sc des eaux.....	157
Figure 8.98	Série ordonnée des teneurs en Sc des eaux.....	158
Figure 8.99	Répartition spatiale des teneurs en Sc des eaux.....	158
Figure 8.100	Ordre de grandeur des concentrations en Sc dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques	159
Figure 8.101	Histogramme des fréquences des teneurs en Y des eaux.....	160
Figure 8.102	Série ordonnée des teneurs en Y des eaux.....	160
Figure 8.103	Répartition spatiale des teneurs en Y des eaux	161
Figure 8.104	Ordre de grandeur des concentrations en Y dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques	161
Figure 8.105	Histogramme des teneurs en As des eaux.....	162
Figure 8.106	Série ordonnée des teneurs en As des eaux	163
Figure 8.107	Répartition spatiale des teneurs en As des eaux.....	163
Figure 8.108	Ordre de grandeur des concentrations en As dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques	164
Figure 8.109	Histogramme des fréquences des teneurs en V des eaux.....	165
Figure 8.110	Série ordonnée des teneurs en V des eaux.....	165
Figure 8.111	Répartition spatiale des teneurs en V des eaux	166
Figure 8.112	Ordre de grandeur des concentrations en V dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques	166
Figure 8.113	Histogramme des fréquences des teneurs en Ge des eaux	167
Figure 8.114	Série ordonnée des teneurs en Ge des eaux	168
Figure 8.115	Répartition spatiale des teneurs en Ge des eaux.....	168
Figure 8.116	Ordre de grandeur des concentrations en Ge dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques	169
Figure 8.117	Histogramme des fréquences des teneurs en Cr des eaux.....	170
Figure 8.118	Série ordonnée des teneurs en Cr des eaux.....	170
Figure 8.119	Répartition spatiale des teneurs en Cr des eaux	171
Figure 8.120	Ordre de grandeur des concentrations en Cr dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques	171
Figure 8.121	Histogramme des fréquences des teneurs en Cd des eaux	172
Figure 8.122	Ordre de grandeur des concentrations en Cd dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques	173
Figure 8.123	Répartition spatiale des teneurs en Cd des eaux.....	173
Figure 8.124	Origine de la minéralisation en Cd des eaux.....	174
Figure 8.125	Analyse en composantes principales relative aux eaux souterraines.....	175
Figure 9.1	Répartition des hydrofaciès M dans les aquifères PM, HE, UH et PN.....	182
Figure 9.2	Répartition des hydrofaciès m dans les aquifères PM, HE, UH et PN.....	184

Figure 9.3	Répartition des hydrofaciès T dans les aquifères PM, HE, UH et PN.....	185
Figure 9.4	Répartition des hydrofaciès MmT dans les aquifères PM, HE, UH et PN.....	188
Figure 9.5	Méthode de détermination des caractéristiques limites.....	191
Figure 10.1	Comparaison entre la composition chimique des eaux du Trias rhodanien et celles du Trias jurassien.....	196
Figure 10.2	Comparaison entre la composition chimique des eaux du Trias rhodanien et celles du Trias de Reggio Emilia.....	199
Figure 11.1	Degré de représentativité des stations de Noches et des Bains de Leytron.....	204
Figure 11.2	Comparaison entre les hydrofaciès mT des groupes d'aquifères 1, 2, 3, 4 et 5.....	209

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1	Stations météorologiques.....	12
Tableau 4.2	Méthodes de mesure sur le terrain et d'analyse en laboratoire de l'eau.....	17
Tableau 4.3	Mesures et analyses effectuées sur les eaux souterraines.....	19
Tableau 4.4	Conditions d'analyse et domaine de concentration de la méthode (FES et AAS)	20
Tableau 4.5	Reproductibilité des mesures et des analyses.....	23
Tableau 4.6	Méthodes d'analyses des roches.....	25
Tableau 5.1	Synthèse lithostratigraphique du Trias du Bassin rhodanien.....	32
Tableau 5.2	Coefficient de variation (Cv) spatiale des composants chimiques des gypses rhodaniens (lixiviats).....	42
Tableau 6.1	Critères de classification chimique des eaux.....	50
Tableau 6.2	Fréquences relatives des hydrofaciès M, m et T.....	54
Tableau 6.3	Caractéristiques isotopiques de quelques sources des évaporites.....	61
Tableau 7.1	Sources retenues pour l'étude des variations temporelles.....	65
Tableau 7.2	Régimes géochimiques des sources sulfatées-calciques.....	73
Tableau 7.3	Régimes thermiques.....	74
Tableau 7.4	Résultats majeurs des essais de traçage.....	81
Tableau 8.1	Coefficient de variation (Cv) spatiale des paramètres physico-chimiques des eaux.....	88
Tableau 9.1	Pouvoir de marquage des lithologies triasiques et extra-triasiques sur l'eau.....	177
Tableau 9.2	Fréquences relatives des hydrofaciès MmT dans l'Ultrasuisse.....	180
Tableau 9.3	Fréquences relatives des hydrofaciès MmT dans le Pennique.....	186
Tableau 9.4	Potentiel de discrimination des marqueurs chimiques des aquifères PM, HE, UH et PN.....	189
Tableau 9.5	Comportement hydrogéologique des aquifères PM, HE, UH et PN.....	193
Tableau 10.1	Hydrofaciès Mm des aquifères évaporitiques du Trias du Jura suisse (Bâle-Zürich) et de Reggio Emilia (Italie).....	200
Tableau 11.1	Localisation et environnement géologique de l'hydrotraverse du réseau AQUITYP.....	202
Tableau 11.2	Classification chimique des 17 sources d'AQUITYP et comparaison entre les hydrofaciès MmT des groupes d'aquifères-types 1, 2, 3, 4 et 5.....	207
Tableau 11.3	Marqueurs chimiques des aquifères du groupe 4 par rapport à ceux des groupes 1, 2, 3 et 5 du réseau AQUITYP.....	211

1. INTRODUCTION

1.1 Préambule

Ce n'est que par une étude systématique et approfondie des paramètres physico-chimiques de l'eau d'un exutoire qu'il est possible d'appréhender les caractéristiques d'un aquifère. De nombreuses mesures sur le terrain et analyses en laboratoire doivent cependant être réalisées pendant plusieurs cycles hydrologiques pour permettre cette approche. Les données obtenues seront interprétées de manière à illustrer les phénomènes complexes dont dépendent les eaux souterraines et mettre en évidence les relations entre les différents paramètres mesurés. Les résultats de l'étude pourront être différents selon le type d'aquifère examiné.

1.2 Projet AQUITYP

Depuis plusieurs années, le Laboratoire de Géologie de L'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (GEOLEP) a mis sur pied un important réseau de référence de points d'eau souterraine au travers de la Chaîne jurassienne, du Plateau molassique et des Alpes suisses. Ce projet de recherche est dénommé AQUITYP (PARRIAUX et al., 1990b). Il a pour but la caractérisation des différents types d'aquifères. En effet, de par leur nature chimique, les eaux tendent à garder l'empreinte de leur écoulement dans les formations géologiques perméables.

Du Jura aux Alpes, nous distinguons cinq groupes d'aquifères-types (fig. 1.1):

- Groupe 1: les terrains meubles quaternaires;
- Groupe 2: les roches sédimentaires détritiques de la Molasse et du Flysch à porosité d'interstices et de fissures;
- Groupe 3: les roches karstifiables carbonatées
- Groupe 4: les roches karstifiables évaporitiques;
- Groupe 5: les roches cristallines silicatées.

C'est dans le cadre de ce grand projet que le Professeur J.H. Gabus, directeur du GEOLEP, et Monsieur A. Parriaux, Docteur ès sciences et initiateur d'AQUITYP, m'ont confié l'étude de la typologie des aquifères évaporitiques du Trias du Bassin lémanique du Rhône.

Ce projet de recherche a en outre été présenté lors du XXIIe Congrès de l'AIH, organisé par le GEOLEP à Lausanne en 1990, dont le thème principal a été "Les ressources en eau en régions montagneuses" (PARRIAUX et al., 1990b).

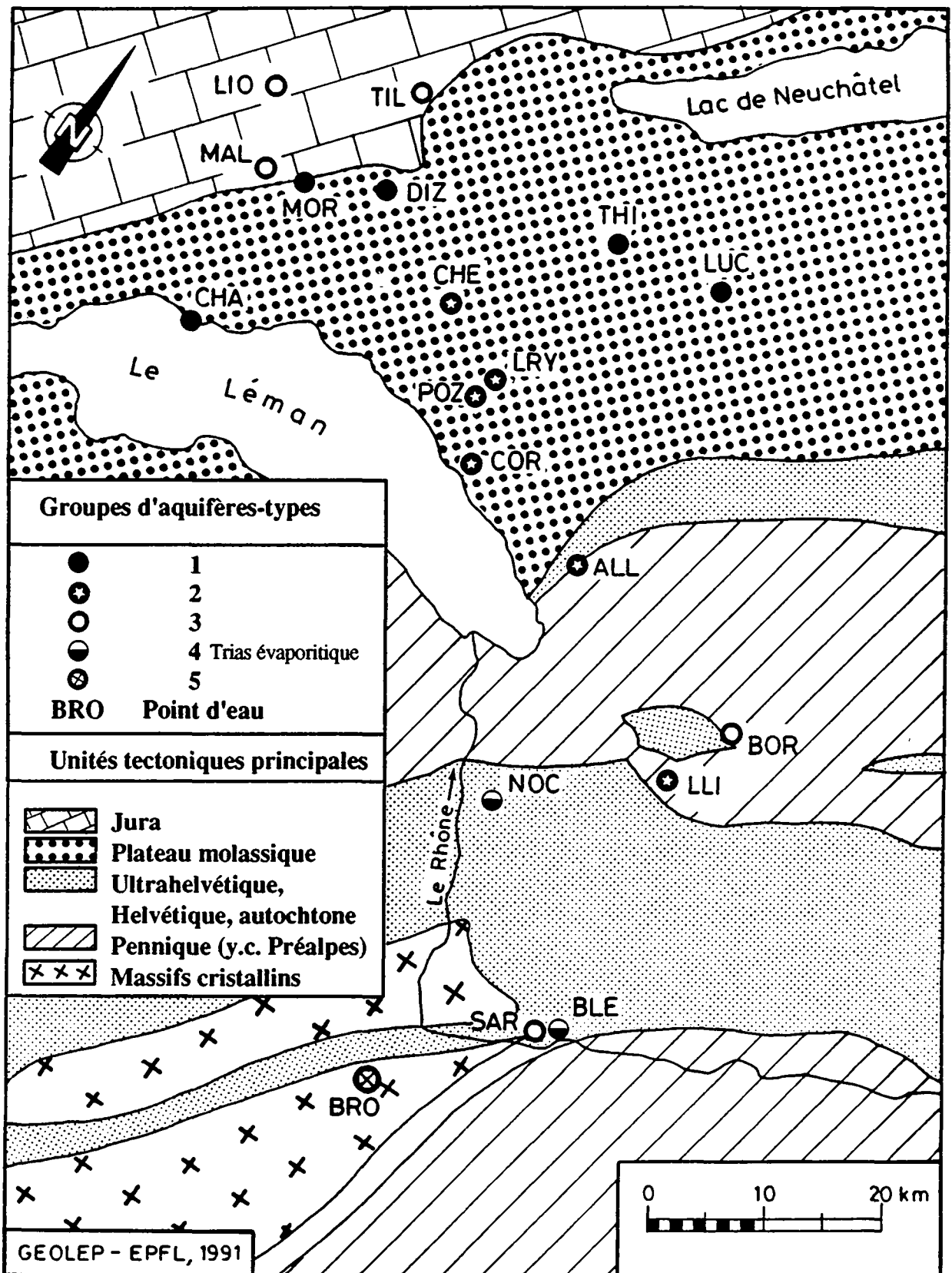


Figure 1.1 Carte des aquifères du réseau AQUITYP

2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'objectif principal de l'étude est la caractérisation des aquifères évaporitiques du Trias du Bassin rhodanien. Pour cela, il s'est avéré nécessaire de considérer un grand nombre de points d'eau souterraine appartenant à des contextes géologiques particuliers. Les propriétés de ces aquifères ne peuvent se définir que par la connaissance approfondie des caractéristiques hydrogéologiques des sources appartenant au karst évaporitique.

Du point de vue chimique, les eaux issues des aquifères évaporitiques sont fortement minéralisées en ions sulfate et calcium (eau sulfatée-calcique). Cette minéralisation résulte entièrement du passage des eaux dans les gypses du Trias (eaux des gypses). Nous les caractérisons également de séléniteuses (riches en SO_4) ou évaporitiques.

Nous avons décidé d'étudier essentiellement les eaux souterraines froides. Deux raisons principales nous ont amenés à faire ce choix:

- a) Aucune étude hydrogéologique générale sur les eaux froides des évaporites du Trias du Bassin rhodanien n'a été réalisée jusqu'à ce jour.
- b) En Suisse, les eaux thermominérales du Trias évaporitique ont déjà fait l'objet de quelques études importantes, notamment dans le domaine de la géothermie (VUATAZ, 1982). D'autres travaux scientifiques ont rassemblé en outre des données précieuses sur les caractéristiques physiques et chimiques de ce type d'eau d'origine profonde (CARLE, 1975; HÖGL, 1980). Si le thermalisme n'a pas été étudié dans le cadre de ce travail, nous avons néanmoins jugé opportun d'intégrer dans notre réseau d'observation quelques sources d'eau chaude pour les comparer à celles d'eau froide.

Après avoir inventorié 108 émergences, nous nous sommes fixés les objectifs suivants:

- 1) Définir les caractéristiques physiques et chimiques des eaux souterraines;
- 2) Déterminer le régime hydrologique et le mode de réalimentation de ces ressources par l'étude de leur comportement au cours du temps et en regard des conditions climatiques;
- 3) Caractériser les vitesses de cheminement de l'eau et les systèmes d'écoulement dans le karst évaporitique;
- 4) Etudier l'hétérogénéité spatiale de l'ensemble des paramètres physiques et chimiques de ces eaux;
- 5) Identifier l'empreinte chimique des roches formant les principaux aquifères du Trias;
- 6) Proposer une typologie des aquifères évaporitiques du Bassin rhodanien;
- 7) Comparer les données chimiques des eaux des aquifères évaporitiques rhodaniens à celles d'autres aquifères évaporitiques de régions limitrophes;
- 8) Comparer les caractéristiques hydrogéochimiques du groupe des aquifères évaporitiques à celles des autres groupes d'aquifères-types du réseau AQUITYP.

3. CADRE DE L'ETUDE

3.1 Géographie générale

3.1.1 Limites du territoire

Le territoire d'étude correspond au bassin hydrographique du Rhône, en amont du Lac Léman. Il est formé par les Alpes vaudoises et valaisannes (fig. 3.1). Il est limité:

- à l'ouest par le Chablais valaisan et le Lac Léman,
- à l'est par le Haut Valais (région Filet-Mörel),
- au nord par le Chablais vaudois et les Alpes valaisannes du nord, limite correspondant à la ligne de partage des eaux entre les bassins hydrographiques du Rhône et de l'Aar,
- au sud par l'arête frontière Suisse-France-Italie.

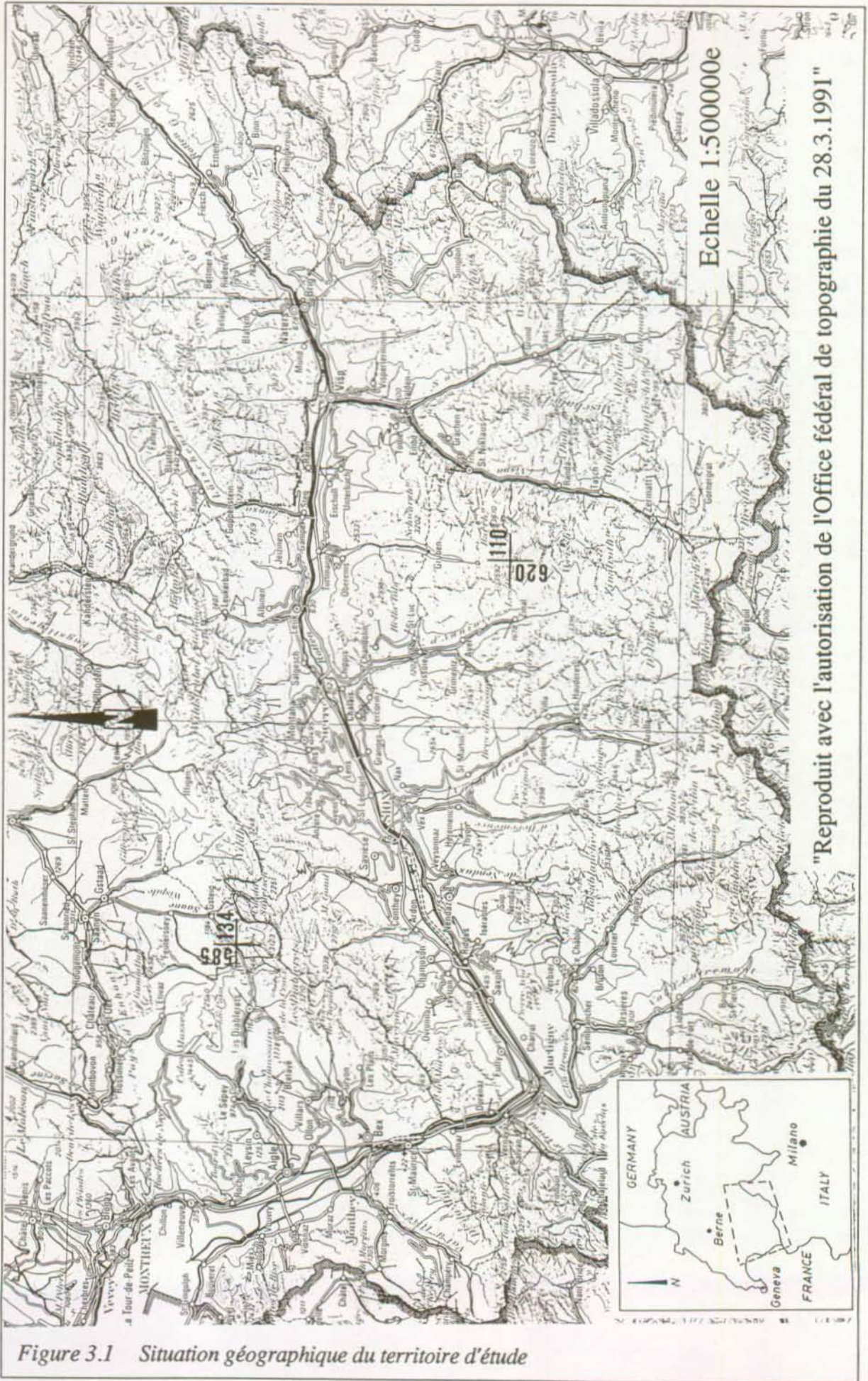
3.1.2 Relief, climat, végétation

Le bassin versant du Rhône offre des écarts d'altitude importants. Il passe de 375 msm au voisinage du Léman à près de 4500 msm à l'arête frontière avec l'Italie (région du Cervin). Les sources étudiées se trouvent à des altitudes variant entre 375 (région de St-Gingolph) et 2270 msm (région du Gomergrat).

Depuis le retrait des glaciers, le relief de la région n'a guère évolué. Cependant, sur les pentes raides des Alpes occidentales, parfois dénudées d'une végétation protectrice, se développe l'action efficace de l'érosion. Si la couche altérée est ensuite soumise à de grosses pluies ou à des torrents provenant de la fonte des neiges, notamment sous l'effet du foehn, elle se gorge d'eau, se transforme en coulée de boue et dévale les pentes. Ce matériau vient ensuite se déposer soit au pied des versants, soit s'étaler dans la vallée en un vaste cône d'alluvions. Le plus célèbre de ces cônes est celui de Finges, dont le matériel provient du cirque de l'Illgraben (région au sud de Loèche-Ville).

Les Alpes vaudoises et valaisannes sont soumises à plusieurs types de microclimats: océanique, continental, méditerranéen ou encore polaire (BEZINGE & BONVIN, 1974). La répartition des précipitations dans le bassin versant du Rhône s'effectue de manière hétérogène. Elle est liée au relief et à la direction des vents. Ainsi, les précipitations moyennes annuelles peuvent passer de 470 mm dans la région de Ackersand-Stalden (sud de Viège) à plus de 2000 mm au Grand-St-Bernard (BEZINGE & BONVIN, 1974).

Entre 400 et 1000 m d'altitude environ, nous trouvons des cultures maraîchères, fruitières et viticoles. Au-dessus, pâturages et forêts alternent. La limite supérieure des forêts se situe à environ 1800 m. Denses ou clairsemées, elles sont constituées de résineux: mélèzes, aroles et épicéas. Leur répartition régionale est fortement influencée par les effets globaux de l'ensemble des facteurs du climat. Ainsi, il semble que plus il y a de précipitations, plus la limite des forêts s'abaisse (BEZINGE & BONVIN, 1974). En-dessus de 1800 m, la couverture végétale est alpine de type tundra. Dès 2500 m, elle se raréfie.



Echelle 1:500000e

"Reproduit avec l'autorisation de l'Office fédéral de topographie du 28.3.1991"

Figure 3.1 Situation géographique du territoire d'étude

3.1.3 Hydrologie générale

Le réseau hydrographique de la région d'étude est dense. Si le haut des bassins est alimenté par les glaciers, la partie basse l'est essentiellement par les précipitations pluviales et nivales. Parmi les cours d'eau les plus importants du Bassin rhodanien, en amont du Lac Léman, nous citons d'est en ouest: le Rhône, la Massa, la Lonza, la Viège, la Borgne, la Drance, le Trient, l'Avançon, la Vièze, la Gryonne, la Grande-Eau et l'Eau Froide (fig. 3.1).

3.1.4 Colonisation de la montagne

Les ressources hydroélectriques de ce territoire dépendent également en grande partie des glaciers. Deux parmi les plus importants barrages de Suisse sont situés en Valais: il s'agit de ceux de la Grande-Dixence et de Mauvoisin. De tels aménagements hydroélectriques ont fortement contribué aux modifications hydrographiques de nos régions de montagne. De ce fait, la plupart des cours d'eau n'ont plus leur régime naturel.

Depuis plus d'un siècle, en montagne alpine, paysages naturels et paysages construits se côtoient et s'imbriquent étroitement. Les Alpes vaudoises et valaisannes n'échappent pas au développement touristique. Le changement du milieu, lié à l'augmentation des zones d'habitat secondaire et à l'apparition de nouvelles zones de loisirs, a provoqué une modification du cycle de l'eau en montagne, ainsi qu'une modification du modelé des bassins versants. Ces innombrables transformations, exigeant la récolte des écoulements superficiels, ne peuvent que produire des crues plus pointues.

Les bisses (canaux d'irrigation), encore fortement sollicités au siècle passé, ne le sont plus.

3.2 Géologie générale

Tous les points d'eau étudiés sont liés aux aquifères évaporitiques du Trias situés à la base des grandes unités tectoniques des Alpes occidentales (fig. 3.2):

- les Préalpes Médiannes,
- l'Helvétique,
- l'Ultrasubalpines,
- le Pennique.

Le charriage de ces nappes a été facilité par la nature plastique des évaporites. Le Trias des Alpes occidentales se caractérise en général par trois principaux lithofaciès:

- les quartzites du Trias inférieur (Werfénien),
- les roches carbonatées s.l. (calcaires et dolomies) du Trias moyen (Anisien et Ladinien),
- les évaporites du Trias moyen à supérieur (Carnien, Norien et Rhétien).

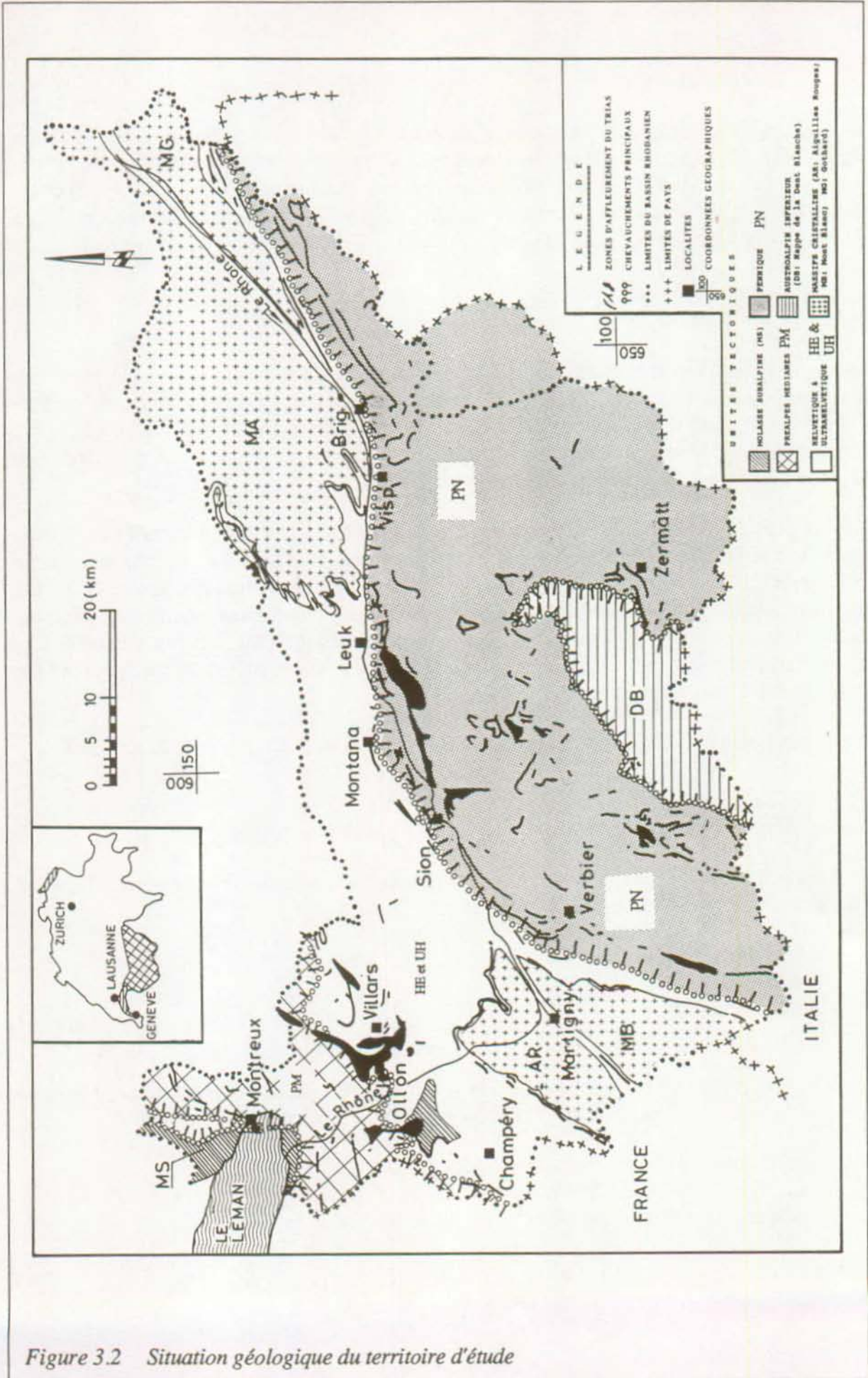


Figure 3.2 Situation géologique du territoire d'étude

3.3 Hydrogéologie générale

De par leur haute solubilité, les assises évaporitiques constituent la majorité des aquifères du Trias du Bassin rhodanien. Les principales roches qui caractérisent ce faciès sont:

- gypse et anhydrite,
- brèche à halite.

Les eaux souterraines étudiées proviennent essentiellement du karst gypseux. En effet, des écoulements concentrés peuvent se développer au travers de chenaux de dissolution dans des assises aussi solubles que le gypse. Les calcaires, les dolomies, les calcaires dolomitiques et les cornieules, également karstifiables, peuvent former des aquifères associés aux premiers.

En surface, le karst peut se traduire par des dolines ou entonnoirs qui, véritables pièges à eau, sont parfois occupés par des lacs. Cette morphologie est due à la dissolution, puis parfois à l'effondrement de cavernes en profondeur.

4. METHODOLOGIE D'ACQUISITION DES DONNEES

4.1 Collecte de données antérieures

Avant de procéder à des mesures et à des relevés sur le terrain, nous avons réuni un très grand nombre de données rattachées aux différents domaines qui vont être traités dans le cadre de cette étude: géologie, géochimie, hydrologie et hydrogéologie.

4.1.1 Données géologiques

De nombreuses cartes géologiques disponibles à différentes échelles ont été étudiées afin de repérer les zones à roches évaporitiques et les zones sourcières associées. Il s'agit notamment des cartes au 1:25'000 de l'Atlas géologique de la Suisse et des notices explicatives correspondantes. En outre, la stratigraphie du Trias et la structure générale des unités tectoniques de cette partie des Alpes occidentales ont été également examinées (voir chap. 5).

4.1.2 Données géochimiques

La compréhension de l'origine de la minéralisation des eaux souterraines nécessite la connaissance de la composition chimique des roches constituant les aquifères.

Malheureusement, il n'existe aucune étude spécifique sur la géochimie des roches évaporitiques du Trias du Bassin rhodanien. Nous avons donc dû recourir dans un premier temps aux analyses de roches triasiques provenant des forages exécutés dans le Jura de Suisse orientale par la CEDRA (DRONKERT, 1987; PETERS et al., 1987; MATTER et al., 1988a; MATTER et al., 1988b; MATTER et al., 1988c; PETERS et al., 1989a; PETERS et al., 1989b; DRONKERT et al., 1990). Elles nous ont permis d'avoir une vue d'ensemble des éléments chimiques majeurs et des éléments en traces dans les différentes roches du Trias jurassien.

4.1.3 Données hydrologiques

En vue d'évaluer l'effet des précipitations sur les eaux souterraines, nous devons disposer aussi bien de leurs données quantitatives que de leurs données qualitatives:

a) Aspect quantité

L'étude du régime hydrologique d'une source exige une mise en regard des variations temporelles de ses paramètres physiques et chimiques avec l'évolution de la pluviométrie et de la température de l'air régnant dans le bassin versant pour prendre en compte les processus de fonte de la neige.

Trois stations météorologiques (tab. 4.1) représentatives du bassin versant du Rhône ont été choisies pour étudier le comportement au cours du temps des sources du réseau I et partiellement du réseau II (voir chap. 7). Toutes les données météorologiques proviennent de l'Atlas pluviométrique et météorologique de la Suisse (1986-1989).

Nous avons également retenu les variations du régime hydrologique de la rivière Saltina près de Brigue (avril-juin 1987 et 1988), puisqu'elle représente l'un des rares cours d'eau de montagne avec un régime naturel. Nous l'avons adopté pour identifier à quel moment le début des crues printanières a lieu dans le cas des sources évaporitiques par rapport à celui de cette rivière (voir chap. 7).

Tableau 4.1 Stations météorologiques

Stations	Altitude (msm)	Précipitations annuelles (mm)			
		1986	1987	1988	1989
Leukerbad	1255	1364	1124	1337	825
Le Sépey	1267	1815	1645	1743	1141
Graechen	1617	699	660	602	*

*valeur non disponible

b) Aspect qualité

La caractérisation du régime géochimique de l'eau souterraine implique la connaissance de la composition des eaux de surface. Dans notre région, une étude des paramètres chimiques et isotopiques de la couverture neigeuse a été entreprise par le Centre de recherches géodynamiques de Thonon-les-Bains (Université Pierre et Marie Curie) et le GEOLEP (PARRIAUX et al., 1990a; DRAY et al., 1990). Quatorze sites d'accumulation neigeux ont été ainsi échantillonnés en mars 1988 dans le Massif du Mont Blanc, les Alpes vaudoises et valaisannes.

4.1.4 Données hydrogéologiques

Les informations sur les eaux souterraines froides des évaporites du Trias sont peu nombreuses. En outre, leur accès n'a pas toujours été facilité par les propriétaires des sources.

Essentiellement sulfatées-calciques, ces eaux se distinguent par une minéralisation élevée due à la haute solubilité des roches traversées. Leur concentration en sels dissous approche généralement 2 g/l. Un premier inventaire des sources, comprenant leurs caractéristiques physiques, chimiques et isotopiques, a été réalisé après consultation d'innombrables documents dispersés dans des institutions privées, académiques ou d'Etat. Elles proviennent ainsi de:

1) *Projet AQUITYP*

Au sein du réseau de référence d'AQUITYP, deux sources aux caractéristiques chimiques du karst évaporitique sont suivies depuis 1981 (PARRIAUX et al., 1990b). De nombreuses mesures et analyses ont été acquises aux sources de Noches (COLLET, 1986) et des Bains de Leytron (voir chap. 6, 7 et 8).

2) *Cartes hydrogéologiques et cadastre des sources*

Si pour le Valais, il n'existe ni carte hydrogéologique ni cadastre des sources, il n'en est pas de même pour le canton de Vaud. En effet, une cartographie hydrogéologique complète au

1:25'000 et un cadastre cantonal des sources pour l'ensemble de ce territoire ont été établis (BADOUX & MAUTNER, 1978). Ces travaux présentent les principaux ensembles hydrogéologiques, des données sur le type de captage, la situation géographique et les caractéristiques physico-chimiques générales des sources.

3) *Laboratoires cantonaux*

C'est dans les dossiers sanitaires que nous avons retrouvé un grand nombre d'analyses chimiques et bactériologiques sur les sources de nature sulfatée-calcique. Ces eaux fortement minéralisées et très dures ont été souvent déclarées impropres à la distribution publique. De ce fait, l'analyse de ce type d'eau a été rarement répétée.

4) *Communes*

Auprès des communes, nous avons retrouvé quelques documents concernant l'histoire de certaines sources. Au début de ce siècle, les eaux minérales, décrites avec des propriétés thérapeutiques, ont fait la renommée des stations touristiques de montagne, notamment celles exploitant le thermalisme.

Les administrations communales vaudoises et valaisannes nous ont également beaucoup aidés à rechercher sur le terrain les sources séléniteuses repérées au préalable dans les casiers sanitaires des Laboratoires cantonaux.

5) *Bureaux privés de géologues*

Les bureaux privés de géologues n'ont fait que peu d'études hydrogéologiques sur les sources sulfatées-calciques froides. Ils se sont occupés le plus souvent de travaux sur les eaux thermo-minérales.

Des échanges de données ont eu lieu avec le Bureau d'Etudes Géologiques (BEG) de Vétroz pour les sources des Serves à St-Gingolph, et avec le bureau Colombi-Schmutz-Dorthe (CSD) de Sion pour une étude hydrogéologique de la région de Loèche-Ville et de Salquenen. Enfin, quelques discussions ont eu lieu avec le Bureau Norbert de Lausanne pour un éventuel essai de traçage dans la région de Loèche-les-Bains, qui n'a malheureusement jamais pu être réalisé.

6) *Archives Géologiques Suisses (AGS) à Berne*

Des renseignements intéressants ont été trouvés sur la géologie et l'hydrogéologie des régions de Bramois, Grône, Vex, Rawil, Granges et Chablais valaisan.

7) *Sociétés d'eaux minérales et thermo-minérales et propriétaires privés de sources*

Dans le Bassin rhodanien, SEBA Aproz S.A. est la seule société commercialisant une eau fortement minéralisée de nature sulfatée-calcique. Ses eaux représentent environ 20% du marché suisse. La situation géographique des sources ainsi que leurs caractéristiques physiques et chimiques générales (éléments majeurs, mineurs et en traces) sont décrites dans HÖGL (1980).

Dans le cadre d'un projet d'aménagement hydroélectrique dans la région de Nendaz (barrage de Cleuson), le GEOLEP s'est vu confier un mandat par l'Energie Ouest Suisse (EOS) dont l'une

des tâches est la surveillance à long terme de ces sources avant, pendant et après la construction de l'aménagement (PARRIAUX et al, 1990c). Ces points d'eau forment avec d'autres émergences de nature chimique comparable un important réseau d'observation entre les torrents de La Fare et de La Printse (voir chap. 8).

L'accès aux sources d'eau chaude de Val d'Illicz, exploitées pour des bains, nous a été autorisé par la Société de Promotions Industrielles et Commerciales S.A. de Genève (SPIC S.A.). Malgré des caractéristiques thermales, nous avons tout de même intégré ces émergences dans notre réseau, puisqu'elles possèdent une empreinte chimique provenant des évaporites.

4.2 Travaux de terrain

4.2.1 Création de trois réseaux d'observation

Après des contacts systématiques avec les différents propriétaires pour rechercher les points d'eau inventoriés, un relevé de terrain a été effectué. Les sources ont fait l'objet d'une première mesure de conductivité électrique afin de vérifier leur degré de minéralisation. La plupart ont montré des caractéristiques chimiques spécifiques aux eaux des évaporites. C'est au cours de reconnaissances hydrogéologiques complémentaires que nous avons découvert d'autres sources à caractère séléniteux. Nous les avons intégrées au groupe formé lors de notre premier inventaire. Notre réseau comporte au total 108 émergences (annexe 1):

- 27 dans les Alpes vaudoises,
- 81 dans les Alpes valaisannes.

Les sources ont été numérotées de 1 à 108 et identifiées par un code de trois lettres ou de deux lettres suivies d'un chiffre (annexe 1).

La plupart des points d'eau ont été localisés dans l'Ultrasuisse et le Pennique. Par un souci de représentation claire, seules 88 émergences ont été reportées sur une carte avec un fond géologique simplifié du territoire d'étude (fig. 4.1). Elle nous servira abondamment lors de l'étude des variations spatiales de la composition chimique des eaux (voir chap. 8).

Notre réseau d'observation a été scindé en trois sous-réseaux:

a) Réseau I

Le réseau I comprend 7 sources (annexe 1), dont les stations de référence de Noches et des Bains de Leytron mises en place pour le projet AQUITYP. Tous ces points d'eau ont été équipés d'une station limnigraphique qui enregistre les débits en continu (tab. 4.2). Ils ont été choisis en fonction de trois critères spécifiques:

- critère géologique: au moins un limnigraphe a été placé dans l'une des quatre unités tectoniques où sont représentés des aquifères évaporitiques;
- critère géographique: en été comme en hiver, il faut que l'accès à la source soit possible pour vérifier le bon fonctionnement du limnigraphe, collecter les mesures, procéder aux prélèvements d'eau et aux mesures physico-chimiques instantanées;

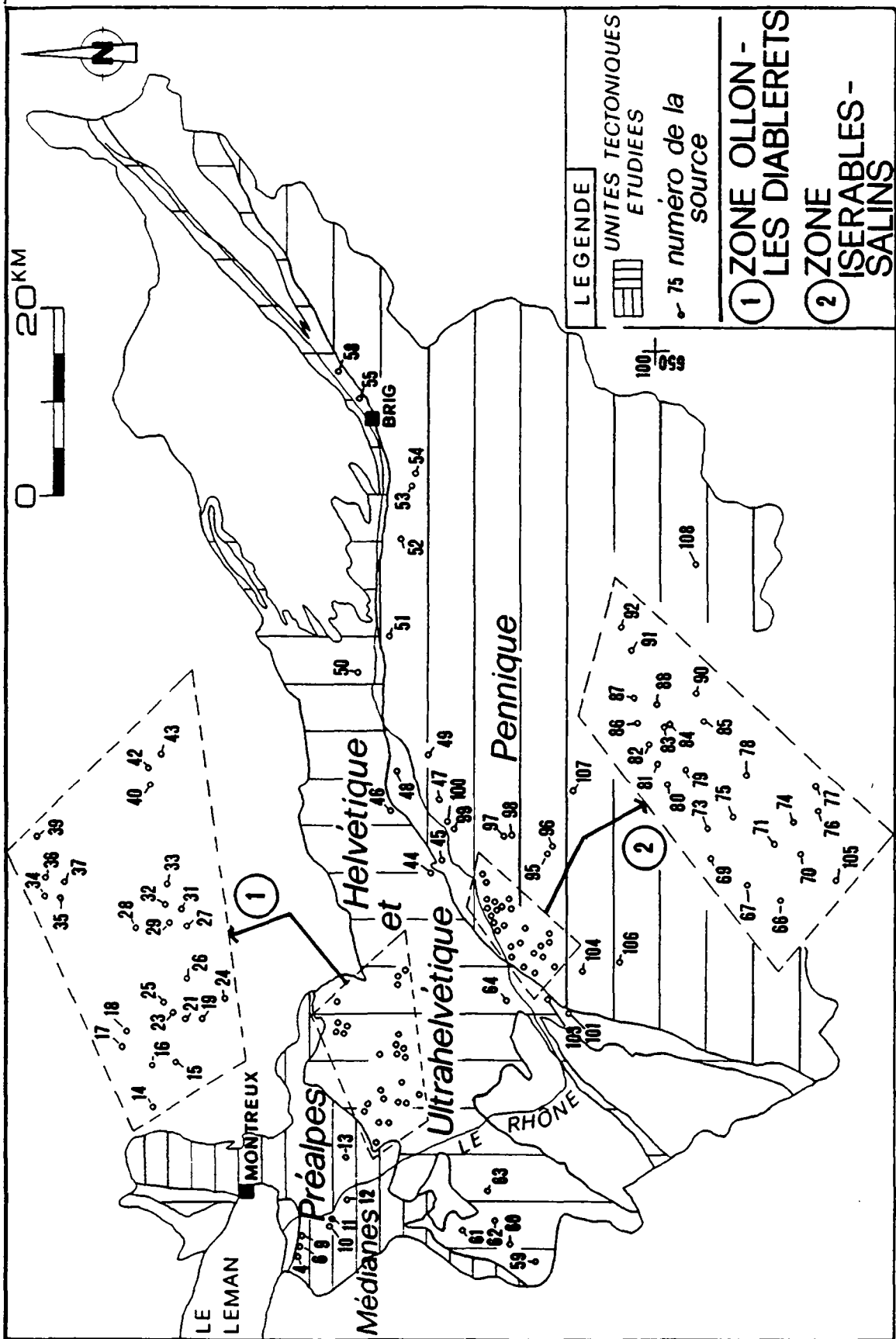


Figure 4.1 Localisation et environnement géologique des sources évaporitiques

- critère hydrologique: pour vérifier quelle est l'influence des conditions climatiques dans le bassin versant sur le régime hydrologique des sources situées à des altitudes différentes, il est indispensable de suivre en continu les variations temporelles des débits; l'altitude des points d'eau du réseau I varie entre 375 (St-Gingolph) et 1810 msm (Portes du Soleil, Val d'Iliez).

Parallèlement aux mesures et analyses effectuées par le personnel du GEOLEP sur les sources de Noches et des Bains de Leytron (sources n° 14 et 64) à raison de quatre fois l'an depuis 1981, les cinq autres sources du réseau I ont fait l'objet de mesures physico-chimiques et d'échantillonnage mensuels systématiques pendant au moins deux à trois cycles hydrologiques (1986 à 1988).

b) Réseau II

Le rôle de ce réseau intermédiaire est d'apporter de plus amples informations sur le comportement des paramètres physico-chimiques dans le temps. Quoiqu'il n'ait pas été équipé d'enregistreurs de débits, il vient compléter le réseau I.

Le réseau II regroupe 28 sources (annexe 1), qui ont été mesurées et échantillonnées à plusieurs reprises: une fois par mois pour les plus accessibles, quatre fois l'an pour les autres. Ces observations ponctuelles ont duré entre un et trois cycles hydrologiques (1986 à 1988).

c) Réseau III

Ce réseau doit permettre de cerner l'hétérogénéité spatiale (dispersion) à l'échelle du Bassin rhodanien des différents paramètres mesurés. Il correspond à la totalité des sources recensées, soit 108 (annexe 1). Outre les sources des réseaux I et II (35), il comprend 73 autres émergences qui ont été l'objet de plus rares mesures et prélèvements entre 1986 et 1989. Plusieurs de ces points d'eau sont difficiles d'accès, notamment en hiver.

4.2.2 Mesures sur le terrain et matériel utilisé

Les méthodes de mesure pratiquées et le matériel utilisé sur le terrain sont présentés au tableau 4.2. Les échantillons d'eau prélevés ont été stockés dans des flacons en polyéthylène de 500 ml. En outre, compte tenu de la forte minéralisation de ces eaux, nous avons toujours procédé à un prélèvement supplémentaire avec une dilution pour faciliter l'analyse des éléments majeurs (cations et anions principaux), délicate à des concentrations élevées. Cette dilution a été généralement de l'ordre de 5 à 10 fois. Les échantillons d'eau ont été stockés dans des flacons de 100 ml contenant une quantité connue d'eau déionisée.

4.2.3 Acquisition de données hydrogéologiques à l'aide de traceurs artificiels

Pour connaître le temps de cheminement de l'eau dans les évaporites du Trias et l'origine de quelques sources sulfatées-calciques principales, nous avons procédé à des essais de traçage à l'aide de marqueurs artificiels. Ces travaux ont été à chaque fois précédés par une étude hydrogéologique du site d'émergence et des zones supposées en liaison avec la source principale. Pour chaque essai, un réseau de surveillance a été établi comprenant l'exutoire principal à tester et les éventuelles sorties secondaires. Au préalable, des prélèvements d'eau et

de fluocapteurs de référence ont été faits en chacun de ces points pour vérifier l'existence de traces d'un marqueur artificiel utilisé antérieurement.

Tableau 4.2 Méthodes de mesure sur le terrain et d'analyse en laboratoire de l'eau

		Paramètres	Unités	Méthodes et appareillages
Terrain		Débit	l/mn	Bidon et chronomètre
		Niveau d'eau	m	Enregistreurs mécaniques (BILAND) et électroniques (MADD)
		Température	°C	Thermomètre digital (WTW LF91) et enregistreur électronique (MADD)
		Conductivité électrique	µS/cm à 20 °C	Conductivimètre digital (WTW LF91) et enregistreur électronique (MADD)
		pH	unité pH	Papier indicateur (MERCK)
		Potentiel redox	mV	Rh-mètre digital (WTW pH95)
		Dureté totale	°F	Détermination par complexométrie (EDTA)
		Dureté passagère ou mesure des hydrogénocarbonates (HCO ₃ ⁻)	mg/l	Titration par HCl 0,1 N jusqu'à pH = 4,5
Laboratoire	Cations	Lithium (Li ⁺) Sodium (Na ⁺) Potassium (K ⁺)	mg/l	Spectrophotométrie d'émission de flamme (FES) (Spectomètre PYE-UNICAM SP 1900)
		Magnésium (Mg ²⁺) Calcium (Ca ²⁺) Strontium (Sr ²⁺)	mg/l	Spectrophotométrie d'absorption atomique (AAS) (Spectomètre PYE-UNICAM SP 1900)
	Anions	Sulfates (SO ₄ ²⁻) Chlorures (Cl ⁻) Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l	Chromatographie liquide à haute pression (HPLC) (Chromatographe LC 10 PERKIN-ELMER)
		Fluor (F ⁻)	mg/l	Potentiométrie à courant nul (électrode sélective)
	Autres	Silicium (Si ⁴⁺) Bore (B ³⁺)	mg/l	Colorimétrie
	Eléments en traces	Aluminium (Al) Scandium (Sc) Vanadium (V) Chrome (Cr) Manganèse (Mn) Nickel (Ni) Cuivre (Cu) Zinc (Zn) Germanium (Ge) Arsenic (As) Brome (Br) Rubidium (Rb) Yttrium (Y) Cadmium (Cd) Iode (I) Baryum (Ba) Uranium (U)	µg/l	Spectrométrie de masse à source à plasma ICP-MS (VG PQ+)
		Uranium (U) Radon (Rn)	µg/l Bq/l	Spectrométrie à scintillation liquide (PACKARD)
		Isotopes: Tritium (³ H)	UT	
	Traceurs artificiels	Uranine (ou fluorescéine) Naphthionate Duasynne Pyranine		Spectrométrie de fluorescence (Chromatographe LC-4 PERKIN-ELMER)

Puis, chaque point de contrôle a fait l'objet de prélèvements d'eau et de fluocapteurs sur une période d'échantillonnage variant entre 1 et 9 mois (voir chap. 7). Parfois, nous avons utilisé un préleveur automatique d'eau (préleveur ROCK & TAYLOR). 48 échantillons d'eau d'un demi-litre au maximum peuvent être prélevés selon une fréquence à choisir, variant entre une

heure et 4 jours. Cependant, la fiabilité de cet appareil n'est pas parfaite dans des conditions difficiles de prélèvement (humidité, gel, etc.)

Lors de la mise en œuvre d'un essai de traçage, il est nécessaire pour en assurer le succès d'exiger une organisation soignée et détaillée dans le choix, la préparation, le transport et l'injection des traceurs (PARRIAUX et al., 1988).

4.2.4 Echantillonnage de roches

Une quarantaine de roches du Trias du Bassin rhodanien ont été prélevées (fig. 4.2) (voir chap. 5). Elles appartiennent aux unités tectoniques des Préalpes Médiannes, de l'Helvétique, de l'Ultraselvétique et du Pennique (annexe 2). Nous avons surtout échantillonné de nombreux gypses, puisqu'ils forment la majeure partie des aquifères du Trias. Certains ont été prélevés là où émerge une source sulfatée-calcique typique, afin de pouvoir mieux établir l'empreinte chimique de la roche sur l'eau souterraine. Nous avons également bénéficié d'échantillons de roches provenant des forages exécutés dans la région de Nendaz dans le cadre du futur aménagement hydroélectrique (PARRIAUX et al., 1990c). Nous y avons ainsi collecté des gypses, des anhydrites et des quartzites (fig. 4.2).

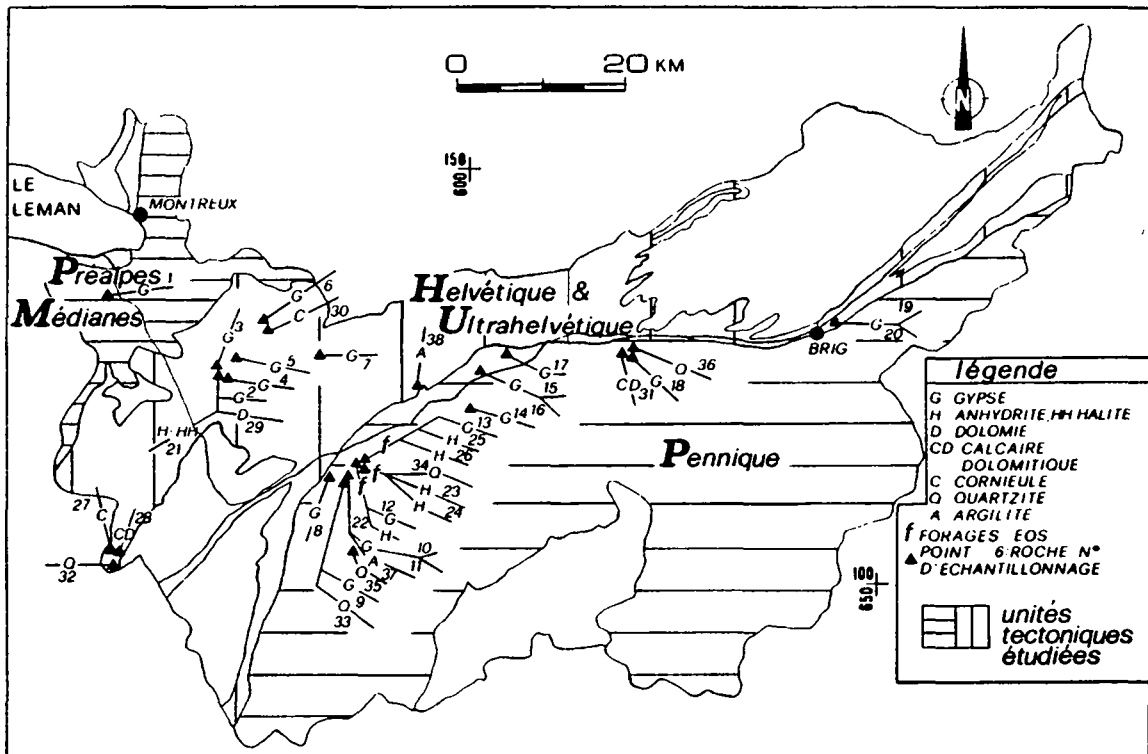


Figure 4.2

Localisation et environnement géologique des roches

4.2.5 Echantillonnage de neiges

Nous avons effectué deux prélèvements de neiges dans les régions de Morgins le 31.1.1988 et de Gryon le 23.3.1988. Ces échantillons ont été analysés dans le but de comparer leur composition chimique à celle des eaux souterraines de nature sulfatée-calcique.

4.3 Préparations et analyses en laboratoire

Toutes les analyses chimiques des eaux ont été réalisées au GEOLEP. Quelques mesures isotopiques proviennent du Centre de recherches géodynamiques de Thonon-Les-Bains et de l'Université de Munich.

Pour l'analyse géochimique des roches du Trias, nous avons bénéficié dans un premier temps de l'expérience du Laboratoire de GIPS-UNION S.A. à Bex, spécialiste dans l'analyse des gypses. Puis, nous nous sommes investis à pratiquer et à appliquer différentes méthodes de préparation et d'analyse de roches (voir chap. 5).

4.3.1 Eaux

Les mesures des paramètres physico-chimiques et les analyses des différents composants chimiques et isotopiques de l'eau ont été reportées dans les annexes 3 et 4.

Le tableau 4.3 ci-dessous résume la totalité des mesures et analyses produites pour les eaux souterraines.

Tableau 4.3 *Mesures et analyses effectuées sur les eaux souterraines*

Mesures physico-chimiques (terrain)	2817
Analyses chimiques (laboratoire)	6129
Analyses isotopiques (laboratoire)	36
Total	8982

4.3.1.1 Méthodes analytiques

Les eaux de surface comme les eaux souterraines ont été analysées en grande partie selon les méthodes classiques de l'hydrochimie (tab. 4.2): spectrophotométrie d'émission de flamme et d'absorption atomique (PINTA, 1979), chromatographie liquide (YOST et al., 1980), colorimétrie et électrode sélective (RODIER, 1978). A celles-là vient s'ajouter l'analyse récente par ICP-MS (DATE & GRAY, 1989) pour les éléments en traces (tab. 4.2).

Antérieurement, les ions en très faibles concentrations dans les eaux étaient dosés à l'aide du four à graphite (PARRIAUX et al., 1990a). Cette méthode a été longtemps pratiquée sur les eaux de Noches et des Bains de Leytron dans le cadre du réseau AQUITYP.

Quelques mesures d'uranium 238, de radon 222 et de tritium ont été réalisées à l'aide d'un spectromètre à scintillation liquide PACKARD (tab. 4.2).

4.3.1.2 Analyses et problèmes rencontrés

A) Spectrophotométrie d'émission de flamme (FES) et d'absorption atomique (AAS)

Grâce aux analyses chimiques antérieures concernant les eaux sulfatées-calciques, nous avons pu fixer l'ordre de grandeur des concentrations des éléments alcalins (Li, Na, K) et alcalino-terreux (Mg, Ca, Sr) à doser, puis élaborer des solutions standards ayant une matrice similaire à celle des eaux des évaporites.

Etant donné la minéralisation élevée de ces eaux, la gamme utile des éléments à doser a été ramenée à un domaine de concentration (tab. 4.4) où la précision analytique a pu être assurée par le spectromètre PYE-UNICAM (tab. 4.2). Il a fallu au préalable diluer plus ou moins fortement l'échantillon (voir 4.2.2) pour obtenir une concentration pour chaque élément se trouvant dans un intervalle détectable (tab. 4.4). Le dosage de chaque élément se fait selon une gamme de solutions à teneurs croissantes.

Les dérives de l'appareil sont également corrigées selon des standards dits de "dérive" qui sont introduits au début et à la fin du chargement des échantillons à analyser. Il est ainsi possible de quantifier cette dérive, souvent non linéaire, et de corriger les valeurs recherchées des éléments à doser (PARRIAUX & LUTZ, 1988). Enfin, toutes les eaux prélevées d'une même source durant une période bien définie, par exemple après un cycle hydrologique, doivent être analysées en même temps pour que les conditions d'analyse restent identiques tout au long des mesures (voir 4.3.1.3).

Tableau 4.4 Conditions d'analyse et domaine de concentration de la méthode (FES et AAS)

Paramètre	Conditions d'analyse		Domaine de concentration (mg/l)
	Méthode	Longueur d'onde (nm)	
Li ⁺	FES	670.8	0 - 0.08
Na ⁺	FES	589.0	0 - 4
K ⁺	FES	766.5	0 - 5
Mg ²⁺	AAS	285.2	0 - 25
Ca ²⁺	AAS ou	422.6	0 - 80
	FES	422.6	0 - 100
Sr ²⁺	AAS ou	460.7	0 - 5
	FES	460.7	0 - 5

B) Chromatographie liquide (HPLC)

Si la haute concentration en sulfates des eaux des évaporites, le plus souvent de l'ordre de 1 g/l, nous a contraints à utiliser les échantillons dilués pour l'analyse de ces ions, nous avons dû recourir aux échantillons non dilués pour l'analyse des chlorures. En effet, leur teneur est faible

et avoisine généralement la limite de détection satisfaisante de l'appareil: environ 1 à 2 mg/l. En outre, le grand pic des sulfates ne permet pas une quantification précise des chlorures, puisqu'il tend à déformer le pic Cl.

C) ICP-MS

Cette méthode a été utilisée pour l'analyse de nombreux éléments en traces contenus dans l'eau. (tab. 4.2). Chaque échantillon a été dilué 2 fois pour éviter que les minuscules tuyaux de l'appareil ne se bouchent à cause des précipités. Nous y avons en outre ajouté un peu d'acide nitrique (2,5 % HNO₃), afin que les ions restent en solution.

Par ICP-MS, les analyses de V et Br ne se sont pas toujours révélées satisfaisantes. Plus la teneur en Cl a été élevée, plus la qualité de la mesure en V s'est avérée mauvaise (interférence de ClO⁺). Quant aux résultats en Br, ils sont généralement conditionnés par un effet mémoire (BENSIMON & PARRIAUX, 1990).

Nous avons aussi tenté d'analyser Ti et Se, mais ces mesures s'étant montrées très insatisfaisantes, nous n'avons pas cru opportun de les présenter.

D) Scintillation liquide

Le nombre de laboratoires équipés correctement pour des analyses isotopiques de routine est encore insuffisant en raison de la complexité de la technique analytique (VUATAZ, 1982). Il en résulte souvent un coût relativement élevé, ce qui restreint fortement le nombre des échantillons à analyser. Quelques mesures de tritium ont été effectuées dans notre laboratoire, mais sans enrichissement électrolytique. Les résultats obtenus se sont malheureusement montrés décevants (tab. 4.5) (voir chap. 7).

Les mesures en U effectuées par scintillation liquide sont dans l'ensemble satisfaisantes, mais les valeurs sont légèrement supérieures à celles trouvées par ICP-MS: environ 10 %.

Nous avons également fait quelques analyses de radon. Elles sont très délicates à réaliser à cause du dégazage qui a lieu directement lors du prélèvement à la source. Les résultats peuvent par conséquent être faussés, surtout si l'échantillonnage n'a pas eu lieu de manière parfaitement adéquate.

4.3.1.3 Contrôle des mesures et des analyses

A) Mesures physico-chimiques

La précision des mesures du débit, de la conductivité électrique, de la température, du pH et du potentiel redox a été estimée en fonction du matériel et des conditions de mesure sur le terrain (tab. 4.5). En effet, elle peut varier d'un point d'échantillonnage à un autre en raison du type d'émergence. L'évaluation de la précision du pH et du potentiel redox a toujours été difficile à cause de l'effet de biais provoqué par le déséquilibre du milieu au point d'émergence. Pour la température, le pH et le potentiel redox, la précision a été donnée par l'écart-type en leur unité de mesure respective (tab. 4.5).

B) Analyses chimiques

La plupart des méthodes analytiques utilisées sont celles recommandées dans les "STANDARD METHODS" (1975) et elles ont été testées dans plusieurs laboratoires et par plusieurs analystes, pour déterminer principalement l'exactitude par rapport à la valeur réelle du paramètre analysé ainsi que la reproductibilité (PINTA, 1979). Les analyses obtenues au cours de cette étude se sont révélées le plus souvent satisfaisantes.

Deux méthodes différentes ont été utilisées pour contrôler et corriger les analyses chimiques.

1) Contrôle de la balance ionique cations-anions

Les analyses effectuées ont été contrôlées et jugées acceptables pour autant que la différence entre la somme des cations et la somme des anions, le tout exprimé en milliéquivalents par litre (meq/l), soit inférieure ou égale à 10 % de la valeur moyenne des sommes des cations et des anions. L'équation de cette balance ionique s'exprime sous la forme suivante :

$$|\Sigma \text{ cations} - \Sigma \text{ anions}| \leq 0.1 \frac{\Sigma \text{ cations} + \Sigma \text{ anions}}{2}$$

2) Contrôle de la reproductibilité des analyses

Pour tester la reproductibilité (répétabilité ou fidélité) de nos analyses, nous avons choisi la source des Serves à Saint-Gingolph, dont nous avons prélevé 40 échantillons de suite pour les analyses en laboratoire. En spectrométrie d'absorption atomique et d'émission de flamme, ils ont été analysés en même temps dans un unique lot de passage pour que les conditions opératoires, notamment les conditions de flamme, restent si possible les mêmes durant toute l'opération. On constate que la reproductibilité, exprimée par le coefficient de variation (Cv en %) (VUATAZ, 1982), est tout à fait comparable à celle donnée par les "STANDARD METHODS" (1975) (tab. 4.5).

Cependant, quelques problèmes sont survenus dans la reproductibilité de certains paramètres: B, NO₃, F, Cl. Ces variations importantes sont rattachées aux imprécisions des méthodes analytiques liées à la faible concentration de ces composants (tab. 4.5). Compte tenu de leurs très faibles concentrations, B, NO₃, F et Cl n'influencent que très peu la balance ionique.

La reproductibilité des éléments en traces (tab. 4.5) provient de tests réalisés au GEOLEP sur une période de trois semaines (BENSIMON & PARRIAUX, 1990).

Pour le tritium, les valeurs peuvent être très différentes d'un échantillon à l'autre (tab. 4.5), ce qui témoigne de la limite de la méthode pratiquée (voir 4.3.1.2).

4.3.2 Traceurs artificiels

Quatre traceurs artificiels fluorescents ont été choisis pour des essais dans le karst évaporitique. La détection de ces marqueurs, entièrement effectuée par le GEOLEP, a été réalisée aussi bien dans les échantillons d'eau que dans les éluats des fluocapteurs (PARRIAUX et al., 1988).

Parmi les traceurs d'usage courant, nous avons utilisé l'uranine (fluorescéine) et le naphthionate. Les deux autres, plus difficiles à utiliser ou moins performants, sont la duasyne et la pyranine. Le dosage de ces produits, souvent perturbé par la présence d'une fluorescence naturelle, se fait par chromatographie liquide à fluorescence (tab. 4.2) à longueur d'onde fixe (ALLEMAN, 1989). La séparation par chromatographie liquide à haute pression (HPLC) permet une identification sûre et rapide de ces traceurs (LUTZ & PARRIAUX, 1988).

Tableau 4.5 *Reproductibilité des mesures et des analyses*

Paramètres		Reproductibilité exprimée par le coefficient de variation (Cv %)	Paramètres		Reproductibilité exprimée par le coefficient de variation (Cv %)
physico-chimiques	Débit	10 - 100	chimiques	Li	7.7
	Conductibilité électr.	2.5		Ni	8
	Température*	0.1 - 0.3 °C		Rb	8
	pH*	0.2 pH		Zn	8
	Potentiel redox*	20 mV		SO ₄	8.9
chimiques	Na	1.4		Mn	9
	Sr	2.9		Y	9
	HCO ₃	2.9		I	10
	Ca	3		B	10.5
	Dureté totale	3		Cd	11
	U	3		As	11
	K	4.8		Ge	11
	Mg	4.8		Br	12
	Al	6		V	12
	Cr	6		F	13
	Sc	6		Cl	23
	Si	6.6		NO ₃	25
	Ba	7	Rn	10	
Cu	7	isotopiques	³ H	3 à 25	

*reproductibilité exprimée dans l'unité de mesure

4.3.3 Roches

Toutes les roches collectées ont été d'abord broyées, puis moulues très finement (WOODTLI et al., 1987). Cinq méthodes de préparation à l'analyse de la roche ont été pratiquées. Quatre d'entre elles ont permis d'analyser les composants de la roche selon qu'ils soient solubles dans l'eau, les acides faibles (CO₂), les acides forts ou encore par fusion alcaline (PINTA, 1980; MANDIA & PARRIAUX, 1990). Il s'agit des méthodes I, II, III et IV. Une cinquième consiste dans la préparation de pastilles solides (MANDIA, 1984; WOODTLI et al., 1987). Tous les résultats sont présentés dans les annexes 5 à 7 et discutés aux chapitres 5 et 9.

4.3.3.1 Méthode I: lixiviation à l'eau

La méthode I a été appliquée à 37 roches triasiques: 19 gypses rhodaniens, 2 gypses nord-américains (voir ci-dessous), 5 anhydrites pures, une brèche à halite (mélange anhydrite et sel gemme), 5 roches carbonatées, 4 quartzites et une argilite.

Deux grammes de poudre de chaque échantillon ont été mis en solution dans 1 l d'eau déminéralisée. Ces solutés ont été ensuite agités, puis laissés au repos pendant trois semaines à température ambiante. Après avoir été filtrés, les lixiviats ont été analysés une première fois par ICP-MS. A cause de leur haute concentration en sels dissous, les lixiviats de gypses et d'anhydrites ont été dilués de 50% pour permettre une meilleure analyse (DATE & GRAY, 1989). Tous les échantillons ont été également acidifiés avec de l'acide nitrique à 2,5 %. Nous avons dosé 23 éléments par ICP-MS (tab. 4.6). Les sulfates, les chlorures et le silicium ont été analysés par HPLC et colorimétrie, les hydrogénocarbonates par titration (tab. 4.4 et 4.6).

Les analyses des gypses rhodaniens ont été comparées à celles de deux standards GYP-A et GYP-D que nous avons acquis auprès de HELVENT AG. Ces deux gypses proviennent d'Amérique du Nord et sont certifiés comme matériaux de référence ("Gypsum Rock Certified Reference Materials"). Les analyses ont été organisées par la firme DOMTAR INC. RESEARCH CENTRE au Canada sur une vaste échelle mondiale. La réalisation d'essais interlaboratoires a été assurée avec la participation de 29 entreprises et instituts et a abouti à la présentation de quatre gypses certifiés (KOCMAN & FOLEY, 1987): GYP-A, GYP-B, GYP-C et GYP-D.

4.3.3.2 Méthode II: barbotage avec l'eau et le gaz carbonique

La méthode II nous a conduits à simuler une interaction entre les eaux souterraines et les roches. Comme les gypses forment la majeure partie des aquifères du Trias, nous avons fait barboter 10 g de poudre d'un gypse dans 300 g d'eau déminéralisée avec du gaz carbonique (CO₂) durant 3 jours. Après avoir été filtrée, la solution obtenue a été analysée comme un échantillon d'eau. Les cations ont été analysés par spectrophotométrie d'émission de flamme et d'absorption atomique, les anions par chromatographie liquide (tab. 4.4 et 4.6).

4.3.3.3 Méthode III: attaque à l'HCl

A notre demande, le Laboratoire de GIPS-UNION S.A. à Bex a procédé à l'analyse de neuf gypses provenant de sites sourciers (voir 4.3.3.4). Les poudres de ces roches ont été mises en solution dans un premier temps par une attaque à l'acide chlorhydrique pour distinguer les parties solubles et insolubles (PINTA, 1980; MANDIA & PARRIAUX, 1990).

4.3.3.4 Méthode IV : fusion alcaline au métaborate de lithium

Une analyse supplémentaire a été pratiquée pour les gypses, dont la fraction insoluble s'est révélée importante après une attaque à l'HCl (voir 4.3.3.3). En effet, six d'entre eux ont révélé 3 à 10 % de composants insolubles. La méthode IV ou fusion alcaline consiste en la mise en solution de ce résidu après qu'il ait été soumis à l'aide d'une pastille de métaborate de lithium (LiBO₂ • 8H₂O) à une température de 1100 °C (PINTA, 1980; MANDIA & PARRIAUX, 1990). Les éléments chimiques ont été analysés par spectrophotométrie d'émission de flamme et d'absorption atomique ICP 35000, dont la source d'excitation est une source à plasma (GOVINDARAJU & MEVELLE, 1987). Les résultats ont été exprimés en pourcent poids (par rapport à l'échantillon total) pour les majeurs et en ppm pour les traces par le Laboratoire de GIPS-UNION S.A (tab. 4.6).

4.3.3.5 Méthode V: fluorescence des rayons-X

La fluorescence des rayons-X nécessite au préalable la préparation d'échantillons à l'état solide sous la forme de pastilles (méthode V). L'analyse chimique des roches des nombreux forages exécutés dans le Trias du Jura par la CEDRA a été effectuée selon cette méthode (MATTER et al., 1988a). Dans le cadre de notre étude, nous n'avons analysé que trois roches par cette méthode. Il s'agit d'un quartzite, d'un calcaire dolomitique et d'une argilite. Les résultats obtenus comprennent les éléments majeurs sous formes d'oxydes en pourcent poids et les éléments en traces en ppm (tab. 4.6) (WOODTLI et al., 1987).

Tableau 4.6 Méthodes d'analyses des roches

Composés chimiques	Méthodes (appareillages: lieux des analyses)
Li, Na, K, Mg, Ca, Sr	FES et AAS (PYE-UNICAM SP 1900: Geolep)
SO ₄ , Cl	HPLC (LC 10 PERKIN-ELMER: Geolep)
Li, Na, K, Rb, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Y, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Al, Ge, As, Br, I, U	ICP-MS (VG PQ+: Geolep)
Si	Colorimétrie (Potentiomètre à courant nul: Geolep)
Na, K, Mg, Ca, Sr, Ba, Ti, Mn, Fe, Cu, Zn, Al, Si, PO ₄ , SO ₄	FES et AAS (ICP 35000: Gips-Union S.A-Bex)
SiO ₂ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MnO, MgO, CaO, Na ₂ O, K ₂ O, P ₂ O ₅ , Cr ₂ O ₃ , NiO, Nb, Zr, Y, Sr, U, Rb, Th, Pb, Ga, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Ce, Nd, Ba, La, Sc, S	Fluorescence des rayons X (Spectromètre PW 1400 PHILIPS: Centre d'Analyse Minérale, Université de Lausanne)
FeO CO ₂	Colorimétrie et Coulomat Ströhlein (Centre d'Analyse Minérale, Université de Lausanne)

4.4 Moyens de représentation des résultats

A côté des différentes tables de mesures et analyses (annexes 3 et 4), un effort important a été consacré aux moyens de représentation des résultats, notamment en ce qui concerne les données acquises sur l'eau souterraine.

4.4.1 Classification chimique des eaux souterraines

Depuis la fin du siècle passé, plusieurs classifications des eaux minérales et thermo-minérales ont été proposées. D'abord qualitatives et peu précises, elles se sont améliorées au fur et à mesure de l'avancement des études. JAECKLI (1970) présente une classification exprimée en milliequivalents par litre (meq/l) et fondée sur les ions représentant plus de 10 à 20 %, 20 à 50 % et plus de 50 % de la somme des cations ou des anions. Tout ion en-dessous de 10 % n'est pas retenu. Une autre classification est proposée par SCHMASSMANN (in HÖGL,

1980). Elle est basée sur les ions représentant plus de 20 % de la somme des cations ou des anions exprimée en milliéquivalents par litre. Dans le cadre de cette étude, nous avons adopté la classification de JAECKLI.

4.4.2 Représentations graphiques

a) Variations temporelles (voir chap. 7)

Les variations temporelles des paramètres physico-chimiques des principales sources ont été représentées en fonction du temps et mises en regard des conditions climatiques régnant dans le bassin versant.

b) Variations spatiales (voir chap. 8)

Les paramètres physiques, les éléments chimiques majeurs et en traces de chaque point d'eau mesurés pendant une période plus ou moins synchrone ont été reportés sur une carte géologique simplifiée des Alpes occidentales.

c) Graphes en "xy", "xyz", "line", "bar", "stacked-bar" et "pie"

Pour illustrer la composition chimique des eaux des évaporites, des neiges et des roches, nous avons souvent recouru à de nombreux types de graphiques: "xy", "xyz", "line", "bar", "stacked-bar", "pie" (STARK, 1987). Par exemple, les graphes en "pie" ont permis de représenter la composition chimique d'une eau ou d'une roche à l'aide d'un cercle qui rend compte du pourcentage ou de la proportion des éléments mesurés choisis pour y être représentés.

4.5 Méthodes statistiques

Pour le traitement de nos données, nous avons aussi utilisé des méthodes statistiques:

- la statistique descriptive,
- l'analyse multivariée.

La statistique descriptive a pour but de résumer un ensemble d'observations par un petit nombre de paramètres: il s'agit de décrire l'ensemble des observations effectuées. Un autre aspect de cette méthode est la présentation synthétique des observations par des tableaux ordonnés ou des graphiques. Ce travail descriptif peut donc comprendre la mise en ordre des données (groupement), leur contrôle, la présentation graphique ou sous forme de tableaux, le calcul des paramètres descriptifs de l'ensemble des observations tels la moyenne, l'écart-type, le coefficient de variation, le maximum et le minimum. A côté de ces valeurs obtenues, nous avons en outre procédé à l'étude des histogrammes de fréquence des classes des différents paramètres mesurés dans les eaux souterraines.

Pour l'analyse des données, nous avons également recouru aux méthodes multivariées, notamment aux méthodes factorielles (LEBART et al., 1982). Elles utilisent des calculs d'ajustement qui font essentiellement appel à l'algèbre linéaire, et produisent des représentations graphiques où les objets à décrire deviennent des points sur un axe ou dans un plan.

Pour nos analyses multivariées, nous avons utilisé le programme STATGRAPHICS version 4.0 pour les micro-ordinateurs IBM-PC compatibles (STGC, 1989).

4.6 Tests de saturation des eaux souterraines vis à vis de certains minéraux

A l'aide du programme des calculs d'équilibres PHREEQE (PARKHURST et al., 1980), nous avons effectué quelques tests de saturation de minéraux susceptibles de se former dans les eaux des évaporites.

Les résultats majeurs sont présentés graphiquement au chapitre 6. Nous les utiliserons au chapitre 8 pour appuyer nos interprétations sur l'origine de la minéralisation des eaux souterraines étudiées.

5. GEOLOGIE DES AQUIFERES

Dans ce chapitre, nous allons énoncer les éléments nécessaires à l'interprétation de la relation géochimique entre les eaux à caractéristiques chimiques séléniteuses et les roches du Trias du Bassin rhodanien (voir chap. 8). Il sera question dans un premier temps du contexte géologique et plus particulièrement des formations évaporitiques présentes à la base des grandes unités tectoniques de la région. Puis, nous allons présenter le caractère géochimique et hydrogéologique des différentes roches du Trias avec un accent tout particulier en ce qui concerne les gypses, puisque ils constituent les principaux aquifères du Trias.

5.1 Aperçu tectonique

Quatre grandes unités tectoniques, principalement à formations sédimentaires, ont été étudiées. Elles appartiennent aux Alpes occidentales. Il s'agit de nappes charriées. Nous y distinguons (fig. 3.2):

- les Préalpes Médiannes,
- l'Helvétique,
- l'Ultraselvétique,
- le Pennique.

De nombreuses études géologiques détaillées concernant ces différentes nappes ont été publiées. Nous nous y sommes souvent référés.

5.1.1 Préalpes Médiannes

Les Préalpes Médiannes se subdivisent en deux sous-unités: les Préalpes Médiannes Plastiques et les Préalpes Médiannes Rigides. On doit à LUGEON & GAGNEBIN (1941) la distinction entre Médiannes Plastiques et Médiannes Rigides qui diffèrent par leur histoire paléogéographique, leur série stratigraphique et leur style tectonique.

La nappe des Médiannes Plastiques a une origine paléogéographique subbriançonnaise et celle des Médiannes Rigides une origine briançonnaise, toutes deux composent une nappe de chevauchement d'origine du Pennique moyen (BAUD & SEPTFONTAINE, 1980). Dans le cadre de notre étude, les aquifères évaporitiques des Préalpes Médiannes ont été traités séparément de ceux du Pennique.

La série stratigraphique va généralement du Trias inférieur à l'Eocène supérieur pour les Médiannes Plastiques et du Trias moyen au Paléocène pour les Médiannes Rigides (BAUD, 1972; BAUD, 1987). Le style tectonique cassant des Médiannes rigides est lié essentiellement à l'absence des formations évaporitiques plastiques (gypse et anhydrite) du Trias moyen à supérieur (TRÜMPY, 1980) et des niveaux argileux et marneux caractéristiques du Lias (BAUD, 1987). Ces formations sont par contre bien représentées dans la série stratigraphique des Médiannes Plastiques (TRÜMPY, 1980).

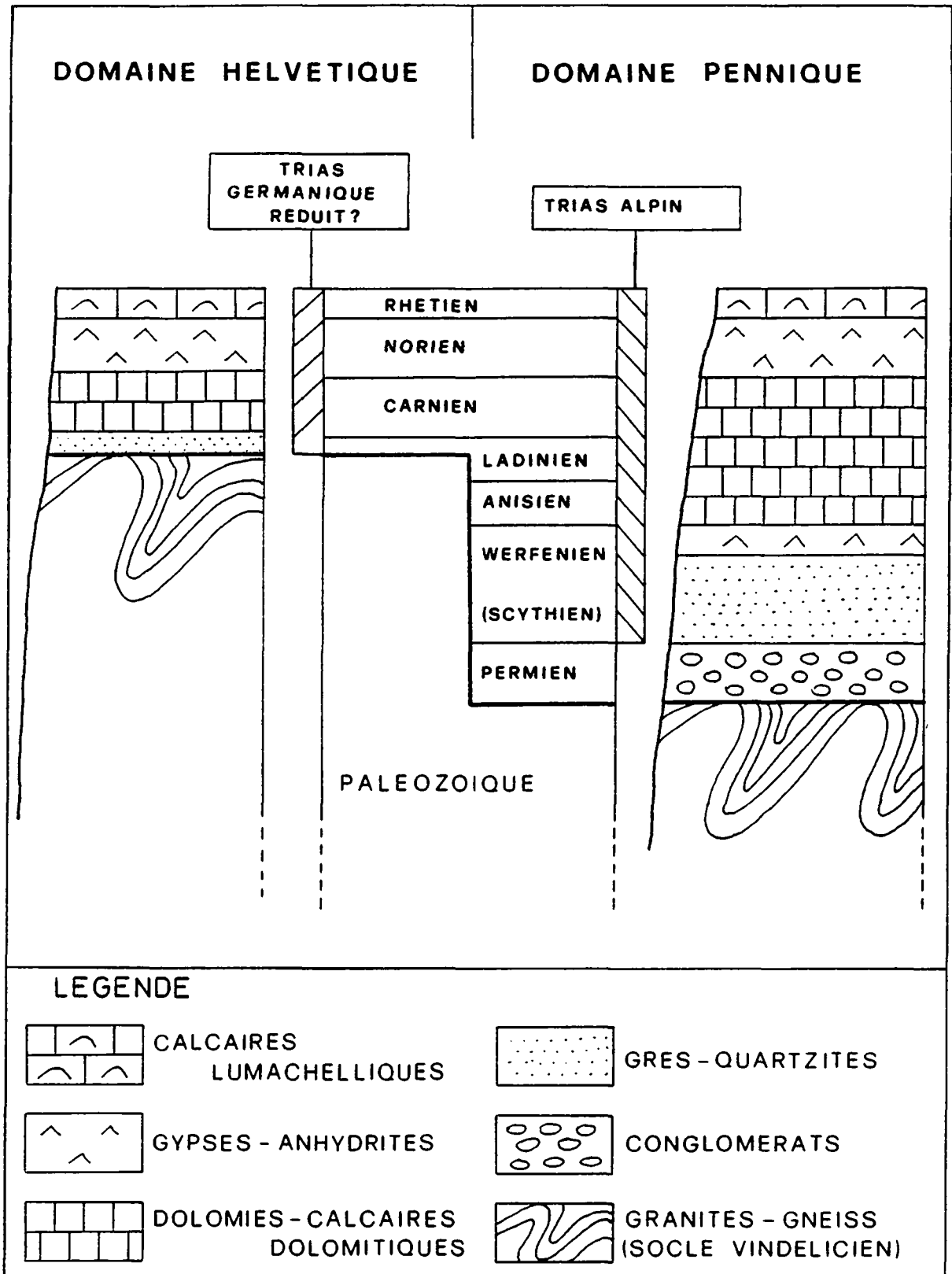


Figure 5.1 Profils synthétiques du Trias des Alpes occidentales

5.1.2 Helvétique

Les massifs cristallins autochtones du Bassin rhodanien possèdent une couverture sédimentaire. Il s'agit des nappes helvétiques et de leurs racines (autochtone et parautochtone) affectées de nombreux plissements et imbriquées de manière compliquée au sein du cristallin (fig. 3.2).

A l'ouest de notre territoire d'étude, elles constituent les Hautes Alpes Calcaires par l'empilement de plusieurs nappes. Nous avons de bas en haut: la nappe de Morcles, la nappe des Diablerets et la nappe du Wildhorn (BADOUX et al., 1971; MASSON et al., 1980). A l'est, l'Helvétique est moins bien représenté. Nous y distinguons des éléments de l'autochtone et du parautochtone, la couverture mésozoïque et le Verrucano du massif du St-Gothard (LISZKAY-NAGY, 1965).

Du point de vue stratigraphique, ces différentes nappes englobent des séries allant du Trias moyen à l'Oligocène (MASSON et al, 1980).

5.1.3 Ultrahelvétique

Pincées entre les nappes helvétiques nous trouvons celles de l'Ultrahelvétique. Ces séries sédimentaires ont été bousculées et fortement déformées lors du charriage des nappes helvétiques et préalpines, ce qui leur confère une structure chaotique (BADOUX, 1963). Leur substratum était probablement dans le prolongement de l'actuel massif du St-Gothard.

L'Ultrahelvétique est subdivisé en six nappes ou diverticules (BADOUX, 1963): nappe de la Plaine-Morte, nappe d' Anzeinde, nappe du Sex-Mort, nappe de Bex (ex nappe Bex-Laubhorn), nappe d' Arveyes et nappe du Meilleret. Elles sont surtout bien représentées en rive droite du Rhône. Les séquences sédimentaires vont du Trias au Tertiaire. Le Trias n'est présent qu'au sein des nappes du Meilleret, de Bex et du Sex-Mort (tab. 5.1).

5.1.4 Pennique

Le Pennique est pratiquement entièrement développé sur la rive gauche du Rhône (fig. 3.2). Il résulte d'un charriage incorporant aux nappes penniques de grandes masses arrachées au substratum cristallin. D'innombrables travaux ont été effectués dans la zone pennique: BEARTH, 1953; MARTHALER, 1984; ESCHER et al., 1987; ESCHER, 1988; JEANBOURQUIN & BURRI, 1989. Ils ont permis de diviser ce grand édifice tectonique en trois grandes subdivisions possédant chacune ses propres caractéristiques tectoniques, stratigraphiques et métamorphiques. Il s'agit de (tab. 5.1):

- la nappe des Schistes lustrés et des Ophiolites (zone de Zermatt-Saas-Fee et zone du Tsaté),
- la super-nappe du Grand-St-Bernard,
- la zone de Sion-Courmayeur.

Les séries stratigraphiques du Pennique vont généralement du Carbonifère (pré-westphalien) au Tertiaire (Eocène). Au sein de ces formations, nous rencontrons aussi des roches gneissiques du socle, des roches basaltiques et des roches sédimentaires (fig. 5.2). Parmi ces trois grandes subdivisions, la nappe du Grand St-Bernard est la plus riche en roches triasiques. Elle est formée de quatre sous-unités structurales constituées en partie de ces roches. Il s'agit de (tab. 5.1 et fig. 5.2) (ESCHER, 1988):

- la nappe du Mont Fort.
- la nappe de Siviez-Mischabel,
- la nappe des Pontis,
- la zone Houillère et zone de Stalden inférieure.

La zone de Sion-Courmayeur présente quelques formations triasiques dans ses unités de la Pierre Avoi et de Ferret (tab. 5.1 et fig. 5.2) (TRÜMPY, 1954; BURRI & JEMELIN, 1983; JEANBOURQUIN & BURRI, 1989). Par contre, la nappe des Schistes lustrés et des Ophiolites n'en contient pas.

5.2 Lithostratigraphie du Trias

La stratigraphie du Trias a toujours été problématique. Du point de vue paléogéographique, les Alpes occidentales occupaient un bassin sédimentaire influencé à la fois par les mers germanique (nord de l'Europe) et thétysienne (sud de l'Europe), de sorte qu'il est difficile d'attribuer de façon sûre quel type de Trias caractérise les unités tectoniques des Préalpes Médiannes, de l'Helvétique, de l'Ultrahelvétique et du Pennique (TRÜMPY, 1980).

Malgré quelques incertitudes, de nombreux travaux tendent à montrer que le Trias du Pennique et des Préalpes Médiannes appartient au faciès Trias alpin ou mésogéen en raison d'une position paléogéographique méridionale de leur bassin de sédimentation et à des caractéristiques lithologiques propres au faciès Trias alpin (TRÜMPY, 1980). Il s'identifie par trois lithofaciès principaux (fig. 5.1):

- les quartzites du Trias inférieur (Werfénien ou Scythien),
- les calcaires du Trias moyen (Anisien et Ladinien), le plus souvent dolomitiques,
- les évaporites du Trias moyen à supérieur (Carnien et Norien).

Les formations du Rhétien sont également présentes et terminent la séquence sédimentaire du Trias (tab. 5.1 et fig. 5.1). Les Préalpes Médiannes Rigides ont par contre une série triasique réduite: Werfénien, Anisien et Ladinien (BAUD, 1972; BAUD, 1987).

Les formations triasiques de l'Helvétique et de l'Ultrahelvétique semblent avoir des particularités lithologiques plus proches du faciès germanique (fig. 5.1) (TRÜMPY, 1980). En effet, leur domaine paléogéographique, se situant plus au nord que celui du Pennique, il a été vraisemblablement plus influencé par la mer germanique que par la mer thétysienne (TRÜMPY, 1980). Leurs séquences sédimentaires du Trias sont par contre réduites en raison de la présence du seuil vindélicien (TRÜMPY, 1980) constitué par le domaine helvétique (fig. 5.1). En effet, ce seuil, formé de roches cristallines paléozoïques et séparant les deux domaines paléogéographiques, formait un promontoire rocheux sur lequel la sédimentation des évaporites n'a pu se faire qu'à partir du Ladinien terminal-Carnien (DEMATHIEU & WEIDMANN, 1982). Les séries sédimentaires triasiques se développent jusqu'au Rhétien (tab. 5.1).

Malgré des complications tectoniques affectant les terrains de l'Ultrahelvétique, ses formations évaporitiques ont été attribuées au Carnien-Norien (BADOUX & GABUS, 1991) (tab. 5.1).

5.3 Lithologies et géochimie des roches du Trias

Le cortège de roches du Trias du Bassin rhodanien est très varié. Il présente non seulement des roches sédimentaires, mais également des roches métamorphisées jusqu'au faciès schiste vert dans le cas du Pennique. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés surtout aux roches sédimentaires: détritiques, carbonatées et évaporitiques (tab. 5.1).

5.3.1 Roches évaporitiques

De par leur haut degré de karstification, les évaporites constituent la majeure partie des aquifères du Trias. Les gypses ont été étudiés plus amplement puisqu'ils forment les principaux aquifères des eaux souterraines froides étudiées ici. Nous avons cherché à les caractériser plus spécifiquement en étudiant leur composition chimique, afin de mieux identifier leur empreinte sur les eaux souterraines.

Les évaporites affleurent très peu. Les gypses n'existent généralement qu'en surface, ou ils sont le plus souvent très altérés. Entre 15 et 30 m de profondeur, ils passent à des anhydrites. Ces dernières sont connues le plus souvent par forages. Par contre, le sel gemme pur (halite) est peu répandu dans les Alpes vaudoises et valaisannes. En effet, cette roche est repérable uniquement par forages dans la région de Bex. Ce "gisement" salifère, appartenant à l'Ultrahelvétique et daté du Carnien-Norien (tab. 5.1), est exploité aux mines de sel du Bouillet (LUGEON, 1940; BADOUX, 1966; TRÜMPY, 1980; BERGIER, 1982; BADOUX, 1982).

5.3.1.1 Gypses

En rive droite du Rhône, les gypses affleurant sont surtout bien localisés dans les régions de:

- Bex, Ollon et Col de La Croix (BADOUX & GABUS, 1991),
- Derborence (BADOUX & GABUS, 1991),
- St-Léonard et Granges (BADOUX et al., 1959).

En rive gauche du Rhône, ils sont surtout repérables dans les sites suivants :

- Brig-Termen (LISZKAY-NAGY, 1965),
- Tourtemagne-Unterems,
- Nax,
- Six-Blanc-Les Etablons (BURRI & JEMELIN, 1983),
- Les Evouettes-Le Grammont (BADOUX, 1965).

Nous avons collecté 19 gypses répartis dans les quatre unités tectoniques (fig. 4.2 et annexe 2). Les différentes méthodes d'analyse (voir chap. 4) nous ont permis d'une part de déterminer la composition chimique générale, d'autre part d'identifier les éléments solubles et insolubles de ces roches.

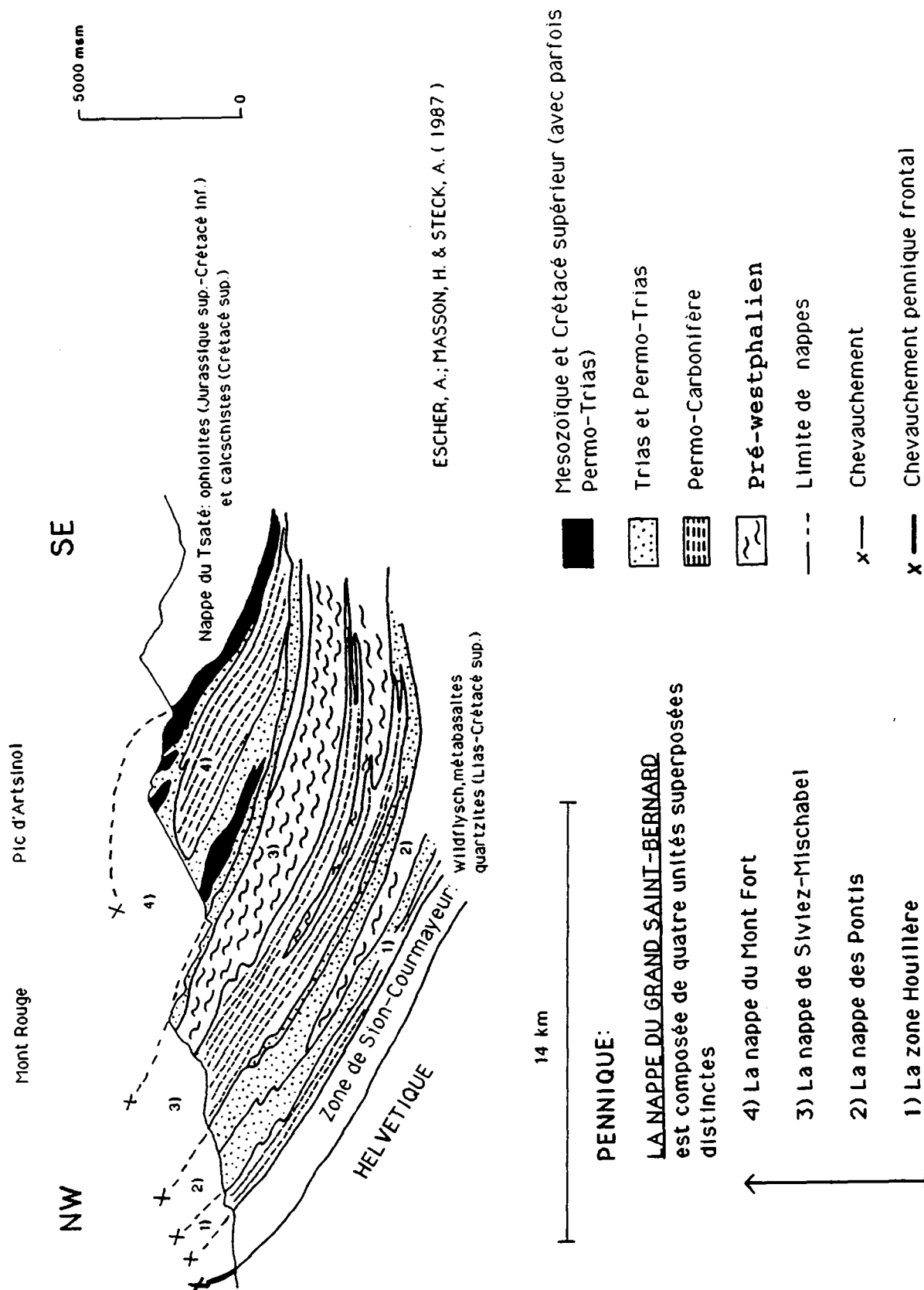


Figure 5.2 Structure tectonique de la nappe du Grand St-Bernard

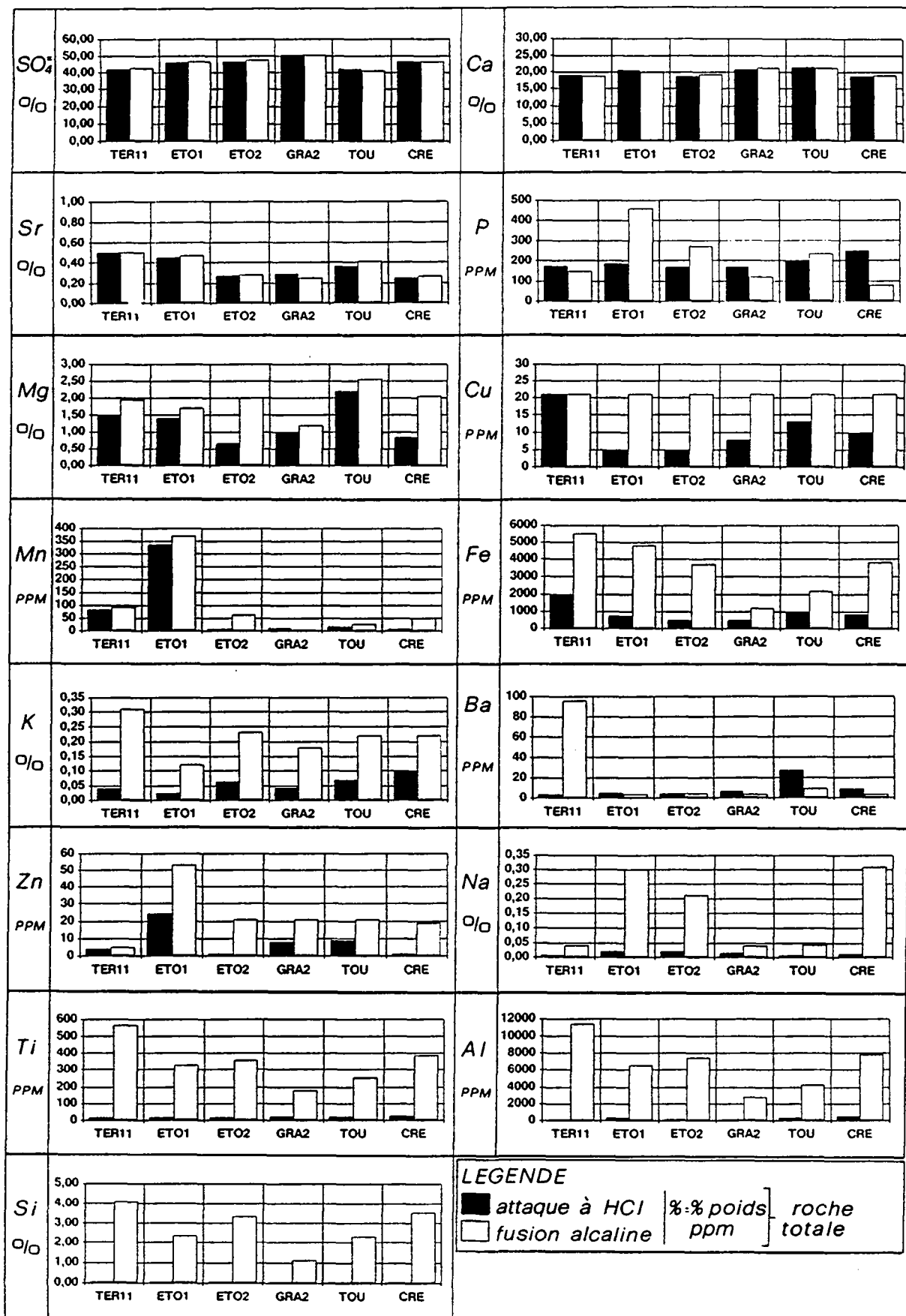


Figure 5.3 Solubilité des composants chimiques des gypses à l'attaque à HCl et à la fusion alcaline

A) *Résultats des méthodes III (attaque à HCl) et IV (fusion alcaline): fractions soluble et insoluble des gypses*

Les gypses (formule idéale: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ont révélé principalement une composition chimique où la teneur en ions sulfate et calcium représente environ 60 à 75% (en poids) de la composition totale de la roche (fig. 5.3 et annexe 5), soit:

- 40 à 50% pour SO_4 ,
- 20 à 25% pour Ca.

La teneur en eau peut avoisiner plus ou moins 20% (annexe 5). Parmi les 9 gypses analysés selon la méthode III, 6 d'entre eux ont révélé une fraction insoluble variant entre 3 et 10 % de la roche totale après une attaque à l'acide chlorhydrique. Ces mêmes échantillons ont ensuite été mis en solution par fusion alcaline (fig. 5.4). A côté du sulfate de calcium entièrement soluble à HCl, le strontium surtout et le phosphore dans une moindre mesure sont également solubles (fig. 5.3 et 5.4). Le strontium n'atteint guère que le 0,5% de la roche. La teneur en phosphore ne dépasse pas 0,045% même après une fusion alcaline du résidu insoluble (PINTA, 1980).

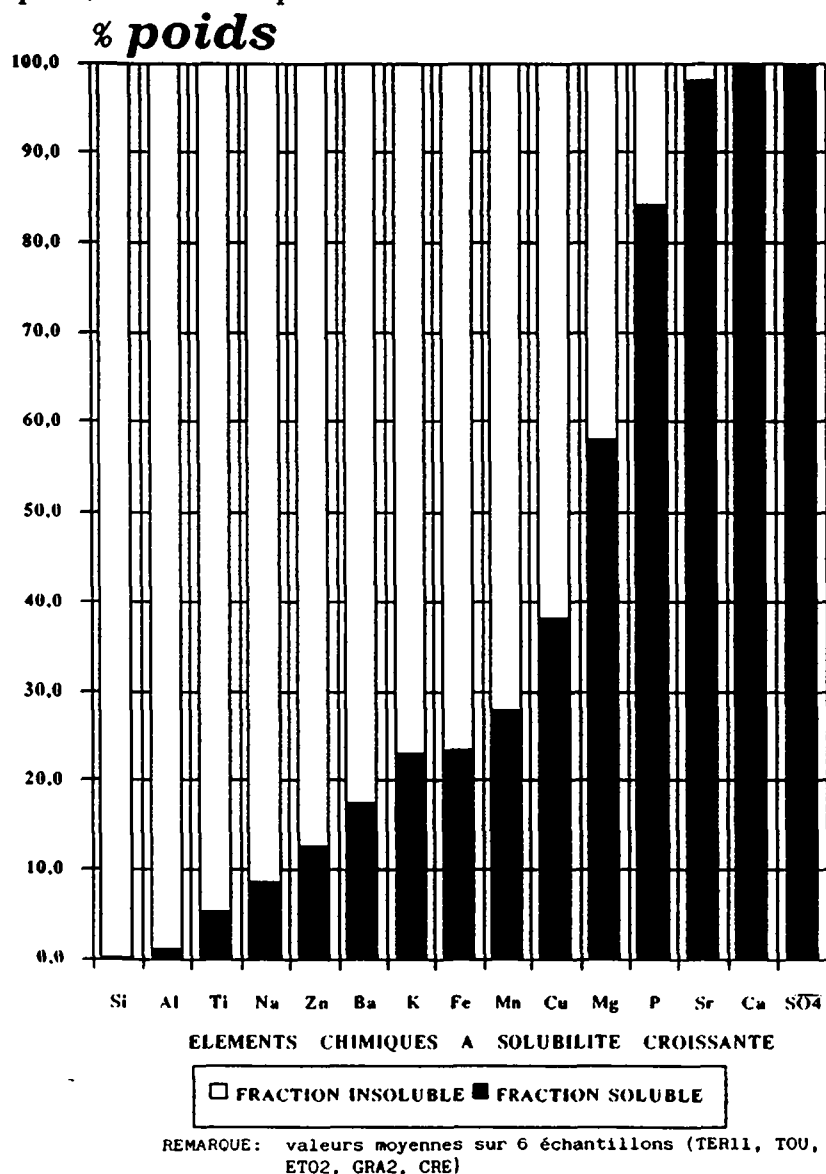


Figure 5.4 *Fraction de chaque composant chimique dans les parties soluble et insoluble des gypses selon les méthodes de l'attaque à HCl et de la fusion alcaline*

Parmi les éléments composant la fraction insoluble révélés par fusion alcaline, nous avons détecté (fig. 5.3 et annexe 5):

- 1,13 à 4,10% de silicium,
- 0,43 à 1,14% d'aluminium,
- 0,19 à 1,34 % de magnésium,
- 0,12 à 0,48 % de fer,
- 0,12 à 0,31 % de potassium,
- 0,041 à 0,31% de sodium,
- 0,018 à 0,056% de titane,
- 0,0003 à 0,037% de manganèse,
- au maximum 0,009% de baryum,
- au maximum 0,005% de zinc,
- au maximum 0,002% de cuivre.

B) Résultats de la méthode I (lixiviation à l'eau)

Dix-neuf gypses du Bassin rhodanien et deux gypses standards nord-américains ont été l'objet d'essais de lixiviation à l'eau. Cette méthode de mise en solution a été réalisée afin de (annexe 6.4):

- estimer la part soluble des différents ions dans les gypses rhodaniens,
- étudier la dispersion des différents paramètres dosés sur la série des gypses retenus pour cette étude,
- comparer la composition chimique des lixiviats des gypses rhodaniens à ceux des deux gypses standards d'Amérique du Nord (KOCMAN & FOLEY, 1987: GYP-A, GYP-D).

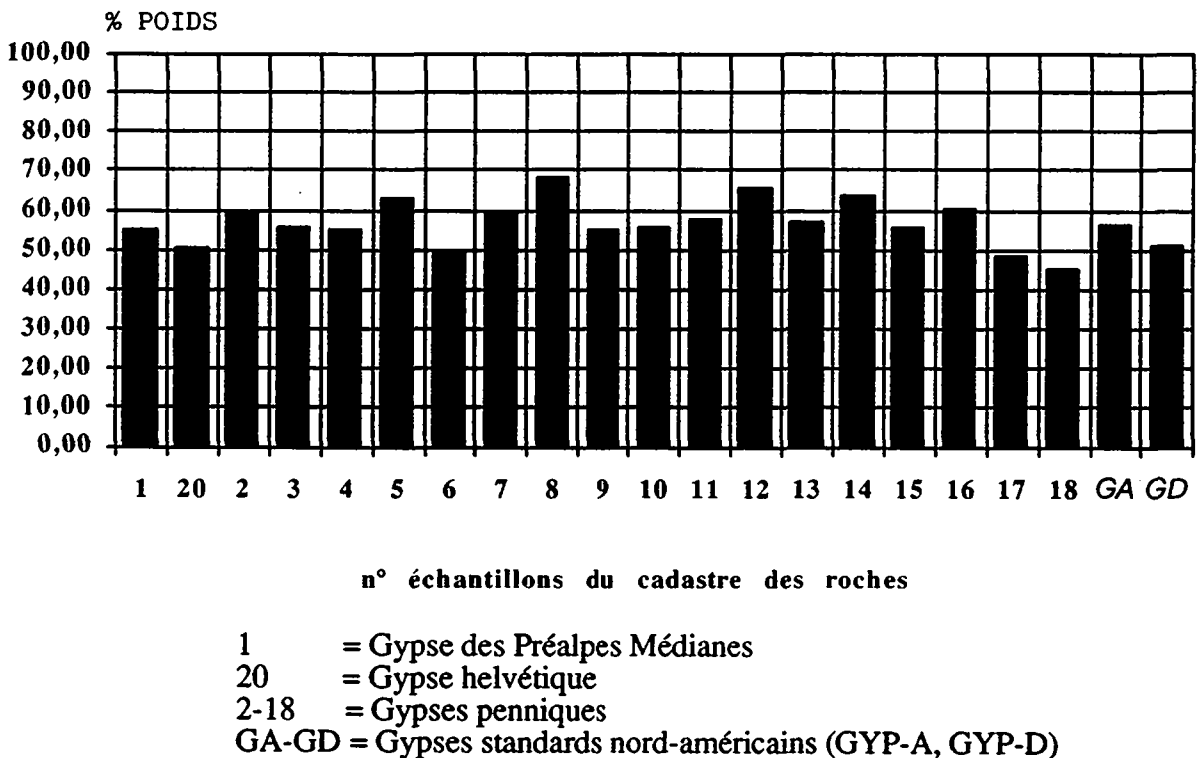


Figure 5.5 Fraction soluble dans les lixiviats de gypses

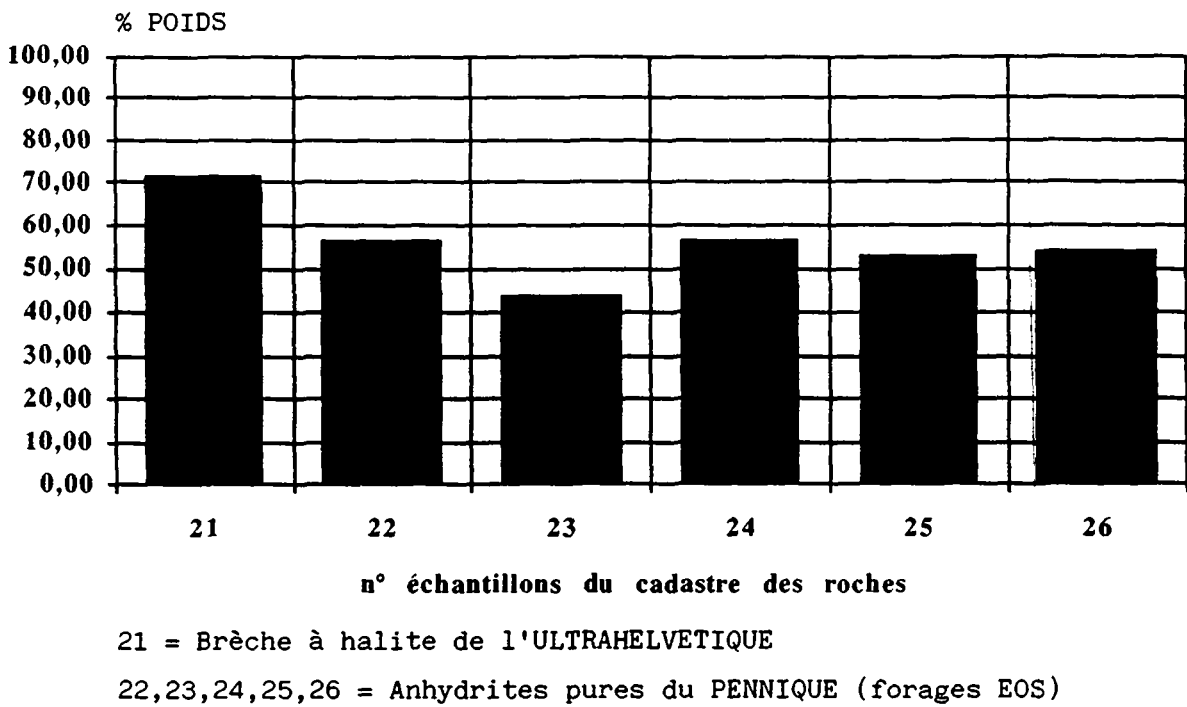


Figure 5.6 Fraction soluble dans les lixiviats d'anhydrites et de la brèche à halite

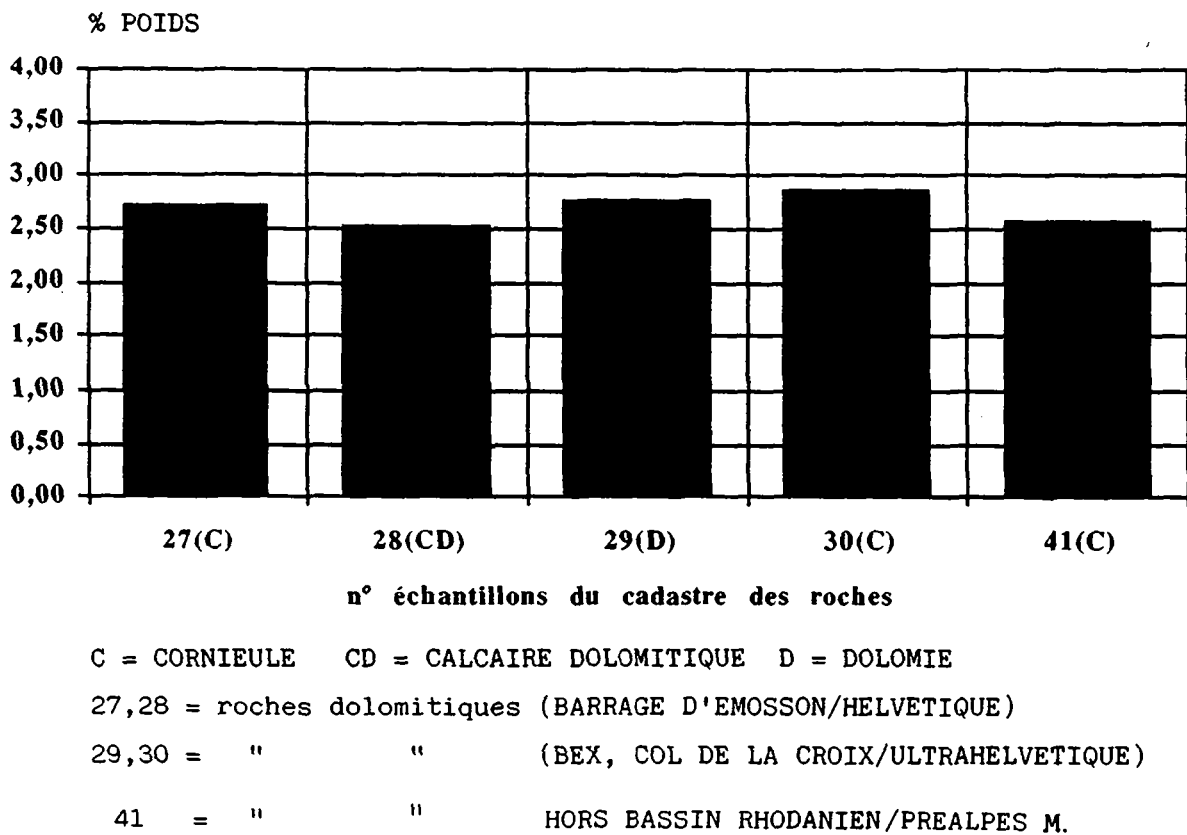


Figure 5.7 Fraction soluble dans les lixiviats des roches calcaréo-dolomitiques

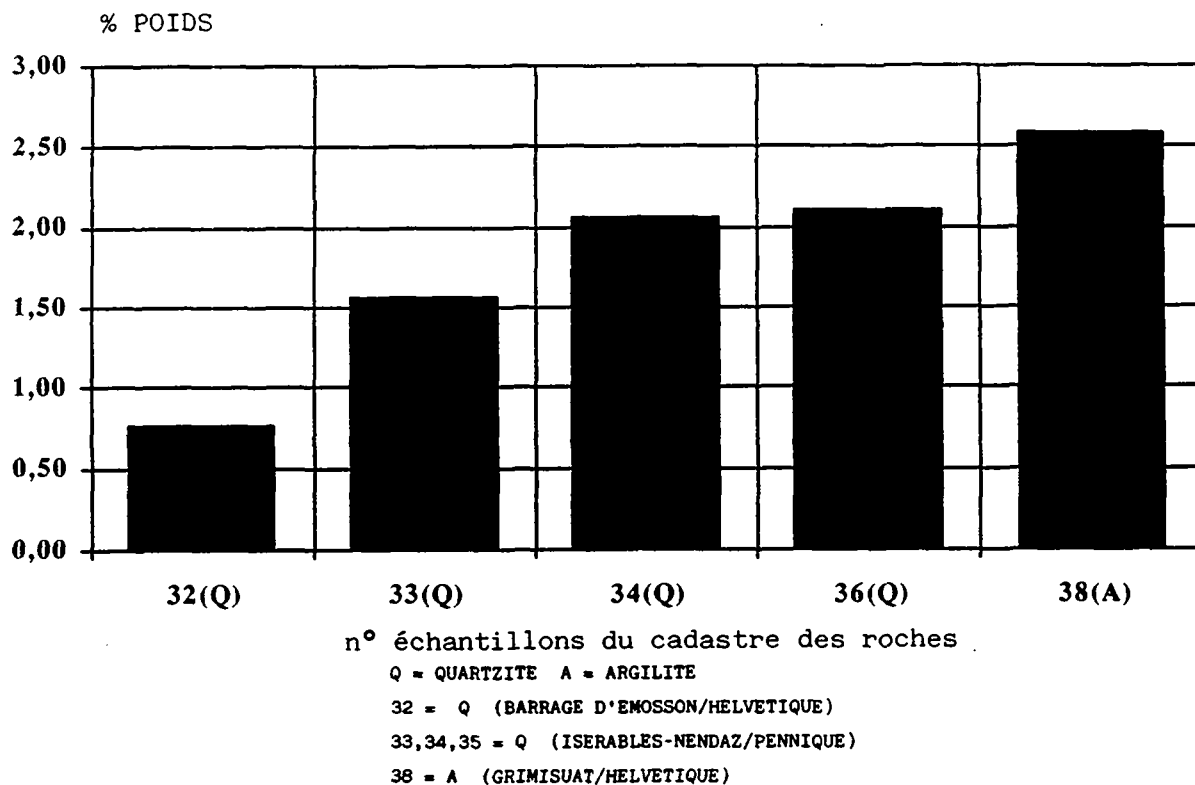


Figure 5.8 Fraction soluble dans les lixiviats des quartzites et d'une argilite

L'analyse de la fraction soluble des gypses par ICP-MS a montré une très grande homogénéité (fig. 5.5) de la concentration totale des sels dissous (TSD en g/l). La valeur moyenne atteinte a été de 1,14 g/l avec une étendue de 0,46 g/l (max.: 1,36 g/l; min.: 0,90 g/l) et près de 10% de dispersion relative sur la série de 19 gypses rhodaniens (tab. 5.2 et annexe 6.4). Nous avons ainsi déterminé une fraction soluble variant entre 45 et 68% de la roche totale (fig. 5.5).

Des éléments en traces ont également été dosés pour identifier quels sont ceux susceptibles d'être caractéristiques de ces roches. Le choix de la plupart de ces paramètres (fig. 5.9) émane de leur association connue avec les différents sels, les évaporites, les carbonates et également d'autres roches sédimentaires de notre globe terrestre (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978).

Pour désigner les éléments traces liés étroitement aux gypses, nous avons tenu compte de la concentration de chaque élément par rapport à celle relevée dans les autres roches du Trias. La valeur du coefficient de variation calculée pour chaque paramètre a aussi été considérée sur la série de 19 gypses rhodaniens. Les résultats principaux acquis sur les gypses et les autres roches triasiques ont été reportés sur des cartes avec un fond géologique simplifié. Elles comportent les différentes lithologies concernées et les teneurs de 17 radicaux chimiques exprimées en ppm de la roche totale (annexes 6.2 et 6.3), susceptibles de les distinguer.

Par rapport aux autres roches du Trias, Sr, K, Cu, Rb, Ni, Zn et parfois Ba semblent être associés aux gypses. Bien que les valeurs se situent en-dessous de 0,5% de la roche totale pour Sr et K et au voisinage de 5 ppm pour Cu, Rb, Ni, Zn et Ba, elles restent néanmoins supérieures à celles relevées pour les autres roches collectées, notamment les roches carbonatées, les quartzites et une argilite (annexes 6.2 et 6.3). Certains paramètres montrent parfois des teneurs très proches de celles des anhydrites, notamment Sr, K, Cu, Rb et Ni (fig. 5.9).

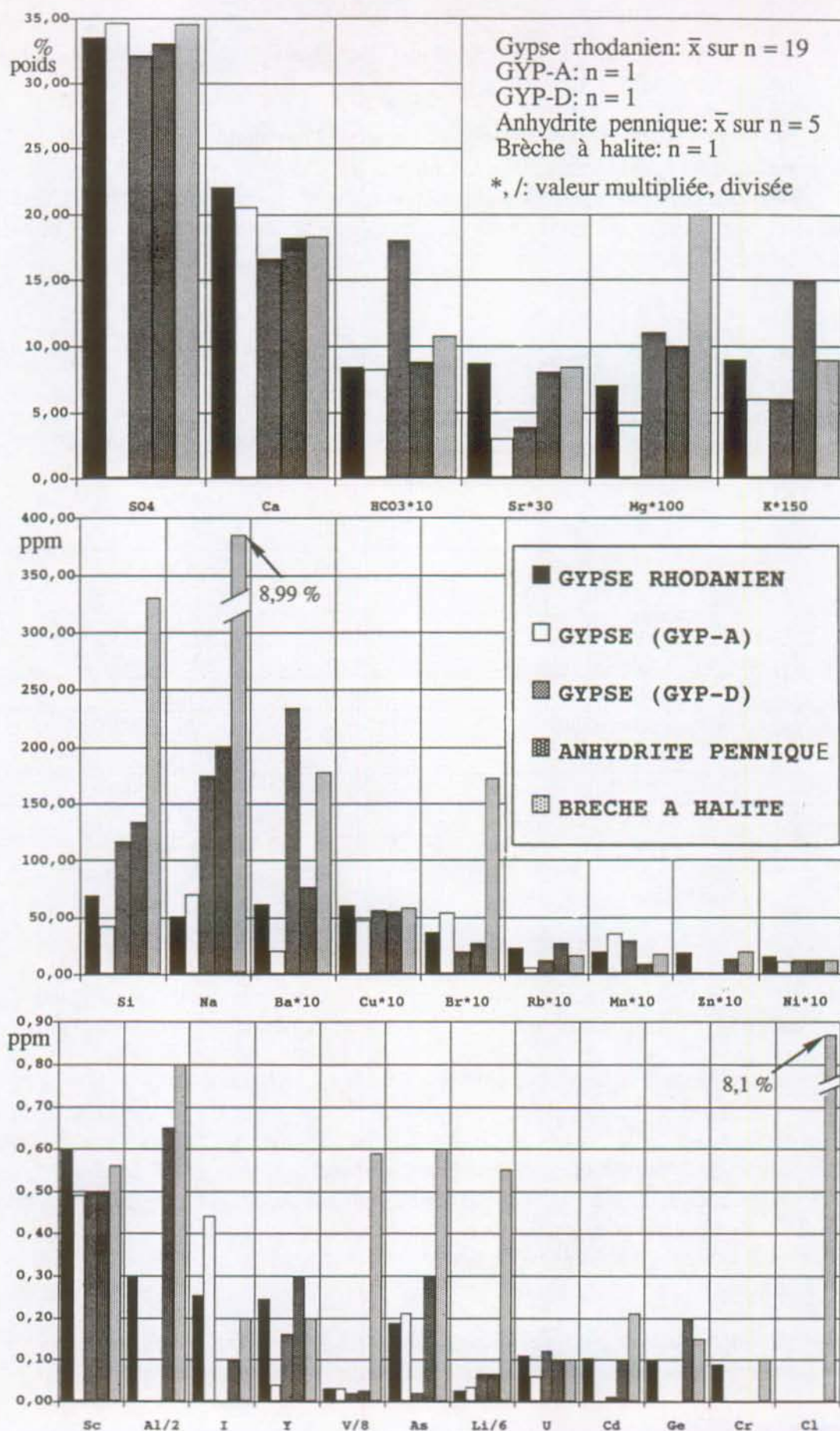


Figure 5.9

Comparaison des teneurs en SO_4 , Ca, HCO_3 , Sr, Mg, K, Si, Na, Ba, Cu, Br, Rb, Mn, Zn, Ni, Sc, Al, I, Y, V, As, Li, U, Cd, Ge, Cr et Cl dans les lixiviats des évaporites

Ceci a été mis en évidence par une analyse en composantes principales (analyse statistique) des lixiviats des roches (fig. 5.10).

Pour les gypses (lixiviats), onze composants chimiques ont montré des valeurs de coefficient de variation spatiale inférieures à 50%. Ceci témoigne d'une homogénéité à l'échelle du Bassin rhodanien non seulement pour les paramètres à fortes teneurs comme SO_4 , Ca et dans une moindre mesure HCO_3 , Sr et Mg mais également pour les éléments traces tels Cu, Ni, V, Sc et Rb (tab. 5.2).

Tableau 5.2 Coefficient de variation (Cv) spatiale des composants chimiques des gypses rhodaniens (lixiviats)

Cv [%]	n = 19	Eléments chimiques
0 - 5		-
5 - 10		SO_4
10 - 20		-
20 - 30		Ca, Cu, HCO_3
30 - 40		Sr, Sc, Ni, V
40 - 50		Rb, Mg
50 - 60		Y, K, U
60 - 80		Si, Li, Br
80 - 100		Na, Zn
100 - 120		As, I
120 - 140		Al, Mn, Cr
140 - 175		-
175 - 205		Cd, Ba, Ge

Bien que HCO_3 et Mg aient une valeur de variation contenue sur la série des gypses rhodaniens, ils n'ont par contre pas été retenus comme marqueurs des gypses, puisqu'ils semblent plutôt caractériser les roches calcaréo-dolomitiques (annexes 6.3 et 6.4).

Les gypses nord-américains (KOCKMAN & FOLEY, 1987: GYP-A, GYP-D) ont montré une fraction soluble et une composition générale très semblables aux gypses rhodaniens (fig. 5.9): les teneurs en SO_4 , Ca, HCO_3 , K, Si, Na, Cu, Mn, Ni, Sc, V et U sont très proches. Cette homogénéité de composition s'observe également par l'absence totale de Cl dans ces roches gypseuses. Cependant, nous n'avons pas retrouvé de Zn et Al dans les gypses nord-américains (fig. 5.9). Cette correspondance dans la composition chimique de ces gypses de régions très éloignées a également été mise en évidence par notre analyse en composantes principales (fig. 5.10).

Notre essai de barbotage à l'eau et au gaz carbonique effectué sur un gypse a donné un résultat comparable à ceux obtenus par les essais de lixiviation à l'eau seule (annexe 5).

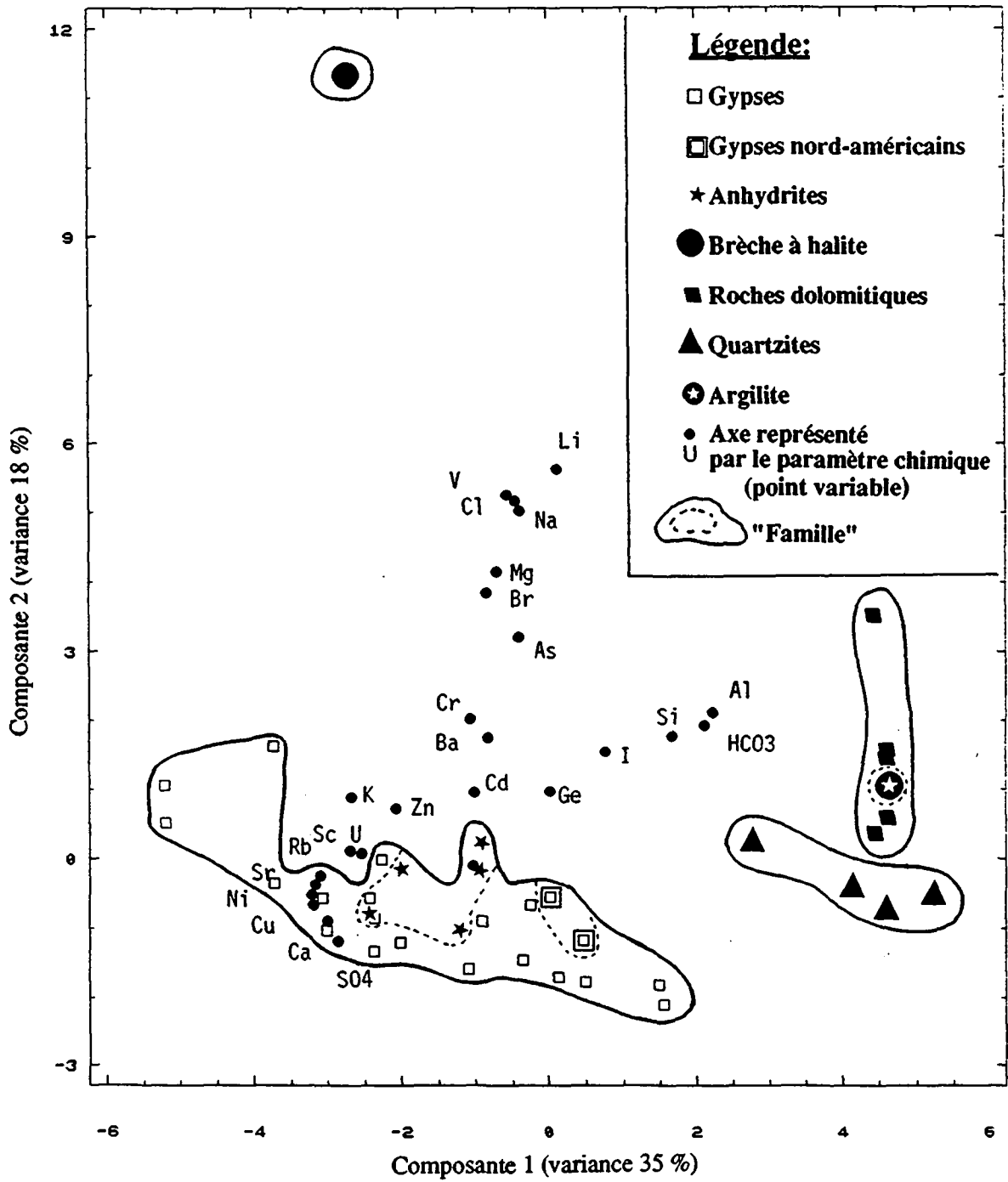


Figure 5.10 · Analyse en composantes principales relative aux lixiviats des roches du Trias

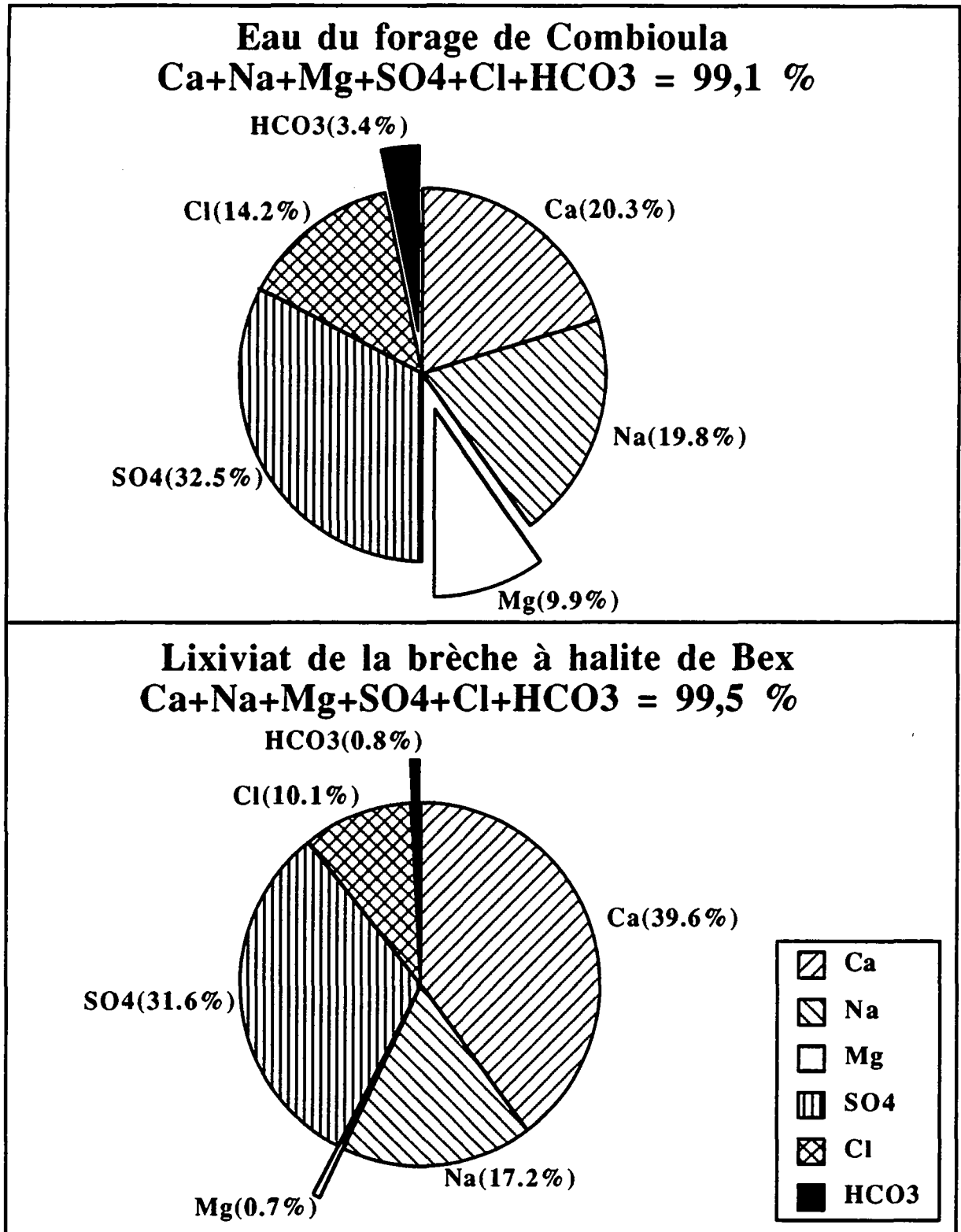


Figure 5.11 Comparaison entre la composition chimique de l'eau de Combioula et celle du lixiviat de la brèche à halite (selon les composants majeurs)

5.3.1.2 *Anhydrites*

C'est grâce aux forages réalisés dans la région de Nendaz (annexes 2 et 6.3) que nous avons pu collecter cinq anhydrites (CaSO_4) penniques situées à des profondeurs comprises entre 100 et 200 mètres. Analysées après des tests de lixiviation, elles ont révélé une fraction soluble quelque peu inférieure à celle des gypses variant entre 43 et 56% (fig. 5.6). Ces roches non altérées, de composition chimique homogène et très proche de celle des gypses rhodaniens (fig. 5.10) et parfois même nord-américains, ont montré une teneur en Na dans les lixiviats plus importante que les autres lixiviats de roches sulfatées-calciques (fig. 5.9).

5.3.1.3 *Brèche à halite*

Si actuellement les mines du Bouillet représentent le seul "gîte" salifère du Bassin rhodanien (TRÜMPY, 1980), au siècle passé des exploitations de sel ont eu lieu à Combioula (SCHMIDT, 1921; FLÜCK, 1984). Cet endroit, localisé sur le territoire communal de Saint-Martin au sud de Sion, est devenu aujourd'hui très célèbre pour ses eaux chaudes fortement sodiques, chlorurées et sulfurées (VUATAZ, 1982). En 1986, un sondage profond de 400 m a été réalisé sur ce site sourcier. Malheureusement, les résultats géologiques n'ont pas pu être obtenus. Les analyses de l'eau de Combioula et du lixiviat de la brèche à halite de Bex ont montré une image chimique très semblable au niveau des proportions de leurs composants majeurs (fig. 5.11 et annexe 6.2). Ces résultats nous suggèrent de considérer le site de Combioula comme susceptible de renfermer des formations salifères comparables à celles de Bex.

Un mélange d'anhydrite et de sel gemme constitue la brèche à halite de la région de Bex ("roc salé" des mineurs). Un seul échantillon a été dosé après lixiviation. Les travaux de forage étant actuellement stoppés pour diverses raisons, il n'a pas été possible d'obtenir d'autres éléments de carottage. L'analyse de la fraction soluble a révélé un pourcentage important atteignant près de 72% de la roche totale (fig. 5.6 et annexe 6.2). Les concentrations en SO_4 , Ca, HCO_3 , Sr, K, Cu, Rb, Mn, Zn, Ni, Sc, I, Y, U, Cd, Ge et Cr sont comparables aux gypses rhodaniens et anhydrites penniques (fig. 5.9). Na et Cl constituent environ 18% de la fraction soluble de la brèche. Ils sont les témoins d'une séquence évaporitique plus complète.

Comme autres éléments caractéristiques de la brèche à halite, nous avons détecté Mg et Br (fig. 5.9 et 5.10, annexe 6.3), dans une moindre mesure V et Li (annexe 6.2). Mg et Br sont surtout connus dans les gisements salins anciens et actuels, où le sel gemme est le composant principal (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978; SMIRNOV, 1988). Bien que les teneurs en V et Li du lixiviat de la brèche à halite ne soient que de l'ordre de 5 ppm, elles restent supérieures aux valeurs enregistrées dans les lixiviats des gypses et des anhydrites (fig. 5.9). Leur présence est peut être due aux minéraux argileux se trouvant au sein des formations évaporitiques (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978; SMIRNOV, 1988).

5.3.2 *Roches carbonatées*

Parmi les roches carbonatées typiques du Trias figurent les calcaires s.l., les dolomies, les cornieules et les calcaires dolomitiques. Nous y trouvons aussi des calcaires biodétritiques, des calcaires bréchiques et des brèches dolomitiques. La plupart de ces roches abondent dans toutes les unités tectoniques étudiées (tab. 5.1). Les calcaires et les dolomies marmorisés sont essentiellement représentatifs du Trias des unités penniques (ESCHER, 1988). Comme notre

but principal visait l'étude des évaporites s.s., l'échantillonnage des roches carbonatées a été de ce fait plus faible (annexe 2).

Cinq roches calcaréo-dolomitiques ont subi une lixiviation dans les mêmes conditions que les autres roches. La fraction soluble s'est révélée très faible: moins de 3% (fig. 5.7). Malgré cela, nous avons observé des teneurs en HCO_3 , Cl et Al supérieures à celles des gypses et des anhydrites (fig. 5.10 et annexe 6.2). La concentration en Mg soluble de ces roches carbonatées n'a par contre pas été supérieure à celle mesurée dans les roches sulfatées-calciques (annexe 6.2).

Aucun autre élément caractéristique n'a été détecté dans les carbonates. Cette constatation a été vérifiée grâce à une analyse par fluorescence des rayons X, où la proportion des éléments traces contenus dans une roche carbonatée de la région de Tourtemagne s'est révélée faible, n'atteignant que 435 ppm (annexe 7).

5.3.3 Roches détritiques

Les roches détritiques du Trias rhodanien se composent essentiellement d'argilites, marnes, pélites, grès, arkoses et quartzites. Cette grande variété de roches est bien développée dans les Préalpes Médiannes. Les quartzites abondent surtout dans le Pennique (tab. 5.1).

Nos tests de lixiviation ont porté sur quatre quartzites penniques et une argilite helvétique (fig. 4.2 et annexe 6.2). Les fractions mises en solution se sont révélées très faibles de l'ordre de 2,5% pour l'argilite et 0,7 à 2,1% pour les roches quartzitiques (fig. 5.8). En dépit de ce résultat, les teneurs en Cl, Si et Al de ces roches se sont avérées plus élevées que celles des gypses et des anhydrites pures (fig. 5.10). Pour Cl et Al, les concentrations se sont montrées très similaires à celles rencontrées dans les roches carbonatées (annexe 6.2).

Une argilite et un quartzite de la région d'Isérables ont été analysées par la fluorescence des rayons X. De composition essentiellement silicatée ou alumino-silicatée, ces roches ont montré une teneur en Ba élevée variant entre 450 et 720 ppm (annexe 7). Selon une communication orale de M. Prof. GABUS, les minéralisations de Ba sont connues dans les quartzites du Trias, sous forme de barytine. Cet élément a été détecté en très faible quantité dans la fraction soluble des roches détritiques (annexe 6.3). Il se révèle ainsi comme un composant peu soluble.

5.4 Structure des bassins hydrogéologiques

Les bassins hydrogéologiques des sources évaporitiques froides se caractérisent surtout par la situation géologique des points d'infiltration des eaux de surface par rapport à celle des points d'émergence. Deux modèles de bassins semblent se dégager (fig. 5.12):

- modèle jointif (J),
- modèle non jointif (NJ).

Les aquifères étudiés peuvent se développer soit entièrement dans les formations évaporitiques du Trias comprenant les gypses et les roches calcaréo-dolomitiques (roches perméables), soit dans ces mêmes lithologies mais liées partiellement à d'autres d'âge différent (par exemple à des formations jurassiques). L'exutoire des sources correspond généralement à un contact tectonique anormal, à une faille ou à l'affleurement d'une cavité de dissolution.

5.4.1 Modèle jointif J

Ce modèle de bassin hydrogéologique est caractérisé par des zones d'alimentation et d'émergence implantées entièrement dans les formations du Trias (fig. 5.12). Les aquifères se développent principalement dans les gypses et secondairement dans les calcaires dolomitiques. Les vidanges karstiques issues de ce système sont très sensibles aux sollicitations des précipitations. Leur réaction est généralement rapide. Nous citons à ce titre les sources Huémoz, Maupas et Noches (voir chap. 7). L'alimentation de ces points d'eau peut se faire par l'intermédiaire de dolines réparties dans le bassin hydrogéologique, dont par exemple la région ultrahelvétique Villars-Col de La Croix (BADOUX & GABUS, 1991).

Ce modèle de bassin hydrogéologique jointif semble surtout correspondre à ceux que l'on rencontre dans l'Ultrasuisse.

5.4.2 Modèle non jointif NJ

Pour ce modèle, la zone d'alimentation principale et la zone d'émergence ne présentent pas une situation géologique identique. En effet, la recharge se déroule souvent d'abord au-travers de formations extra-triasiques avant de passer dans l'aquifère principal constitué principalement de roches gypseuses (fig. 5.12).

Ce modèle de bassin se différencie du précédent par le fait que les écoulements peuvent être marqués chimiquement par des formations extra-triasiques. Il s'agit notamment des sources séléniteuses situées dans le Pennique (voir chap. 8).

D'une manière générale, ce modèle de bassin hydrogéologique se rencontre dans les Préalpes Médiannes (fig. 5.12), l'Ultrasuisse et le Pennique.

5.5 Définition et dénomination des aquifères évaporitiques retenus

Les considérations tectoniques nous permettent de scinder les aquifères du Trias rhodanien en quatre sous-types. Pour des raisons de commodité, nous les avons dénommés par des codes:

- sous-type des Préalpes Médiannes: PM,
- sous-type helvétique: HE,
- sous-type ultrahelvétique: UH,
- sous-type pennique: PN.

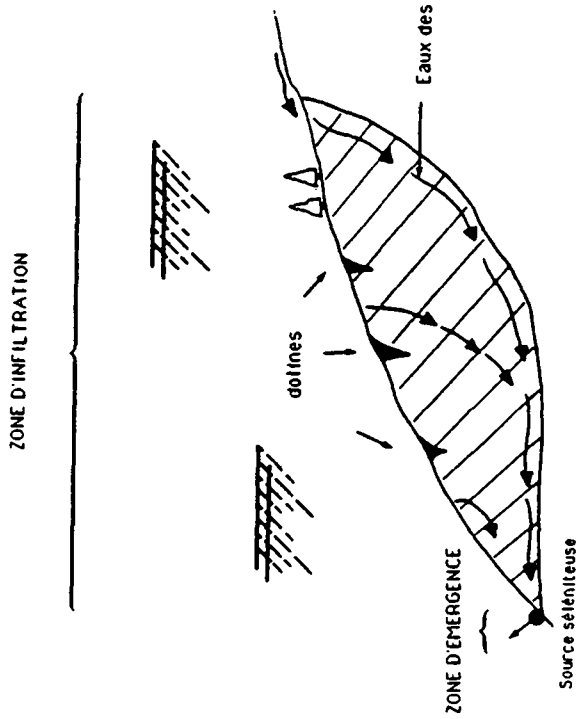
Ces quatre sous-types d'aquifère évaporitique propres aux quatre unités tectoniques seront à présent toujours différenciés au niveau du traitement des données.

Pour les représentations cartographiques, les unités helvétique et ultrahelvétique ont été groupées ensemble pour des raisons d'échelle (fig. 3.2).

MODELES DE BASSINS HYDROGEOLOGIQUES

MODELE JOINTIF J

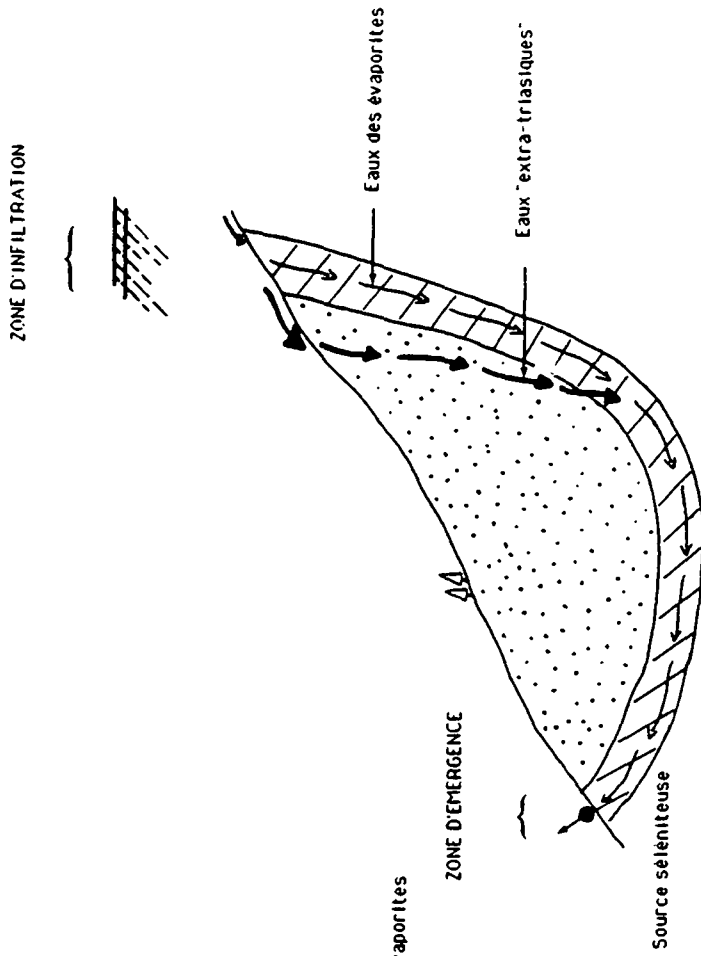
Les zones d'infiltration et d'émergence sont jointives



Cas de l'Ultrahelvétique: exemple de la région du Col de la Croix

MODELE NON JOINTIF N J

Les zones d'infiltration et d'émergence sont non jointives



Cas des Préalpes Médiannes: exemple de la région de St-Gingolph

Figure 5.12 Modèles de bassins hydrogéologiques

6. COMPOSITION CHIMIQUE ET ISOTOPIQUE DES EAUX SOUTERRAINES

Nos analyses en laboratoire ont permis de constituer un important stock de données sur les eaux (tab. 4.3). Grâce à un traitement et à une interprétation systématique des paramètres mesurés, nous avons tenté d'appréhender leurs principales caractéristiques chimiques. Pour l'ensemble des points d'eau inventoriés, nous allons présenter ci-dessous:

- les différents types de faciès hydrochimiques précisés dans le cadre de cette étude;
- la composition chimique détaillée de six sources (froides et chaudes) représentatives des faciès hydrochimiques "majeurs";
- quelques caractéristiques isotopiques.

Les raisons géologiques de ces différenciations hydrochimiques seront traitées en détail au chapitre 8.

6.1 Faciès hydrochimiques des eaux

Selon JAECKLI (1970) (voir chapitre 4.4.1), nous avons défini six hydrofaciès "majeurs" (tab. 6.1). Etant donné l'homogénéité de la composition chimique des eaux, nous avons choisi successivement deux autres critères de classification (tab. 6.1). Ainsi, nous avons sélectionné des éléments mineurs et en traces caractéristiques des eaux séléniteuses froides, présentant une certaine hétérogénéité spatiale qui n'a pas été observée dans le cas des paramètres majeurs. Nous avons par conséquent créé des hydrofaciès "mineurs" et "traces" avec des ions qui n'ont pas été utilisés dans notre première classification.

6.1.1 Hydrofaciès "majeurs" M

Cinq hydrofaciès "majeurs" dénommés M ont été déterminés pour les eaux froides des évaporites: M1, M2, M3, M4, M5. Un sixième M6 a été défini pour les eaux thermominérales fortement chlorurées de Combioula (tab. 6.1, fig. 6.1 et 6.2). Les ions majeurs qui ont permis cette première caractérisation chimique des eaux séléniteuses froides ont été principalement Ca, Mg, SO₄ et HCO₃. Dans une moindre mesure ont été également considérés Cl et NO₃. A ces six paramètres vient encore s'ajouter Na pour la classification des eaux de Combioula liées au sel gemme.

6.1.1.1 Faciès M1 avec Ca, Mg, SO₄ et HCO₃

M1 se distingue principalement par l'abondance des quatre ions majeurs suivants: Ca, Mg, SO₄ et HCO₃ (fig. 6.1). Ca et SO₄ ont toujours des concentrations supérieures à 50% de la somme des cations, respectivement des anions. M1 regroupe 81,9% des sources (tab. 6.2), faisant ainsi apparaître une très faible hétérogénéité spatiale de la composition chimique à l'échelle du Bassin rhodanien (fig. 6.2). Les teneurs en Mg et HCO₃ sont invariablement supérieures à 10%, mais inférieures à 50%. Suivant la part de Mg ou de HCO₃, M1 peut se subdiviser en quatre sous-faciès "majeurs":

Tableau 6.1: Critères de classification chimique des eaux

T	
Rappports d'abondance en µg/l entre 1. Li - B 2. Rb - Ba 3. Ni - Cu et teneur en U < ou > 10 µg/l (valeur moyenne du réseau III)	
Li > B Ba > Rb	Ni > Cu U < 10 T1 U > 10 T2 Cu > Ni U < 10 T3 U > 10 T4 Ni > Cu U < 10 T5 U > 10 T6 Cu > Ni U < 10 T7 U > 10 [T8]
B > Li Ba > Rb	Ni > Cu U < 10 T9 U > 10 T10 Cu > Ni U < 10 T11 U > 10 [T12] Ni > Cu U < 10 T13 U > 10 T14 Cu > Ni U < 10 T15 U > 10 [T16]

m	
Rappports d'abondance en mg/l entre Sr - Na - K	
Sr > Na > K	m1
Sr > K > Na	m2
Na > Sr > K	m3
Na > K > Sr	m4
K > Sr > Na	m5
K > Na > Sr	[m6]

M	
JAECKLI (1970)	
Ca - (Mg) - SO ₄ - (HCO ₃)	a
Ca - Mg - SO ₄ - (HCO ₃)	b
Ca - (Mg) - SO ₄ - HCO ₃	c
Ca - Mg - SO ₄ - HCO ₃	d
Ca - (Mg) - SO ₄ - HCO ₃ - (Cl)	a
Ca - Mg - SO ₄ - HCO ₃ - (NO ₃) - (Cl)	b
Ca - Mg - HCO ₃ - SO ₄	M3
Ca - Mg - SO ₄	M4
Ca - (Mg) - SO ₄	a
Ca - SO ₄ - HCO ₃	b
Ca - SO ₄ - (HCO ₃)	M5
Ca - Na - (Mg) - SO ₄ - Cl	a
Ca - Na - (Mg) - SO ₄ - Cl	b
Ca - Na - (Mg) - SO ₄ - Cl	M6
Ca - Na - (Mg) - SO ₄ - Cl	*
Ca - Na - (Mg) - SO ₄ - Cl	b

Exemples: Hydrofaciès MmT:
 M1m3T15, M6m4T9, M4m1T3

Remarque générale:

[...] n'existe pas dans le cas des eaux des évaporites
 * définit uniquement les eaux de Combioulfa

- M1a: $\underline{\text{Ca}}\text{-(Mg)-}\underline{\text{SO}_4}\text{-(HCO}_3\text{)}$,
- M1b: $\underline{\text{Ca}}\text{-Mg-}\underline{\text{SO}_4}\text{-(HCO}_3\text{)}$,
- M1c: $\underline{\text{Ca}}\text{-(Mg)-}\underline{\text{SO}_4}\text{-HCO}_3\text{}$,
- M1d: $\underline{\text{Ca}}\text{-Mg-}\underline{\text{SO}_4}\text{-HCO}_3\text{}$.

M1a et M1b réunissent 66,6% des sources (tab. 6.2).

a) M1a

A l'échelle du Bassin rhodanien, M1a peut caractériser 40,9% des sources (tab. 6.2).

Pour illustrer M1a, nous avons choisi deux sources de concentrations en sels dissous différentes, Huémoz et Crettenand (fig. 4.1 et annexe 1: sources n° 23 et 70). Indépendamment de leur degré de minéralisation, ces points d'eau montrent des images chimiques très comparables (fig. 6.1).

b) M1b

M1b regroupe 25,7% des sources (tab. 6.2), y compris la source chaude Le Châtelard (fig. 4.1 et annexe 1).

Pour représenter M1b, nous avons choisi la source de la galerie de Péroua (fig. 4.1 et annexe 1: source n° 75). Comparativement aux sources appartenant à M1a, ce point d'eau dénote essentiellement une proportion plus importante en Mg (fig. 6.1 et 6.2).

c) M1c

M1c est moins représenté que M1a et M1b (fig. 6.2): il ne comprend que 8,6% des eaux séléniteuses du Bassin rhodanien (tab. 6.2).

Pour illustrer M1c, nous avons sélectionné la source Bissig (fig. 4.1 et annexe 1: source n° 66). Malgré une identité chimique comparable à M1a et M1b, elle se distingue surtout par une proportion plus importante en HCO_3 (fig. 6.1).

d) M1d

M1d n'englobe que 6,7% des eaux des évaporites (tab. 6.2). Il caractérise aussi la source chaude des Bains de Leytron (fig. 4.1 et annexe 1: source n° 64).

Pour représenter M1d, nous avons retenu la source de Noches (fig. 4.1 et annexe 1: source n° 14). Le faciès hydrochimique montre des concentrations en Mg et HCO_3 supérieures à 20% de la somme des cations, respectivement des anions. De telles valeurs n'ont cependant pas été relevées simultanément pour M1a, M1b et M1c (fig. 6.1).

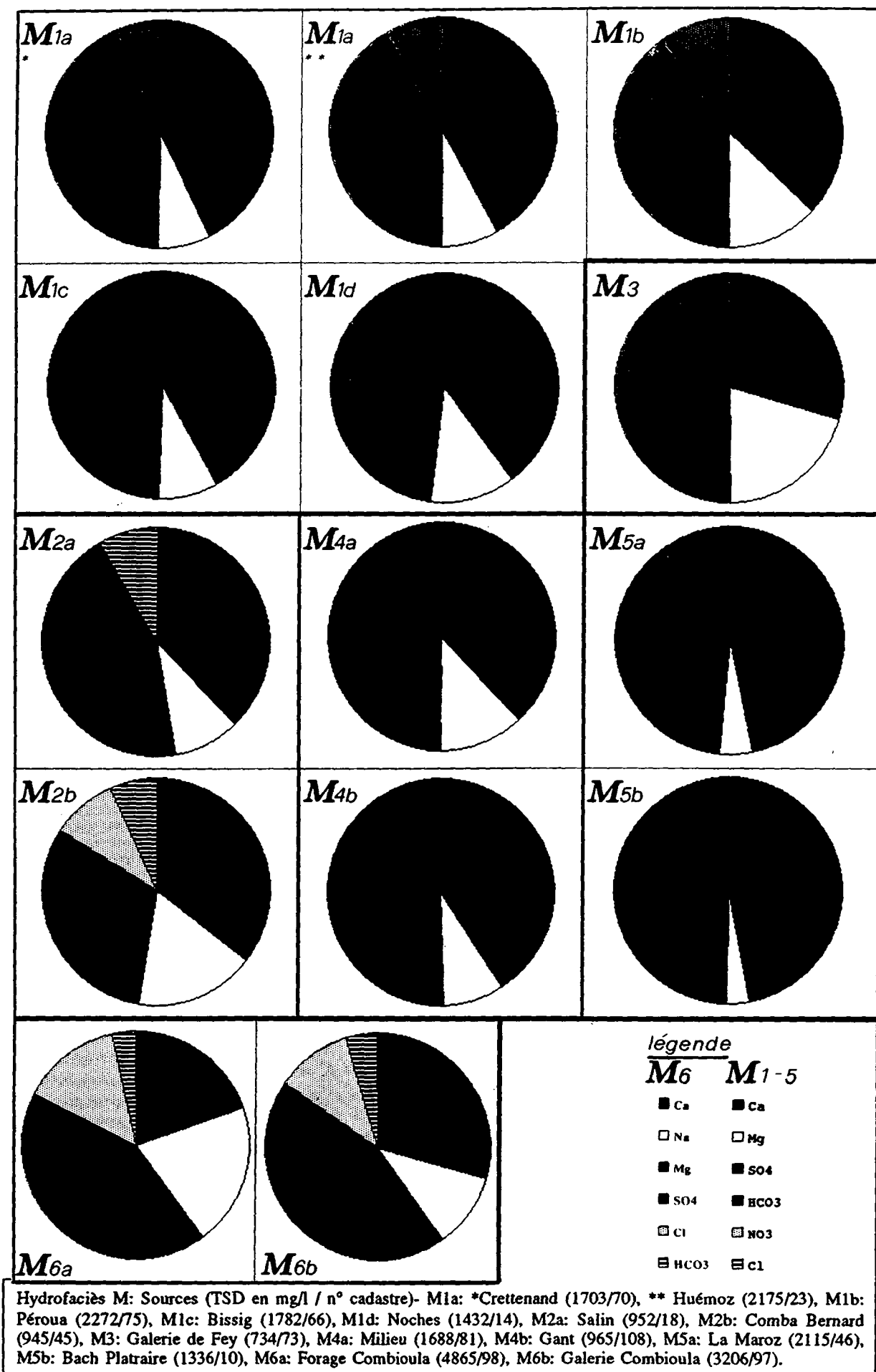


Figure 6.1 Images chimiques des hydrofaciès M1 à M6

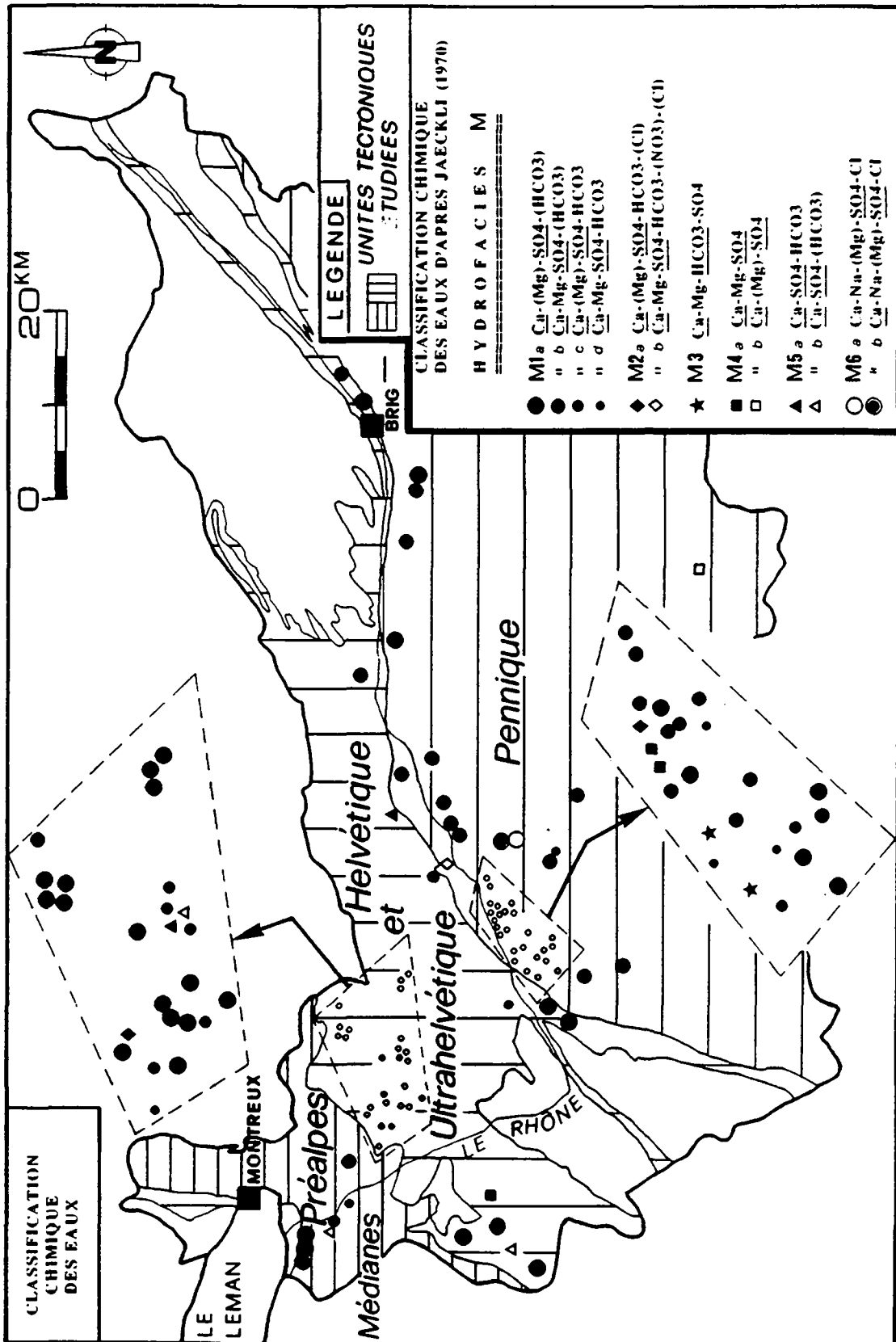


Figure 6.2 Carte de répartition spatiale des hydrofaciès M

Tableau 6.2 Fréquences relatives des hydrofaciès M, m et T

Hydrofaciès M				*
Type	%	dont	%	(%)
M1	81.9	a	40.9	-
		b	25.7	1
		c	8.6	-
		d	6.7	1
M2	2.9	a	1.9	-
		b	0.95	-
M3	1.9			-
M4	5.7	a	3.8	1
		b	1.9	-
M5	5.8	a	2.9	-
		b	2.9	-
M6	1.9	a	0.95	1.9
		b	0.95	
n = 105				

Hydrofaciès m			*
Type	%		(%)
m1	50.4		-
m2	18.1		-
m3	22.9		2.9
m4	7.6		1.9
m5	1		-
m6	-		-
n = 105			

Hydrofaciès T			*
Type	%		(%)
T1	17.6		-
T2	10.6		-
T3	8.2		-
T4	11.9		-
T5	2.4		-
T6	2.4		-
T7	3.5		3.5
T8	-		-
T9	20		2.4
T10	3.5		-
T11	2.4		-
T12	-		-
T13	9.4		-
T14	1.1		-
T15	7.0		-
T16	-		-
n = 85 **			

n = nombre d'échantillons considérés

* part des eaux chaudes (température > 12°C)
 ** seules 85 sources ont été choisies pour l'analyse des éléments en traces

6.1.1.2 Faciès M2 avec Ca, Mg, SO₄, HCO₃, Cl et NO₃

M2 est quelque peu similaire à M1, mais il se distingue par des teneurs anormales en Cl et ou en NO₃ et des concentrations en SO₄ inférieures. Il ne réunit que 2,85% des eaux (tab. 6.2). Etant très probablement liées à des eaux de surface, leur minéralisation excède rarement 1 g/l. M2 peut se caractériser selon deux sous-faciès "majeurs" (figures 6.1 et 6.2):

- M2a: Ca-(Mg)-SO₄-HCO₃-(Cl),
- M2b: Ca-Mg-SO₄-HCO₃-(NO₃)-(Cl).

Pour illustrer M2a et M2b, nous avons choisi les points d'eau de Salin et de Comba Bernard (fig. 4.1 et annexe 1: sources n° 18 et 45). Par rapport à M1, nous observons d'une part des images chimiques avec des proportions diminuant en Ca et SO₄ en faveur de Mg et HCO₃, d'autre part une composition en Ca, SO₄, Mg et HCO₃ de 9 à 18% plus faible principalement au profit de Cl et de NO₃ (fig. 6.1).

6.1.1.3 Faciès M3 avec Ca, Mg, HCO₃ et SO₄

M3 ne décrit que 1,9% des points d'eau répertoriés (tab. 6.2). Comme M2, il ne caractérise que des eaux de relativement faible minéralisation (fig. 6.1).

M3 est défini par Ca-Mg-HCO₃-SO₄.

Pour révéler cet hydrofaciès "majeurs", nous avons sélectionné l'eau de la galerie de Fey (fig. 4.1 et annexe 1: source n° 73), pour laquelle HCO_3 constitue le composant principal. Ca et SO_4 apparaissent en des proportions nettement inférieures à celles observées pour M1 et M2. La part en Mg correspond à celle de M2b (fig. 6.1).

6.1.1.4 *Faciès M4 avec Ca, Mg et SO_4*

Avec M4, qui réunit 5,7% des sources froides (tab. 6.2), nous remarquons essentiellement l'absence de HCO_3 comme constituant majeur (fig. 6.1). Cet hydrofaciès peut en outre se subdiviser en deux sous-hydrofaciès selon que Mg soit plus grand ou plus petit que 20% de la somme des cations:

- M4a: Ca-Mg-SO_4 ,
- M4b: Ca-(Mg)-SO_4 .

Si M4a caractérise des eaux avec une minéralisation variant entre 1,5 et 1,7 g/l comme la source Milieu ou les sources chaudes de Val d'Illiez, M4b définit des eaux avec une concentration en sels minéraux de l'ordre de 1 g/l telle la source Gant au-dessus de Zermatt (figures 4.1, 6.1 et 6.2, annexe 1: sources n° 63, 81 et 108).

6.1.1.5 *Faciès M5 avec Ca, SO_4 et HCO_3*

M5 rassemble 5,8% des sources (tab. 6.2). Par rapport à M4, Mg "disparaît" en faveur de HCO_3 (fig. 6.1). Selon que HCO_3 soit supérieur ou inférieur à 20% de la somme des anions, M5 peut se découpler en:

- M5a: $\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$,
- M5b: $\text{Ca-SO}_4\text{-(HCO}_3)$.

Pour illustrer M5 (fig. 6.1), nous avons retenu les sources de La Maroz pour M5a et de Bach Plattraire pour M5b (fig. 4.1 et annexe 1: sources n° 10 et 46). Bien que La Maroz soit beaucoup plus minéralisée que Bach Plattraire, ces points d'eau ne dénotent qu'une très légère différence de proportion en HCO_3 .

Les hydrofaciès M1 à M5 regroupent en général l'ensemble des sources froides inventoriées (fig. 6.2 et tab. 6.2).

6.1.1.6 *Faciès M6 avec Ca, Na, Mg, SO_4 et Cl*

M6 ne concerne que les émergences chaudes de Combioula: les eaux de la galerie et du forage artésien (fig. 4.1 et annexe 1: sources n° 97 et 98). Il ne constitue que 1,9% de notre échantillonnage (tab. 6.2). Par rapport aux 5 premiers hydrofaciès "majeurs", Na représente l'élément nouveau dans la définition de ce sixième faciès hydrochimique M (fig. 6.1). Nous l'avons subdivisé en deux selon que Ca soit inférieur ou supérieur à 50% de la somme des cations:

- M6a: $\text{Ca-Na-(Mg)-SO}_4\text{-Cl}$,
- M6b: $\text{Ca-Na-(Mg)-SO}_4\text{-Cl}$.

6.1.2 Hydrofaciès "mineurs" m

Fondés sur les ions Sr, Na et K, cinq hydrofaciès "mineurs" dénommés m ont été définis pour les eaux séléniteuses froides (tab. 6.1). Sr a été choisi puisqu'il constitue avec SO_4 la célestine, minéral caractéristique des gypses (MANDIA & PARRIAUX, 1990). Il est en outre le cation le plus riche dans les eaux après Ca et Mg. Na et K ont été retenus d'une part parce qu'ils se situent en général parmi les 10 éléments chimiques les plus abondants dans les eaux froides (fig. 6.3), d'autre part à cause de leur importante hétérogénéité spatiale.

Sr, Na et K ont montré des teneurs moyennes variant entre 2,71 et 7,90 mg/l et des valeurs extrêmes s'échelonnant entre 0,40 et 38,6 mg/l (fig. 6.3).

Cette classification chimique supplémentaire a été fondée sur l'étude des rapports de leurs abondances respectives et nous a conduits à créer six hydrofaciès m théoriques (tab. 6.1):

- m1: Sr>Na>K,
- m2: Sr>K>Na,
- m3: Na>Sr>K,
- m4: Na>K>Sr,
- m5: K>Sr>Na
- m6: K>Na>Sr.

m1 décrit plus de la moitié des sources. m2 et m3 sont également abondamment répandus. m4 ne décrit que 7,6% des points d'eau. Quant à m5, il n'apparaît que dans un seul cas (tab. 6.2).

L'hydrofaciès m6 n'existe pas dans le cas de nos eaux des évaporites (tab. 6.1).

6.1.3 Hydrofaciès "traces" T

Pour affiner notre classification chimique, nous avons choisi des éléments en traces détectés dans nos eaux: Li, B, Rb, Ba, Ni, Cu, U. Ils représentent moins de 0,01% de la composition chimique totale. Li et B ont été adoptés parce qu'ils se caractérisent par des variabilités spatiales très différentes pour des concentrations moyennes très proches (tab. 8.1). Des tests favorables obtenus sur la reproductibilité des traces analysées par ICP-MS (BENSIMON & PARRIAUX, 1990) pour Rb, Ba, Ni, Cu et U, ont en outre facilité notre sélection.

Nous nous sommes basés en tout premier lieu sur une étude des rapports d'abondances entre les couples Li-B, Rb-Ba et Ni-Cu (tab. 6.1), puis sur une distinction supplémentaire liée à la teneur en U par rapport à la valeur moyenne de 10 $\mu\text{g/l}$ déterminée pour l'ensemble des sources évaporitiques du Bassin rhodanien. L'ordre des couples (voir ci-dessus) a été défini selon l'ordre décroissant des concentrations enregistrées le plus souvent dans les eaux des évaporites (fig. 6.3). Parmi les 16 hydrofaciès "traces" T définis et décrits au tableau 6.1, T8, T12 et T16 n'apparaissent pas dans le contexte des eaux des évaporites. Les fréquences relatives de chacun des 13 autres hydrofaciès T possible sont présentées (tab. 6.2).

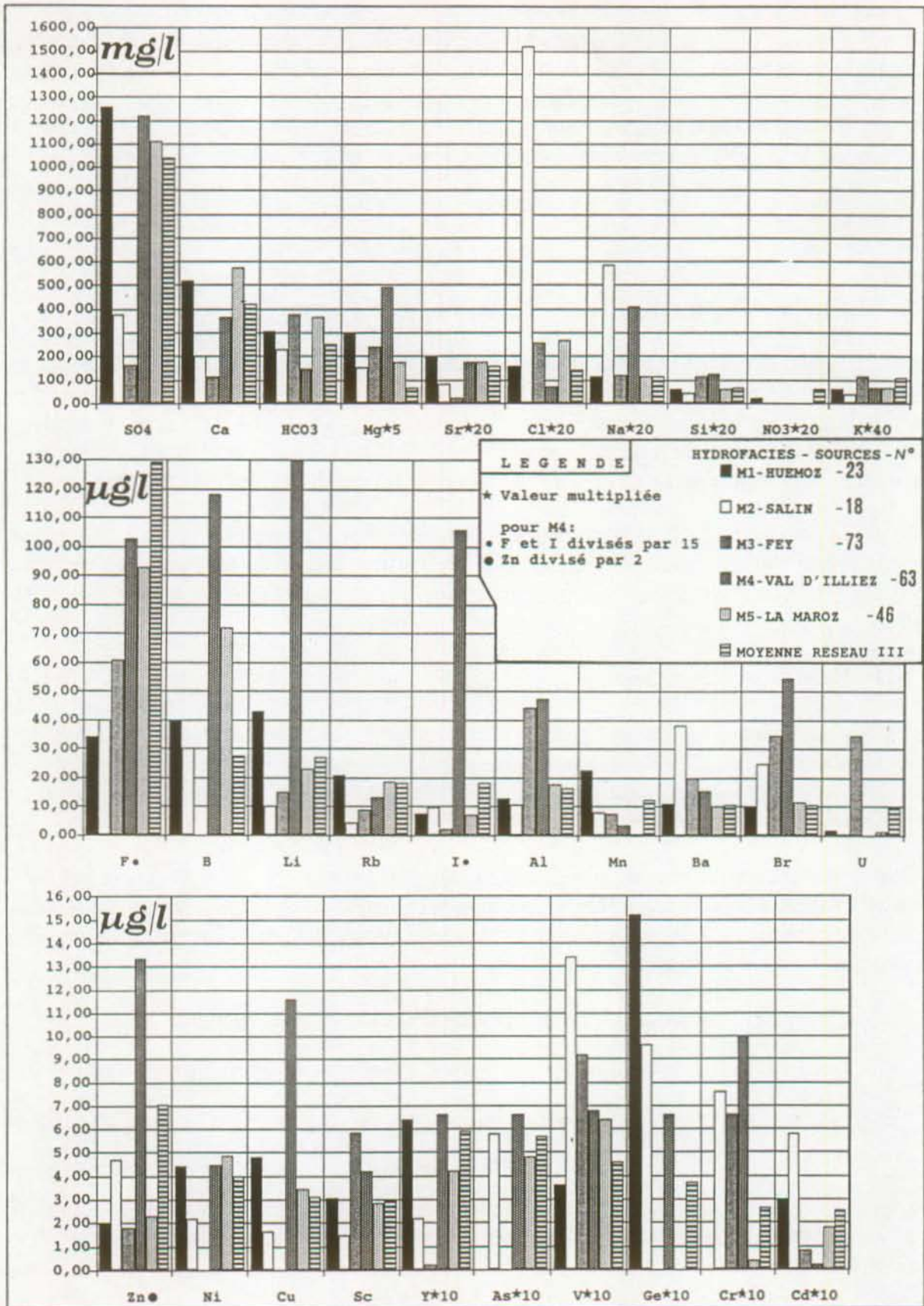


Figure 6.3 Composition chimique détaillée des eaux représentatives des hydrofaciès M1 à M5 (majeurs, mineurs et traces)

6.1.4 Hydrofaciès globaux MmT

Les trois types de faciès hydrochimiques M, m et T décrits ci-dessus peuvent être associés pour définir globalement la composition chimique d'une eau des évaporites selon la forme suivante: MmT (tab. 6.1). Ce moyen de classification des eaux offre 390 possibilités MmT théoriques par les six hydrofaciès M (sans le découpage en a, b, c ou d), 5 hydrofaciès m et 13 hydrofaciès T. En réalité, pour l'ensemble des sources froides et chaudes de notre réseau III, nous avons déterminé 36 faciès hydrochimiques MmT. Ils seront amplement commentés au chapitre 9.

6.2 Composition chimique détaillée des eaux

La composition chimique des eaux séléniteuses froides présente généralement une importante minéralisation qui résulte essentiellement de la forte solubilité des gypses constituant la majorité des aquifères évaporitiques. Essentiellement sulfatées-calciques à 50-90%, ces eaux révèlent une teneur moyenne en sels dissous de 1807 mg/l (TSD = total des sels dissous) avec une dispersion spatiale homogène de 27% à l'échelle du Bassin rhodanien (tab. 8.1).

Afin d'illustrer la composition chimique détaillée de ce type d'eau, nous avons choisi quatre sources évaporitiques froides et deux sources thermales représentatives des évaporites du Trias du Bassin rhodanien et des six hydrofaciès "majeurs" déterminés selon la classification de JAECKLI (figures 6.3 et 6.4):

- M1: Huémoz (source n° 23),
- M2: Salin (source n° 18),
- M3: galerie de Fey (source n° 73),
- M4: source thermale de Val d'Illiez (source n° 63),
- M5: La Maroz (source n° 46),
- M6: eau thermale du forage de Combioula (source n° 98).

L'ensemble des caractéristiques chimiques (30 éléments) sont donnés aux figures 6.3 et 6.4, ainsi qu'à l'annexe 3. Nous avons également joint la composition chimique moyenne des eaux souterraines froides du réseau III. Les paramètres sont classés par ordre décroissant selon leur abondance moyenne dans les eaux froides:

- SO₄, Ca, HCO₃, Mg forment les éléments majeurs et sont donnés en mg/l ,
- Sr, Cl, Na, Si, NO₃ et K constituent les composants mineurs et sont donnés en mg/l,
- F, B, Li, Rb, I, Al, Mn, Ba, Br, U, Zn, Ni, Cu, Sc, Y, As, V, Ge, Cr, Cd représentent les éléments traces et sont donnés en µg/l.

Ces résultats ont été acquis lors de notre grande tournée de mesures effectuée entre le 23 juin et le 18 août 1988 (annexe 3.2). D'autres données importantes sur la composition chimique des eaux séléniteuses ont été fournies par nos études sur les variations temporelles et spatiales des différents paramètres chimiques analysés (voir chapitres 7 et 8).

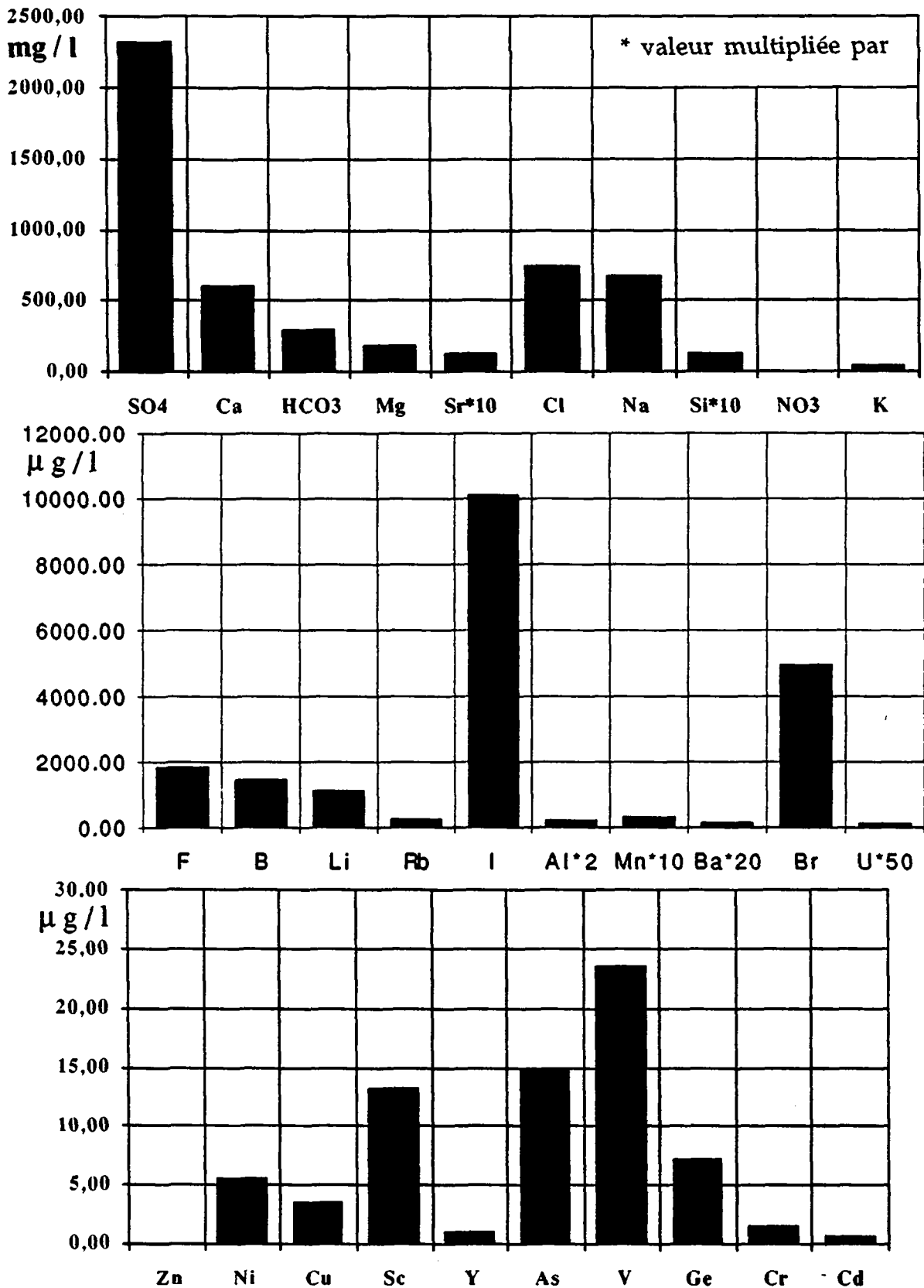


Figure 6.4 Composition chimique détaillée des eaux de Combioula représentative de l'hydrofaciès M6

6.3 Caractéristiques isotopiques des eaux

Pour des raisons financières, nous n'avons pas pu faire effectuer des analyses isotopiques fiables. Des données sur ^{18}O , ^2H et ^3H de quelques sources sulfatées-calciques ont été cependant découvertes dans les casiers sanitaires du Laboratoire cantonal de Sion. Ces analyses ont été effectuées par le Centre de recherches géodynamiques de Thonon-Les-Bains, à la demande soit de propriétaires de sources, soit de bureaux privés de géologues. Dans le cadre du projet AQUITYP (PARRIAUX et al., 1990b), d'autres données isotopiques nous sont parvenues. Ces mesures, effectuées à la demande du GEOLEP par l'Université de Munich, ont notamment concerné les sources de Noches et des Bains de Leytron.

A l'aide d'un scintillateur liquide PACKARD, récemment acquis, quelques mesures de tritium ont pu être faites au GEOLEP. Ces analyses ont été réalisées sans enrichissement électrolytique. Les premiers résultats obtenus ont été peu probants, l'analyse du tritium aux niveaux de concentration actuels (environ 30 UT) étant particulièrement délicate.

6.3.1 Oxygène-18 et deutérium

A l'aide des quelques mesures isotopiques des éléments stables ^{18}O et ^2H , nous avons calculé les zones de recharge de six sources appartenant à notre réseau d'observations (tab. 6.3). Pour cela, nous avons utilisé les équations définies selon des données récoltées pour différentes régions de Suisse et qui ont permis d'établir deux relations (SIEGENTHALER, in HÖGL, 1980; SIEGENTHALER, in VUATAZ, 1982):

- l'une entre l'oxygène-18 des sources et l'altitude de la zone d'infiltration,
- l'autre entre le deutérium des sources et l'altitude de la zone d'infiltration.

Ces relations linéaires sont principalement valables pour le Jura, le Plateau et le versant nord des Alpes. Les résultats qui en découlent doivent être cependant utilisés avec prudence. En effet, une campagne de mesures isotopiques de la couverture neigeuse des Alpes occidentales (DRAY et al., 1990) a permis de mettre en évidence la difficulté d'utiliser des gradients isotopiques d'altitude simples, vu la complexité des précipitations liées aux directions principales des vents qui provoquent des mélanges et d'autres effets perturbateurs associées à la succession de chaînes et de vallées. De plus, il a été observé une extrême variabilité isotopique dans l'épaisseur de la couche de neige, d'où la relativité de la représentativité d'un échantillon moyen.

Malgré ces difficultés d'interprétation, nous avons donc déterminé les zones de recharge des six sources à l'aide des équations de SIEGENTHALER. Les résultats ont été réunis au tableau 6.3. Les valeurs de ^{18}O collectées s'échelonnent entre -10,86 et -15,5 ‰ pour des altitudes d'émergence comprises entre 375 (Les Serves, sources n° 1-5) et 720 msm (Termen, source n° 55). Variant entre 880 (Les Serves) et 2580 msm (Muellacheren), les altitudes des bassins d'alimentation obtenues sont à considérer comme des valeurs moyennes, car l'altitude du bassin d'une source donnée n'a pas une valeur ponctuelle, mais moyenne. D'une manière générale, les zones de recharge calculées pour les différentes sources coïncident avec le bassin hydrogéologique tel qu'on peut l'imaginer sur la base de considérations structurales.

Les altitudes des zones de recharge acquises par l'intermédiaire du ^2H se sont révélées similaires à celles déterminées par ^{18}O (tab. 6.3). Les valeurs en ^{18}O et ^2H des sources de Noches et des Bains de Leytron (sources n° 14 et 64) s'alignent sur la droite des eaux d'origine météorique qui n'ont pas subi un fractionnement isotopique (CRAIG, in VUATAZ, 1982). Ainsi, la composition isotopique de ces deux sources correspond en général à celle des eaux souterraines froides et tièdes des régions tempérées (VUATAZ, 1982).

6.3.2 Tritium

Nos mesures de ^3H ont été réalisées afin d'estimer le temps de parcours souterrain des eaux froides des évaporites. Trente-six échantillons d'eau, prélevés en 1987 et 1988, destinés à l'analyse du tritium ont fait l'objet d'un comptage direct. Réunies à l'annexe 8, les valeurs obtenues ont été comprises entre 28,8 et 82,9 UT. La valeur la plus basse ($28,8 \pm 5,5$ UT) a concerné l'eau chaude du forage de Combioula (source n° 98), la plus élevée ($82,9 \pm 1,3$ UT) la source froide de l'Eau Rouge de Morgins (source n° 61). Cependant, elles se sont avérées imprécises: les tests de reproductibilité ont montré parfois jusqu'à 25% de dispersion de la mesure (tab. 4.5). Les données se sont révélées nettement supérieures à celles enregistrées dans les précipitations de 1987 et 1988, où elles ont été de l'ordre de 10 à 40 UT (DRAY et al., 1990). Ce fait, nous avons été contraints de renoncer à déterminer l'âge des eaux des évaporites avec ce stock de 36 valeurs de ^3H .

Tableau 6.3 *Caractéristiques isotopiques de quelques sources des évaporites*

Source N°	Date de prélèvement	^3H (UT)	^{18}O ($\delta^{18}\text{O}$ ‰)	Altitude (msm) du bassin d'alimentation par ^{18}O	^2H ($\delta^2\text{H}$ ‰)	Altitude (msm) du bassin d'alimentation par ^2H
Termen 55	17.3.81	60 ± 1	$-14,6 \pm 0,3$	2250	-	-
Muellacheren 51	13.7.81	59 ± 1	-15,5	2580	-	-
Les Serves 4	14.5.85	43 ± 1	-10,86	880	-	-
Noches 14	25.10.85	$42,4 \pm 3$	-11,56	1130	-83,3	1200
Bains de Leytron 64	25.10.85	$35,4 \pm 3$	-14,17	2090	-103,2	2090
Charbonnière 84	18.6.87	26 ± 1	$-14,1 \pm 0,2$	2060	-	-

Les données à disposition ont été trop peu nombreuses pour déterminer de manière efficace l'âge des eaux des évaporites. Pour définir avec soin le temps de séjour des eaux souterraines, il aurait fallu connaître l'évolution année par année du tritium aussi bien dans les précipitations que dans les sources, avec des sites de mesures des précipitations correspondant aux bassins versants de chaque point d'eau à étudier. Bien que cela n'ait pas été possible, nous avons tout de même démontré avec nos essais de traçage que les eaux froides de nature sulfatée-calcique sont essentiellement récentes (voir chap.7: essais de traçage).

6.4 Degré de saturation des eaux des évaporites vis à vis de certains minéraux

Nous avons choisi six sources représentatives des hydrofaciès M1 à M6 (voir ci-dessus) et nous avons testées le degré de saturation des minéraux susceptibles de se former dans leurs eaux (figures 6.5, 6.6 et 6.7 et annexe 9). Il s'agit de (fig. 4.1 et annexe 1):

- Muellacheren (code MUL, source n° 51),
- Salin (code SAI, source n° 18),
- galerie de Fey (code FEY, source n° 73),
- source thermique de Val d'Iliez (code VAT, source n° 53),
- La Maroz (code MAR, source n° 46),
- eau thermique du forage de Combioula (code COF, source n° 98).

Les essais avec le programme PHREEQE ont été réalisés sur des eaux avec un pH généralement de 7 et un Rh de 70 (eaux chaudes) à 200 mv (eaux froides). Les résultats complets de nos tests de saturation sont présentés aux figures 6.5, 6.6 et 6.7, ainsi qu'à l'annexe 9. Les données utilisées proviennent de notre grande tournée de mesures effectuée en été 1988 (annexe 3.2).

Nous exposons ci-dessous les résultats majeurs de nos essais. Ils concernent principalement les minéraux carbonatés, sulfatés et ceux de la famille de la silice.

Des données sur d'autres minéraux sont également présentés à l'annexe 9: soit illite, montmorillonite, halloysite, fluorine, alunite, gibbsite et boehmite. Nous ne les avons pas traités de manière intensive. Mis à part les hydroxydes d'alumine, tous ces minéraux sont soit fortement sursaturés, soit sous-saturés; sauf dans le cas de la fluorine, mais pour les eaux chaudes. En effet, elle y apparaît très près de l'équilibre (annexe 9).

6.4.1 Les minéraux carbonatés

La magnésite, la dolomite et l'aragonite se sont souvent montrées en légère sous-saturation. Ce n'est cependant pas le cas de la calcite (fig. 6.5), qui est apparue plus proche de l'équilibre. Parfois, ce minéral s'est également révélé en sursaturation (fig. 6.5).

6.4.2 Les minéraux sulfatés

Parmi les minéraux sulfatés, la célestine, l'anhydrite et le gypse ont fait apparaître un comportement géochimique très voisin de la calcite (figures 6.5 et 6.6). Ils sont très près de l'équilibre, notamment en ce qui concerne le gypse et l'anhydrite.

La strontianite s'est toujours révélée très sous-saturée (fig. 6.6). Quant à la barytine, elle s'est montrée en légère sursaturation. Dans le cas des eaux chaudes de Val d'Iliez et de Combioula, elle est cependant pratiquement à l'équilibre (fig. 6.6).

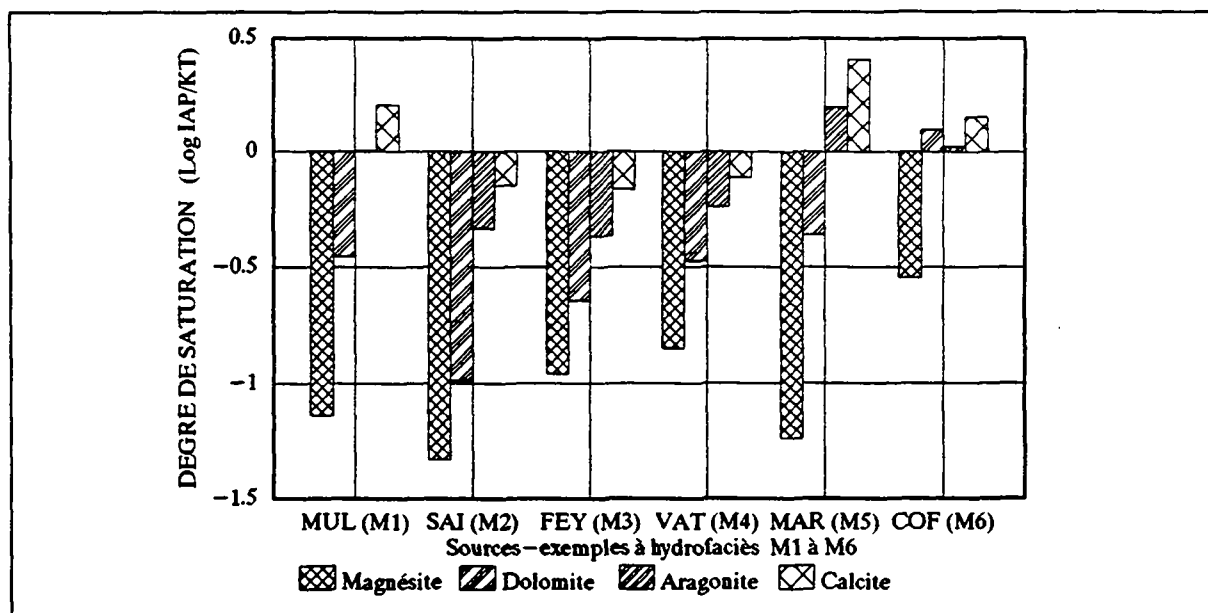


Figure 6.5 Degré de saturation des eaux des évaporites vis à vis des minéraux carbonatés (IAP=indice de saturation, KT =constante d'équilibre)

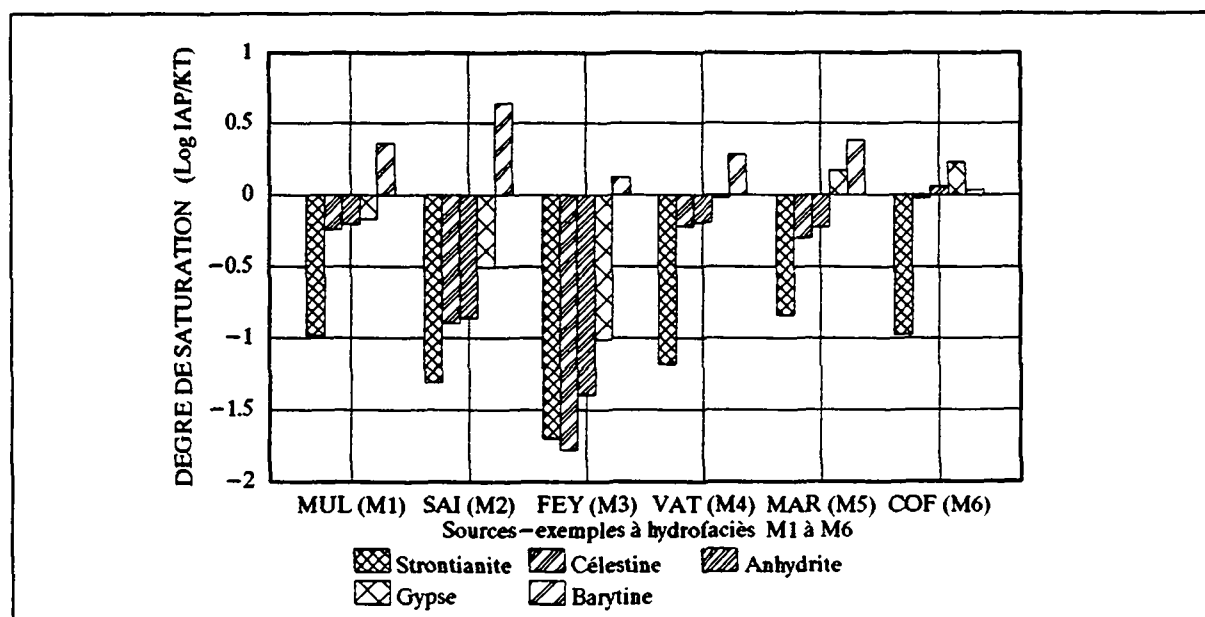


Figure 6.6 Degré de saturation des eaux des évaporites vis à vis des minéraux sulfatés

6.4.3 Les minéraux de la silice

Le quartz s'est toujours montré en sursaturation dans les eaux séléniteuses (froides et chaudes). SiO₂, la cristobalite et la calcédoine ont été le plus souvent sous-saturées, notamment SiO₂ amorphe (fig. 6.7).

Parmi cette famille de minéraux, dans certains cas, la cristobalite surtout et la calcédoine dans une moindre mesure ont été les plus proches de l'équilibre (fig. 6.7).

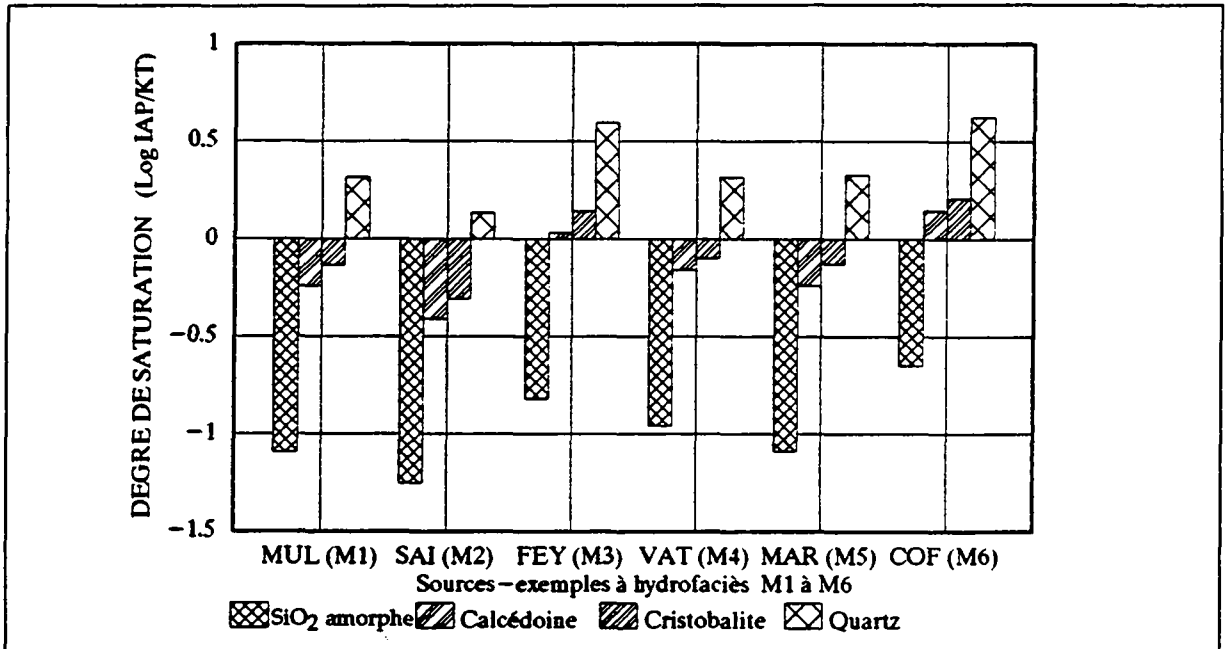


Figure 6.7 Degré de saturation des eaux des évaporites vis à vis des minéraux de la famille de la silice

De tels tests ont été rarement pratiqués sur des eaux d'origine évaporitique avec des températures inférieures à 12 °C. En particulier, AL-DROUBI (1976) étudie ce genre d'eau à des températures de l'ordre de 30°C. Il s'agit donc là d'essais préliminaires. Ce qui signifie que les résultats présentés doivent être utilisés avec prudence. D'une manière générale, ils paraissent cohérents avec nos connaissances sur la géochimie des eaux des évaporites.

7. REGIMES HYDROLOGIQUES ET VARIATIONS TEMPORELLES DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Dans le but de présenter le régime hydrologique des sources sulfatées-calciques, ainsi que le comportement des différents paramètres physico-chimiques de l'eau au cours du temps, nous avons retenu 12 sources appartenant aux réseaux d'observations I et II (tab. 7.1 et fig. 7.1). Elles ont été également choisies pour représenter des aquifères évaporitiques se situant au moins dans l'une des quatre unités tectoniques (annexes 1 et 10):

- trois dans les Préalpes Médiannes : Les Serves D, Vers Lavaux D, Bach Plattraire,
- trois dans l'Helvétique: Fontaine de Saint-Martin, Bains de Leytron, Fontaine du Day B,
- quatre dans l'Ultraschévétique: Noches, Huémoz, Maupas, Eau Rouge de Morgins,
- deux dans le Pennique: Muellacheren, Poutafontana A.

Tableau 7.1 Sources retenues pour l'étude des variations temporelles

Réseau	Sources	Périodes de surveillance	
		Enregistrement en continu des niveaux (débits)	Mesures physico-chimiques et analyses chimiques discrètes
I	Les Serves D (n° 4)	02.09.86 - 06.10.87	09.06.86 - 14.10.88
	Noches (n° 14)*	depuis 23.11.82	depuis 27.11.81
	Hémoz (n°23)	19.02.87 - 11.09.89	09.06.86 - 27.10.88
	Muellacheren (n° 51)	16.05.86 - 23.01.89	10.04.86 - 23.01.89
	Maupas (n° 60)	09.04.88-11.05.89 (température + conductivité électrique)	01.10.86-11.05.89
	Eau Rouge de Morgins (n° 61)	19.11.87-30.08.88	06.02.86 - 30.08.88
	Bains de Leytron (n° 64) *	depuis 20.10.81	depuis 26.11.87
II	Vers Lavaux D (n° 9)	-	24.04.86 - 14.10.88
	Bach Plattraire (n° 10)	-	21.07.87 - 14.10.88
	Fontaine de St-Martin (n°50)	-	20.06.86 - 22.07.88
	Poutafontana A (n° 99)	-	03.06.86 - 22.07.88
	Fontaine du Day B (n° 103)	-	10.03.87 - 22.07.88

* Réseau AQUITYP (en cours)

Dans la plupart des cas, les paramètres suivants ont été représentés graphiquement en variations temporelles (fig. 7.2 à 7.4, annexe 10):

- 1) Débit (l/mn),
- 2) Température de l'eau (°C),
- 3) Minéralisation totale (mg/l) et parfois conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C),
- 4) Dureté totale (°F),
- 5) Hydrogénocarbonates (mg/l HCO_3^-),
- 6) Sulfates (mg/l SO_4^{2-}),
- 7) Fluor (mg/l F^-),
- 8) Chlorures (mg/l Cl^-),
- 9) Lithium (mg/l Li^+),

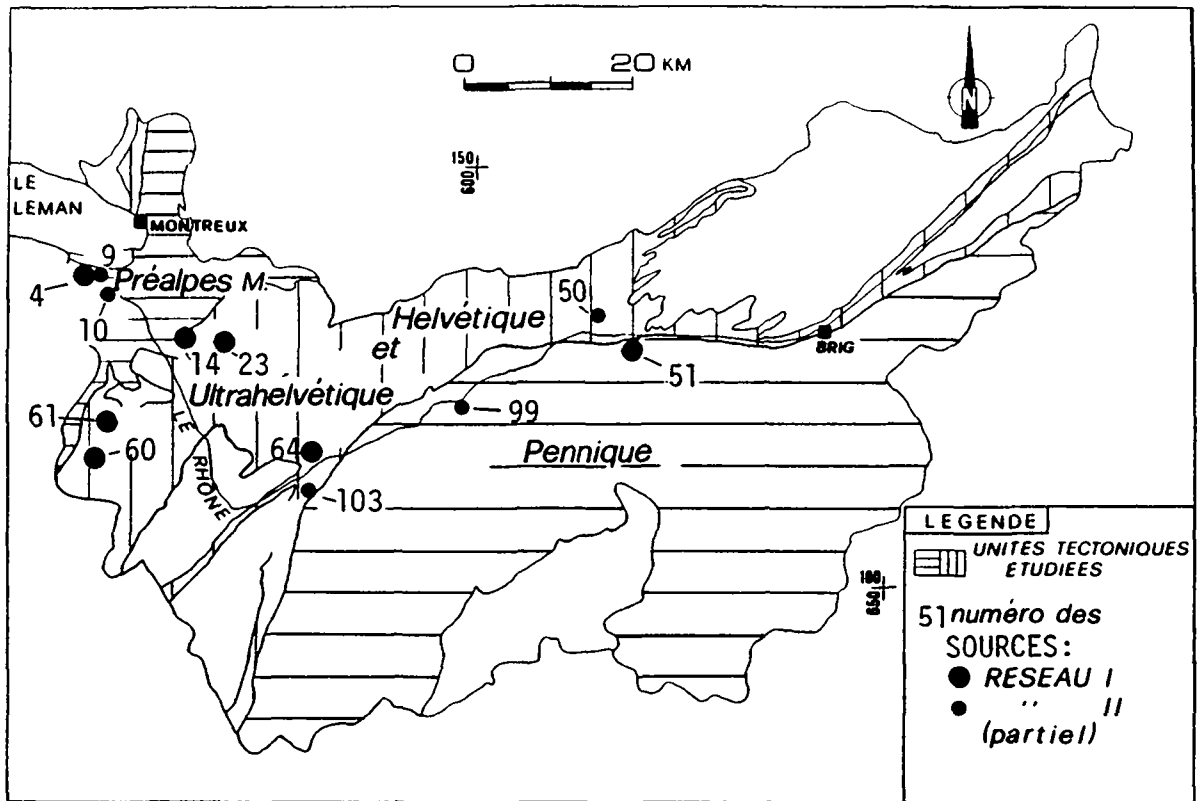


Figure 7.1 Localisation géographique et géologique des sources retenues pour l'étude des variations temporelles

- 10) Sodium (mg/l Na^+),
- 11) Potassium (mg/l K^+),
- 12) Magnésium (mg/l Mg^{2+}),
- 13) Calcium (mg/l Ca^{2+}),
- 14) Strontium (mg/l Sr^{2+}),
- 15) Bore (mg/l B^{3+}),
- 16) Silicium (mg/l Si^{4+}).

Ces différents paramètres ont été choisis, parce que leurs analyses se réalisent assez facilement selon les méthodes classiques de l'hydrochimie (tab. 4.2). La série des éléments en traces est incomplète, puisque nous n'étions pas équipés au début de l'étude d'un ICP-MS.

Seules les sources du réseau I ont été équipées d'enregistreurs de débits (tab. 7.1). Elles comprennent aussi les deux stations du réseau AQUITYP. Les stations limnigraphiques ont été placées sur des sites sourciers situés à des altitudes différentes pour vérifier le comportement hydraulique, géochimique et thermique des sources au cours du temps face aux variations météorologiques. Les régimes des sources de Fontaine de Saint-Martin, de Muellacheren et de Huémoz ont été mis en regard des conditions climatiques générales régnant dans leurs bassins versants (annexe 10). A partir de l'Atlas pluviométrique suisse (1986-1989), nous avons réuni les précipitations mensuelles et les températures moyennes mensuelles de l'air des stations météorologiques de Leukerbad pour le bassin versant de la Fontaine de Saint-Martin, de Graechen pour celui de Muellacheren et du Sepey pour celui de Huémoz (tab. 4.1). Parfois, ces données météorologiques peuvent manquer à cause des pannes des enregistreurs de mesure.

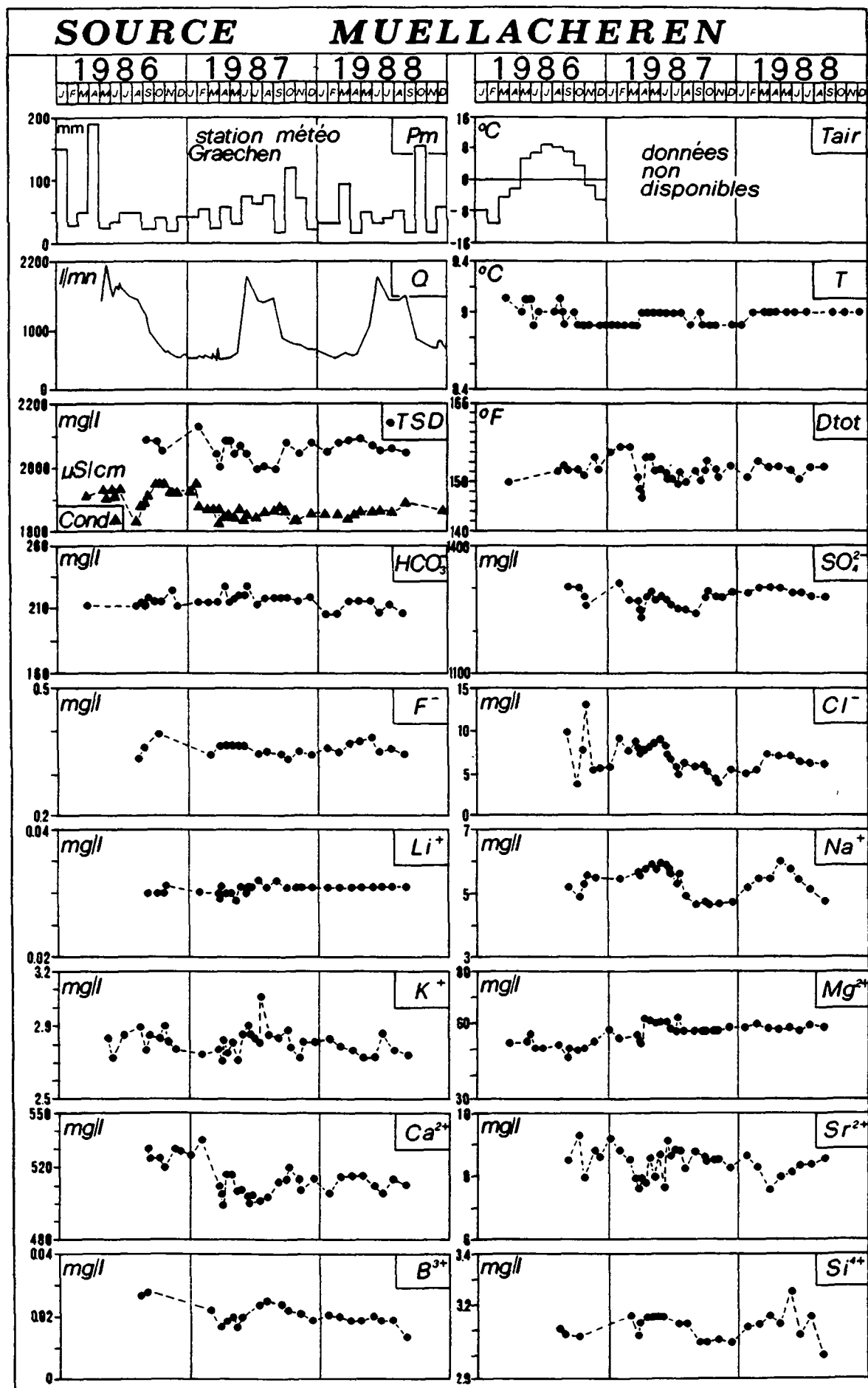


Figure 7.2 Variations temporelles des caractéristiques physico-chimiques de la source Muellacheren (Tourtemagne)

Nous avons également considéré le régime hydrologique du cours d'eau Saltina, afin de vérifier si le début des hautes eaux de printemps des sources évaporitiques correspond ou non à celui des rivières de montagne à régime naturel (voir 4.1.3).

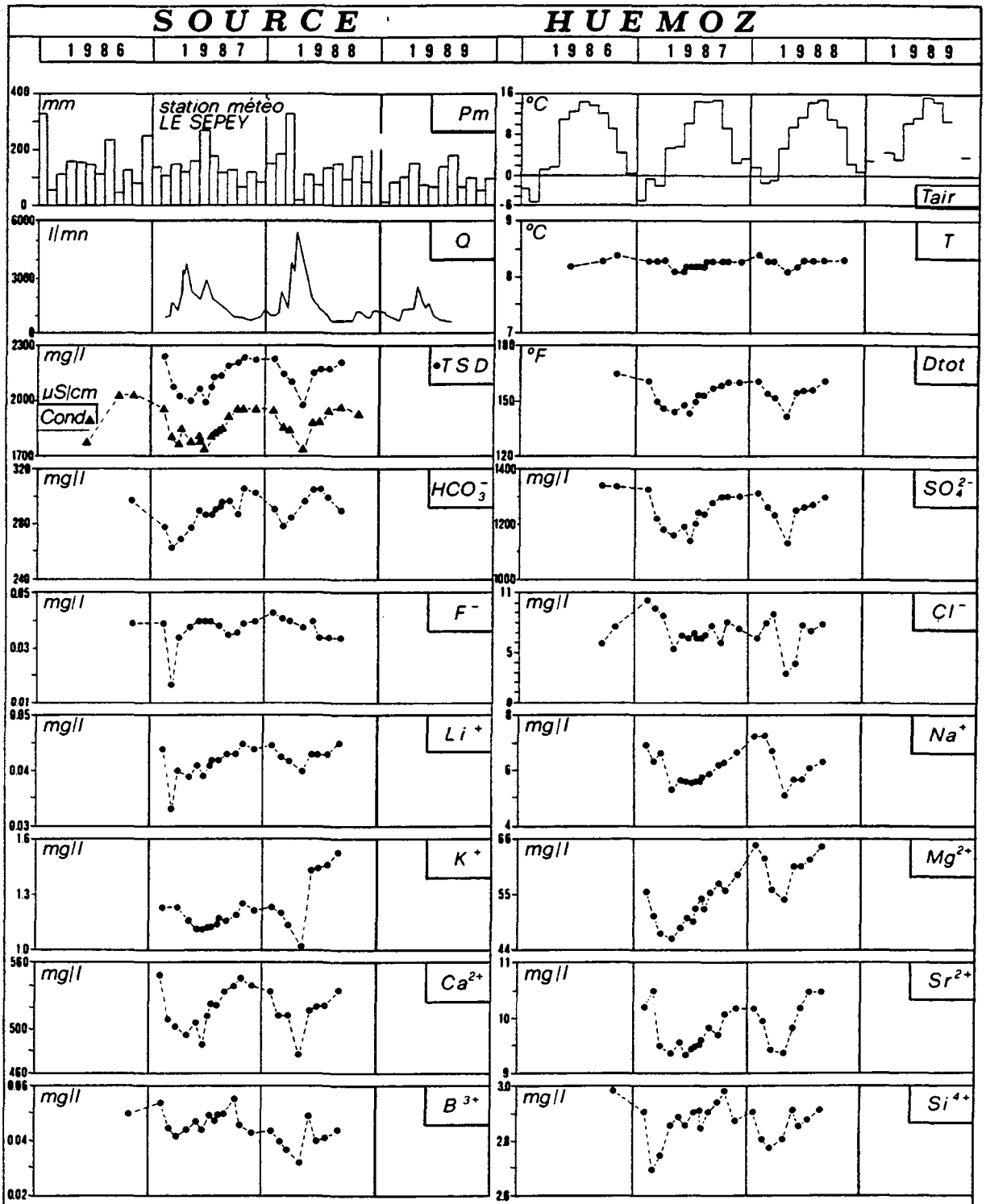


Figure 7.3 Variations temporelles des caractéristiques physico-chimiques de la source Huémoz (Villars-sur-Ollon)

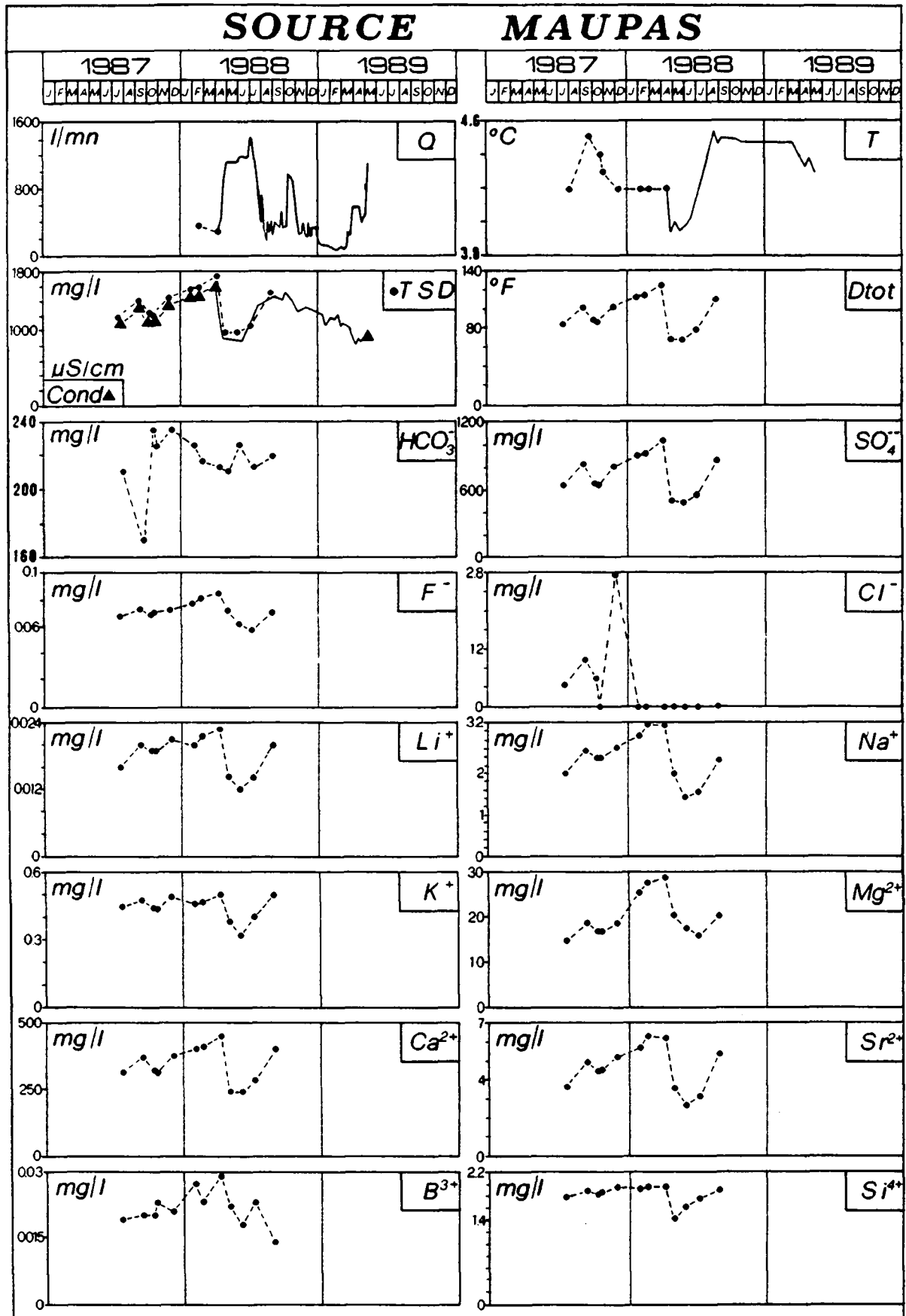


Figure 7.4 Variations temporelles des caractéristiques physico-chimiques de la source Maupas (Val d'Illez)

Les représentations graphiques des variations temporelles des différents paramètres physico-chimiques mesurés aux 12 sources apparaissent aux figures 7.2, 7.3 et 7.4, ainsi qu'à l'annexe 10. Pour la plupart d'entre elles, les échelles de mesures ont été amplifiées, afin de mieux faire ressortir les fluctuations.

Les résultats illustrés aux chapitres 7.1, 7.2 et 7.3 ont été en partie publiés (MANDIA & PARRIAUX, 1990). Ils sont ici complétés.

7.1 Régimes hydrauliques

Les débits maximum des sources les plus importantes ont été de l'ordre de 5000 l/mn (fig. 7.3), sinon ils sont plutôt au voisinage de 2000 à 3000 l/mn (fig. 7.2 et 7.4).

Ce paramètre a été mesuré soit en continu, soit périodiquement par jaugeages (fig. 7.2, 7.3 et 7.4, annexe 10). Les relevés de la source de Noches ont été présentés en hauteurs d'eau, puisque la station limnigraphique a souvent subi des modifications de la courbe de tarage à cause des divers travaux effectués par le propriétaire pour l'utilisation de cette eau (annexe 10). L'interprétation du limnigramme de Noches est par conséquent semi-quantitative.

Les enregistrements permanents des sources du réseau I ont fait apparaître en général d'assez grandes variations du débit (fig. 7.2, 7.3 et 7.4, tab. 7.2). Les fluctuations les plus importantes ont été enregistrées aux points d'eau de Maupas, de Huémoz et de Noches (fig. 7.3 et 7.4, annexe 10). Tous trois appartiennent à des aquifères évaporitiques UH. La source de Noches semble réagir en outre fortement aux précipitations journalières (COLLET, 1986). Cependant, la variabilité des sources du karst évaporitique n'est pas aussi importante que celle que l'on rencontre dans le karst en général.

Les étiages durent principalement de juillet à mars. Dans le cas de la plupart des sources de notre réseau I (tab. 7.1), les débits d'étiage sont de l'ordre de 500 à 1000 l/mn. De telles valeurs peuvent être considérées comme très intéressantes. Les hautes arrivent en mars-avril ou en mai-juin-juillet (fig. 7.2, 7.3 et 7.4). Ceci est lié au modèle de bassin hydrogéologique auquel les points d'eau appartiennent (fig. 5.12). Ainsi, suite à la fonte des neiges, les émergences UH ont une réponse plus rapide, puisque leur bassin est jointif (fig. 7.3 et 7.4). Dans le cas des sources penniques à bassin hydrogéologique non jointif, les crues ont lieu plus tardivement (fig. 7.2).

En 1989, les précipitations ont été nettement moins importantes qu'en 1986, 1987 et 1988, notamment en hiver (tab. 4.1). Cette année-là, le déficit du manteau neigeux a ainsi fortement réduit le volume des crues des sources étudiées (fig. 7.3).

La source de Morgins a été suivie pendant près d'une année et nous n'avons pas observé de fluctuations dans ses débits (annexe 10). Ce comportement semble être lié à l'existence d'un exutoire secondaire, dont nous ne connaissons pas la localisation.

A la figure 7.5, nous avons comparé le comportement de la source de Muellacheren et de la rivière Saltina pour les périodes de mars-juin 1987 et mars-juin 1988, bien que celle-ci ne fasse pas du même bassin d'alimentation. En effet, elle est située au sud de Brigue. Nous l'avons retenue, puisqu'elle est l'un des rares cours d'eau de montagne à régime naturel. Notre rapprochement a montré que le décalage entre le début des hautes eaux du cours d'eau et celui de la source est plus ou moins synchrone. En effet, la source séléniteuse ne réagit que trois jours après la rivière Saltina aux sollicitations de la fonte des neiges du printemps.

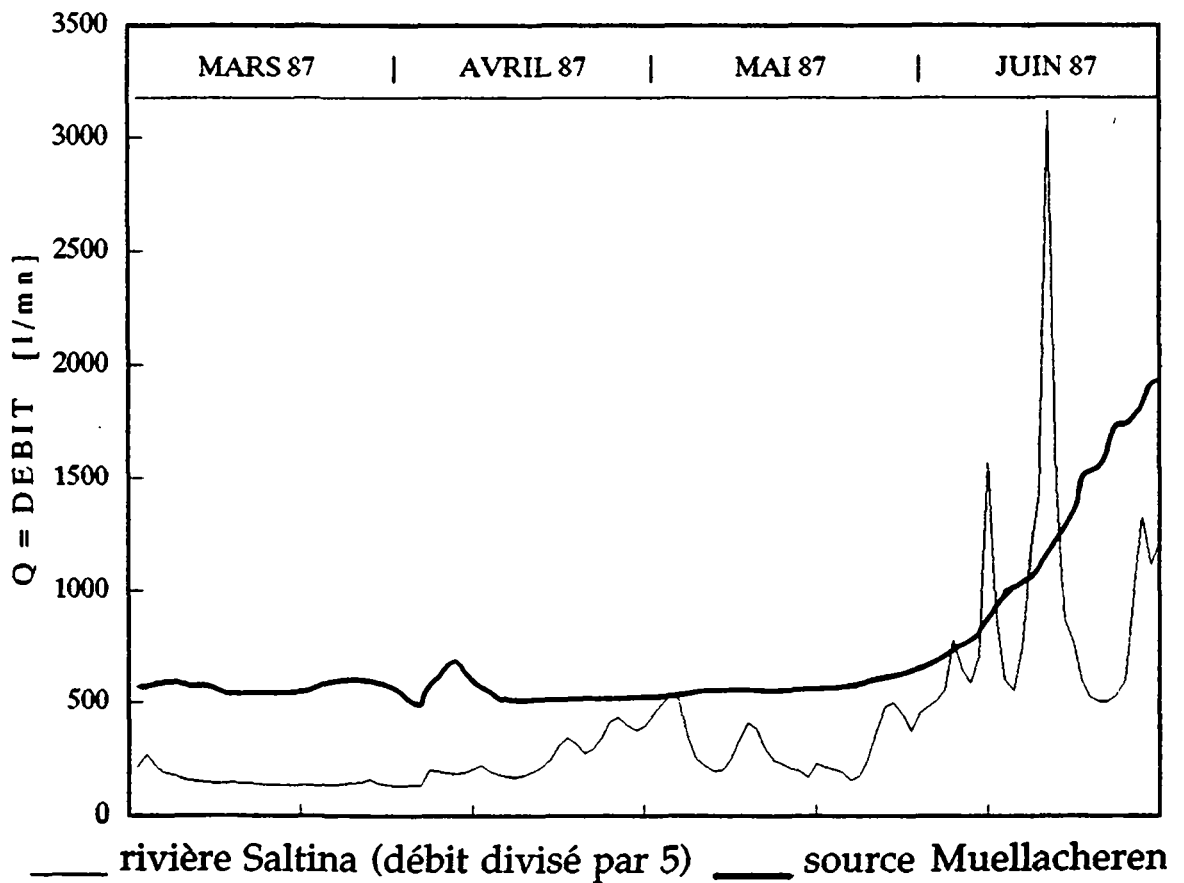
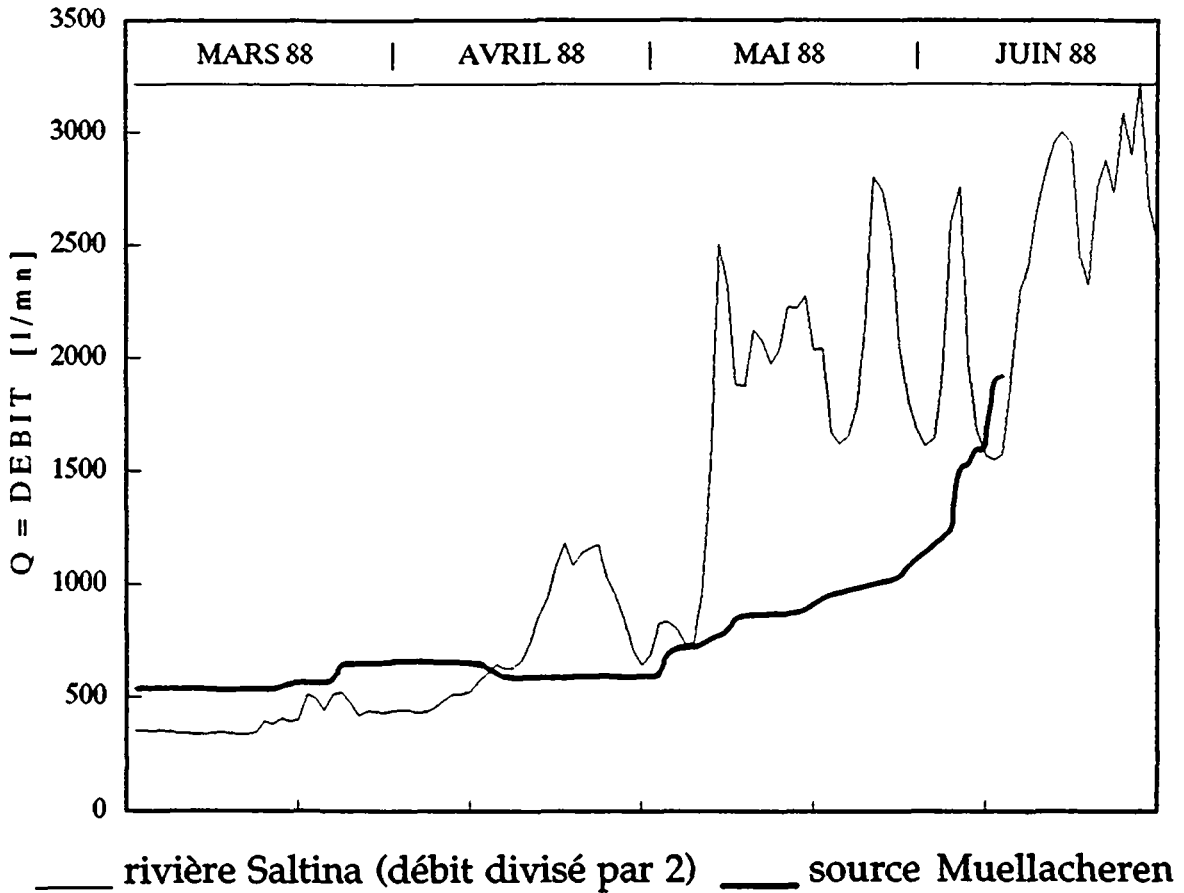


Figure 7.5 Comparaison des régimes hydrologiques de la source Muellacheren et de la rivière Saltina

7.2 Régimes géochimiques

Les variations de la minéralisation dépendent généralement de celles du débit: une augmentation de celui-ci entraîne une baisse de la teneur en sels dissous dans les eaux, pour autant que des eaux de minéralisations différentes se mélangent.

Dans le but de définir les régimes géochimiques des sources évaporitiques, nous avons choisi TSD (TSD = total des sels dissous) comme marqueur unique de leurs variations chimiques au cours du temps (tab.7.2). Il correspond du reste à la somme des divers composés de l'eau.

L'analyse du comportement au cours du temps de la minéralisation a permis de distinguer trois types de régimes géochimiques pour l'ensemble des points d'eau présentés (tab. 7.2):

a) Régime géochimique I:

Il ne présente aucune variation du TSD au cours du temps.

Il regroupe quatre sources, dont le coefficient de dispersion temporelle de la minéralisation est inférieure à 2%: Eau Rouge de Morgins, Poutafontana A, Muellacheren, Fontaine du Day B. Elles correspondent aux aquifères HE, UH et PN (annexe 10).

b) Régime géochimique II:

Ce régime géochimique caractérise des sources dénotant de faibles variations du TSD au cours du temps.

Il réunit cinq sources, dont le coefficient de variation temporelle s'est échelonné entre 2 et 4%: Noches, Fontaine de Saint-Martin, Huémoz, Les Serves D, Bains de Leytron. Elles correspondent aux aquifères PM, HE et UH (annexe 10).

La source chaude des Bains de Leytron (annexe 10) présente un comportement comparable à celle des sources séléniteuses froides, sauf à hautes eaux. En effet, par effet piston, l'arrivée des eaux plus jeunes dans l'aquifère pousse les plus anciennes et les plus minéralisées vers l'exutoire. Cette caractéristique est certainement liée à un séjour plus long des eaux des blocs capacitifs dans l'aquifère.

c) Régime géochimique III:

Il présente de fortes variations de la minéralisation au cours du temps.

Il rassemble les émergences de Vers Lavaux D, Bach Platraire et Maupas, pour lesquelles TSD dénote des valeurs du coefficient de dispersion temporelle supérieures à 4%. Elles appartiennent aux aquifères PM et UH (annexe 10).

La source séléniteuse du Maupas est le cas le plus extrême. En effet, sa minéralisation peut diminuer de moitié lors des crues printanières. Elle peut passer par exemple de 1750 à 980 mg/l (fig. 7.4). Pour notre période de contrôle (tab. 7.1), le coefficient de variation temporelle de TSD a atteint 20% (tab.7.2).

En période hivernale (surtout février), l'eau minérale du Maupas est utilisée par la Commune de Val d'Illiez comme eau de boisson. Après un traitement par des adoucisseurs (substitution des ions Ca^+ par des ions Na^+), cette eau est mélangée à celle du réseau, nettement moins dure. La source du Maupas sert donc d'appoint dès que le tourisme hivernal bat son plein (Val d'Illiez est une région très connue pour le ski). La qualité bactériologique de cette est en outre irréprochable.

Tableau 7.2 Régimes géochimiques des sources sulfatées-calciques

Régimes géochimiques	Sources	Coefficient de variation temporelle des paramètres physico-chimiques (%)							
		< 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 20	20 - 100	100 - 200
I	Eau Rouge de Morgins	TSD-Q-Ca-SO ₄ -Sr	HCO ₃ -Si	Mg-Na-K-F-B	-	Li	-	Cl	-
	Poutafontana A	TSD-Ca-SO ₄	Mg-Sr-K-HCO ₃ -Si	Li	Na-F	-	B	Q*-Cl	-
	Muellacheren	TSD-Ca-SO ₄ -Si	K-Li-HCO ₃ -F	Sr	Mg	Na	B	Q-Cl	-
	Fontaine du Day B	TSD-Ca-SO ₄ -Sr-Si	HCO ₃	Na	Mg-Li	K	F-B	Q*-Cl	-
II	Noches	HCO ₃	TSD-Ca-SO ₄	-	Na-Si	Mg-K-Cl-F	Sr-B	Q-Li	-
	Fontaine de St-Martin	Mg-F-Si	TSD-Ca-Sr-K-Li-SO ₄ -HCO ₃	-	Na	-	-	Q*-Cl-B	-
	Huémoz	-	TSD-Ca-Sr-HCO ₃ -Si	SO ₄	Li	Mg-Na	K-F-B	Q-Cl	-
	Les Serves D	F-Si	HCO ₃	TSD-Ca-Sr-B	Na-Li-SO ₄	Q-K	Mg	Cl	-
	Bains de Leytrons	-	HCO ₃	TSD-Ca-Si	Mg	Na-SO ₄	Sr-K-F-B	Q-Li-Cl	-
III	Vers Lavaux D	-	F	HCO ₃ -Si	Sr	TSD-Ca-Mg-SO ₄	Na-K-Li-B	Q-Cl	-
	Bach Platraire	-	-	Si	HCO ₃ -F	TSD	Ca-Mg-Sr-K-Li-SO ₄ -B	Q*-Na-Cl	-
	Maupas	-	-	-	HCO ₃ -Si	F	TSD-Ca-K-Li-B	Q-Mg-Sr-Na-SO ₄	Cl

* valeur estimée s source thermale

7.3 Régimes thermiques

L'étude des variations temporelles de la température des eaux a révélé d'une manière générale une très grande stabilité de ce paramètre (fig. 7.2 et 7.3, annexe 10). Les écart-types n'ont pas dépassées 0,5°C (tab. 7.3).

Cette très forte constance indique que les sources des évaporites sont alimentées par des eaux qui ont circulé lentement à une profondeur suffisante dans le sous-sol pour atteindre un équilibre thermique avec l'aquifère.

Les baisses de température plus importantes apparaissent lors des hautes eaux. Elles sont au maximum de 0,3°C. Ce léger refroidissement est déterminé par l'arrivée des eaux de fonte dans

l'aquifère principal par l'intermédiaire d'une zone d'infiltration secondaire (dolines). De ce fait, la température diminue selon un comportement identique à celui de la minéralisation (fig. 7.4). De telles modifications thermiques caractérisent généralement des sources, dont le bassin hydrogéologique est jointif (fig. 5.12). Dans le cas d'un modèle non jointif, les vidanges karstiques évaporitiques semblent subir de plus faibles variations dans leur régime thermique.

D'une manière globale, nous pouvons distinguer deux types de régimes thermiques (tab. 7.3):

Tableau 7.3 Régimes thermiques

Régimes thermiques	Sources	Ecart-types (°C)
I $\sigma < 0.15 \text{ °C}$	Muellacheren	0.06
	Eau Rouge de Morgins	0.07
	Poutafontana A	0.07
	Huémoz	0.08
	Fontaine St-Martin	0.09
	Noches	0.1
	Les Serves D	0.13
II $\sigma > 0.15 \text{ °C}$	Maupas	0.19
	Bach Platraire	0.19
	Fontaine du Day B	0.24
	Bains de Leytron	0.33
	Vers Lavaux D	0.42

a) Régime thermique I:

Le régime thermique I ne présente que de très faibles variations de la température au cours du temps. Nous pouvons considérer le comportement de ce paramètre comme stable.

Ce régime caractérise des sources, dont l'écart-type est inférieur à 0.15 °C . Il s'agit de Muellacheren, Eau Rouge de Morgins, Poutafontana A, Huémoz, Fontaine de St-Martin, Noches et Les Serves D (tab.7.3). Il a donc été observé pour chacun des sous-types d'aquifères (annexe 10).

b) Régime thermique II:

Ce régime implique une température plus variable au cours du temps.

Il caractérise des sources, dont l'écart-type est supérieur à 0.15 °C : Maupas, Bach Platraire, Fontaine du Day, Vers Lavaux D (tab. 7.3). Ce régime n'a pas été observé dans le cas des aquifères PN (fig. 9.5).

En conclusion de l'étude sur les régimes, l'approche du régime hydrologique et des variations temporelles des paramètres physico-chimiques de l'eau fait ressortir que malgré des débits variables, liés à la fonte des neiges, la température surtout et la minéralisation dans une moindre mesure sont plutôt stables.

Nous rappelons ici, que notre pas de temps de mesures du TSD a été de l'ordre du mois. D'une manière globale, pour six sources, dont nous avons enregistré le débit en continu (tab. 7.1), le décalage du TSD par rapport à ce paramètre est apparemment synchrone, ou tout du moins inférieur au pas de temps de nos mesures de la minéralisation (fig. 7.4). Par conséquent, on peut certifier qu'il n'y a pas de décalage supérieur à un mois pour l'ensemble de ces sources. Pour mieux définir ce laps de temps, il aurait été nécessaire d'enregistrer en continu le débit et la conductivité, notamment avec des enregistreurs de type MADD (tab. 4.2), ce qui a pu être effectué pour la source du Maupas dans la région de Val d'Iliez (fig. 4.1 et annexe 1, tab. 7.1). Dans ce cas, nous y avons noté une baisse instantanée de la conductivité électrique suite à une augmentation du débit (fig. 7.4). Cet exemple est cependant particulier, puisque cette source appartient à un bassin hydrogéologique, où les zones d'infiltration et d'émergence sont jointives. Par conséquent le changement de la chimie des eaux s'y produit plus facilement par l'arrivée d'eau moins minéralisée au-travers de zones perméables comme le sont les dolines (fig. 5.12: cas de la région Col de la Croix).

7.4 Essais de traçage dans le karst évaporitique

Dans le but de déterminer les temps et les vitesses de transfert de l'eau dans les aquifères évaporitiques, nous avons effectué six essais de traçage (fig. 7.6):

- un dans les Préalpes Médiannes (PM),
- trois dans l'Ultrahelvétique (UH),
- deux dans le Pennique (PN).

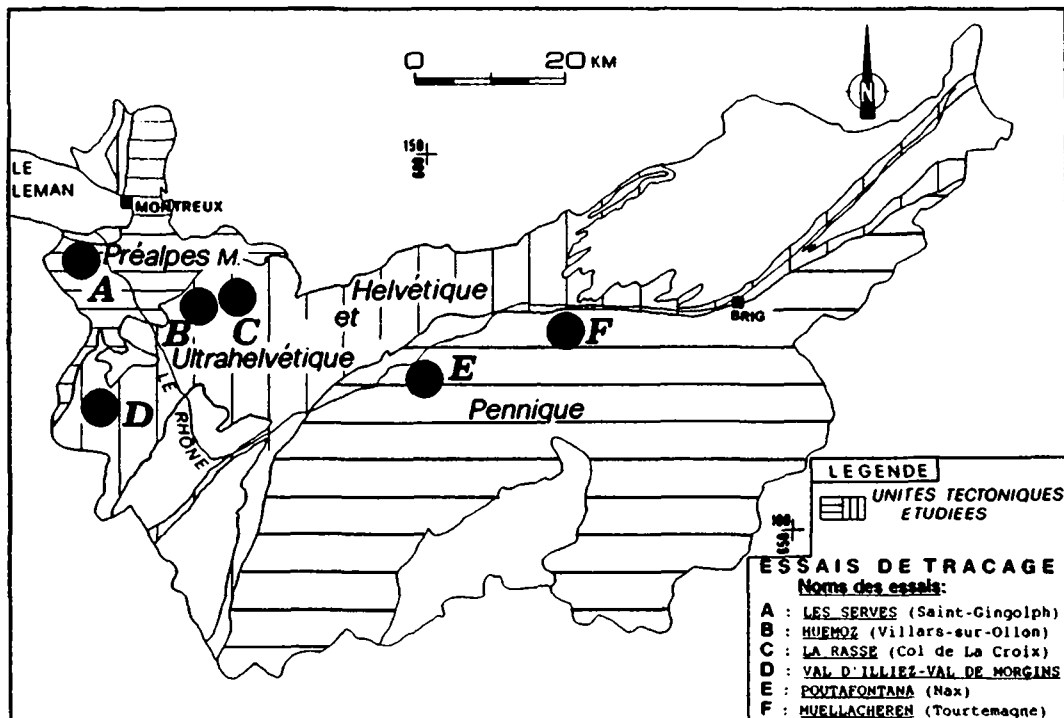


Figure 7.6 Situation géographique et géologique générale des essais de traçage

Pour trois d'entre eux, nous avons utilisé des traceurs multiples. Malheureusement, le coût relativement élevé de ces travaux, soit dans la préparation (achat et mise en oeuvre sur le terrain) ou dans l'analyse des traceurs, nous a fortement limité dans le nombre d'essais réalisés.

Nous avons décrit au chapitre 4 les difficultés que l'on peut rencontrer dans ces essais. C'est pourquoi nous avons essentiellement utilisé des fluocapteurs, à l'aide desquels nous ne pouvons parfois déterminer qu'un intervalle grossier de la première arrivée.

Les données techniques et l'ensemble des résultats avec une carte de situation de chacun de ces tests sont données à l'annexe 11.

Les temps et les vitesses de transfert définis pour les points d'eau liés aux évaporites sont présentés au tableau 7.4.

7.4.1 Essai dans les aquifères des Préalpes Médiannes (PM)

Essai Les Serves (essai A)

Cet essai (annexe 11) a concerné les sources minérales sulfatées-calciques du Château des Serves de Saint-Gingolph (sources n° 1 à 5). Nous avons aussi contrôlé les émergences de même nature chimique localisées entre Le Bouveret et Saint-Gingolph, au lieu-dit Vers Lavaux (fig. 4.1, annexes 1 et 11: sources n° 6 à 9). Tous ces points d'exurgence sont liées en partie au chevauchement des Préalpes Médiannes sur la Molasse. L'eau sourd au contact des formations triasiques avec le plancher étanche que représente la Molasse rouge de la région. Entre ces formations, on peut trouver parfois des écaillés de flysch ultrahelvétique (BADOUX, 1965).

Notre essai de traçage a montré que ces sources appartiennent au même aquifère. En effet, la fluorescéine, injectée au col de La Frête directement dans les formations triasiques perméables (calcaires dolomitiques probablement), est apparue aussi bien aux sources de Vers Lavaux qu'à celles des Serves (annexe 11). Le parcours a duré entre 8 et 20 jours. Les vitesses de transit ont été plus ou moins rapides de l'ordre de 70 à 220 m/j (tab. 7.4). Ces résultats ont été essentiellement déterminés à l'aide de fluocapteurs. Les prélèvements d'eau ont été peu nombreux. Un échantillon d'eau collecté 38 jours après l'injection a révélé une concentration en fluorescéine de $1,7 \cdot 10^{-5}$ ppm (annexe 11).

En conclusion, on peut dire que l'arrivée relativement rapide du traceur est à rattacher au fait que nous l'avons injecté directement dans l'aquifère.

7.4.2 Essais dans les aquifères ultrahelvétiques (UH)

Trois essais de traçage ont été effectués dans le karst évaporitique UH (annexe 11).

Essai Huémoz (essai B)

La situation géologique de la région de Huémoz-Villars-sur-Ollon est comparable à celle de La Rasse (annexe 11).

Bien que le bassin hydrogéologique de la source Huémoz (source n° 23) présente le modèle jointif, cet essai de traçage n'a pas mis en évidence une communication hydraulique entre les dolines des Ecovets et les nombreuses émergences sulfatées-calciques de la région Ollon-Plambuit-Villars (sources n° 15 à 22), dont fait partie la source Huémoz (annexe 11).

On peut interpréter cet essai négatif de la manière suivante (PARRIAUX et al., 1988):

- Le traceur n'a suivi aucun des cheminements présumés et il en existe un dont on ne soupçonne pas l'existence.
- Le traceur a bien suivi le cheminement supposé, mais nous avons trop espacé nos prélèvements et nous l'avons de ce fait raté. Cela peut se produire principalement au début de l'essai, notamment si le transfert des eaux se déroule rapidement.

La première solution évoquée nous semble être la plus plausible, d'autant plus que nous nous trouvons dans un bassin hydrogéologique de modèle jointif, où les points d'émergence peuvent être nombreux (BADOUX & GABUS, 1991).

Essai La Rasse (essai C)

Dans le cadre du futur bassin d'accumulation de La Gryonne, nous avons procédé à un essai de traçage (annexe 11) d'une part pour vérifier la perméabilité verticale des gypses sous la faible couverture morainique (BADOUX & GABUS, 1991), d'autre part tester la source sulfatée-calcique de La Rasse (source n° 28). Pour cela, nous avons injecté de la fluorescéine dans une doline sise dans le thalweg de La Gryonne (GABUS & MANDIA, 1988).

Le fond de la doline a montré une importante perméabilité verticale. Nous y avons déversé 15 m³ d'eau qui ont disparu en 20 minutes. L'essai a également révélé une communication horizontale plus ou moins rapide entre le point d'injection et la source de La Rasse. En effet, le transfert dans la nappe s'est effectué dans un laps de temps variant entre 22 heures et 6,5 jours (annexe 11), indiquant des vitesses comprises entre 160 et 1100 m/j (tab. 7.4). L'arrivée exacte du traceur n'a pas pu être déterminée de manière exacte à cause d'une panne du préleveur automatique d'eau (voir 4.3.2). La concentration en fluorescéine maximale détectée a avoisiné $9 \cdot 10^{-5}$ ppm. Elle a été vraisemblablement plus élevée pendant la période où l'échantillonnage a été stoppé.

A l'aide de fluocapteurs et de quelques échantillons d'eau, nous avons également contrôlé La Gryonne par d'autres sorties sur la rive droite en amont de la source séléniteuse (annexe 11). La fluorescéine y est parvenue en moins de 14 jours.

D'une manière générale, les vitesses rapides relevées pour la vidange karstique de La Rasse sont liées au modèle de bassin hydrogéologique jointif auquel la source de La Rasse appartient (fig. 5.12).

Essai Val d'Illiez-Val de Morgins (essai D)

Le contexte géologique de la région Val d'Illiez-Val de Morgins est complexe. Nous avons le Trias ultrahelvétique de la nappe de Bex en contact avec d'autres formations ultrahelvétiques (wildflysch), des séquences sédimentaires de la nappe de la Brèche et des flysch (GAGNEBIN et al., 1931; MAYORAZ et al., 1988).

Notre essai multiple n'a pas touché les sources minérales de la région (annexe 11). Malgré cela, nous avons obtenu le résultat suivant:

- Le Lac de Chésery, sis sur les hauts de la Commune de Monthey au lieu-dit Montagne de l'Hiver en bordure de la frontière franco-suisse, alimente la cascade de Fontaine Blanche qui se jette ensuite dans la Vièze de Morgins (annexe 11). Le parcours de la fluorescéine s'est déroulé en moins de quatre jours dans un karst carbonaté du Lias de la nappe de la Brèche. Selon des employés de la Commune de Troistorrens, la couleur caractéristique verte de ce traceur a été notée de manière très nette à l'oeil nu. Sa limite de visibilité est connue, elle est de l'ordre de 10 µg/kg (10 ppb) dans une épaisseur de 30 cm d'eau (PARRIAUX et al., 1988). L'analyse du fluocapteur de Fontaine Blanche prélevé 8 jours après l'injection a aussi révélé ce cheminement (annexe 11).

La raison pour laquelle les trois autres marqueurs artificiels (duasyne, pyranine et naphionate) ne sont pas arrivés aux différentes sources séléniteuses (annexe 11) peut s'expliquer par la présence du wildflysch ultrahelvétique composé essentiellement de marnes, qui constitue un plancher étanche. Ces marnes ont probablement freiné ou dévié les traceurs injectés vers d'autres exutoires.

7.4.3 Essais dans les aquifères penniques (PN)

Deux essais ont été réalisés dans le karst évaporitique pennique. Les deux sites concernés par ces tests présentent une situation géologique quelque peu différente (fig. 7.7 et 7.8). Ceci va déterminer en partie le résultat final. En outre, contrairement aux essais dans les aquifères UH, ces travaux ont été effectués dans des bassins hydrogéologiques principalement de modèle NJ (fig. 5.12).

Essai Poutafontana (essai E)

Nous présentons à la figure 7.7 le cadre géologique schématique des sites d'infiltration et d'émergences compris entre le plateau de Nax, constitué en partie de gypse, et la plaine du Rhône. L'illustration de la coupe montre l'absence des schistes permo-carbonifères au sein des formations perméables du Trias (ESCHER, 1988) représentées par les roches calcaréo-dolomitiques de la nappe des Pontis.

Le naphionate et la duasyne ont été injectés dans des dolines sises sur le plateau de Nax (annexe 11). C'est seulement après quatre mois que l'un des marqueurs artificiels a abouti à une des émergences séléniteuses de Poutafontana (annexe 11): la vitesse de transfert s'est révélée lente, de l'ordre de 13 m/j (tab. 7.4). Cette faible célérité est liée très probablement à un karst carbonaté à faible développement (fig.7.7) (voir 7.6).

Essai de Muellacheren (essai F)

A la figure 7.8, nous illustrons le profil géologique entre Unterems et Tourtemagne. Nous y notons une alternance d'écaillles triasiques et de schistes permo-carbonifères, surmontée de roches cristallines. Cette configuration géologique complexe est propre au Pennique (fig. 5.2). Elle résulte du charriage important des nappes penniques de cette partie des Alpes (ESCHER et al., 1987).

Si aucun des trois traceurs fluorescents injectés dans les écaïlles triasiques de la zone Houillère (ESCHER, 1988) n'a été décelé dans l'eau de la source de Muellacheren (fig. 7.8 et annexe 11: essai F), nous avons cependant relevé la présence de la fluorescéine dans les cours d'eau de Emsbach et de Unnerfaeld, situés de part et d'autre des panneaux allongés triasiques. Elle est cependant parvenue tardivement à ces points d'eau: entre 2,5 et 4,5 mois (annexe 11). Ces vidanges latérales s'expliquent par la présence des schistes permo-carbonifères du Pennique à la base des aquifères évaporitiques qui ont "capté" les traceurs et les ont déviés latéralement en direction des points bas (PARRIAUX et al., 1990c), notamment dans les ruisseaux créés dans les petites entailles coupant perpendiculairement les couches géologiques WSW-NNE (ESCHER, 1988). Les schistes jouent en fait le rôle de barrières hydrauliques.

De la même manière, on peut expliquer l'absence du naphthionate et de la pyranine à la source de Muellacheren. Ces marqueurs artificiels ont probablement été dirigés vers d'autres exutoires, dont on ne connaît pas la situation.

Les résultats différents des essais de Poutafontana et de Muellacheren sont essentiellement liés à l'absence des schistes au sein des formations du Trias entre Nax et le Rhône.

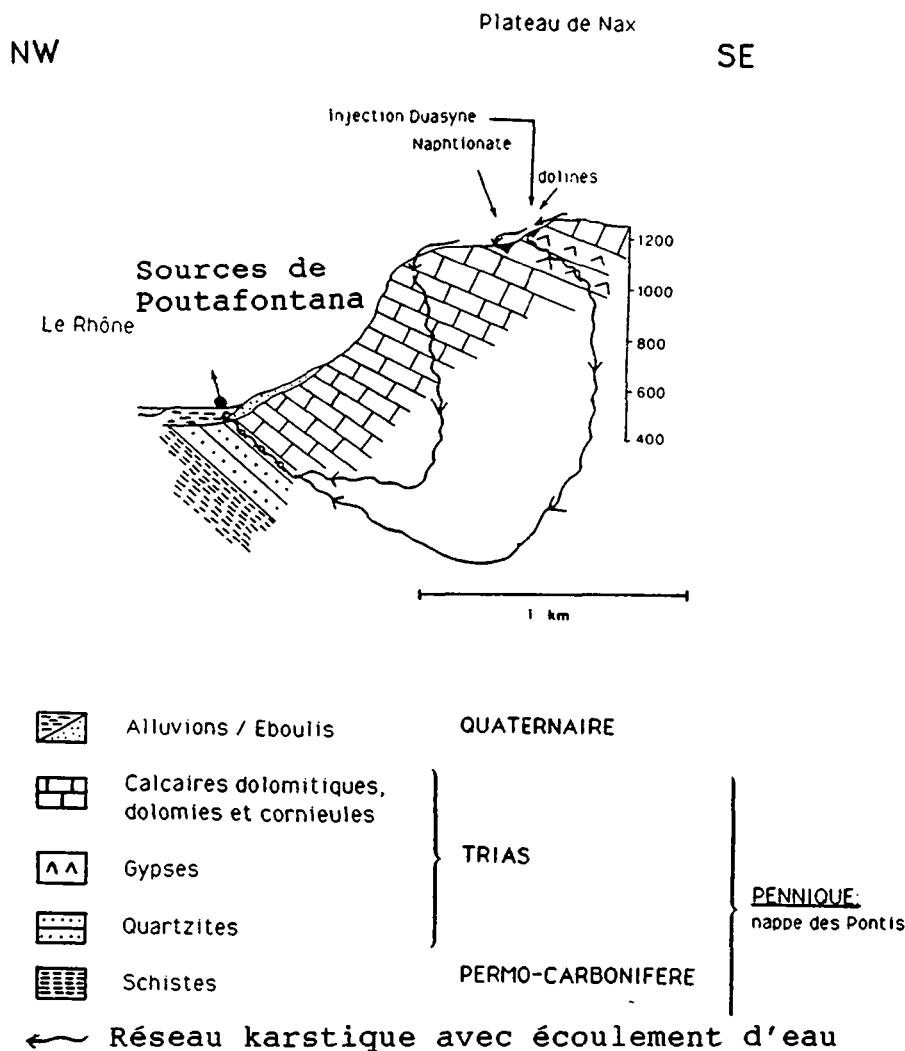


Figure 7.7 Profil géologique schématique entre le plateau de Nax et le Rhône (Pennique)

NW

SE

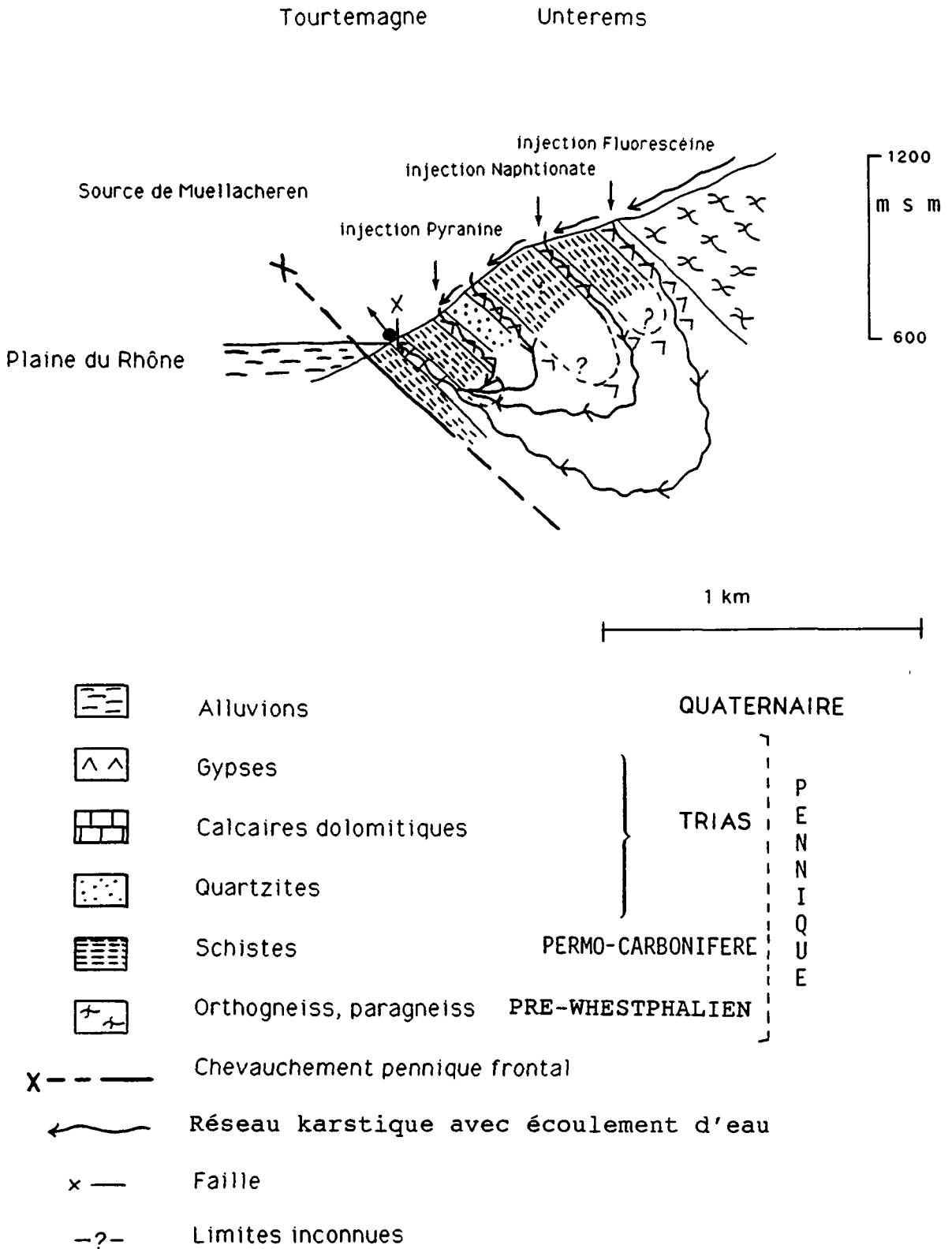


Figure 7.8 Profil géologique schématique entre Unterems et Tourtemagne (Pennique)

7.5 Dédutions sur les vitesses de transfert dans le karst évaporitique

Le karst en général peut se caractériser par des vitesses de transfert très différentes. Tout dépend de la géométrie de l'aquifère et de ses formes de karstification. Par exemple, on a ainsi pu mesurer dans le karst carbonaté du Jura des célérités allant de 2 m/j à 60 km/h (DROGUE, 1982). Un temps de séjour court dans un aquifère est toujours lié à un karst à chenaux. Par contre, les circulations plus lentes sont tributaires des blocs capacitifs (BLAVOUX & MUDRY, 1983).

Dans le cas des roches évaporitiques du Trias du Bassin rhodanien, nous avons déterminé des vitesses beaucoup plus lentes que dans le karst carbonaté à conduits (tab. 7.4).

Les vitesses dans le karst évaporitique issues des premières arrivées des essais de traçage peuvent être décomposées en trois classes:

Vitesse lente	< 200 m/j
Vitesse moyenne	200 – 1000 m/j
Vitesse rapide	> 1000 m/j

Ces résultats ne permettent pas de calculer des temps de séjour, car les fonctions de concentration des traceurs ont été souvent rudimentaires. Néanmoins, ces vitesses sont en accord avec l'hypothèse que d'une manière générale, les eaux froides des évaporites du Trias rhodanien sont jeunes. Leur temps de renouvellement maximum au sein de l'aquifère ne dépasse probablement pas un an.

Rappelons que les concentrations en tritium observées dans ce type d'eau sont comparables à celles des précipitations (voir 6.3.2).

Tableau 7.4 Résultats majeurs des essais de traçage

Noms des essais de traçage	Sources des évaporites concernées (n° du cadastre des sources)	Temps de transfert	Vitesses de transfert	Unités tectoniques
Les Serves	Les Serves (1-5) Vers Lavaux (6-9)	entre 8 et 20 jours entre 8 et 20 jours	entre 80 et 220 m/j entre 70 et 180 m/j	Préalpes Médiannes
Huémoz	Schertzer (15), Le Bondet (16), Le Banson (17), Salin (18), Le Moulin Dessus-A (19), Paluaires-A (21), Huémoz (23), Galerie des Vaux (25)	négatif	indéterminée	Ultrahelvétique
La Rasse	Sublin (24) Pra Lanfrey (26) La Rasse (28)	négatif négatif entre 22 h et 6,5 jours	indéterminée indéterminée entre 160 et 1100 m/j	Ultrahelvétique
Val d'Illiez- Val de Morgins	Eau de La Pierre (59), Maupas (60), Eau rouge de Morgins (61), Eau rouge de Champoussin (62), Eaux chaudes de Val d'Illiez (63)	négatif	indéterminée	Ultrahelvétique
Poutafontana	Poutafontana A (99) Poutafontana B (100)	4 mois négatif	13 m/j indéterminée	Pennique
Muellacheren	Muellacheren (51)	négatif	indéterminée	Pennique

7.6 Dédutions sur les formes de perméabilité dans les roches du Trias

Les complexes triasiques contiennent des roches aquifères de lithologie très variable (voir chap. 5). Les modes de circulation des eaux souterraines dans ces roches vont donc être différents.

Les gypses

On associe souvent au gypse une perméabilité à larges chenaux qui conduisent les eaux à de grandes vitesses, sans aucune filtration. Ceci provient de l'observation des affleurements de gypse à la surface du sol.

Les travaux en souterrain et les analyses des comportements hydrauliques et bactériologiques montrent que cette image de la perméabilité des formations gypseuses n'est valable que dans certains cas, surtout dans les bassins à modèle jointif (voir par exemple l'essai de La Rasse).

Dans beaucoup de cas, cette conception n'est pas applicable. Notamment les sources des unités penniques ont des régimes d'écoulement très réguliers et des qualités bactériologiques qui n'ont rien à voir avec un comportement karstique classique. L'essai de traçage tenté dans les conduits karstiques du réservoir de saumure de Salin (unité UH) a démontré la faible perméabilité des ces conduits à cause de leur remplissage sablo-limoneux provenant des parties insolubles de la roche (COLLET, 1986). Le caractère aquifère de la roche est conservé mais les écoulements sont fortement ralentis. La filtration des eaux est très efficace comme le prouvent les eaux minérales d'Aproz.

Les anhydrites

A une profondeur de quelques dizaines de mètres généralement, le gypse passe à l'anhydrite. Les travaux en souterrain ont montré une très faible perméabilité dans ces roches. Ceci provient du phénomène d'autocicatrisation des fissures par transformation en gypse. Les lèvres de la fissure sont soumises à un gonflement qui referme la discontinuité.

Ce processus est applicable si le milieu est confiné. Si l'eau qui pénètre dans la fissure a un pouvoir de mise en solution important et que cette eau est ensuite exportée du milieu, il se peut que la dissolution des lèvres de la fissure soit plus rapide que le gonflement. Dans un tel cas, la fissure peut s'élargir et donner lieu à un véritable cheminement d'eau souterraine. Dans les régions très tectonisées, ce mécanisme peut jouer un rôle important, surtout au voisinage des bordures des panneaux d'anhydrite. Les récents forages effectués pour le projet Cleuson-Dixence (unité PN) ont montré des zones perméables aux contacts de la masse d'anhydrite à des profondeurs supérieures à 100 m (PARRIAUX et al., 1990c).

D'une manière générale, les aquifères gypseux auront tendance à passer en profondeur à l'aquiclude des anhydrites. Le contexte géologique peut modifier considérablement cette règle.

Les roches salifères

Les roches salifères du Bassin du Rhône sont surtout des brèches qui contiennent de l'anhydrite et du sel gemme. Leur perméabilité est très faible. Les eaux qui cheminent au contact de ces massifs à géométrie complexe se chargent très rapidement de NaCl. Ces roches participent peu aux grandes circulations d'eau dans le Trias de ce bassin.

Les roches calcaréo-dolomitiques

Nos investigations démontrent que c'est surtout dans l'unité pennique (PN) que les carbonates jouent un rôle important au point de vue de la circulation des eaux souterraines.

On connaît peu la forme de perméabilité de ces roches. Le comportement régulier de nombreuses sources associées à ces roches permettent d'exclure la présence de karst à fort développement. Il s'agit plutôt de discontinuités de faible taille qui conduisent les eaux selon des vitesses modérées, comme on l'observe dans d'autres formations calcaires alpines telles que les calcaires des Préalpes médianes rigides (PARRIAUX et al., 1990d).

Au contraire des karsts gypseux qui ont tendance à disparaître en profondeur, les cheminements dans les carbonates peuvent pénétrer nettement plus loin dans les massifs.

Les quartzites

Les quartzites du Pennique sont souvent aquifères dans les travaux souterrains. Ceci provient d'une fracturation intense et d'une altération en profondeur associée à des cheminements de dissolution. La répartition de cette perméabilité est assez homogène, même à petite échelle.

7.7 Dédutions sur les systèmes d'écoulement dans le karst évaporitique

Tout en tenant compte du contexte géologique, l'étude des régimes hydrologiques et des variations temporelles des paramètres physico-chimiques des sources nous a conduits à déterminer deux systèmes d'écoulement dans les aquifères évaporitiques. Ils ont été essentiellement définis par les principaux paramètres hydrogéologiques: le débit et la minéralisation totale. Dans une moindre mesure, nous avons fait également intervenir la température. La connaissance du comportement dans le temps de ces différents éléments nous a ainsi renseignés sur les caractéristiques des aquifères (MANDIA & PARRIAUX, 1990; PARRIAUX et al., 1991), soit:

- 1) la dimension liée à l'éloignement de la zone d'infiltration principale,
- 2) le type de porosité,
- 3) le mode de cheminement de l'eau souterraine: en nappe libre ou captive,
- 4) la présence d'une zone d'infiltration secondaire,
- 5) l'existence d'un exutoire secondaire à hautes eaux.

Chaque système d'écoulement est donc étroitement lié à la géométrie de l'aquifère.

7.7.1 Système d'écoulement I

Le système d'écoulement I définit principalement des aquifères où les écoulements s'effectuent de manière privilégiée dans les gypses. Il se caractérise par une variabilité des débits corrélée à une grande stabilité du comportement géochimique et thermique des eaux souterraines (fig.7.2 et 7.3). Un tel comportement permet les interprétations suivantes:

- le réservoir principal est de grande capacité et exerce un pouvoir tampon sur les eaux souterraines, la zone de recharge est relativement éloignée de l'exutoire,
- les circulations d'eau s'effectuent de manière diffuse et en charge dans les microdiscontinuités de l'aquifère ("diffuse-flow" de SHUSTER & WHITE, 1971; PARRIAUX et al., 1990d),
- aucune infiltration secondaire n'est proche de la vidange karstique principale.
- un seul type géochimique d'eau est présent.

Si l'on considère un exutoire secondaire, ce système peut être envisagé dans le cas d'une nappe libre (PARRIAUX et al., 1991). C'est notamment le cas de la source Eau rouge de Morgins.

Le système d'écoulement I correspond surtout au régime géochimique I et dans une moindre mesure au régime géochimique II (tab. 9.5). Il caractérise des aquifères implantés dans des bassins hydrogéologiques situés dans les quatre unités tectoniques. Les sources Noches et Bains de Leytron du réseau AQUITYP présentent aussi ce type d'écoulement.

7.7.2 Système d'écoulement II

Le système d'écoulement II est déterminé par une variabilité des débits corrélée à des fluctuations significatives de la minéralisation et de la température des eaux qui ont lieu en période de hautes eaux (fig. 7.4). Par l'intermédiaire d'une infiltration secondaire, il se produit un mélange de deux types d'eau. En effet, l'eau de fonte, peu minéralisée et froide et ayant transité rapidement au-travers de gros conduits gypseux ou calcaréo-dolomitiques ("conduit-flow" de SHUSTER & WHITE, 1971; PARRIAUX et al., 1990 voir ci-dessus), se joint à une eau minéralisée et plus tempérée. Cette dernière circule de manière diffuse au milieu des microdiscontinuités des gypses. Elle correspond à l'eau des blocs capacitifs.

Les caractéristiques géométriques des aquifères sont plus difficiles à définir lors d'un mélange entre deux types d'eau (PARRIAUX et al., 1991). Malgré cela, comme les chutes de température ne dépassent que rarement 0,5°C lors de la dilution (fig. 7.4), on peut en déduire que soit la zone de recharge principale, soit la zone d'infiltration secondaire, peut se situer suffisamment loin de l'exutoire pour que cet équilibre thermique s'établisse (MANDIA & PARRIAUX, 1990).

Le système d'écoulement II englobe surtout le régime géochimique III (tab. 9.5). Il semble s'appliquer aux aquifères cantonnés dans des bassins hydrogéologiques préalpins et ultrahelvétiques.

D'une manière générale, ces deux systèmes correspondent à des systèmes karstiques typiques (MANGIN, 1982), où:

- en période d'étiage: le débit de la vidange karstique est uniquement dû au drainage des blocs à faible perméabilité, les circulations d'eau sont lentes ("diffuse-flow");
- à hautes eaux: le débit de la source karstique provient de la superposition du flot de base (eau des blocs capacitifs) et du ruissellement souterrain total plus rapide au-travers de chenaux transmissifs ("conduit-flow").

8. VARIATIONS SPATIALES DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET ORIGINE DE LA MINERALISATION

Une étude des variations spatiales des différents paramètres physiques et chimiques de l'eau souterraine peut fortement contribuer à appréhender la relation géochimique eau-roche. Nos diverses observations sur les eaux souterraines et sur les gypses formant les principaux aquifères du Trias, nous ont amenés à cerner la variabilité spatiale des différents paramètres mesurés dans les eaux à l'échelle des quatre unités tectoniques (Préalpes Médiannes, Helvétique, Ultrahelvétique, Pennique). Cette répartition dans l'espace est un outil de premier ordre pour déterminer l'origine de la minéralisation des eaux des évaporites.

8.1 Introduction à l'interprétation des variations spatiales

Cette étude a porté surtout sur les variations spatiales des caractéristiques physiques et des composants chimiques mesurés à chaque point d'eau du réseau III pendant une situation d'étiage. Un seul prélèvement par source a donc été considéré (annexe 3.2). L'échantillonnage a eu lieu entre le 23 juin et le 18 août 1988. Il s'est effectué de manière plus ou moins synchrone à cause des grandes distances à parcourir. Malgré cela, les biais ont été modestes.

Les mesures physico-chimiques et les analyses chimiques produites pour chaque source sont données à l'annexe 3.2.

Six types de représentations des données physiques et chimiques des eaux ont été exécutées pour appuyer nos interprétations:

- 1) Les données ont été groupées en classes et représentées graphiquement par des histogrammes (distribution fréquentielle). De façon à obtenir une vue suffisamment synthétique de la série, nous avons choisi vingt classes. Il n'existe en principe pas de règle précise à cet égard. En effet, le choix du nombre des classes à retenir dépend essentiellement du but recherché.
- 2) Nous avons déterminé leurs caractéristiques statistiques descriptives (moyenne, écart-type, coefficient de variation, maximum, minimum, série ordonnée) aussi bien à l'échelle de chacune des unités tectoniques qu'à celle du Bassin rhodanien. Elles ont été établies uniquement sur les eaux froides des évaporites, dont la température moyenne annuelle se situe en-dessous de 12 °C. Les valeurs statistiques définies pour les sources préalpines (PM) et helvétiques (HE) à l'échelle de leur unité tectonique doivent être considérées comme indicatives, puisque leur échantillonnage a été très restreint.
- 3) Pour chaque paramètre mesuré, les valeurs obtenues à chaque point d'eau ont été reportées sur une carte avec un fond géologique simplifié. Cette répartition spatiale peut permettre d'individualiser des zones à anomalie géochimique, qui ne peuvent être observées par la seule distribution fréquentielle. Pour comparer les eaux froides et chaudes des évaporites, nous avons également retenu les résultats acquis sur les sources de Val d'Illiez, du Châtelard, des Bains de Leytron et de Combioula (sources n° 63, 106, 64, 97 et 98).

- 4) Nous avons calculé une matrice de corrélation entre tous les paramètres hydrochimiques afin de découvrir quels sont ceux susceptibles de coexister pour former des minéraux. Puis, nous avons réalisé une analyse en composantes principales relative aux données obtenues sur les eaux souterraines prélevées entre le 23 juin et le 18 août 1988.
- 5) Dans le but de vérifier l'empreinte chimique des roches sur l'eau souterraine, nous avons présenté les valeurs maximum et minimum pour chaque ion mesuré aussi bien dans les eaux que dans les différents lixiviats de roches (annexe 12). Nous avons ainsi comparé la composition chimique des eaux à celle des gypses, des anhydrites, des roches calcaréodolomitiques (cornieule, dolomie, calcaire dolomitique), des quartzites et d'une argilite du Trias du Bassin rhodanien. B et F n'ont pas été analysés dans les lixiviats des diverses roches triasiques. Nous avons en outre présenté sur chaque graphe comparatif les résultats chimiques obtenus sur les neiges prélevées en hiver 1988, afin d'identifier éventuellement dans l'eau souterraine des ions caractéristiques des eaux de recharge (PARRIAUX et al., 1990a).
- 6) Nous avons également complété parfois nos interprétations sur l'origine de la minéralisation de l'eau à l'aide des résultats obtenus grâce aux calculs d'équilibres (fig. 6.5, 6.6 et 6.7 et annexe 9).

8.2 Etude détaillée des différents paramètres

L'étude des variations spatiales des débits n'a pas été entreprise. En effet, nous n'avons pu jauger que 35 % des sources. Les débits relevés ont été de l'ordre de 2 à 2000 l/mn (annexe 3.2).

Les mesures de pH ont été peu nombreuses et nous n'avons pas procédé à une étude spécifique de leurs variations. D'une manière générale, les valeurs de pH ont varié entre 6.8 et 7.2 (annexe 3.2). A l'échelle du Bassin rhodanien, la variabilité de ce paramètre s'est avéré peu hétérogène.

Les mesures du radon ²²², en général très difficiles à acquérir, ont été également peu nombreuses (annexe 3.2). Nous les avons traitées sommairement dans le cadre des variations spatiales des teneurs en U.

Tableau 8.1 Coefficient de variation (Cv) spatiale des paramètres physico-chimiques des eaux

Cv [%]	Paramètres	Cv [%]	Paramètres
0 - 25	-	70 - 80	Cu
25 - 30	TSD, Ca	80 - 100	Na, B, Al
30 - 40	SO ₄ , Sr, HCO ₃ , Sc	100 - 120	F, Br, Cd,
40 - 50	Si, Rb	120 - 140	Ni, Cr, U
50 - 60	Mg, Li, Ba, Mn, V, Y	140 - 160	-
60 - 70	-	160 - 180	Cl, K, Ge, As, Q
		> 300	I, Zn, NO ₃

Ayant révélé une très forte corrélation de 0,92, SO_4 et Ca ont été traités ensemble. Ces deux composants chimiques sont du reste les témoins principaux du passage des eaux souterraines dans le karst gypseux. Na et Cl ont aussi été étudiés de pair, puisqu'ils sont souvent associés dans les formations évaporitiques actuelles et anciennes.

8.2.1 Température

La température est un paramètre très sensible à toutes sortes de critères tels que l'altitude de la source et du bassin d'alimentation, le climat de la région, la profondeur de circulation et la manière dont elle émerge (source naturelle, source captée, forage).

Pour l'étude des variations spatiales, nous avons considéré toutes les sources des évaporites, dont la température moyenne annuelle est égale ou inférieure à 12 °C. D'une manière générale, une eau sera appelée froide ou non selon les caractéristiques limites suivantes (VUATAZ, 1982):

- Eau froide 12 °C
- Eau subthermale 12 °C – 20 °C
- Eau thermale > 20 °C.

La température moyenne des eaux des évaporites a été de 8,7 °C. Les valeurs extrêmes mesurées lors de notre tournée ont été de 4,2 et 13,6 °C. Pour l'ensemble des sources, ce paramètre s'est signalé avec une faible hétérogénéité spatiale: l'écart-type étant de 2,2 °C. A l'échelle de chacune des unités tectoniques, cette caractéristique descriptive s'est échelonnée entre 1,6 et 2,5 °C (annexe 13). La série ordonnée des valeurs fait nettement ressortir la répartition homogène de ce paramètre (fig. 8.2)

L'histogramme des fréquences a dévoilé trois groupes de sources avec des températures (fig. 8.1):

- < 7 °C,
- entre 7 et 12 °C,
- > 12 °C.

Le premier groupe réunit principalement les sources dont les points d'émergence se situent à des altitudes variant entre 1080 et 2220 msm. Les deux autres englobent celles où les exutoires sont localisés entre 375 et 1000 msm, sauf pour un contingent de 30 % qui se répartit entre 1000 et 1880 msm (annexe 14). Plus de la moitié des sources sont rassemblées dans le second groupe (fig. 8.1). Ce groupement illustre une circulation dans des aquifères relativement superficiels. Il contraste nettement avec les aquifères profonds des quelques sources chaudes intégrées dans notre étude: Combioula, Bains de Leytron, Val d'Illez et Le Châtelard (fig. 8.3). Le gradient géothermique de nos régions est très variable. En effet, de nombreux travaux ont montré qu'il peut varier entre 15 et 30 °C/km (SIDNEY et al., 1956; JAMIER, 1975). De ce fait, la détermination de la profondeur des aquifères évaporitiques des sources froides est problématique. En outre, il ne faut pas oublier que la température subit des modifications locales liées notamment à des phénomènes de refroidissement créés par la masse d'eau en transit. La plupart des eaux "froides" de notre réseau d'observation ne traduisent pas ou peu d'effets géothermiques.

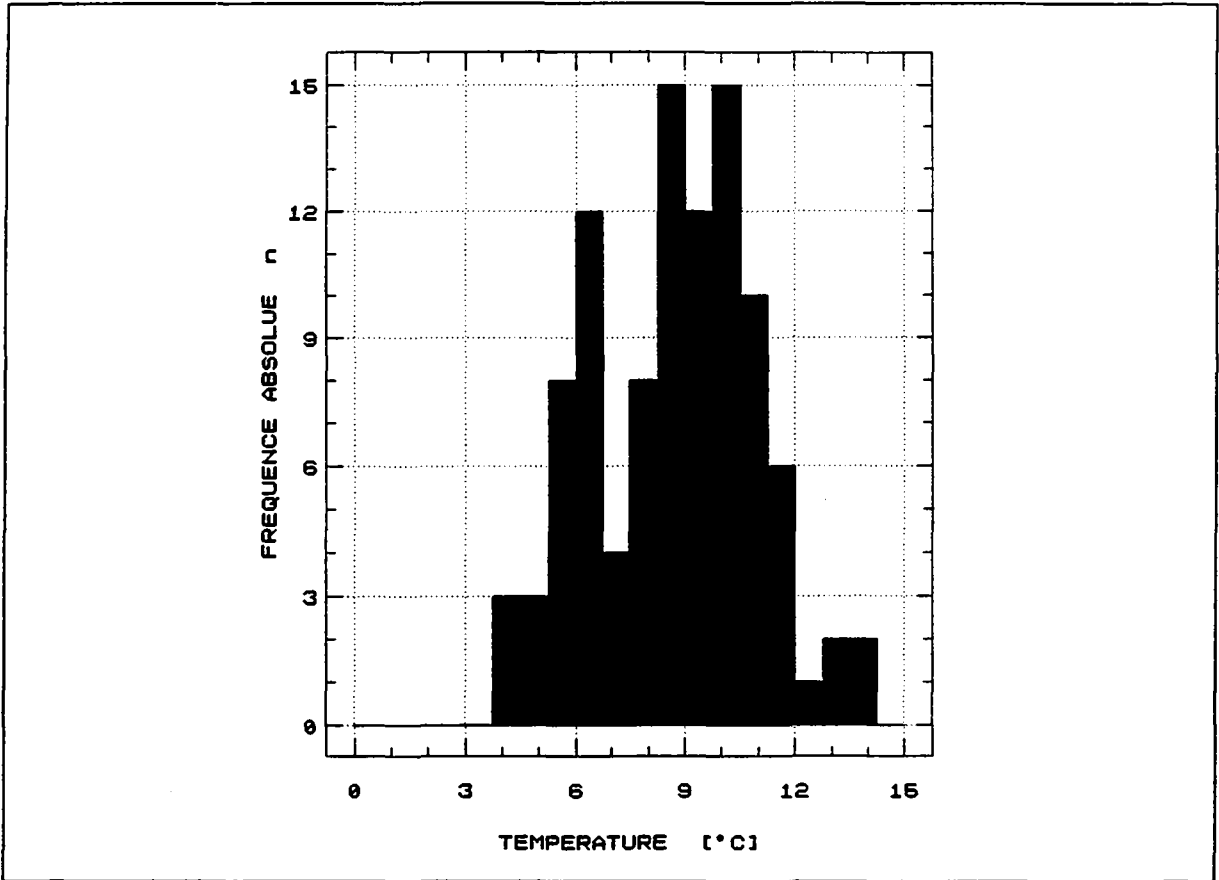


Figure 8.1 Histogramme des fréquences des températures des eaux ($n = 101$)

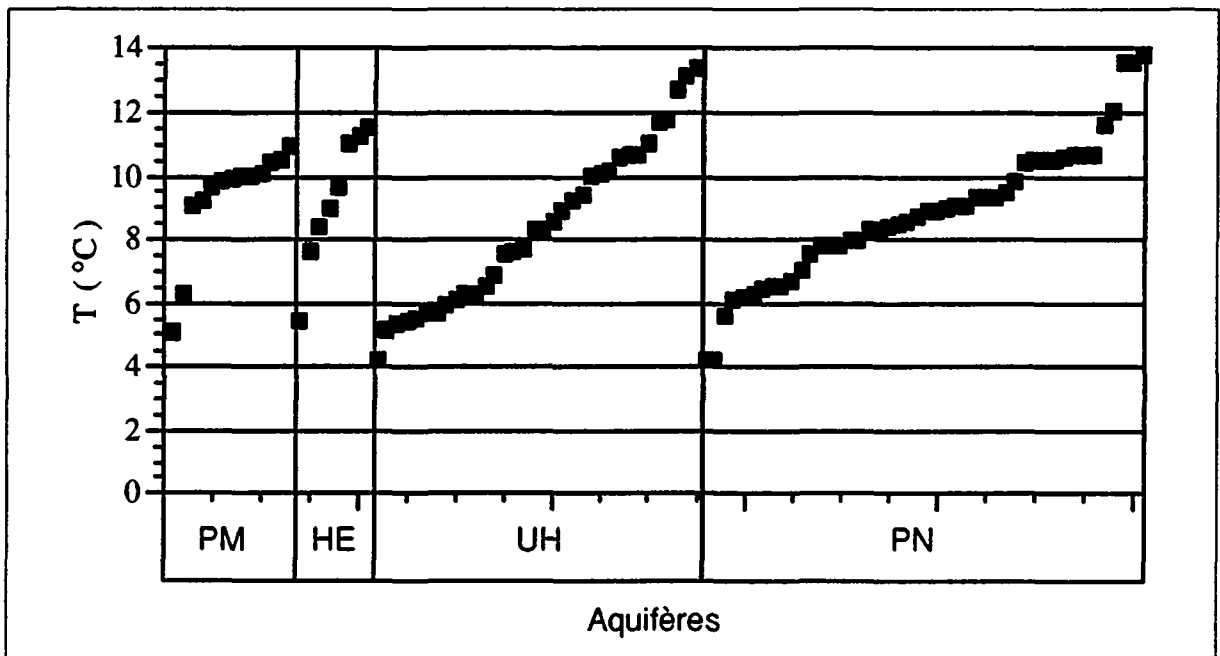


Figure 8.2 Série ordonnée des températures des eaux

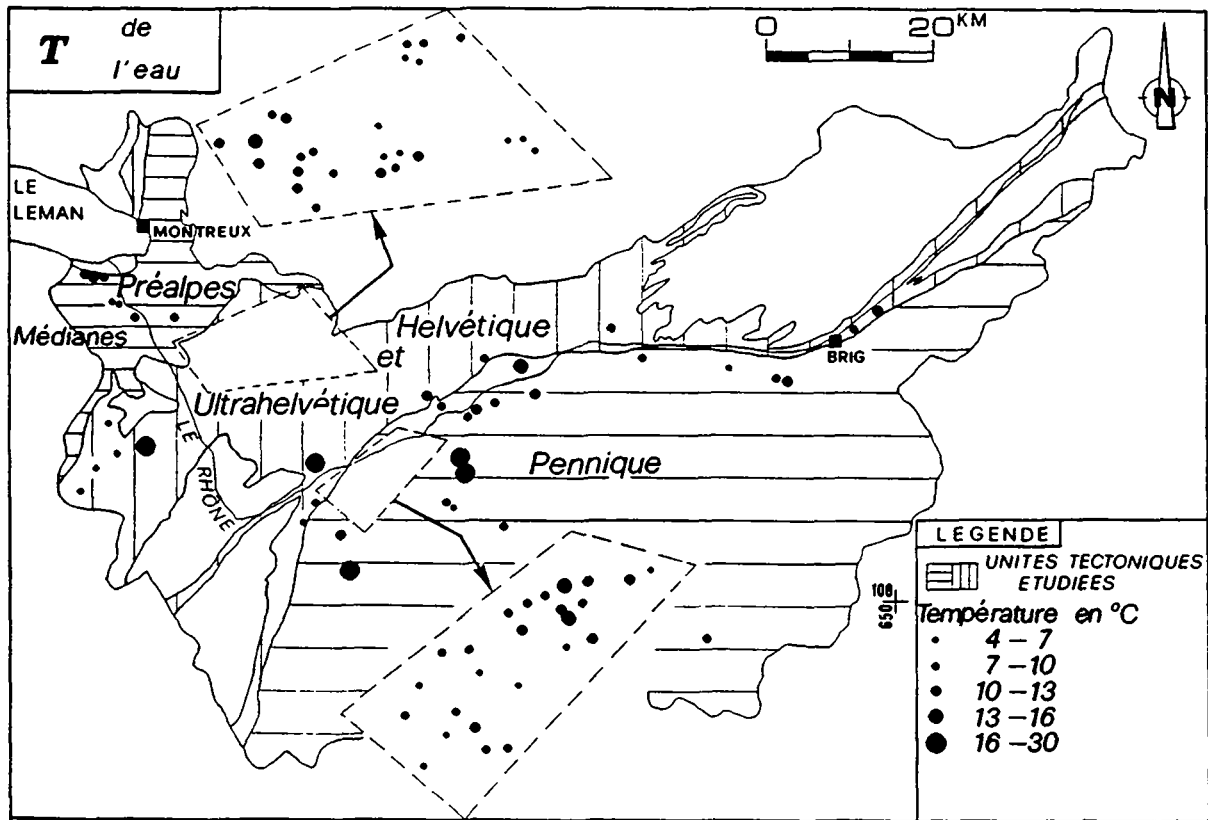


Figure 8.3 Répartition spatiale des températures des eaux

8.2.2 Minéralisation totale (TSD)

La minéralisation totale (TSD = total des sels dissous) des eaux séléniteuses froides est le paramètre avec la plus faible hétérogénéité spatiale. Autour d'une moyenne de 1807 mg/l, le coefficient de dispersion a été de 27 % pour l'ensemble du Bassin rhodanien (tab. 8.1). Nous l'avons noté plus faible dans les unités préalpine, helvétique et ultrahelvétique, variant entre 9 et 23 %. Les sources de l'unité tectonique PN ont par contre fait ressortir une hétérogénéité légèrement plus élevée atteignant 31 % (annexe 13).

L'histogramme des fréquences laisse apparaître trois classes de minéralisations, dont les centres correspondent plus ou moins à 1200, 1800 et 2200 mg/l. C'est ce dernier groupe qui rassemble le plus grand nombre de points d'eau, environ 50 % (fig. 8.4). Les valeurs extrêmes enregistrées ont été de 733 et 2761 mg/l.

La carte de répartition spatiale des minéralisations totales met en évidence des valeurs plus importantes dans le Pennique que dans les autres unités (fig. 8.5 et 8.6). C'est essentiellement la région qui s'étend de l'usine électrique de Nendaz à Vercorin qui présente de telles caractéristiques géochimiques. La zone Ollon-L'Avançon-Villars englobe les sources (n° 19 à 26) les plus minéralisées de l'Ultrahelvétique (fig. 8.6). Ces teneurs sont comparables à celles de l'Helvétique. Les points d'eau PM ont en général des concentrations en sels dissous plus faibles (fig. 8.5).

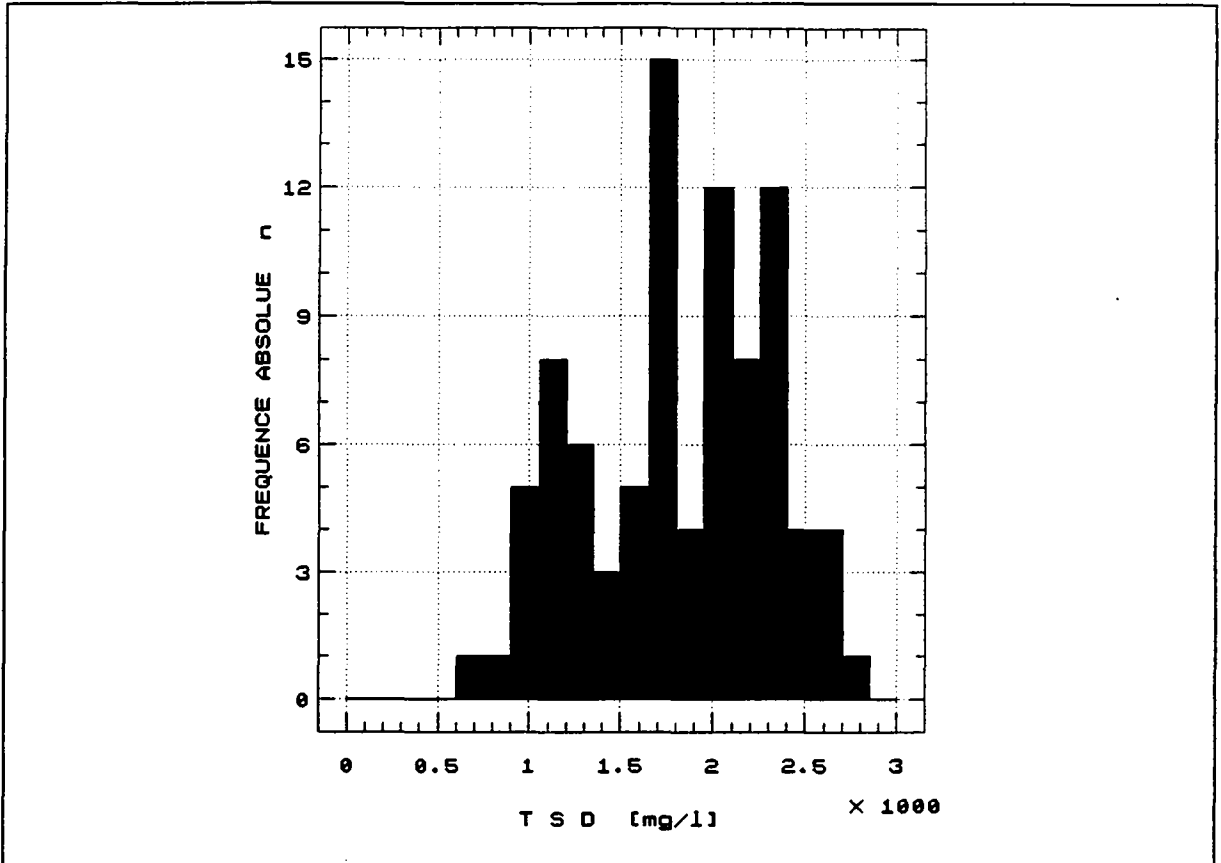


Figure 8.4 Histogramme des fréquences des minéralisations totales des eaux ($n = 89$)

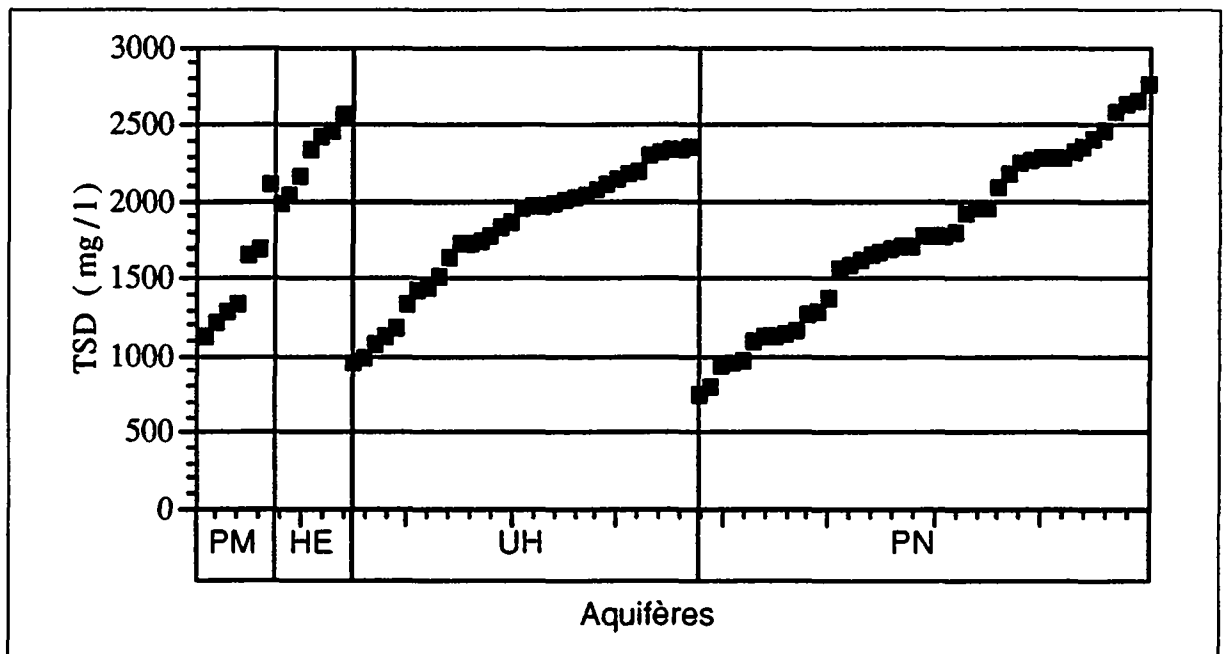


Figure 8.5 Série ordonnée des minéralisations totales des eaux

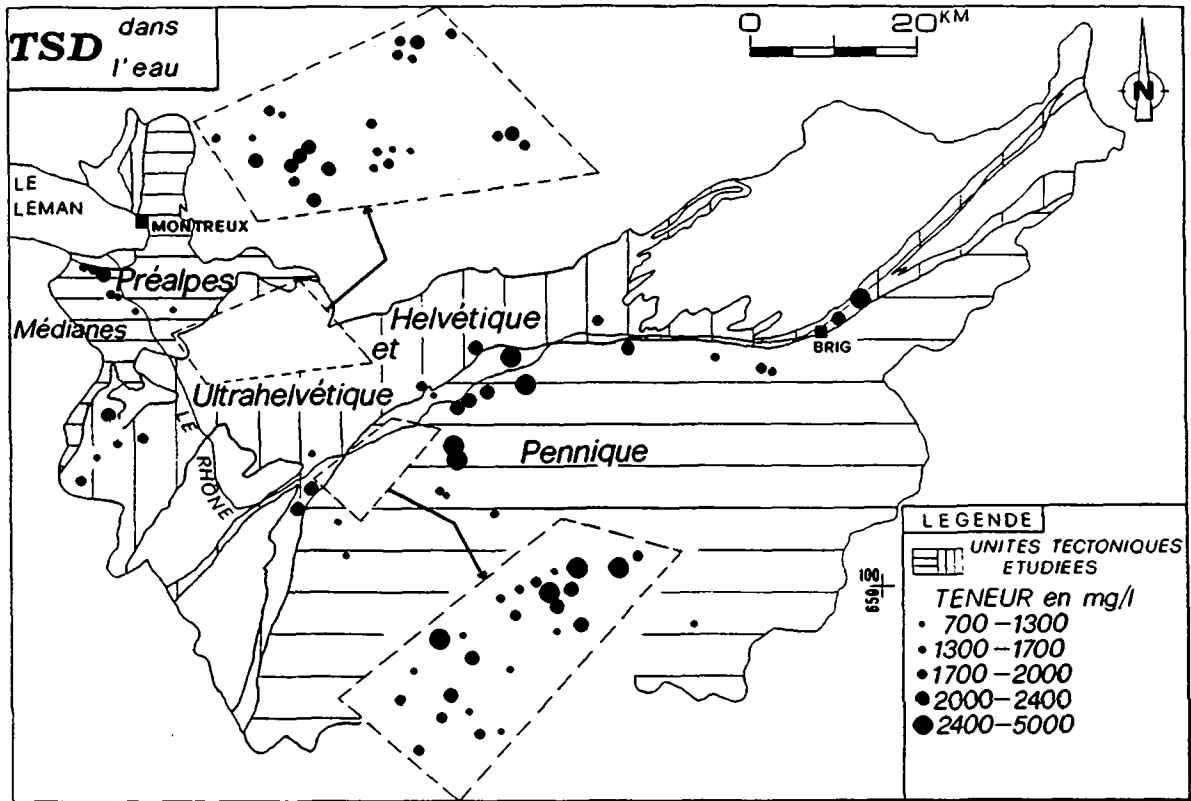


Figure 8.6 Répartition spatiale des minéralisations totales des eaux

Si les eaux chaudes de Combioula peuvent représenter jusqu'à trois fois la valeur moyenne de la minéralisation totale des sources froides à cause de la teneur élevée en NaCl, il n'en est pas de même pour les eaux chaudes de Val d'Iliez, du Châtelard et des Bains de Leytron (fig. 8.6). En effet, leurs minéralisations sont comprises généralement entre 1300 et 1700 mg/l.

La forte minéralisation des eaux des évaporites provient principalement de leur parcours et de leur séjour plus ou moins long dans les gypses du Trias. En effet, les ions SO_4 et Ca de ces roches hautement solubles peuvent constituer en moyenne 80 % de la minéralisation totale (en mg/l), dont environ 55 % de SO_4 et 25 % de Ca. Comme ces eaux cheminent également dans des formations calcaréo-dolomitiques, elles s'enrichissent en moyenne de 15 % de HCO_3 et de 4 % de Mg. Sr, qui ne représente en moyenne que 0,4 % de la minéralisation totale, est en général le cinquième ion le plus abondant dans les eaux séléniteuses froides.

8.2.3 Sulfates et calcium

Les eaux froides des évaporites sont marquées par des concentrations très importantes en SO_4 , dont la moyenne se situe à 1040 mg/l avec une dispersion relative de 33 % sur l'ensemble des sources collectées (tab. 8.1). Les valeurs basses concernent les eaux souterraines influencées par les eaux de surface; elles peuvent être de l'ordre de 160 à 170 mg/l. Nous avons enregistré une teneur maximale en SO_4 de 1620 mg/l (annexe 13).

La teneur moyenne en Ca des eaux séléniteuses du Trias rhodanien avoisine 420 mg/l avec une valeur de dispersion de 27 % sur l'échantillonnage complet (tab. 8.1). Les valeurs extrêmes observées ont été de 114 mg/l et 577 mg/l (annexe 13).

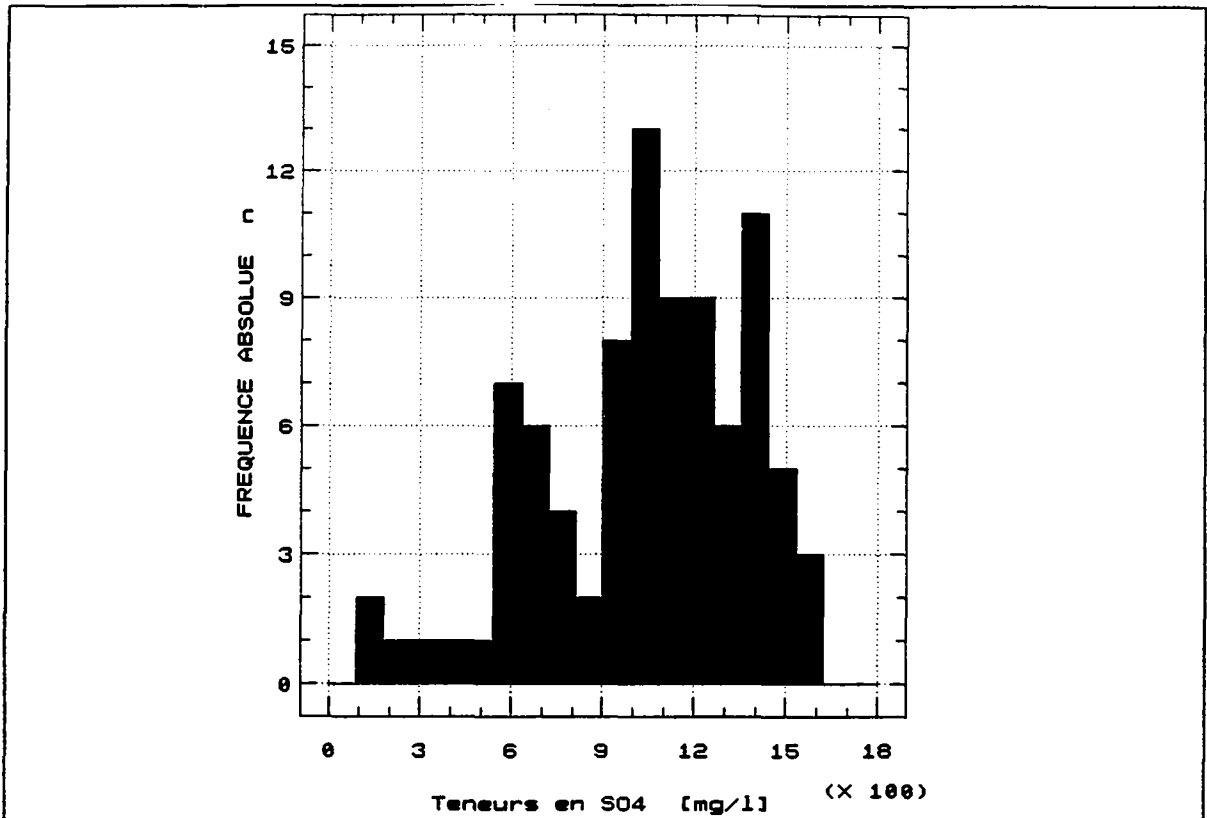


Figure 8.7 Histogramme des fréquences des teneurs en SO₄ des eaux (n = 89)

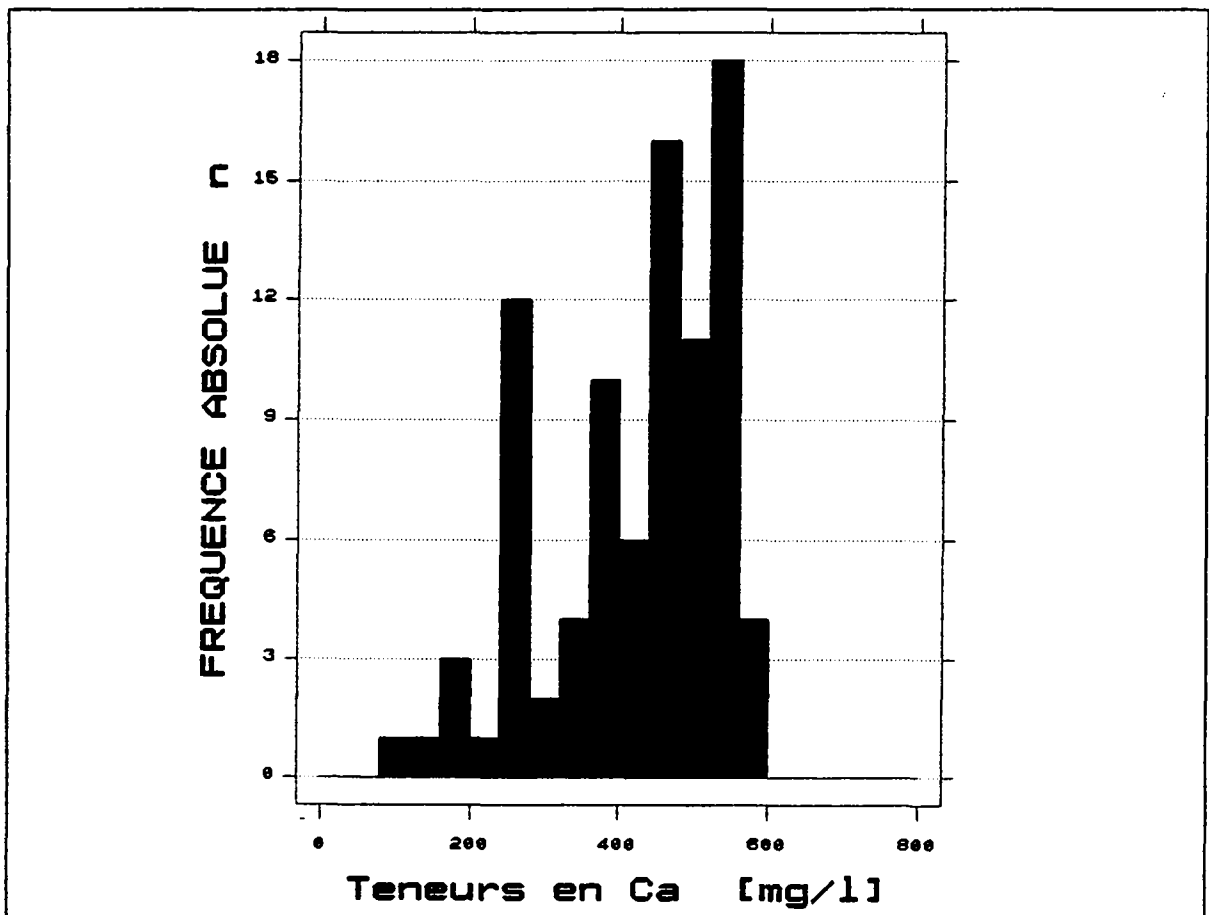


Figure 8.8 Histogramme des fréquences des teneurs en Ca des eaux (n = 89)

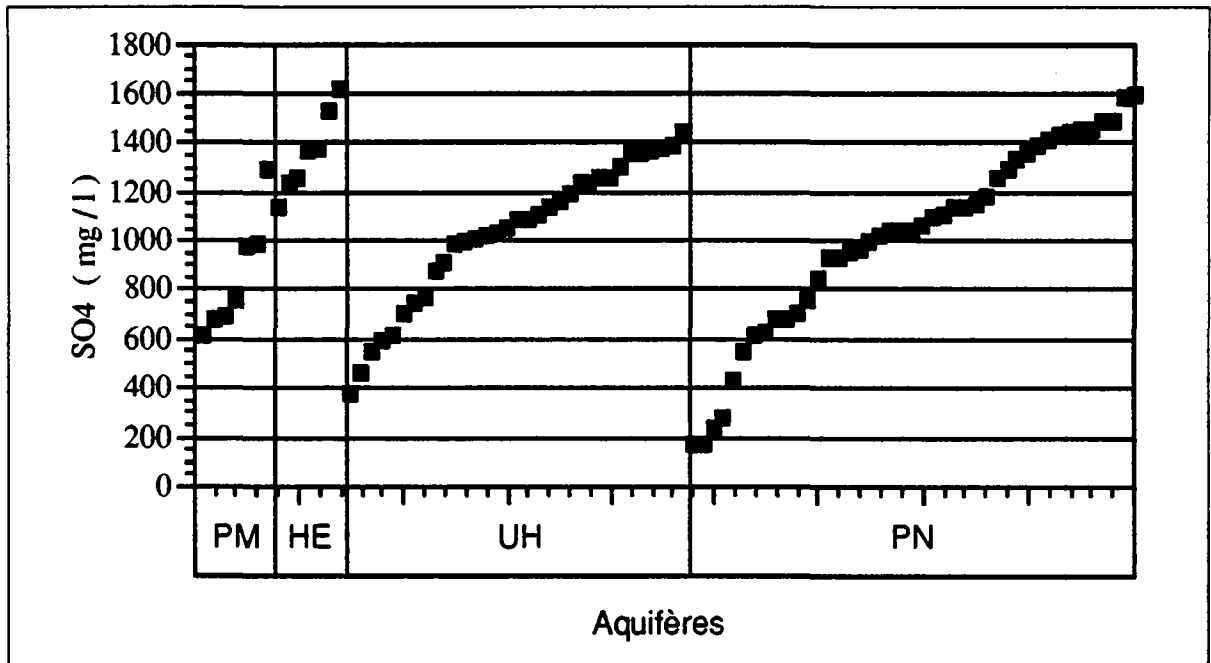


Figure 8.9 Série ordonnée des teneurs en SO₄ des eaux

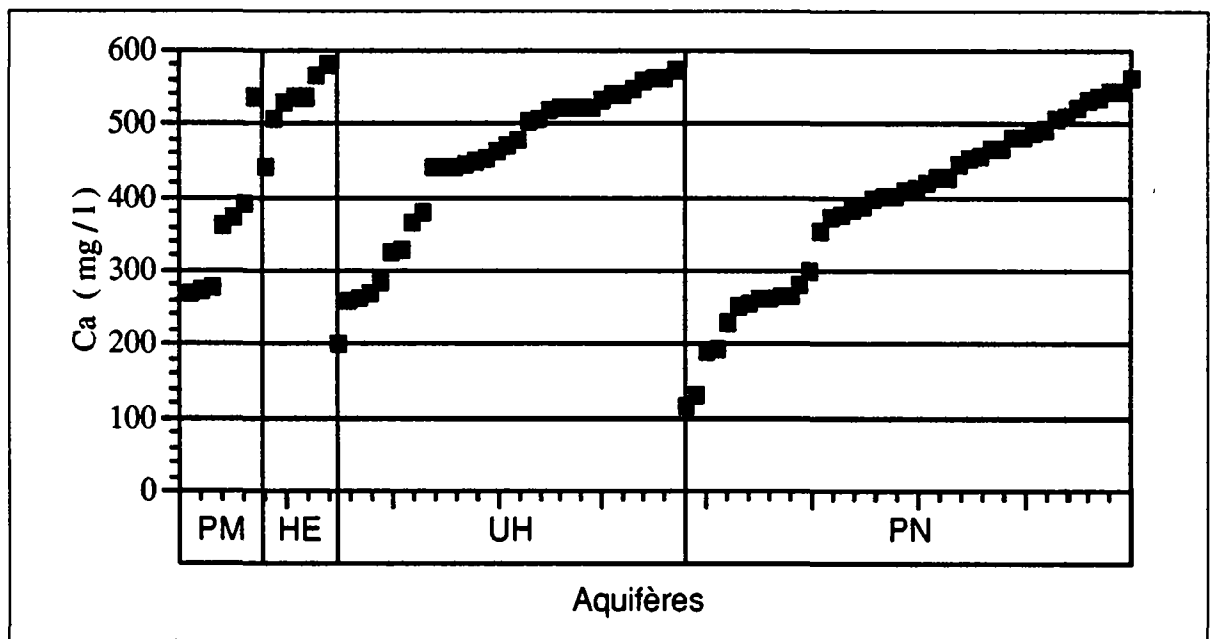


Figure 8.10 Série ordonnée des teneurs en Ca des eaux

L'étude des histogrammes des fréquences des teneurs en SO₄ et Ca des eaux permet de souligner l'existence de deux populations (fig. 8.7 et 8.8). La plus minéralisée coïncide avec des circulations d'eau s'effectuant de manière privilégiée dans le karst gypseux.

Les cartes de répartition spatiale de ces deux composants ont ainsi mis en évidence des sites à hautes minéralisations. Ils correspondent à des noyaux gypseux présents particulièrement dans les unités ultrahelvétique et pennique (fig. 8.9, 8.10, 8.11 et 8.12). Il s'agit des régions de:

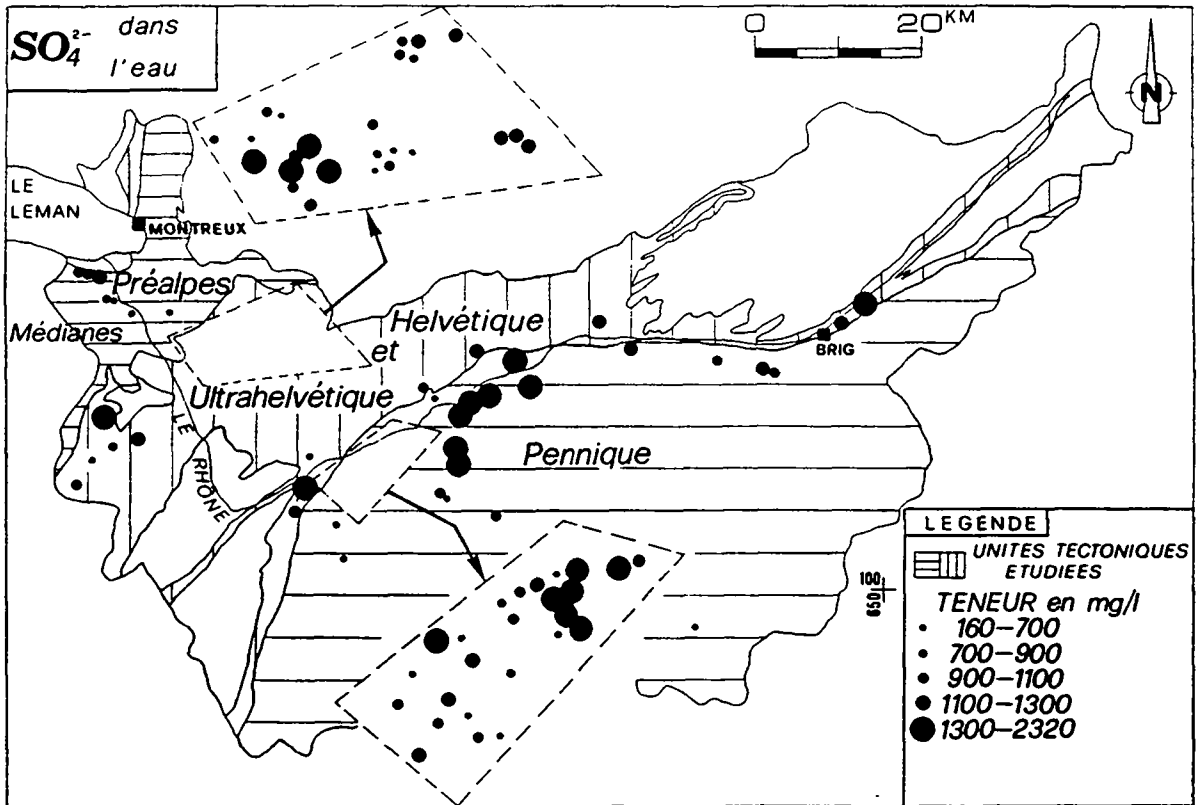


Figure 8.11 Répartition spatiale des teneurs en SO₄ des eaux

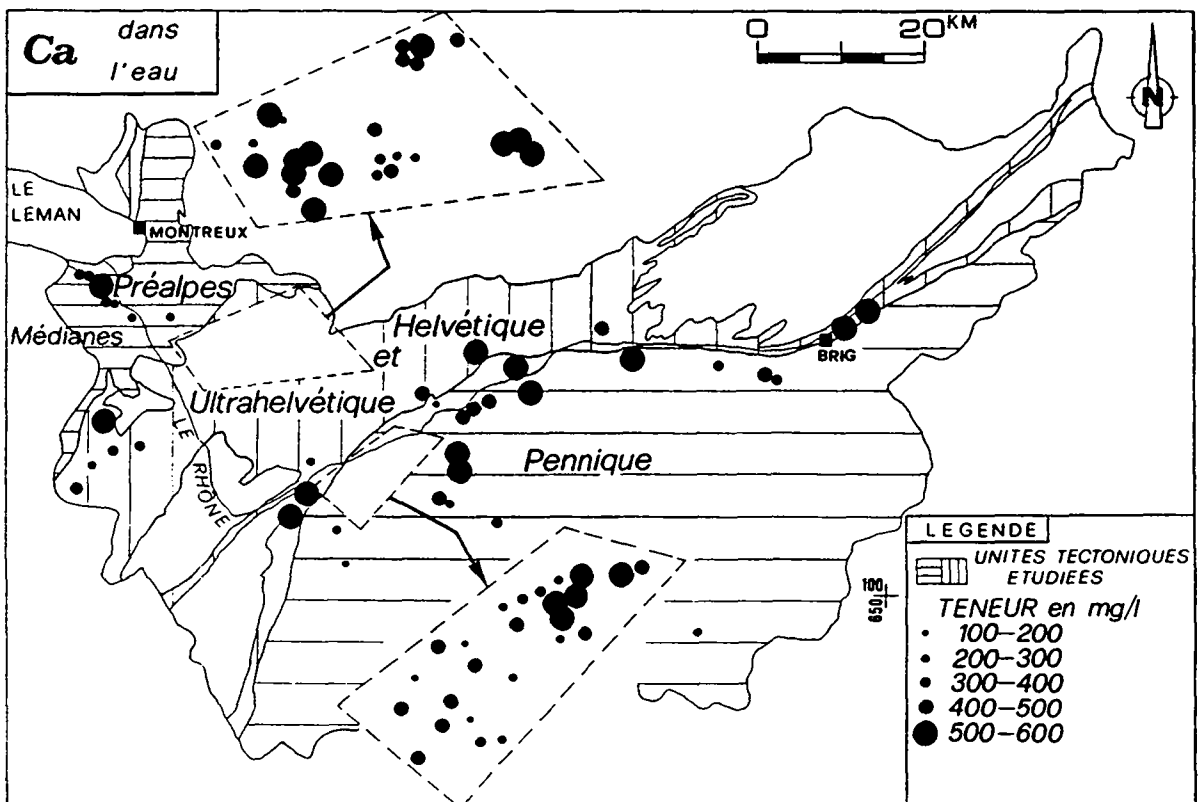


Figure 8.12 Répartition spatiale des teneurs en Ca des eaux

- Ollon-Villars,
- Morgins,
- Saxon,
- l'usine électrique de Nendaz,
- Beuson-Salins,
- Combioula-Vercorin,
- Loc,
- Mörel.

Les sources chaudes de Combioula se caractérisent par des concentrations en Ca comparables à celles des eaux froides (fig. 8.12). Les teneurs en SO_4 sont un peu plus élevées, atteignant 2320 mg/l (fig. 8.11).

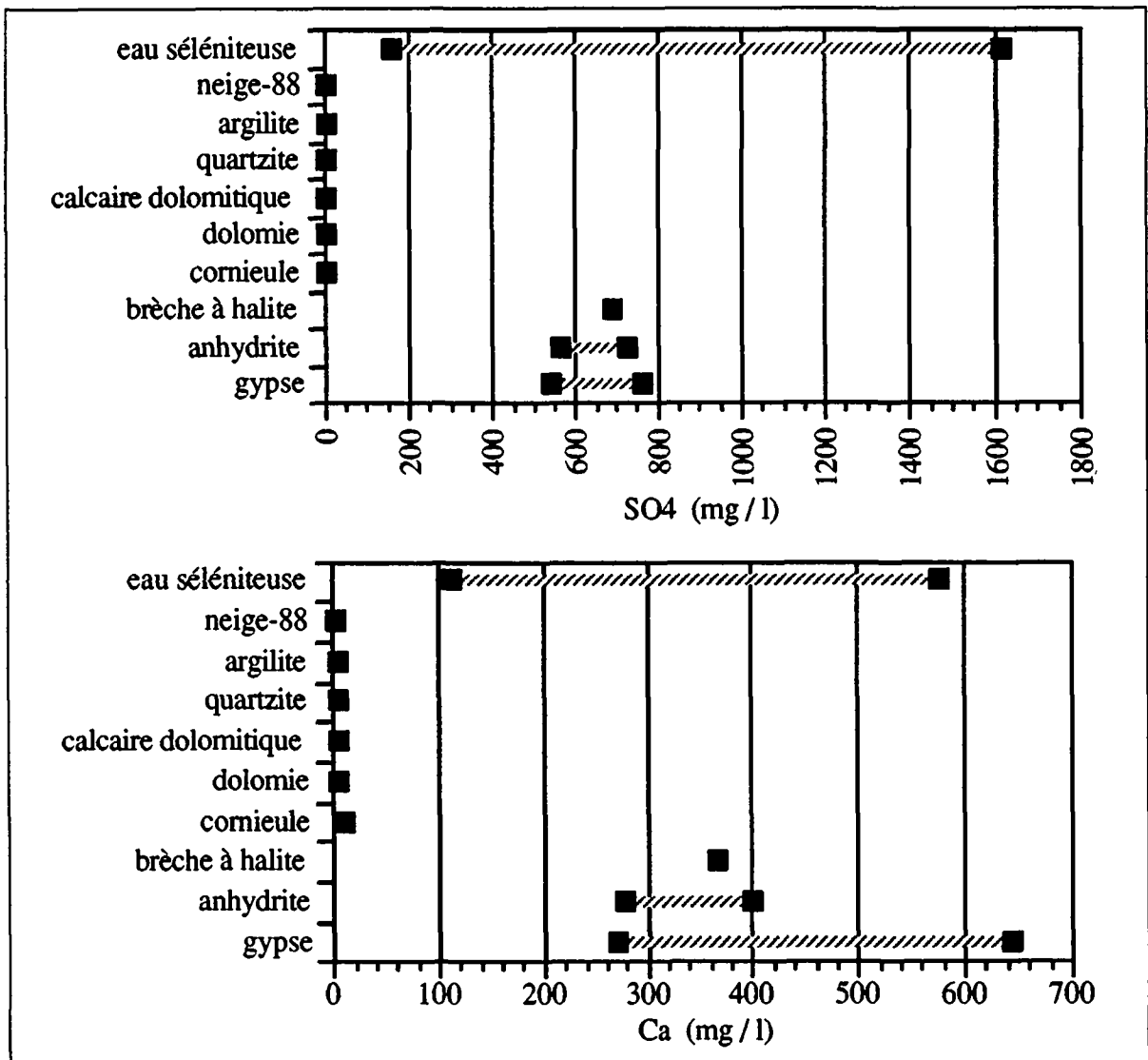


Figure 8.13 Ordre de grandeur des concentrations en SO_4 et Ca dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

Ca et SO_4 constituent souvent plus de 90 % de la composition chimique (exprimée en meq/l) des eaux séléniteuses froides. Ces ions proviennent essentiellement des gypses ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mais ils peuvent aussi être les témoins d'un passage de l'eau dans des niveaux d'anhydrites.

Ces résultats ont été amplement vérifiés par nos essais de lixiviation (fig. 8.13), l'étude de la corrélation $\text{SO}_4\text{-Ca}$ (annexe 14) et nos observations sur le terrain: les sources de La Tour (Derborence), de Termen (Brigue) ou de Sublin (l'Avançon), de type sulfaté-calcique, émergent directement des gypses.

A l'aide du programme PHREEQE, de nombreux minéraux composés de SO_4 et ou de Ca se sont montrés soit en équilibre, soit très légèrement sous-saturés à sursaturés dans les eaux: gypse, anhydrite, célestine, calcite, aragonite, dolomite (fig. 6.5 et 6.6). Nous pouvons également les rencontrer comme minéraux authigènes dans les formations évaporitiques (DRONKERT et al., 1990).

8.2.4 Hydrogénocarbonates

HCO_3 peut représenter parfois jusqu'à 20 % de la composition chimique des eaux froides des évaporites. Avec Ca, SO_4 et Mg, il est l'un des constituants chimiques principaux de ce type d'eau. Pour tous les points d'eau, sa concentration moyenne atteint 251 mg/l avec une dispersion spatiale parmi les plus faibles enregistrées: 34 % (tab. 8.1). Les valeurs extrêmes observées ont été de l'ordre de 85 et 610 mg/l (annexe 13). Les valeurs du coefficient de variation peuvent varier entre 8,5 % dans les Préalpes Médiannes et 45 % dans le Pennique.

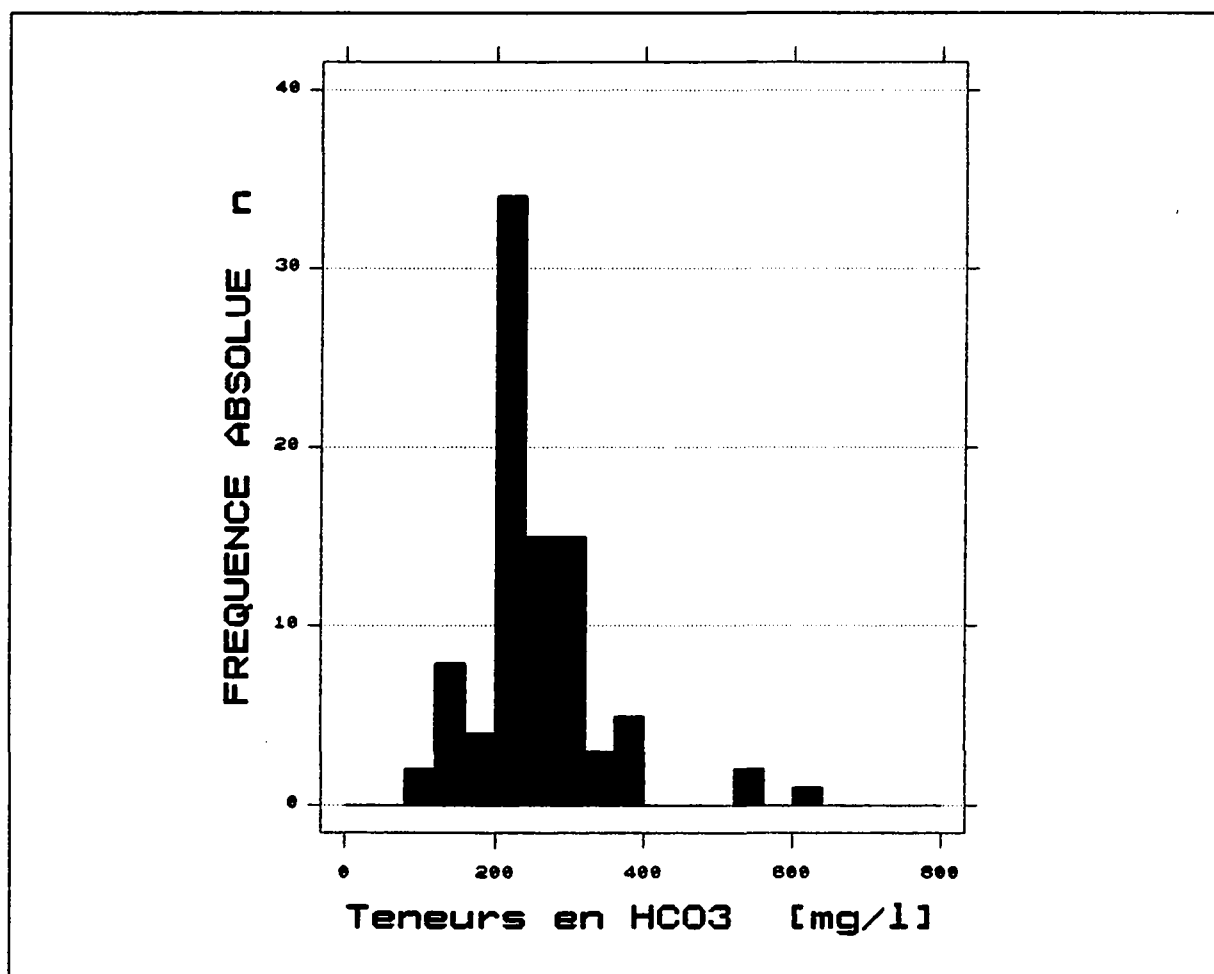


Figure 8.14 Histogramme des fréquences des teneurs en HCO_3 des eaux ($n = 89$)

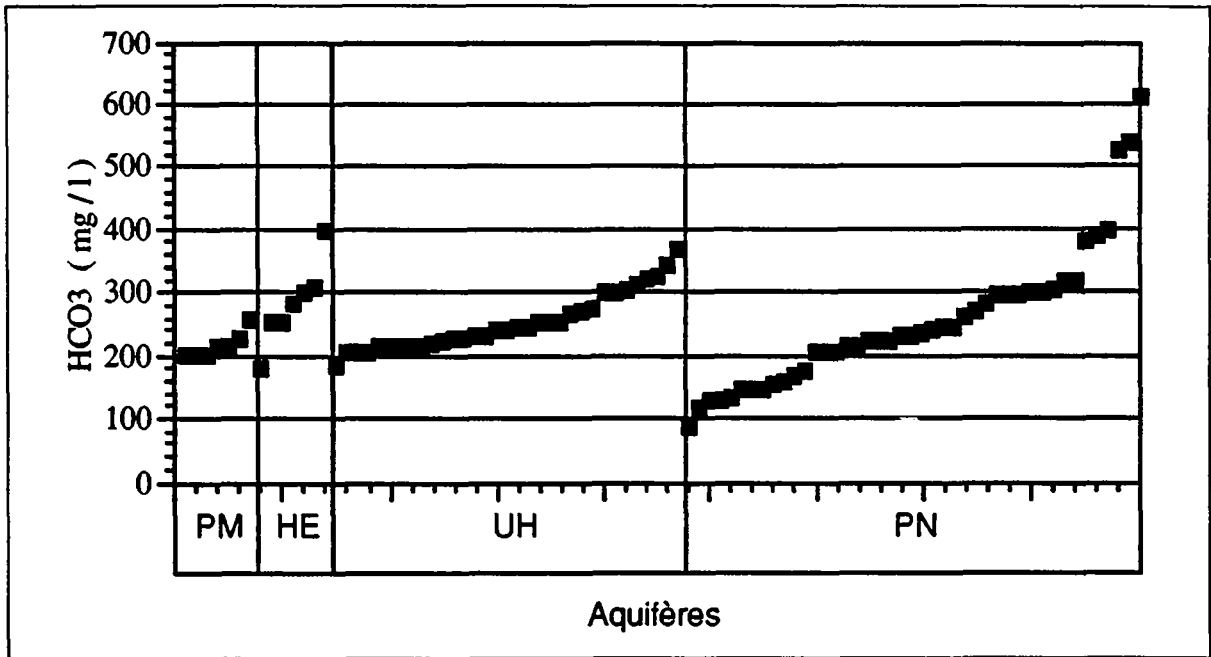


Figure 8.15 Série ordonnée des teneurs en HCO_3 des eaux

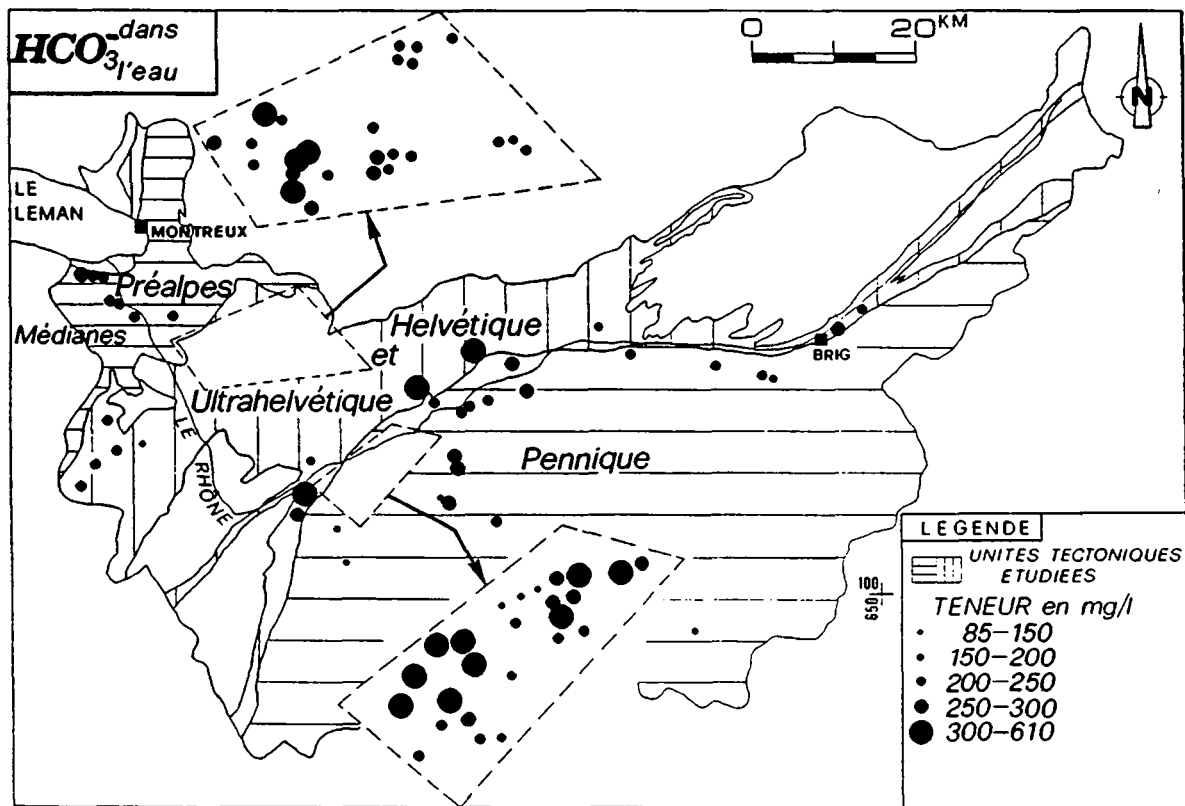


Figure 8.16 Répartition spatiale des teneurs en HCO_3 des eaux

L'histogramme des fréquences des teneurs en HCO_3 a révélé que près de 75 % des sources appartiennent à une seule et même population, dont les valeurs sont comprises entre 200 et 330 mg/l (fig. 8.14). La distribution fréquentielle fait apparaître encore un premier groupe de

valeurs se situant entre 85 et 200 mg/l et un second avec celles plus élevées allant de 330 à 610 mg/l (fig. 8.14).

Les zones très riches en HCO_3 apparaissent très nettement sur la carte de répartition spatiale des teneurs en HCO_3 (fig. 8.15). Elles englobent les sources (fig. 4.1 et annexe 1):

- ultrahelvétiques, sises entre Villars-sur-Ollon (Paluaires: sources n° 21 et 22) et Plambuit (Salin: source n° 18) et entre Grimisuat (Les Moulins-Tsambir: source n° 44) et Crans-sur-Sierre (La Maroz: source n° 46),
- helvétiques, en contact direct avec le front pennique (Saxon: sources n° 101 à 103),
- penniques, localisées entre Mayens-de-Riddes et la galerie de Péroua (sources n° 66 à 69, 71,73 à 75) et entre Aproz (Les Bioleys: sources n° 84 à 88) et Salins (Chalèdo: sources n° 91 et 92).

Les plus minéralisées en HCO_3 sont localisées dans le Pennique (fig. 8.15). Les concentrations en HCO_3 relevées dans les sources des Préalpes Médiannes sont moins élevées qu'ailleurs.

Pour les eaux froides et chaudes de notre réseau, nous avons noté des teneurs en HCO_3 très semblables (fig. 8.16). Ceci démontre que les concentrations en HCO_3 des eaux sont à saturation.

La présence des hydrogénocarbonates dans l'eau provient principalement de la dissolution des roches calcaires et dolomitiques sous l'action des eaux acides météoriques (fig. 8.17). En effet, ces formations sont connues pour être fortement karstifiables (BÖGLI, 1980). Elles constituent en fait des aquifères secondaires associés aux aquifères principaux formés de gypses.

Cependant, les teneurs élevées en HCO_3 , corrélées à celles en Si observées surtout pour les sources du Pennique, marquent certainement le passage des eaux dans des quartzites à composante calcaire non négligeable (annexe 14). En effet, les lixiviats de quartzites ont révélé parfois des concentrations en HCO_3 très semblables aux roches calcaréo-dolomitiques. On peut donc supposer que les formations quartzitiques du Trias pennique susceptibles de se karstifier sont aussi des aquifères secondaires associés au karst gypseux.

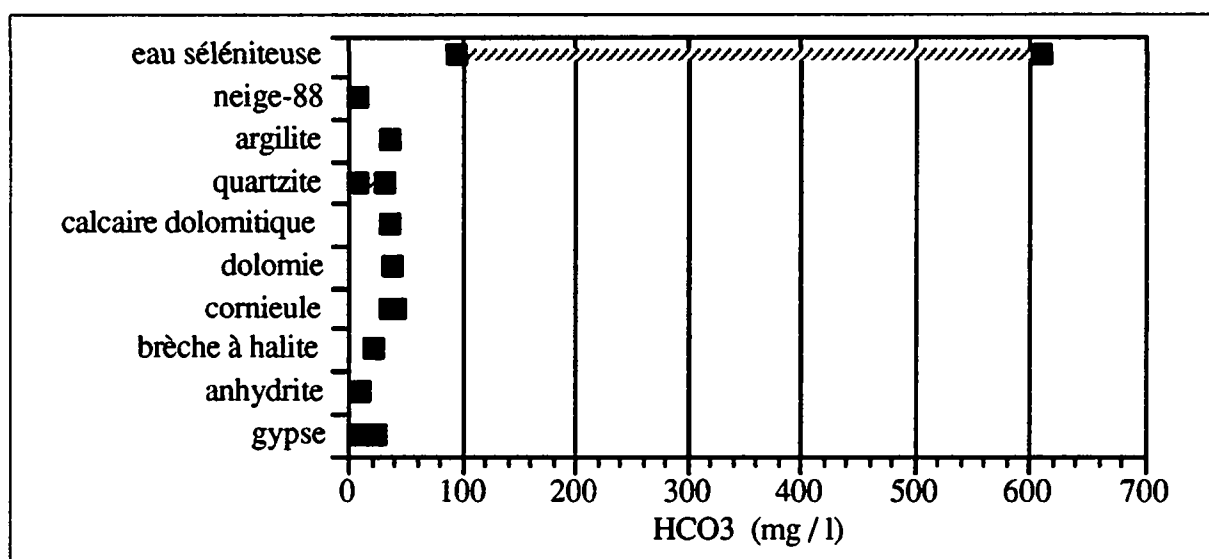


Figure 8.17 Ordre de grandeur des concentrations en HCO_3 dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

La méthode de lixiviation se prête mal à l'analyse des hydrogénocarbonates dans la fraction soluble des roches. Les teneurs présentées à la figure 8.17 et à l'annexe 6 sont des ordres de grandeur. En effet, comme HCO_3 précipite assez rapidement dans l'eau sous forme de carbonates, les valeurs obtenues sont probablement inférieures aux valeurs réelles.

Nombreux sont les minéraux pouvant fournir HCO_3 aux eaux. Calcite, aragonite, dolomite, ankérite, sidérite et magnésite sont souvent présents dans les évaporites (BAUD, 1987; MATTER et al., 1988; DRONKERT et al., 1990). Ils peuvent être d'origine primaire ou secondaire. Seules la calcite, l'aragonite et la dolomite se sont révélées très proches de l'équilibre dans les eaux (fig. 6.5 et annexe 9).

8.2.5 Magnésium

L'étude des caractéristiques statistiques descriptives a révélé que la teneur moyenne en Mg de l'ensemble des sources avoisine 66,6 mg/l avec une dispersion spatiale de 56 % (tab. 8.1). Les valeurs extrêmes ont été de 15,9 et 216 mg/l. C'est au sein des unités préalpine, helvétique et ultrahelvétique que la répartition spatiale des concentrations en Mg s'est montrée la plus homogène, les valeurs de dispersion ne dépassant pas 38 %. Dans le Pennique, elle s'est avérée plus hétérogène, atteignant 51 % (annexe 13).

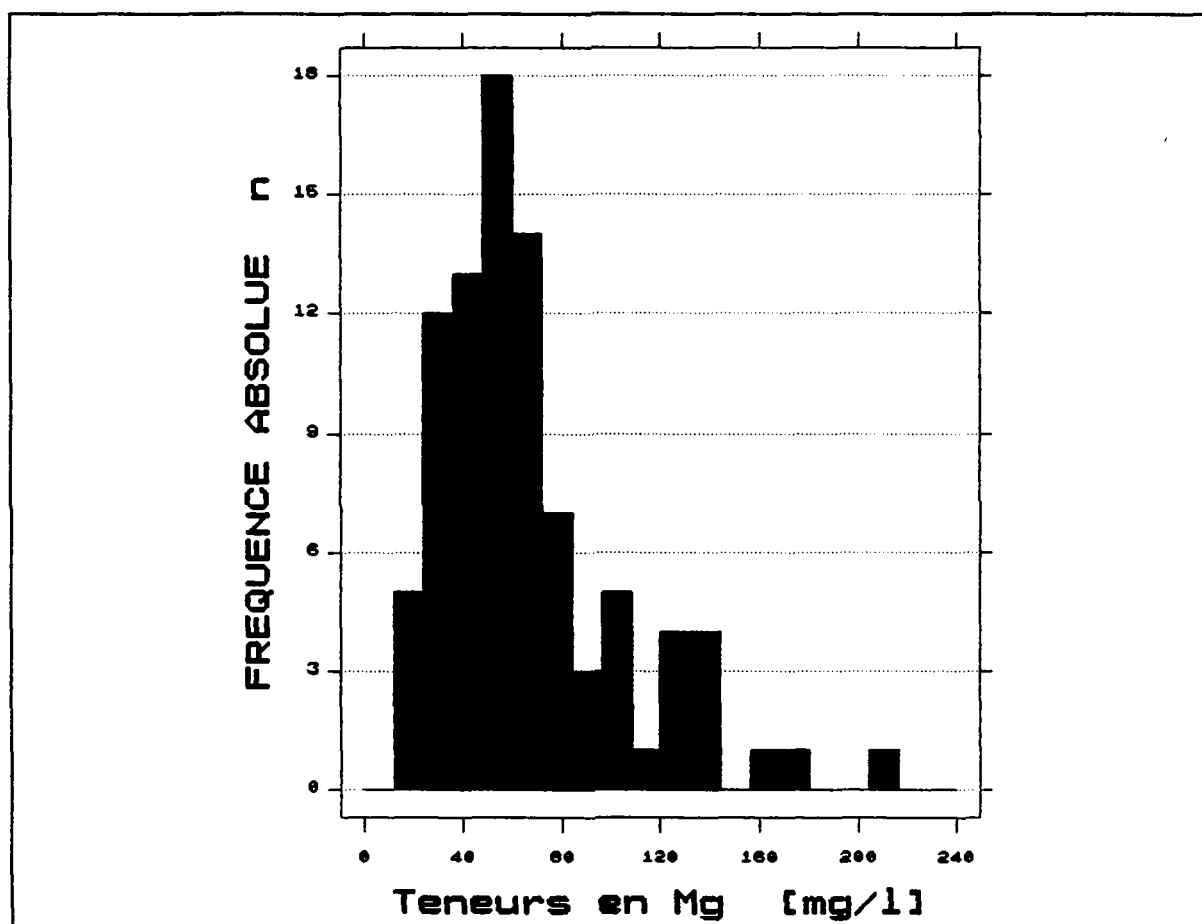


Figure 8.18 Histogramme des fréquences des teneurs en Mg des eaux (n = 89)

L'histogramme des fréquences des teneurs en Mg (distribution environ log-normale) des eaux a fait apparaître que 80 % des sources ont des valeurs comprises entre 15 et 80 mg/l (fig. 8.18). Elles correspondent essentiellement aux zones sourcières des Préalpes Médiannes, de l'Helvétique et de l'Ultrahelvétique (fig. 20).

L'étude de la répartition spatiale des concentrations en Mg a mis en évidence que la plupart des sources du Pennique ont des minéralisations en Mg plus élevées variant entre 80 et 220 mg/l (fig. 8.19 et 8.20). Il s'agit principalement des points d'eau qui se répartissent entre Isérables et Vercorin, y compris les sources chaudes de Combioula (sources n° 47 à 49 et 97 à 100). Les eaux minérales Aproz de Seba S.A. (sources n° 79 à 82 et 84) sont par contre moins riches en Mg (fig. 8.20). C'est également le cas des sources se situant entre le Tzeppé (Isérables: source n° 67) et Le Châtelard (Le Châble: source n° 106).

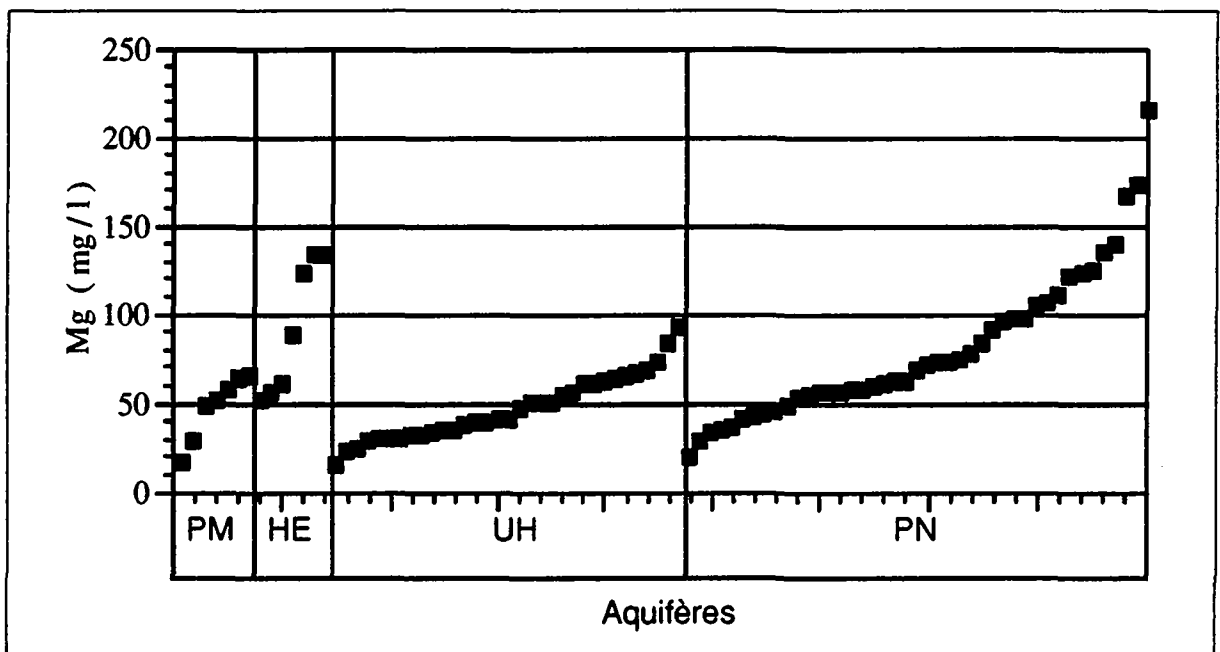


Figure 8.19 Série ordonnée des teneurs en Mg des eaux

La teneur élevée du Mg dans les eaux froides des évaporites peut être rattachée d'une part à la présence d'aquifères calcaréo-dolomitiques associés au karst gypseux, d'autre part à l'existence de minéraux magnésiens dans les gypses. La plupart des sources situées entre Isérables et Vercorin doivent leur forte minéralisation en Mg à un passage plus ou moins long de leurs eaux au sein des dolomies penniques. Cela concerne probablement les points d'eau de l'usine électrique de Nendaz (n° 69), la galerie de Péroua (n° 75), Beuson (n° 90), Salins (n° 91 et 92), Poutafontana (n° 99 et 100), La Latte (n° 47) et Bouillet (n° 49) (fig. 4.1 et annexe 1).

Les eaux des trois autres unités tectoniques transitent essentiellement dans le karst gypseux. Il s'agit notamment de celles qui émergent des évaporites UH de la région d'Ollon-Villars (fig. 8.20). Il n'est cependant pas exclu qu'elles effectuent un bref passage dans le karst dolomitique.

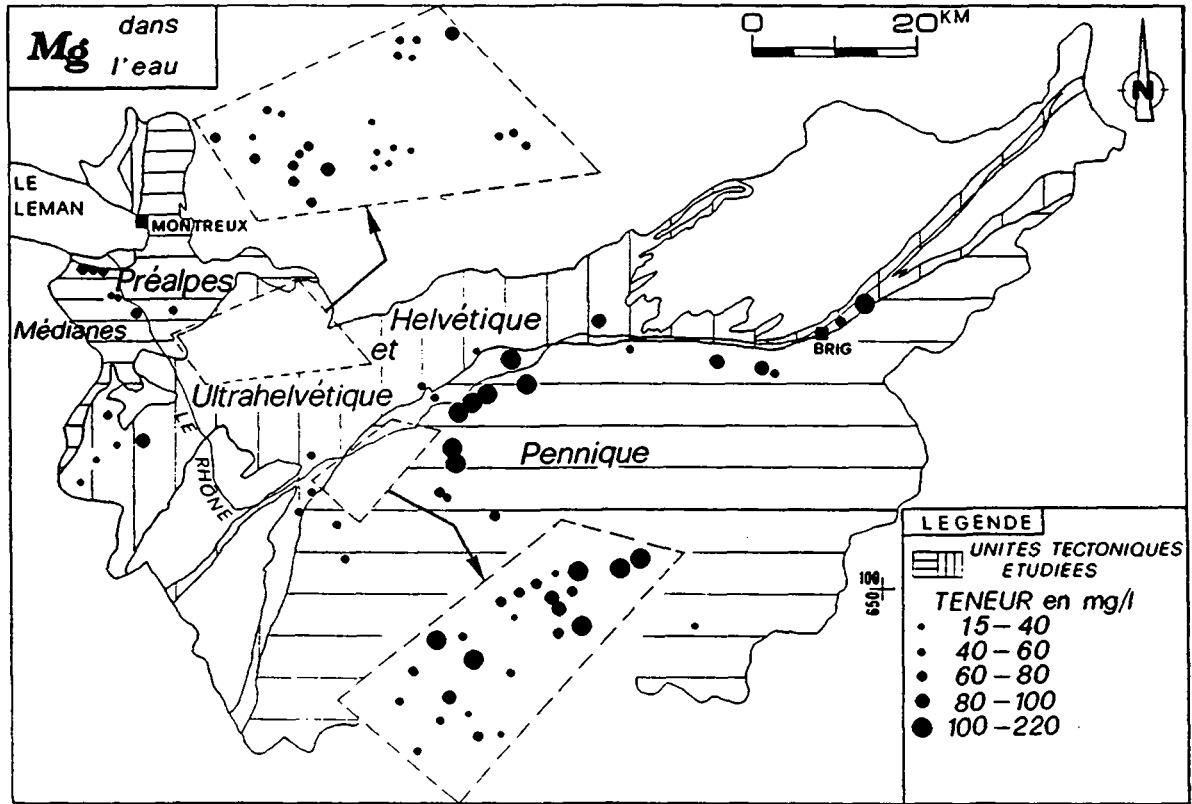


Figure 8.20 Répartition spatiale des teneurs en Mg des eaux

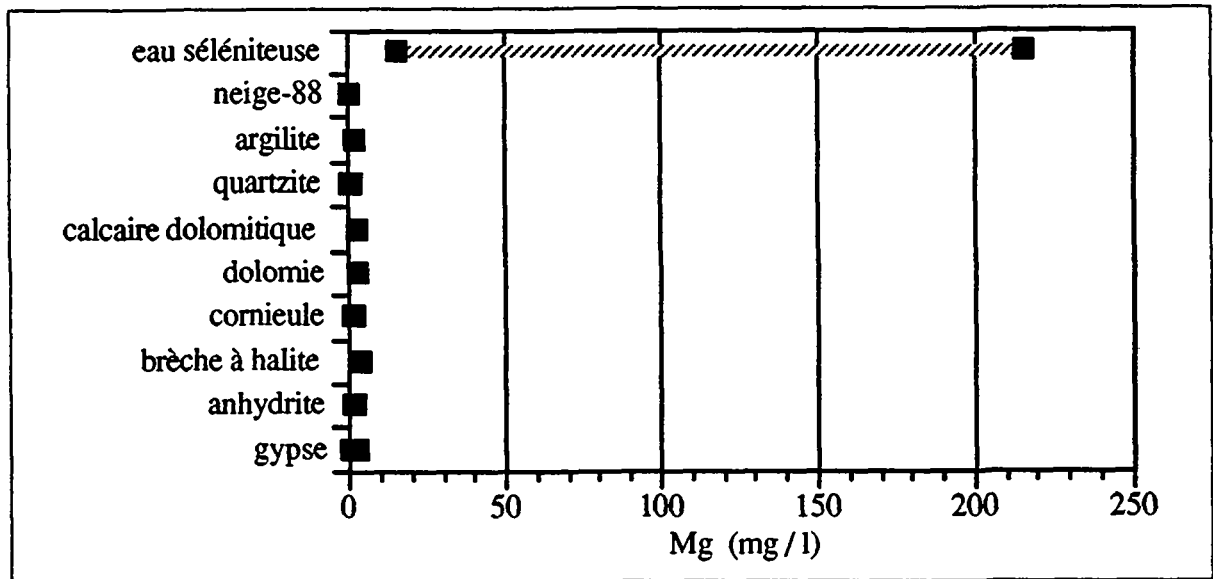


Figure 8.21 Ordre de grandeur des concentrations en Mg dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

Nos tests de quantification des fractions soluble et insoluble nous ont permis de vérifier la présence de Mg non seulement dans les gypses, mais également dans les anhydrites (fig. 8.21). Nous pouvons ainsi envisager la présence de minéraux magnésiens au sein des roches sulfatées-calciques. Il pourrait s'agir de: epsomite ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), magnésite (MgCO_3) et de minéraux argileux. La plupart sont aussi connus comme minéraux authigènes dans les formations évaporitiques (GEORGE, 1977).

Les essais de lixiviation à l'eau n'ont pas été concluants (fig. 8.21). En effet, le magnésium s'est révélé très peu soluble à l'eau seule.

La dolomite et la magnésite se sont révélées dans les eaux froides en légère sous-saturation. Dans les eaux chaudes de Combioula, la dolomite est apparue très près de l'équilibre (fig. 6.5).

Les teneurs en Mg dans les sources de Combioula ne sont pas beaucoup supérieures à celles des sources froides (fig. 8.20). Il nous est par conséquent difficile d'envisager une présence importante des sels magnésiens caractéristiques des gisements halogènes comme carnallite, kaïnite, langbeinite, picromérite, polyhalite, kisérite, astrachanite (SMIRNOV, 1988). Dans le cadre de notre étude, seuls les sites de Combioula et de Bex seraient susceptibles de renfermer de tels sels en association avec la halite.

8.2.6 Strontium

Les caractéristiques descriptives ont révélé une concentration moyenne en Sr de 7,9 mg/l avec une dispersion de 38 % sur l'échantillonnage réalisé dans les quatre unités tectoniques (tab. 8.1). Les valeurs maximales en Sr sont situées au voisinage de 15 mg/l. Les minimales sont de l'ordre de 1 mg/l (fig. 8.24).

L'histogramme des fréquences des concentrations en Sr tend à montrer une grande homogénéité des valeurs (fig. 8.22 et 8.23).

La répartition spatiale des teneurs en Sr des sources du Pennique a permis de dévoiler que les eaux souterraines (fig. 4.1 et 8.24) de la zone Isérables-Salins (sources n° 66 à 77) contiennent moins de Sr que celles qui s'étendent de la Borgne à Vercorin (sources n° 47 à 49, 97 à 100).

Le groupe des sources de l'Ultrasubalpines de la région Ollon-Les Diablerets (fig. 4.1: zone 1) présente des teneurs plus élevées que celles de Val d'Iliez-Val de Morgins (sources n° 59 à 63) de même origine tectonique. L'échantillonnage restreint des sources de l'Helvétique réunit des valeurs en Sr très homogènes variant de 10,1 à 12 mg/l (fig. 8.23). La valeur la plus élevée, 16,4 mg/l, été notée dans les eaux de St-Gingolph: soit dans les aquifères PM.

Nos différentes analyses de gypses et d'anhydrites ont mis en évidence la forte solubilité du Sr (fig. 8.25). Son origine dans les eaux est liée d'une part à sa présence primaire dans ces roches, d'autre part à des néoformations de cristaux de célestine (SrSO_4) caractéristiques des conduits gypseux (GEORGE, 1977; MATOUSEK, 1985; MANDIA & PARRIAUX, 1990). Pour l'ensemble des sources, nous avons trouvé une corrélation SO_4 -Sr de 0,79 (annexe 14). Cette forte relation confirme l'existence de ce minéral au sein des roches traversées.

Les essais avec PHREEQE ont révélé la célestine très proche de l'équilibre (fig. 6.6). Par contre, la strontianite (SrCO_3) est toujours apparue en sous-saturation. Ce minéral peut néanmoins se rencontrer dans les formations du Trias de nos régions (MEISSER, 1991).

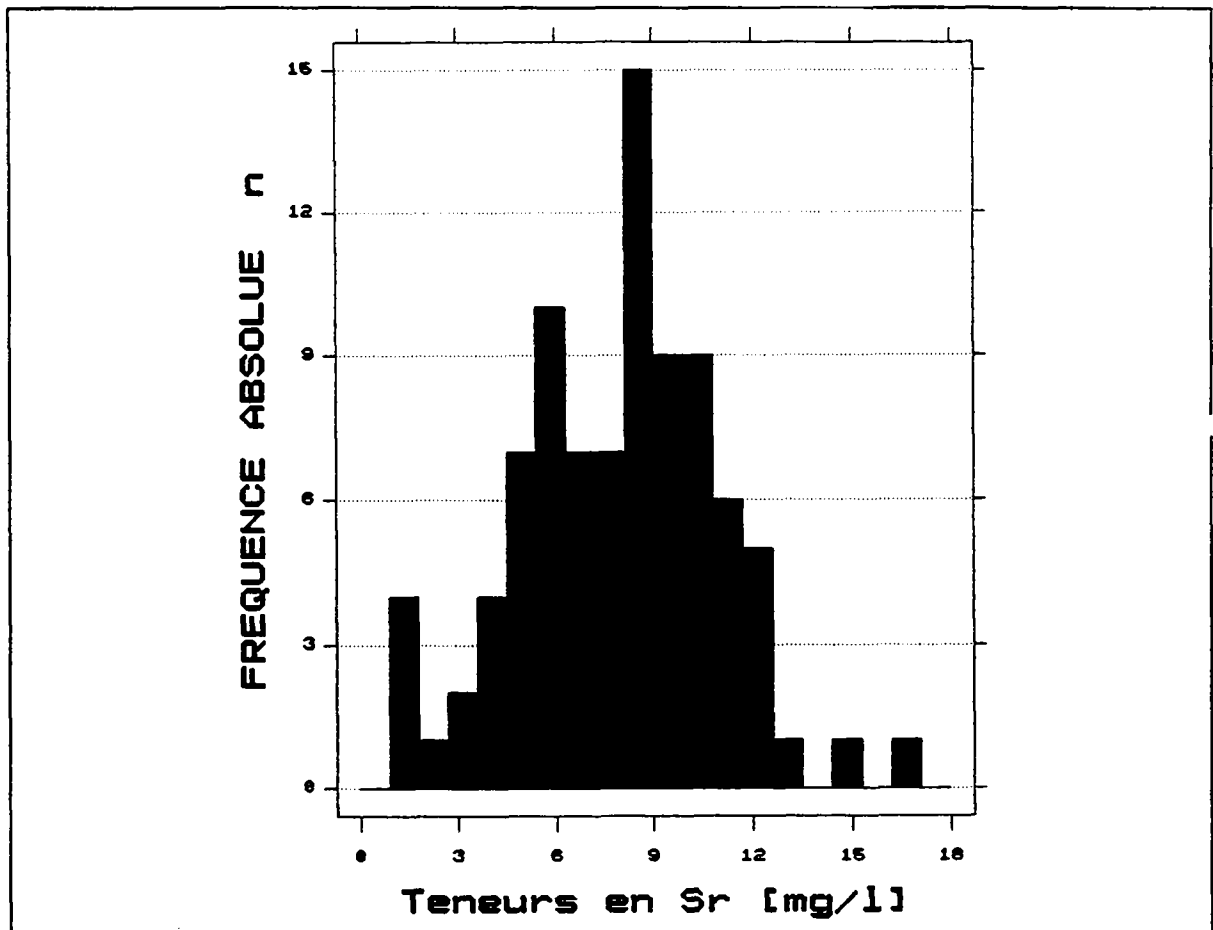


Figure 8.22 Histogramme des fréquences des teneurs en Sr des eaux

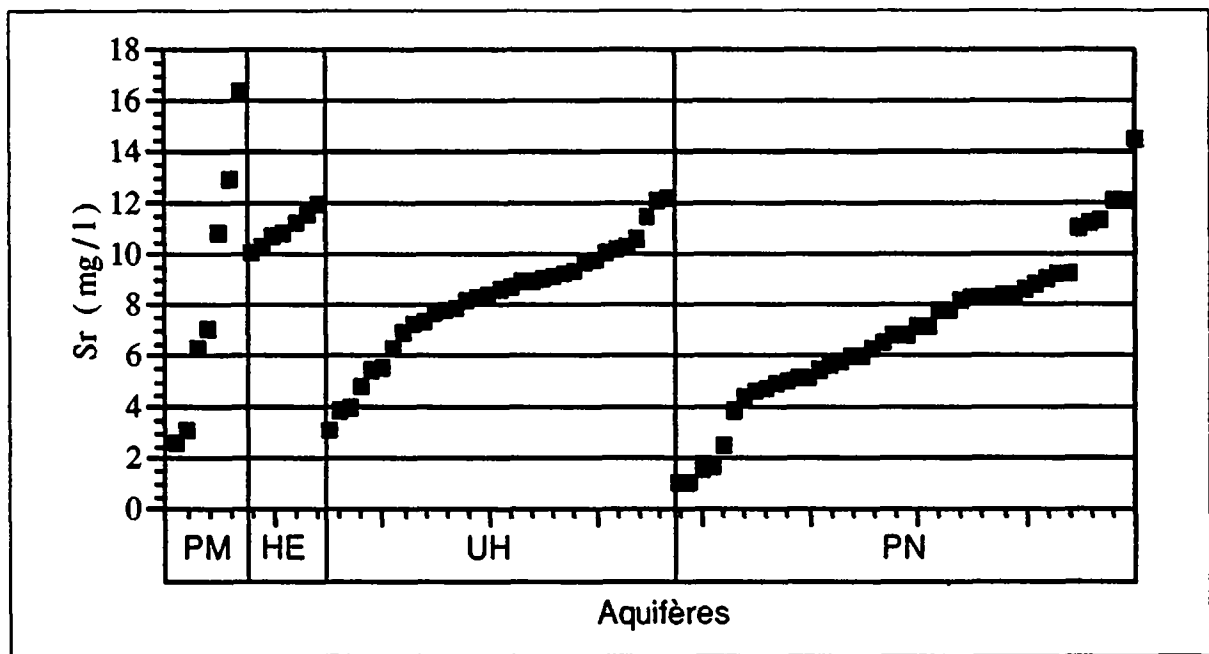


Figure 8.23 Série ordonnée des teneurs en Sr des eaux

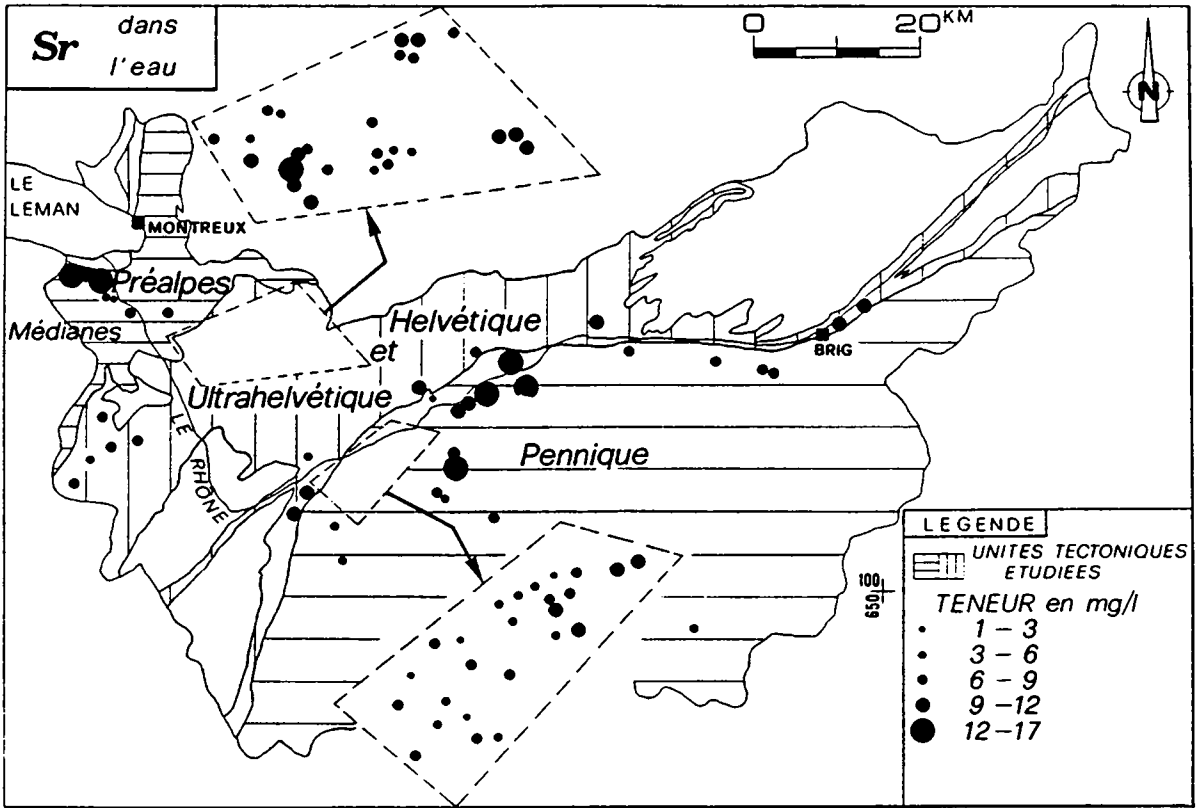


Figure 8.24 Répartition spatiale des teneurs en Sr des eaux

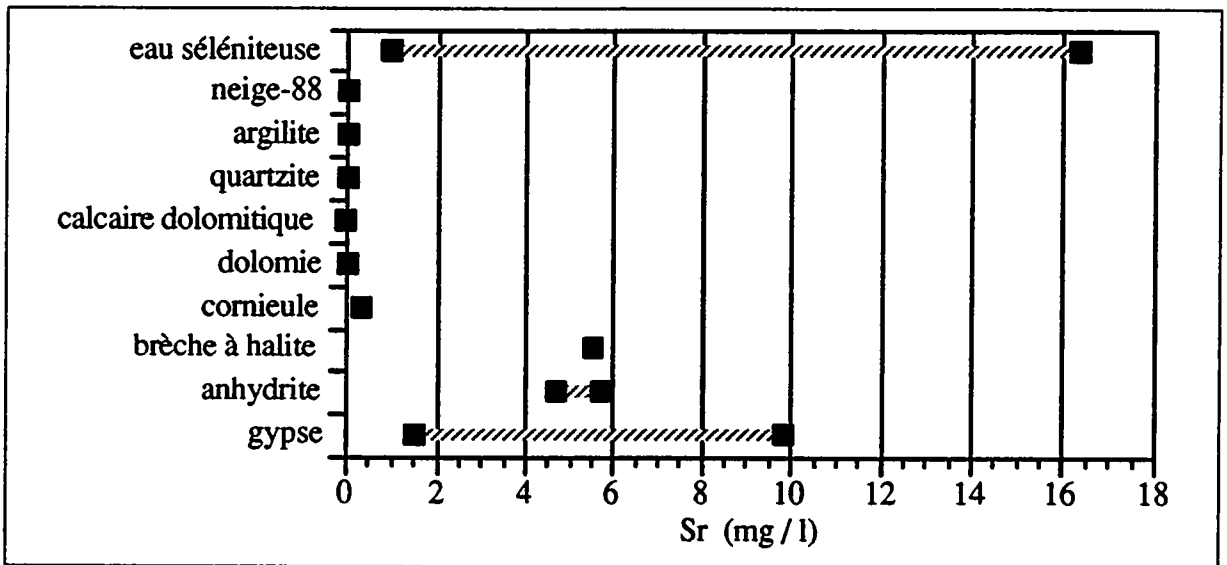


Figure 8.25 Ordre de grandeur des concentrations en Sr dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

8.2.7 Sodium et chlorures

Les eaux froides des évaporites contiennent très peu de Na et de Cl.

Les teneurs maximales en Na n'ont pas dépassé 30 mg/l. Avec une dispersion spatiale de 93 % (tab. 8.1), la concentration moyenne en Na des eaux a été de 5,8 mg/l. La valeur la plus basse a avoisiné 1 mg/l (annexe 13).

L'histogramme des fréquences des teneurs en Na fait essentiellement ressortir que 85 % des sources évaporitiques contiennent moins de 10 mg/l de Na (fig. 8.26). Tous les points d'eau des Préalpes Médiannes et de l'Helvétique en font partie (fig. 8.28 et 8.30). Quant aux valeurs plus élevées, comprises entre 10 et 30 mg/l, la carte de répartition montre qu'elles caractérisent principalement les sources de l'Ultraschévétique et du Pennique (fig. 8.28 et 8.30).

Les caractéristiques statistiques ont été pour Cl les suivantes (annexe 13): des teneurs minimales inférieures à 1 mg/l (seuil de détection élevé), un maximum de 75,9 mg/l et une moyenne de 7 mg/l. La dispersion spatiale de ce ion dans les eaux a été élevée, atteignant 162 % (tab. 8.1).

La forme de l'histogramme des fréquences des teneurs en Cl est très proche de celle du Na. Elle représente une exponentielle négative, où 65 % des eaux contiennent moins de 10 mg/l de Cl (fig. 8.27).

D'une manière générale, les répartitions spatiales des ions Na et Cl sont similaires (fig. 8.30 et 8.31). Ainsi, les sources de l'Ultraschévétique de la région Ollon-Villars (sources n° 14 à 26) et celles du Pennique de la région Beuson-Aproz (sources n° 86 à 90) peuvent dénoter une teneur en Cl plus élevée qu'ailleurs, variant entre 20 et 80 mg/l. Les sources de l'Helvétique et des Préalpes Médiannes ont essentiellement dévoilé des teneurs en Cl plus faibles, de l'ordre de 3,5 mg/l. Elles sont parfois à la limite du seuil de détection: environ 1 mg/l (fig. 8.29 et 8.31).

Les concentrations en Na et Cl des eaux froides des évaporites ne sont absolument pas comparables avec celles abondantes des eaux chaudes de Combioula (sources n° 97 et 98). En effet, les deux sources prélevées sur ce site ont donné les teneurs suivantes: 230 et 680 mg/l de Na, 360 et 750 mg/l de Cl (fig. 8.30 et 8.31).

Sur l'origine de la faible minéralisation en Na et Cl des eaux froides, nous pouvons proposer les solutions suivantes; elles sont fondées d'une part sur la géologie des régions étudiées, d'autre part sur l'occupation du sol et la colonisation des bassins versants propres aux sources.

A) *Origine géologique*

Trois solutions d'ordre géologique ont été présentées:

- 1) Nos différentes analyses chimiques des roches ont surtout montré que le sodium des gypses est peu soluble (annexe 12). Ce ion est probablement lié à la présence de feldspaths alcalins dans ces formations, qui peuvent soit être d'origine détritique, soit résulter d'une diagenèse ancienne (fig. 8.32).

Cependant, ce Na ne suffit certainement pas à fournir la totalité de la concentration en Na des eaux (annexe 12: cas des Etoveys et de Huémoz). Quant à Cl, il n'a pas été détecté dans les gypses (fig. 8.33). La dolomie, le calcaire dolomitique et la cornieule contiennent plus de Na et de Cl solubles que les roches gypseuses (fig. 8.33).

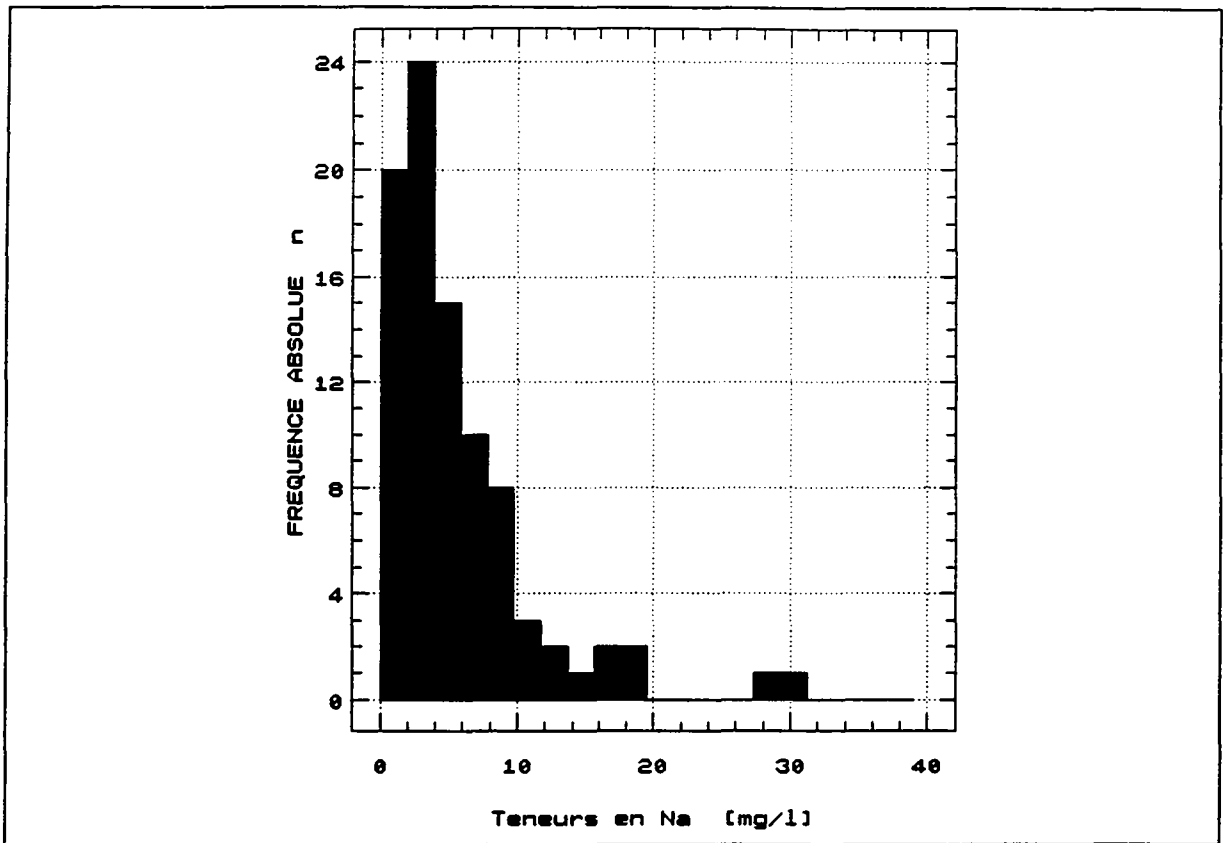


Figure 8.26 Histogramme des fréquences des teneurs en Na des eaux ($n = 89$)

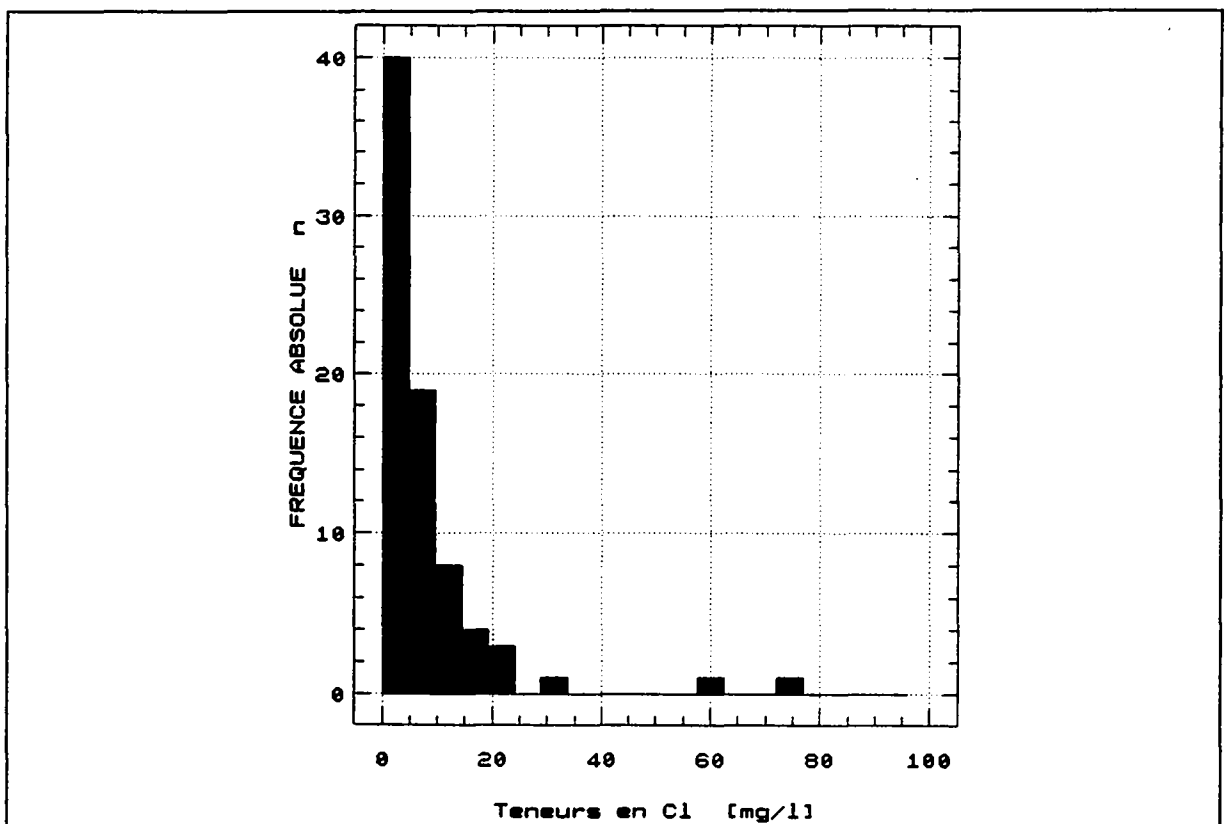


Figure 8.27 Histogramme des fréquences des teneurs en Cl des eaux ($n = 89$)

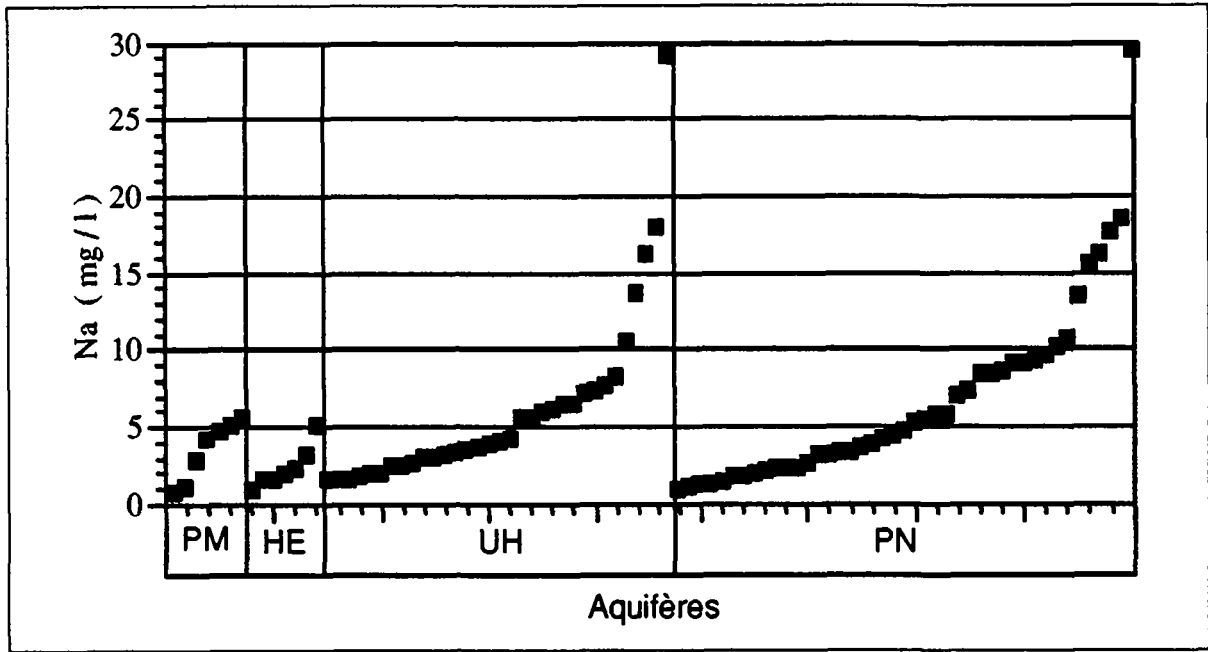


Figure 8.28 Série ordonnée des teneurs en Na des eaux

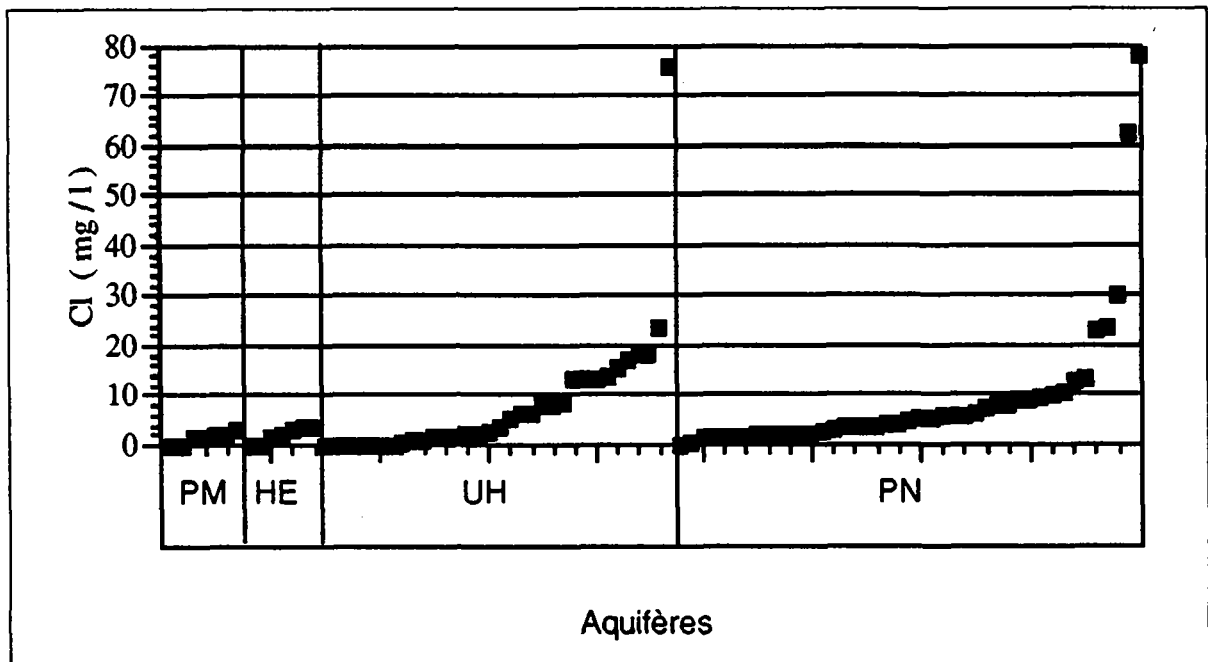


Figure 8.29 Série ordonnée des teneurs en Cl des eaux

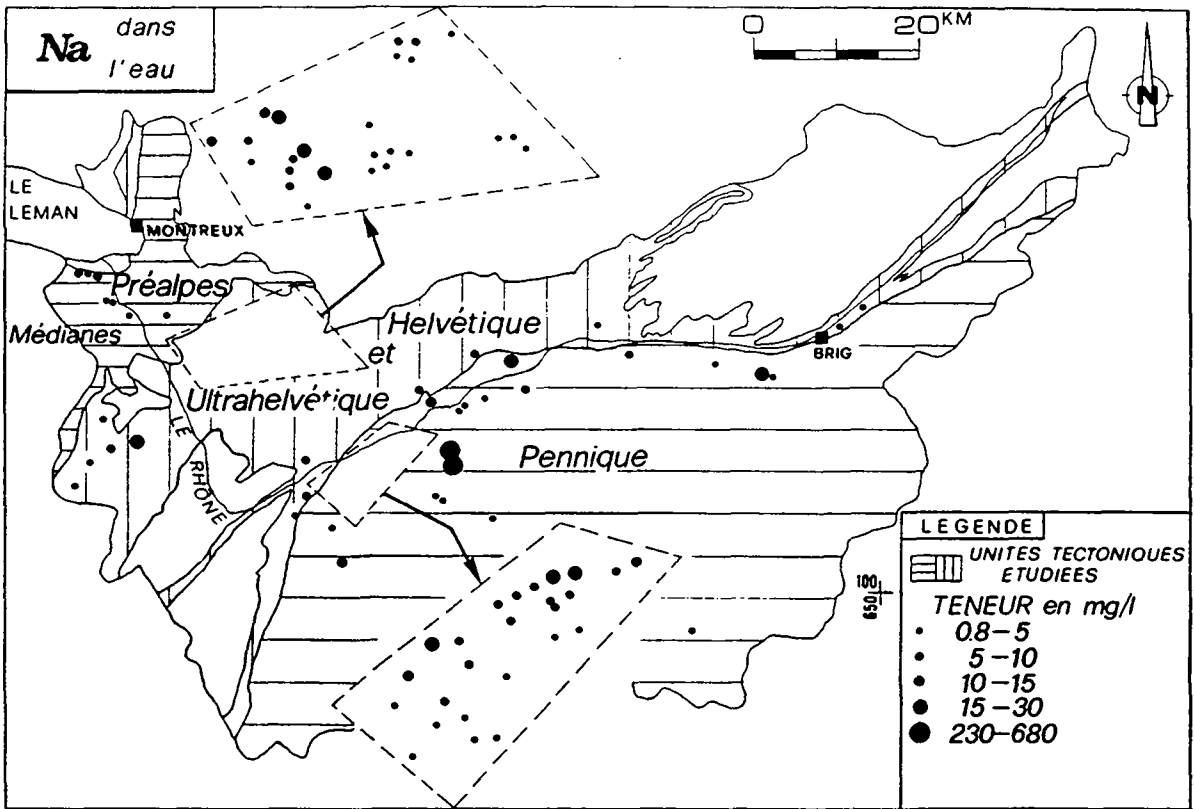


Figure 8.30 Répartition spatiale des teneurs en Na des eaux

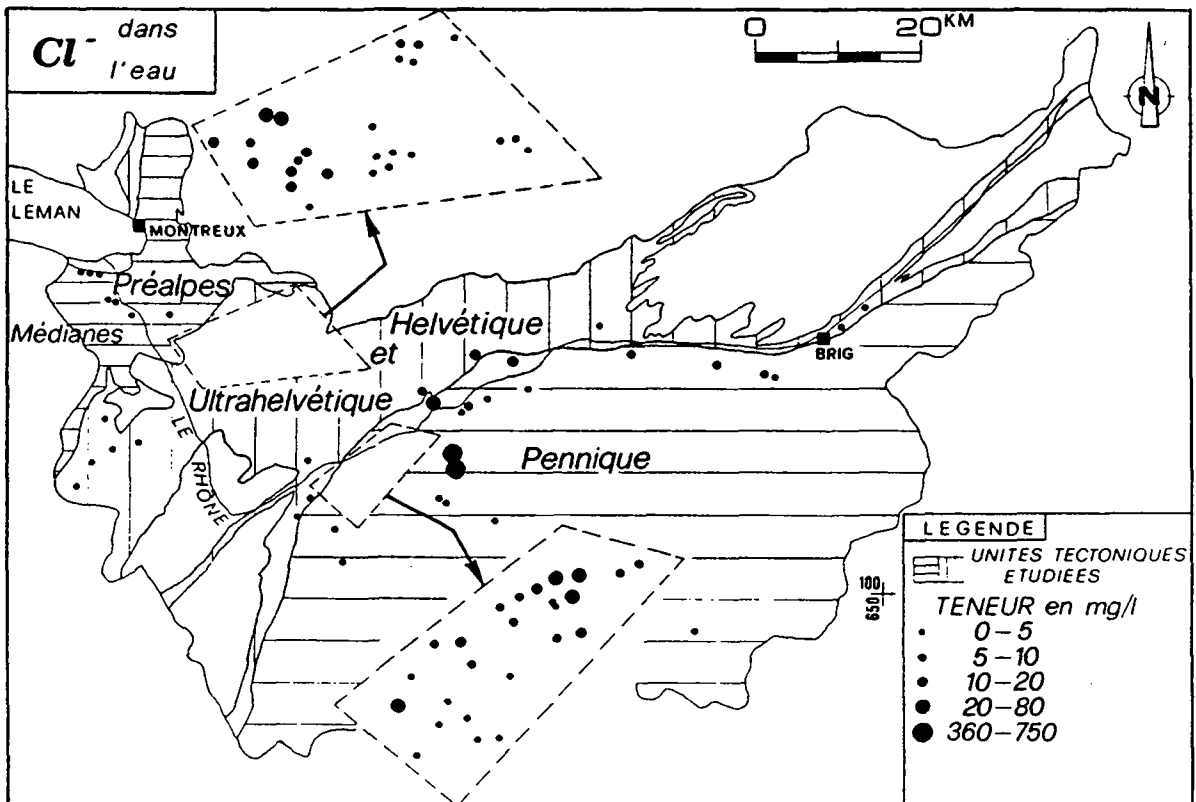


Figure 8.31 Répartition spatiale des teneurs en Cl des eaux

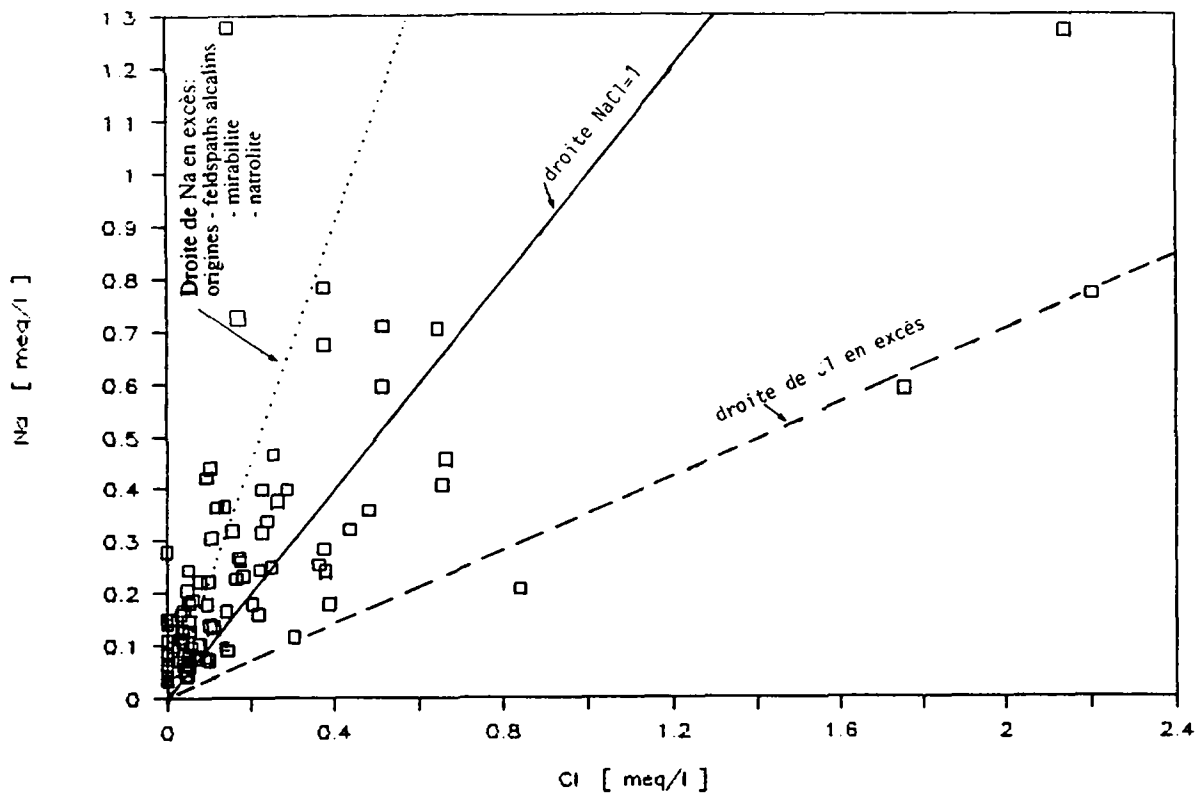


Figure 8.32 Relation Na-Cl dans les eaux

- 2) Ainsi, au sein du karst gypseux, Na peut provenir de minéraux (fig. 8.32), tels la mirabilite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ou la natrolite ($\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (GEORGE, 1977; BAUD, 1987; DRONKERT et al., 1990; MEISSER, 1991).
- 3) Une autre solution à envisager est qu'une partie du Na de l'eau provienne du sel gemme. Pour l'ensemble des sources froides, nous n'avons obtenu qu'un coefficient de corrélation de 0,65 entre Na et Cl (fig. 8.32). Cette modeste relation peut être en partie due à des valeurs en Cl douteuses. En effet, en chromatographie ionique, les teneurs en Cl proches du seuil de détection sont fortement influencées par le pic des sulfates. Néanmoins, si l'on attribue cette faible minéralisation au sel gemme, nous devons concevoir un karst gypseux avec de rares et minces couches de NaCl. Leur puissance a probablement diminué au cours du temps par un lessivage continu par des eaux souterraines à faible profondeur. La zone ultrahelvétique Ollon-Plambuit-Villars est certainement tributaire d'un tel système. En effet, la source de Salin (n° 18) près de Plambuit (fig. 4.1 et annexe 1) a été caractérisée par des teneurs en Na de 29,4 mg/l et en Cl de 75,9 mg/l (annexe 3.2). On peut donc y envisager la présence de halite, d'autant plus que nous trouvons dans cette région des Alpes vaudoises les sels des mines de Bex de même origine tectonique. Nous avons déterminé une corrélation entre Na et Cl de 0,79 pour les sources de l'Ultrahelvétique (annexe 14). Elle est ainsi légèrement meilleure que celle établie pour l'ensemble des points d'eau du Bassin rhodanien. Par analogie, on peut concevoir de la même manière la présence de roches salines dans les aquifères PN, dont l'existence est attestée par les fortes concentrations en Na et Cl observées dans les eaux chaudes de Combioula (fig. 5.11). Nous devrions les retrouver probablement de manière discontinue notamment dans la

région s'étendant de l'usine électrique de Nendaz à Salins, puisqu'elle nous a révélé les concentrations en ces ions les plus élevées de cette unité tectonique (fig. 8.30 et 8.31).

- 4) Le sodium peut aussi provenir des inclusions fluides présentes dans certains minéraux (communication orale de M. Prof. Pfeifer).

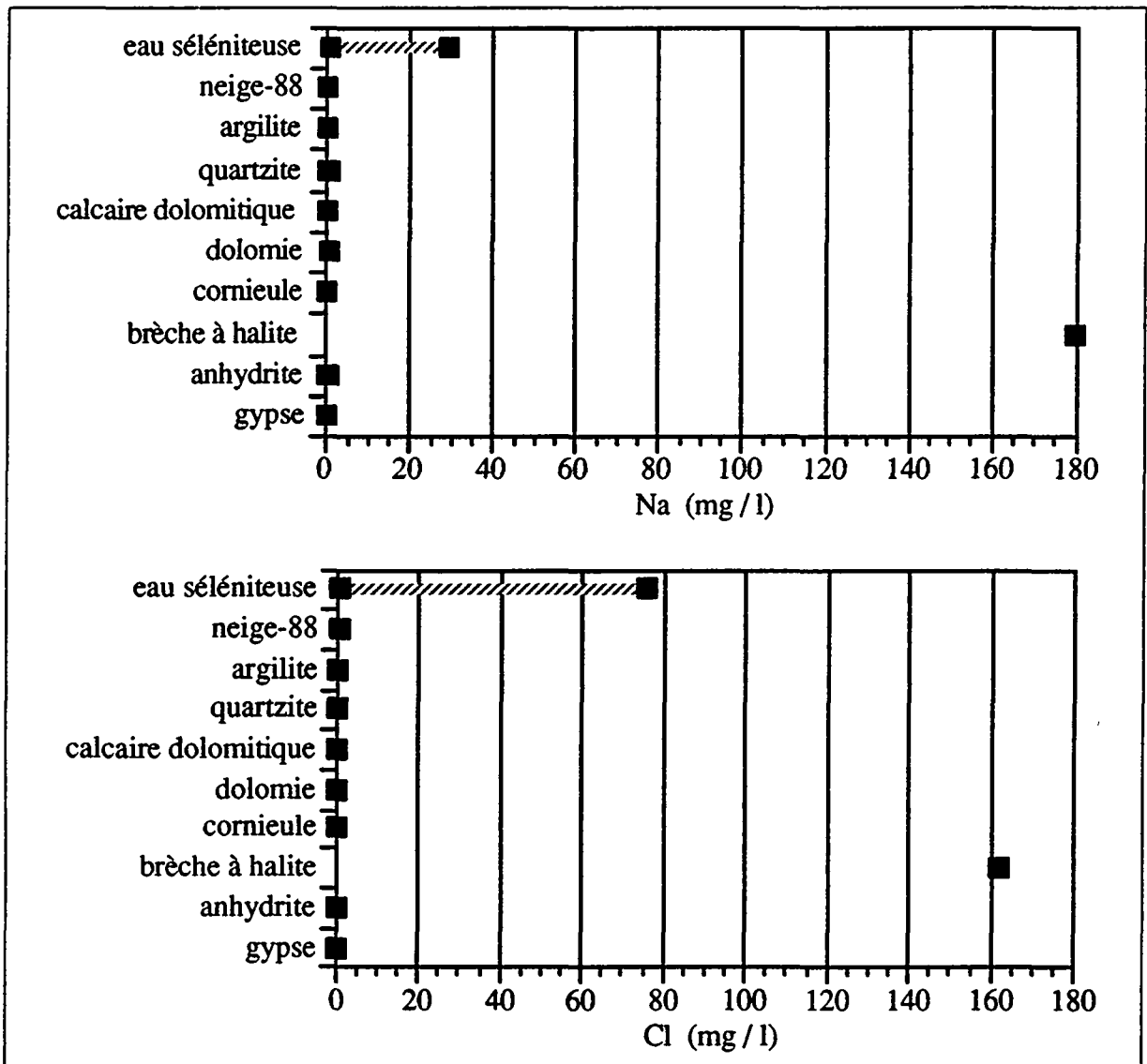


Figure 8.33 Ordre de grandeur des concentrations en Na et Cl dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

B) Origine anthropique

Les sources ultrahelvétiques à l'aval de Villars et celles penniques à l'aval de Haute-Nendaz peuvent renfermer du NaCl provenant du salage routier qui a lieu durant l'hiver pour permettre l'accès à ces régions touristiques. Ces ions peuvent jouer le rôle de marqueurs artificiels avec un effet mémoire parfois non négligeable et prêter à confusion avec les variations naturelles des points d'eau.

Nous avons en outre constaté une certaine relation entre Cl et NO₃ (annexe 14), là où les sources sont en contact avec des zones viticoles. Il s'agit surtout des points d'eau des régions d'Ollon (source Schertzer: n° 15) et de Grimisuat (source Comba Bernard: n° 45), appartenant aux unités ultrahelvétique et pennique (fig. 4.1 et annexe 1). Dans certains cas, il n'est pas exclu que des produits utilisés pour le traitement des vignes fournissent parfois des composants chlorurés, notamment les pesticides.

8.2.8 Silicium

Le silicium est présent sous la forme de H₄SiO₄ dans les eaux froides et chaudes des évaporites.

L'étude de la variabilité spatiale de chacune des unités a dévoilé des valeurs de dispersion variant entre 18 et 45 %. Pour l'ensemble des points d'eau du Bassin rhodanien, celle-ci a atteint 43 % autour d'une moyenne de 3,19 mg/l (fig. 8.1 et annexe 13). Elle révèle ainsi une faible hétérogénéité spatiale des concentrations dans les eaux froides. Les valeurs extrêmes de la série ont été 0 et 9,4 mg/l (annexe 13).

L'histogramme des fréquences met en évidence une seule population qui réunit près de 95 % des points d'eau avec des valeurs en Si comprises entre 1 et 5 mg/l (fig. 8.34). Toutes les autres valeurs supérieures à 5 mg/l concernent essentiellement les sources de l'unité pennique (fig. 8.34 et 8.35).

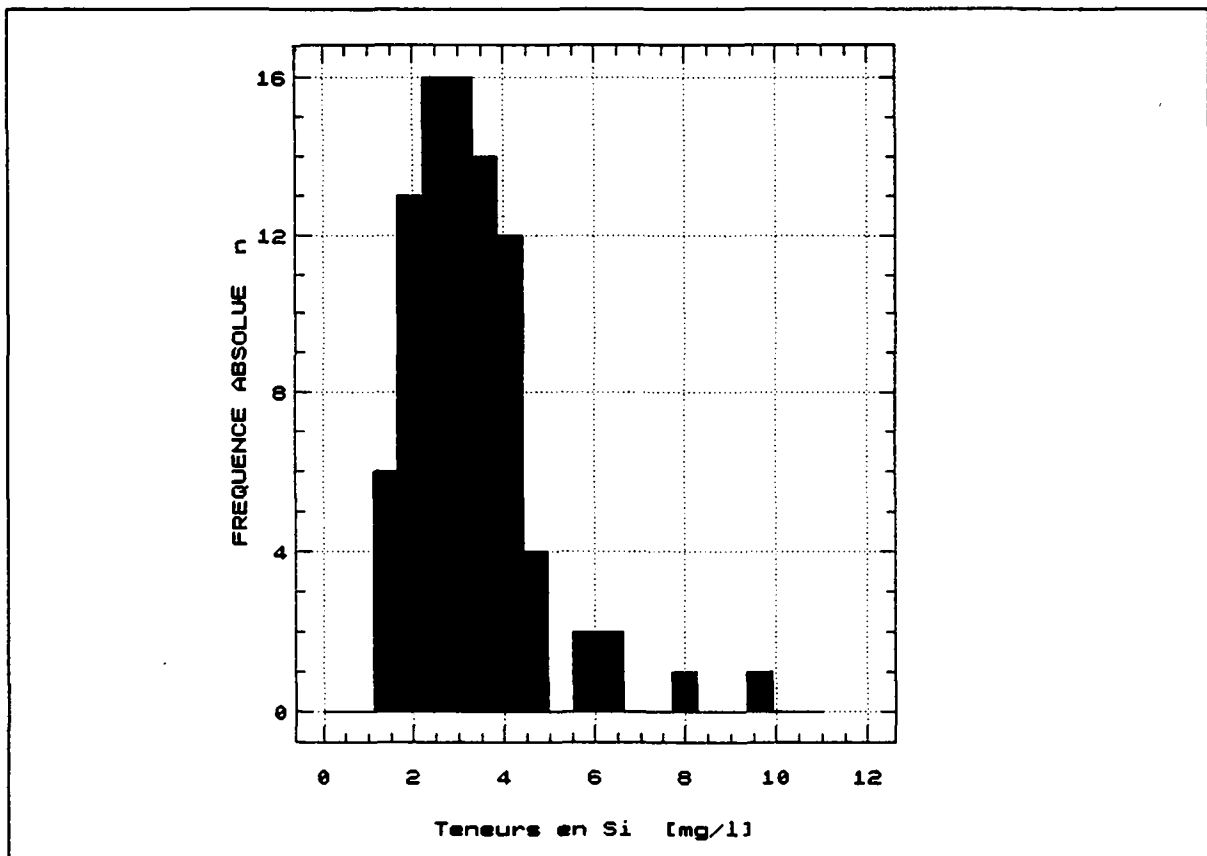


Figure 8.34 Histogramme des fréquences des teneurs en Si des eaux (n = 88)

Dans le Pennique, nous avons noté une hétérogénéité spatiale plus importante. Elle est du reste visible grâce à la carte de répartition spatiale des teneurs en Si des sources, qui révèle en outre des valeurs plus élevées dans le Pennique que dans les trois autres unités tectoniques (fig. 8.36). C'est plus précisément la région qui s'étend d'Isérables à Salins (fig. 4.1: zone 2) qui fait ressortir ces concentrations plus significatives. L'étude des sources de l'Ultrasahélienne de la région Ollon-Les Diablerets (fig. 4.1: zone 1) ne présente pas d'hétérogénéité notable. Elle montre également que les teneurs en Si des eaux de la région Aigle-Gryon sont légèrement plus élevées que celles des sites sourciers localisés entre Les Diablerets et Derborence (fig. 8.36).

De très fortes valeurs en Si ont été enregistrées aux eaux chaudes de notre réseau: Val d'Illiez, Bains de Leytron, Le Châtelard et Combioula (fig. 8.36). Nous avons ainsi constaté une liaison accentuée entre la concentration en Si et la température de l'eau dans les sources thermominérales. Ce paramètre est du reste utilisé comme géothermomètre (VUATAZ, 1982).

Les résultats des tests de lixiviation et de quantification des fractions soluble et insoluble nous ont fortement démontré que Si est peu soluble dans les gypses (fig. 5.3 et 5.4). La minéralisation en Si assez élevée dans les eaux doit par conséquent être rattachée à d'autres roches ou minéraux. Ainsi, les lixiviats de quartzites ont révélé une concentration en Si jusqu'à quatre fois supérieure à celle enregistrée dans les roches sulfatées-calciques (fig. 8.37). Les cornieules et les argilites ont aussi montré des teneurs en Si plus grandes que celles des gypses (fig. 8.37).

Des éléments détritiques sont également susceptibles de contribuer à la minéralisation en Si des eaux: minéraux argileux, grains de quartz et feldspaths. Ils peuvent constituer les résidus de dissolution du matériel poreux de remplissage des discontinuités présent dans le karst gypseux (MANDIA & PARRIAUX, 1990).

Ces minéraux peuvent parfois apparaître en cristaux néoformés dans les différentes formations évaporitiques du Trias et ainsi fournir le Si aux eaux (MATOUSEK, 1985; BAUD, 1987; DRONKERT et al., 1990).

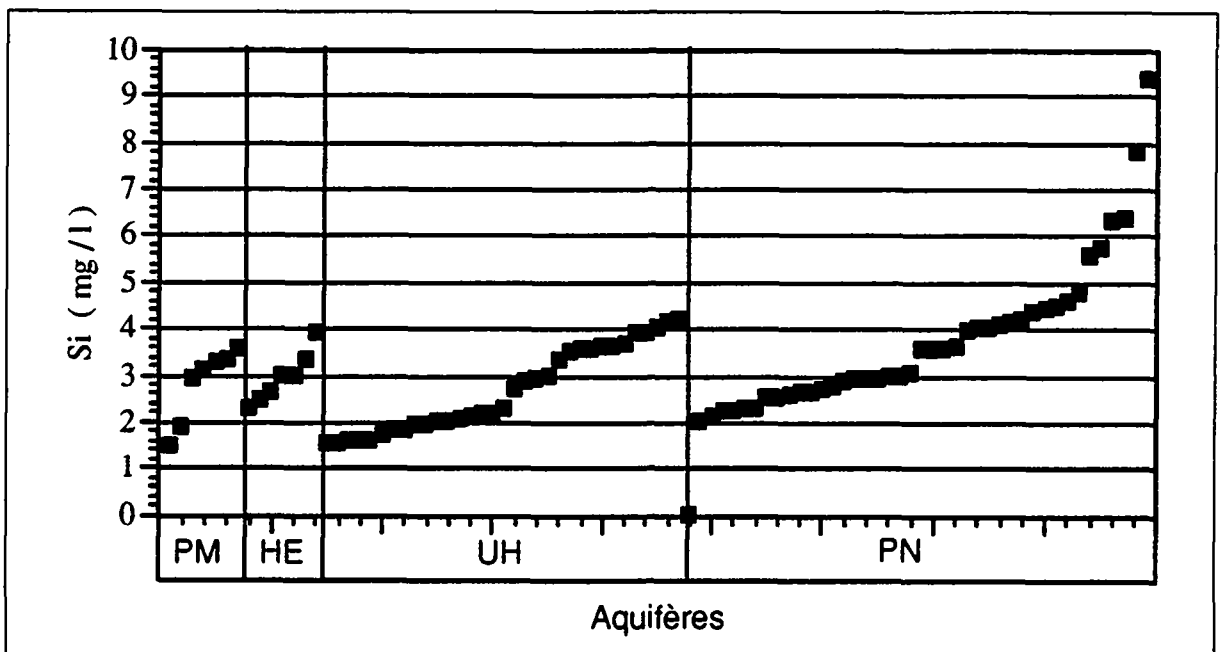


Figure 8.35 Série ordonnée des teneurs en Si des eaux

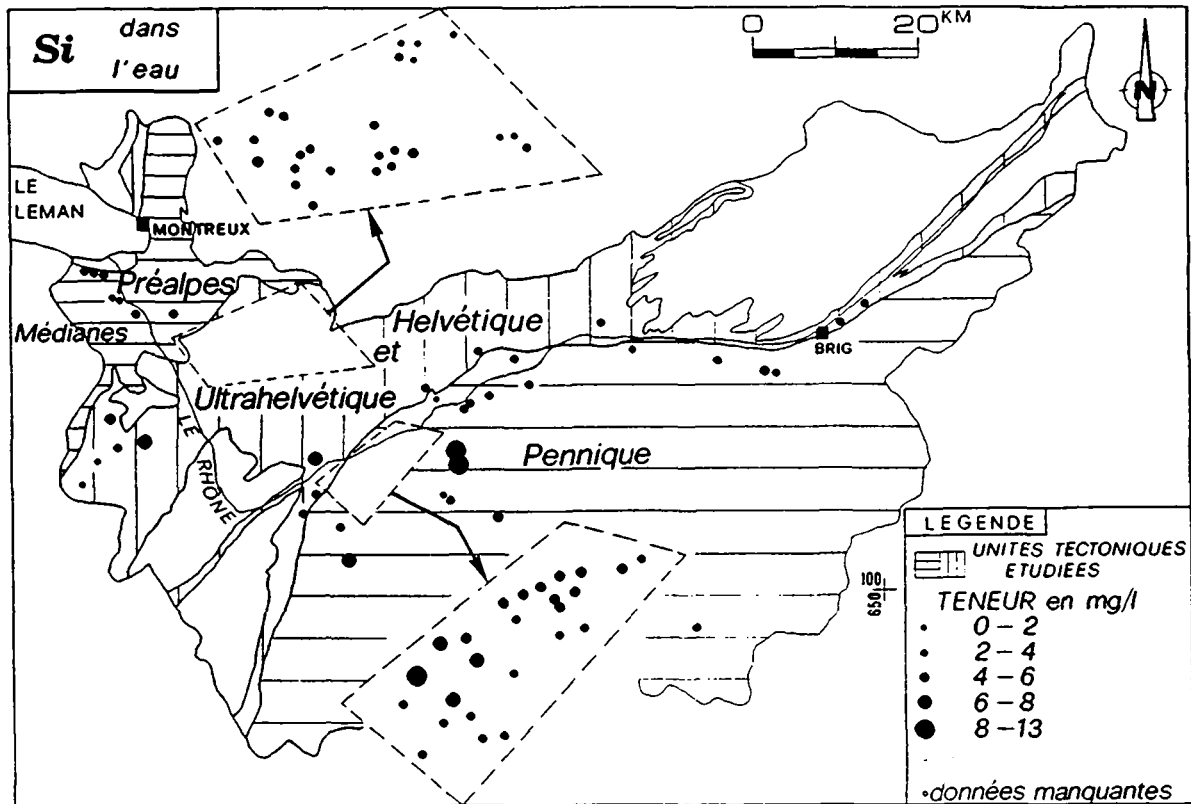


Figure 8.36 Répartition spatiale des teneurs en Si des eaux

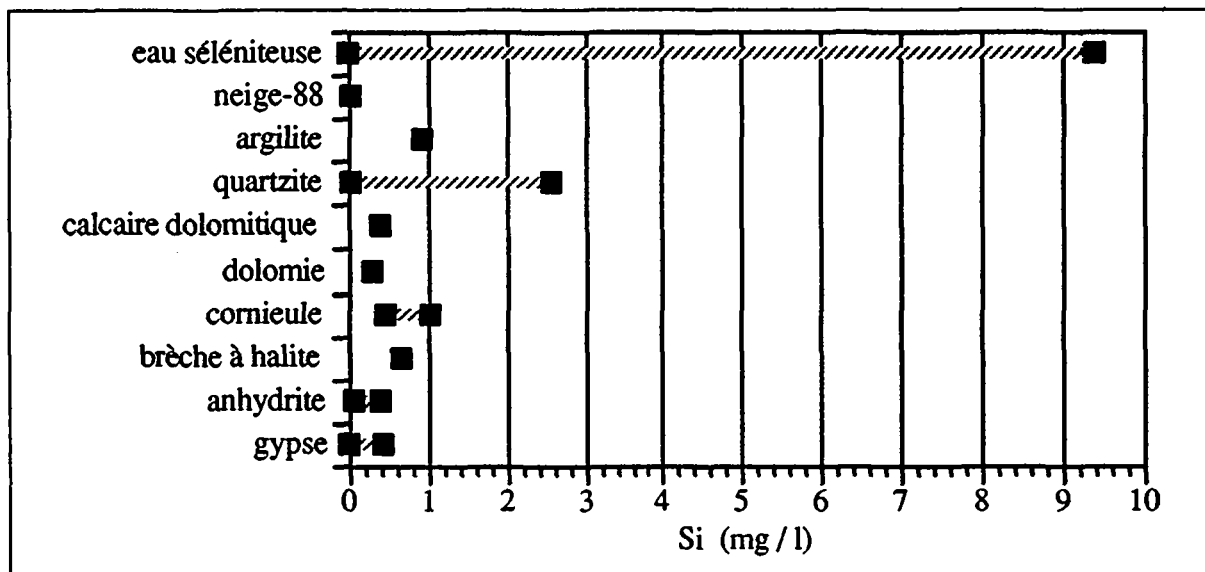


Figure 8.37 Ordre de grandeur des concentrations en Si dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

Par l'intermédiaire du programme PHREEQE, nous avons constaté que calcédoine et cristobalite sont pratiquement toujours proches de l'équilibre avec les solutions étudiées. Il n'en est pas de même pour la silice amorphe et le quartz: SiO_2 amorphe est le plus souvent sous-saturée, le quartz sursaturé (fig. 6.7).

DRONKERT et al. (1990) rapporte la présence de cristaux authigènes de quartz dans les anhydrites du Trias jurassien, dont les variétés les plus courantes sont le mega-quartz et la calcédoine. La calcédoine a souvent été observée en remplacement du ciment calcaire pour le remplissage des pores intergranulaires.

Les minéraux argileux et les feldspaths ne sont cependant jamais apparus en équilibre avec les eaux étudiées: montmorillonite et illite se sont montrées soit en sous-saturation, soit en sursaturation, halloysite a toujours été en sursaturation (annexe 9). Un coefficient de corrélation de 0,55 entre Si et Al et de 0.45 entre Si et Mg tend cependant à montrer que les minéraux argileux participent à la minéralisation de l'eau souterraine (annexe 14).

8.2.9 Nitrates

La teneur moyenne en NO_3 des eaux a été de 3 mg/l avec une très grande dispersion de 552 % qui obéit plus aux conditions géographiques que géologiques (tab. 8.1). Les valeurs extrêmes ont été 0 et 154 mg/l (annexes 3.2 et 13).

Hormis quatre valeurs supérieures à 10 mg/l, l'histogramme des fréquences fait apparaître une seule population de sources très faiblement minéralisées en NO_3 (fig. 8.38 et 8.39): 70 % des points d'eau se sont révélés dépourvus en NO_3 .

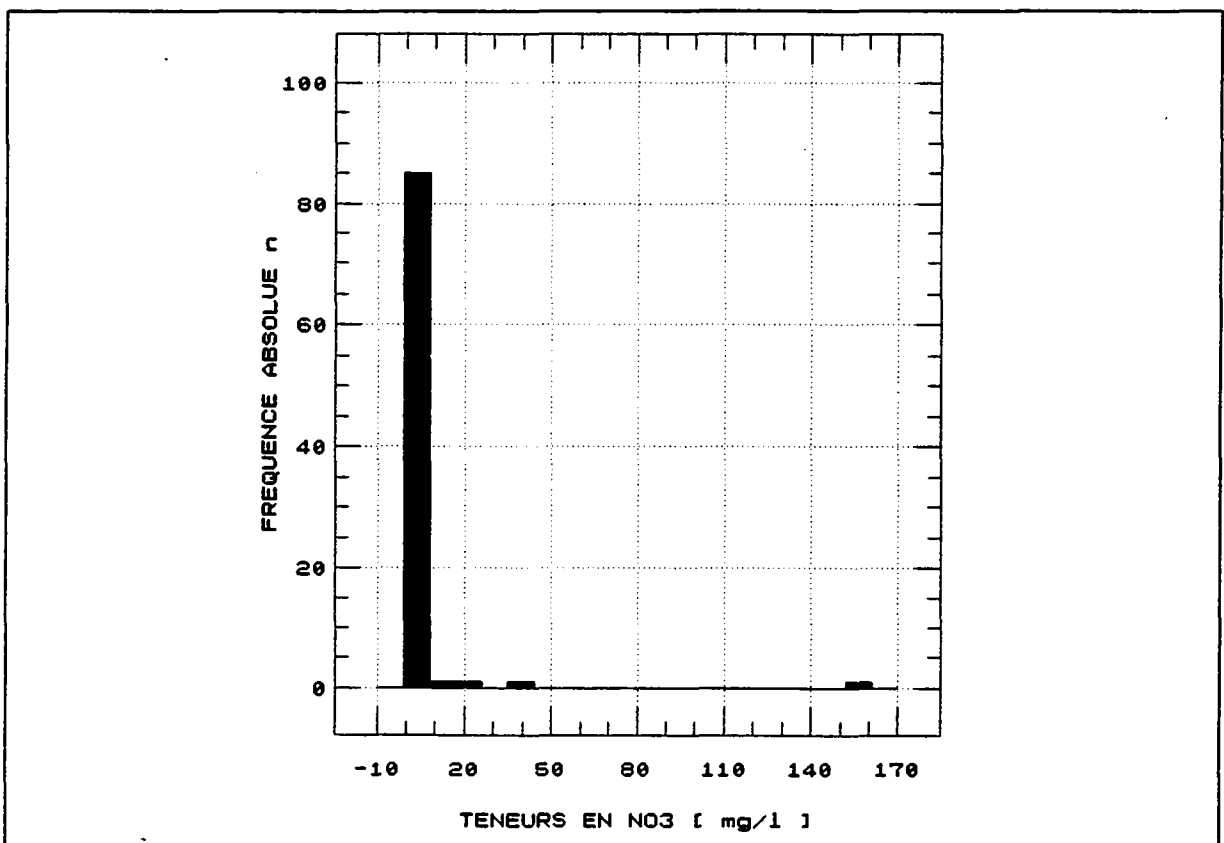


Figure 8.38 Histogramme des fréquences des teneurs en NO_3 des eaux ($n = 89$)

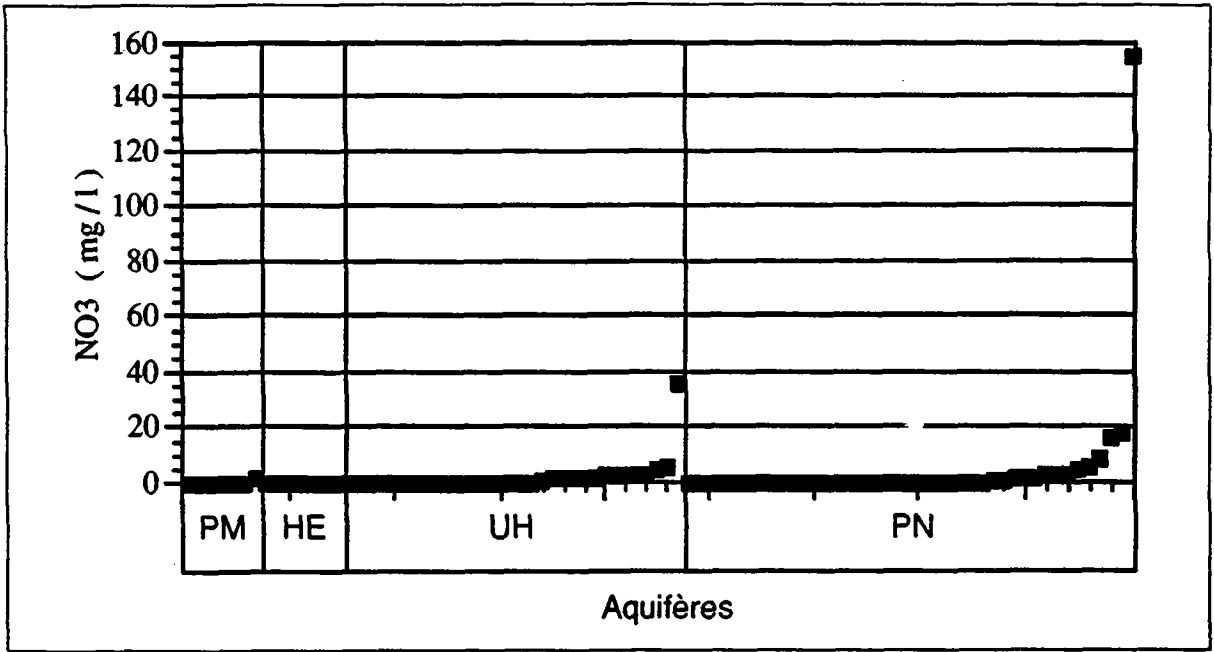


Figure 8.39 Série ordonnée des teneurs en NO₃ des eaux

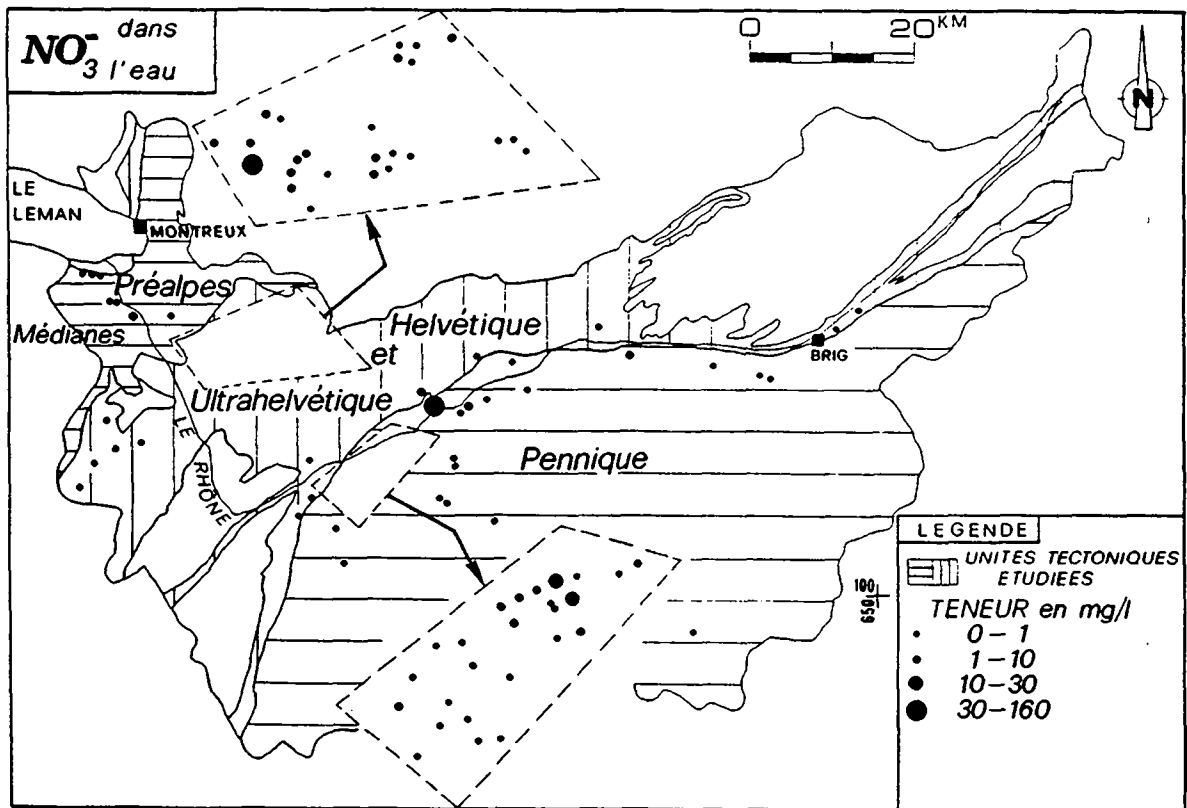


Figure 8.40 Répartition spatiale des teneurs en NO₃ des eaux

L'étude de la répartition spatiale des concentrations en NO₃ a permis d'observer que les localisations des sources avec des valeurs supérieures à 30 mg/l correspondent à des zones viticoles (fig. 8.40), où les terrains sont dénudés et fréquemment engraisés. Il s'agit des secteurs d'Ollon (exemple: source n° 15) et de Grimisuat (exemple: source n° 45) situés à des

altitudes comprises entre 440 et 600 msm. Ces sites ont aussi fait apparaître des teneurs importantes en Cl, qui semblent être liées à celles élevées en NO_3 . Les concentrations en NO_3 les plus basses correspondent le plus souvent à des bassins de haute altitude comme celui des sources de Gant au-dessus de Zermatt (source n° 108), situé à plus de 2200 msm.

Les nitrates sont en général utiles pour déterminer le bassin versant des sources déconnectées de leur zone de recharge, notamment dans le cas des émergences qui sourdent à basse altitude, mais dont le bassin est localisé ailleurs.

8.2.10 Potassium

K est l'un des paramètres chimiques mineurs avec la variabilité spatiale la plus forte. En effet, il est caractérisé par un coefficient de dispersion atteignant 162 % (tab. 8.1). Les teneurs en K des eaux séléniteuses, dont la valeur moyenne se situe à 2,71 mg/l, varient entre 0,4 et 38,6 mg/l (annexe 13).

L'histogramme des fréquences fait apparaître que 70 % des sources ont des concentrations en K inférieures à 2 mg/l (fig. 8.41 et 8.42). Sa forme est comparable à celles de Na et de Cl, soit une exponentielle négative (fig. 8.26 et 8.27).

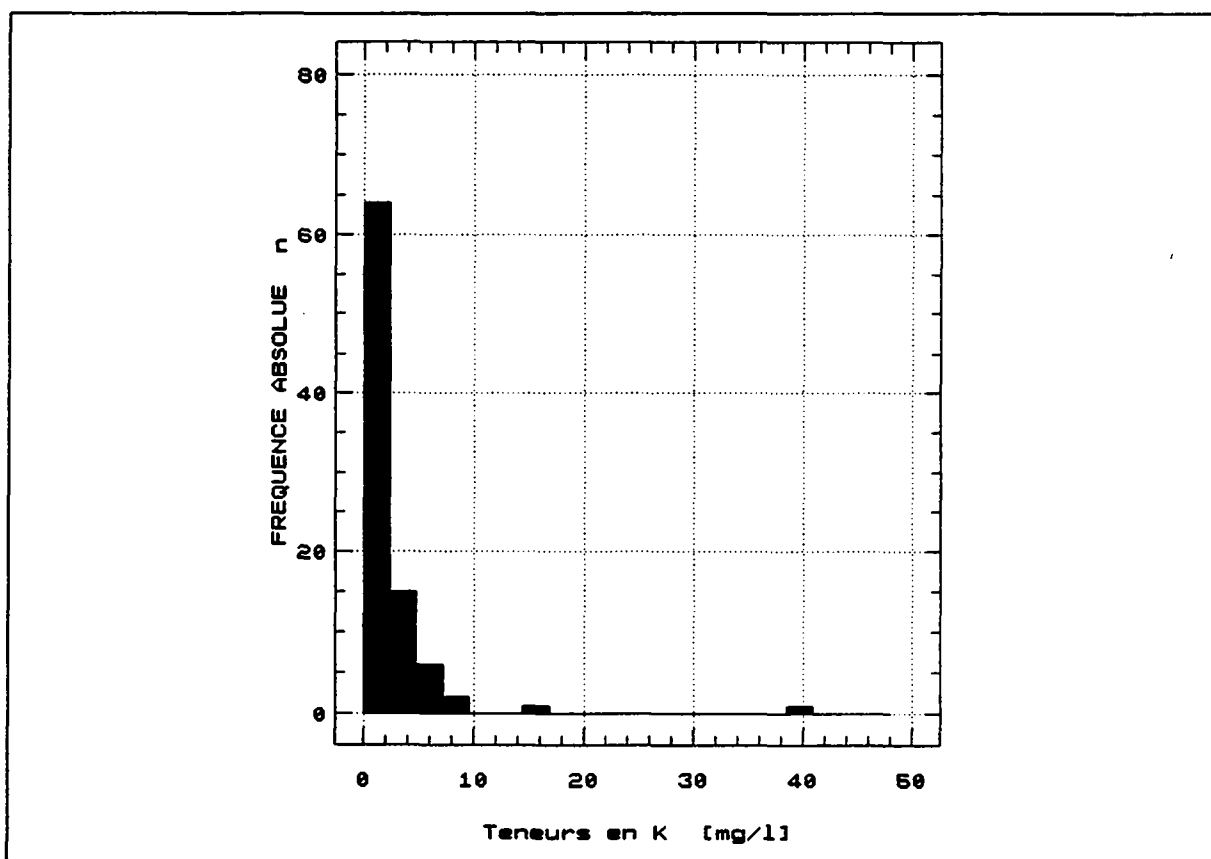


Figure 8.41 Histogramme des fréquences des teneurs en K des eaux ($n = 89$)

La plupart des sources des Préalpes Médiannes, de l'Helvétique et de l'Ultraschévétique sont faiblement minéralisées en K (fig. 8.43). Leurs concentrations sont souvent en-dessous de 2 mg/l (fig. 8.42). Les points d'eau du Pennique ont des teneurs en K plus élevées (fig. 8.43),

parfois supérieures à 10 mg/l. Il s'agit des émergences de l'usine électrique de Nendaz (source n° 69) et de la Chapelle du Bouillet (source n° 49) (fig. 4.1 et annexe 1).

Les sources chaudes de Combioula (fig. 4.1: sources n° 97 et 98) sont caractérisées par des valeurs en K très nettement plus élevées, comprises entre 9 et 39 mg/l (fig. 8.43).

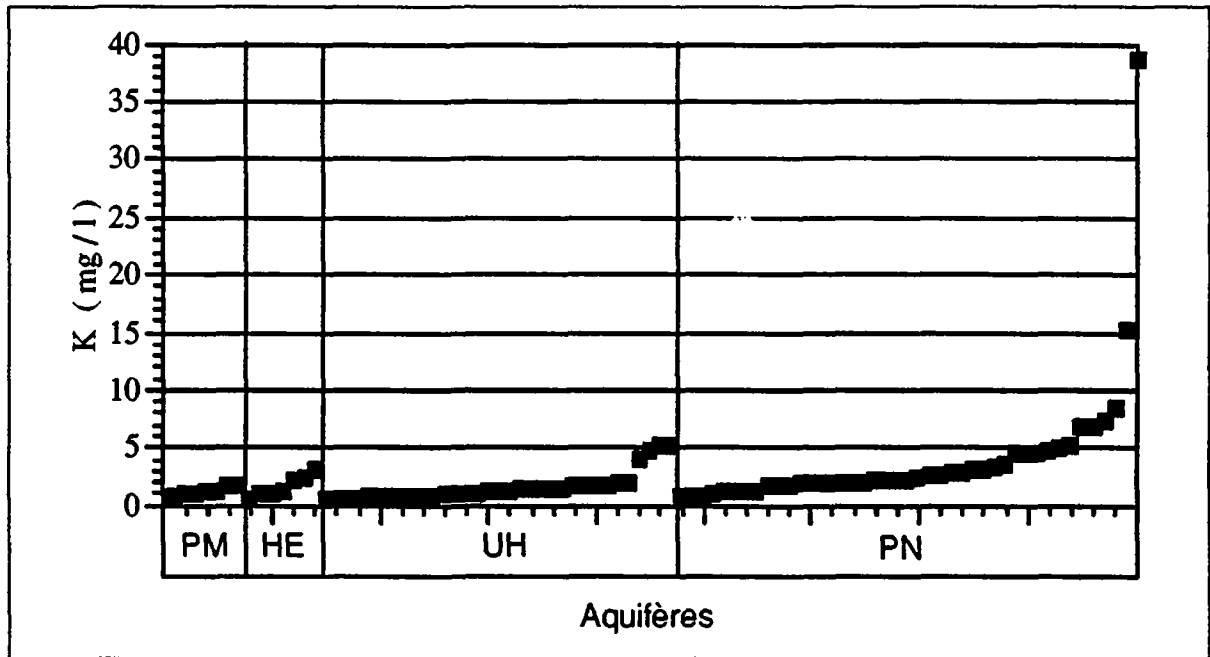


Figure 8.42 Série ordonnée des teneurs en K des eaux

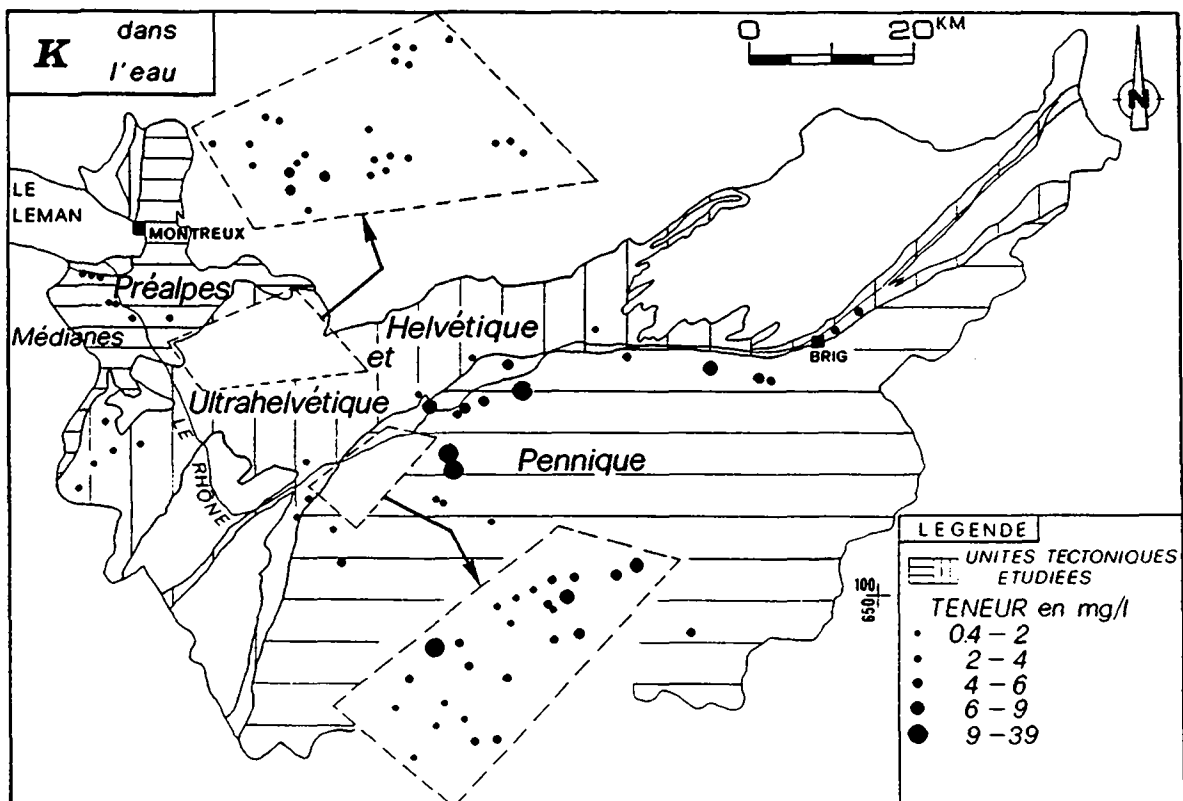


Figure 8.43 Répartition spatiale des teneurs en K des eaux

L'origine de la faible minéralisation en K des eaux est liée à la solubilité partielle de ce ion dans les gypses. En effet, nos différents essais de quantification des fractions soluble et insoluble des gypses ont montré que le K soluble ne correspond en moyenne qu'à 23 % de la teneur totale de ces roches en cet élément (au maximum 0,31 % poids de K de la roche totale) (fig.5.3, 5.4 et annexe 12).

Malgré cela, nos tests de lixiviation ont fait apparaître que la concentration en K soluble est souvent nettement plus importante dans les gypses que dans les autres roches du Trias (fig. 8.44). Elle résulte probablement de minéraux argileux d'origine détritique présents dans les roches sulfatées-calciques. A cet égard, une relation entre K et Mg des eaux a révélé un coefficient de corrélation de 0,58, qui tend à montrer que les argiles participent à la minéralisation en K des eaux (annexe 14). Quant au K insoluble des gypses, il peut être lié à l'existence de feldspaths détritiques dans ces roches (TOPKAYA, 1950).

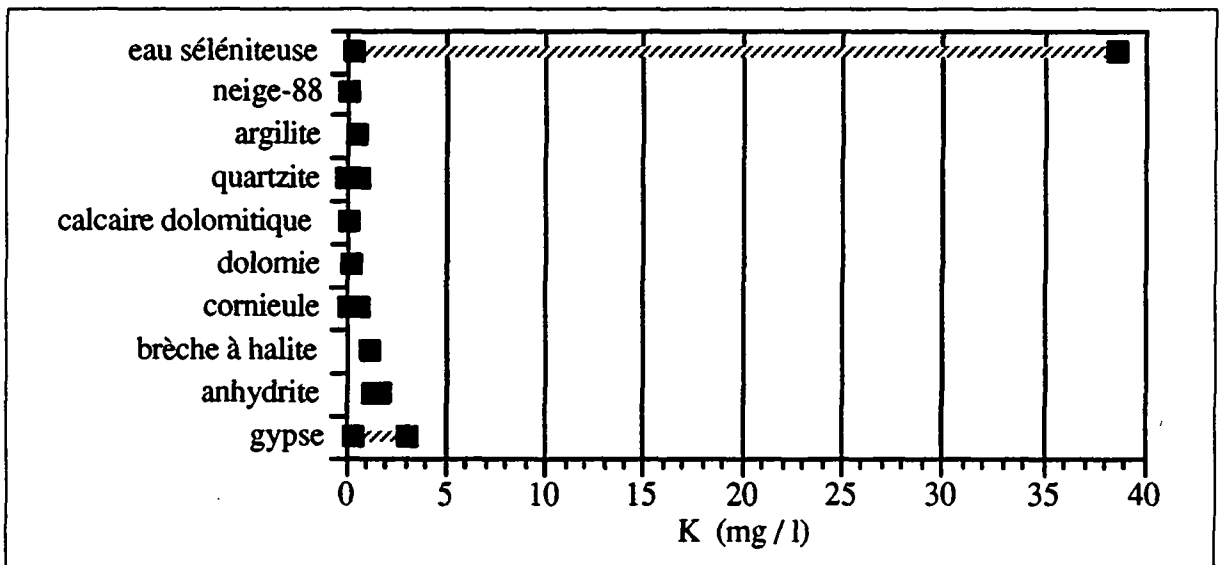


Figure 8.44 Ordre de grandeur des concentrations en K dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

Enfin, on ne doit pas totalement exclure la présence de quelques minéraux comme la carnallite ou la sylvine. Cependant, nous savons que ces minéraux sont plutôt rattachés à des formations de type sel gemme (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978).

8.2.11 Fluor

Les eaux froides des évaporites sont faiblement minéralisées en F: 80 % des sources ont dénoté des teneurs en F inférieures à 200 µg/l (fig. 8.45 et 8.46). Les paramètres descriptifs de notre échantillonnage ont fait apparaître une concentration moyenne de 130 µg/l avec une dispersion spatiale importante de 114 % et des valeurs extrêmes de 0 et 880 µg/l (tab. 8.1 et annexe 13).

L'histogramme des fréquences a une forme fortement asymétrique (fig. 8.45), liée principalement à la variabilité importante des valeurs en F.

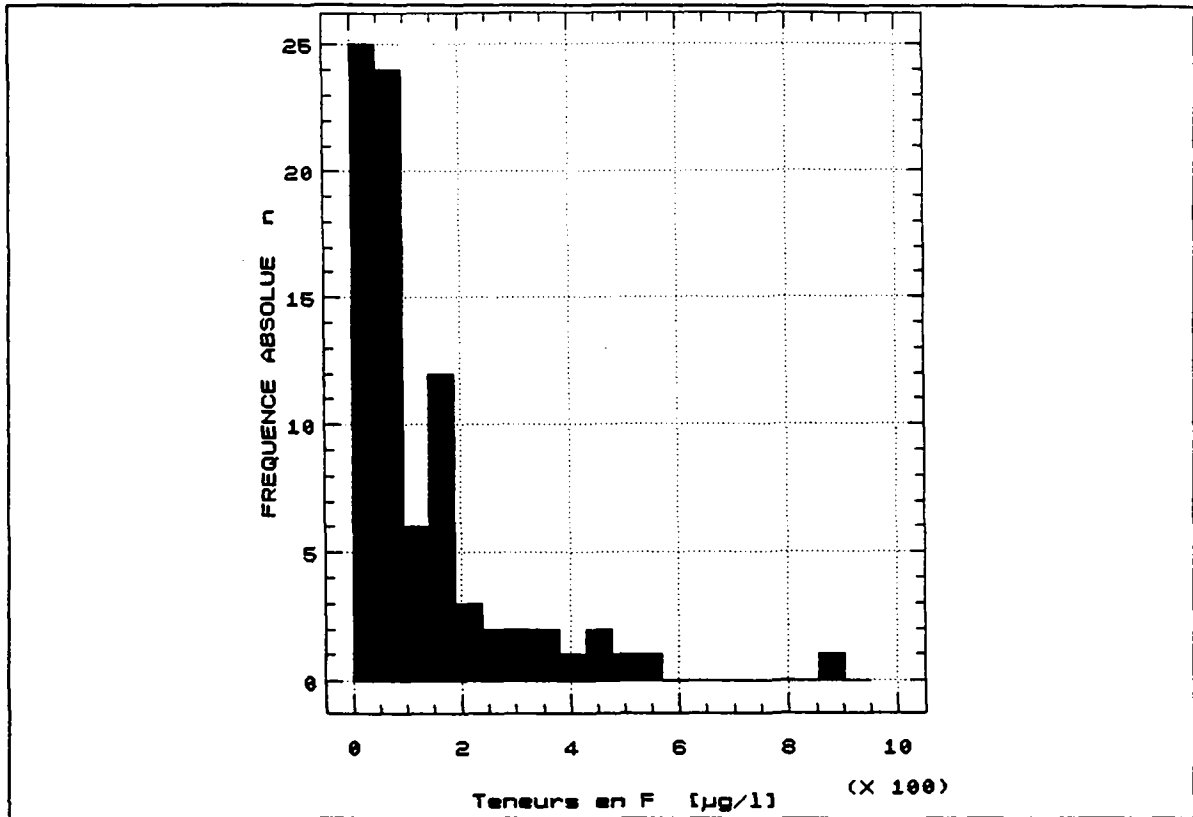


Figure 8.45 Histogramme des fréquences des teneurs en F des eaux ($n = 83$)

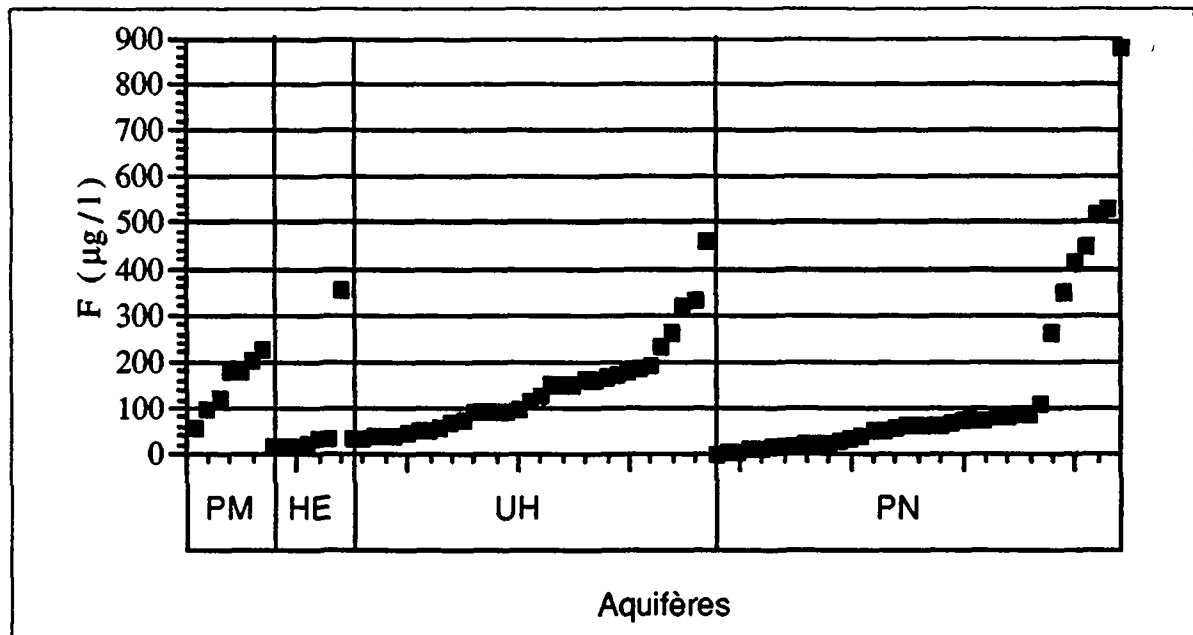


Figure 8.46 Série ordonnée des teneurs en F des eaux

Seules trois sources froides, situées dans le Pennique, ont dévoilé des anomalies en F de l'ordre de 0,52 à 0,88 mg/l (fig. 8.47). Il s'agit des points d'eau de Salins (Chalèdo B) et de Poutafontana A et B (fig. 4.1 et annexe 1).

La carte de répartition spatiale a également montré que les eaux chaudes des évaporites sont plus minéralisées en F. En effet, les sources de Val d'Illiez, Bains de Leytron et de Combioula ont révélé des valeurs comprises entre 1,4 et 1,85 mg/l (fig. 8.47).

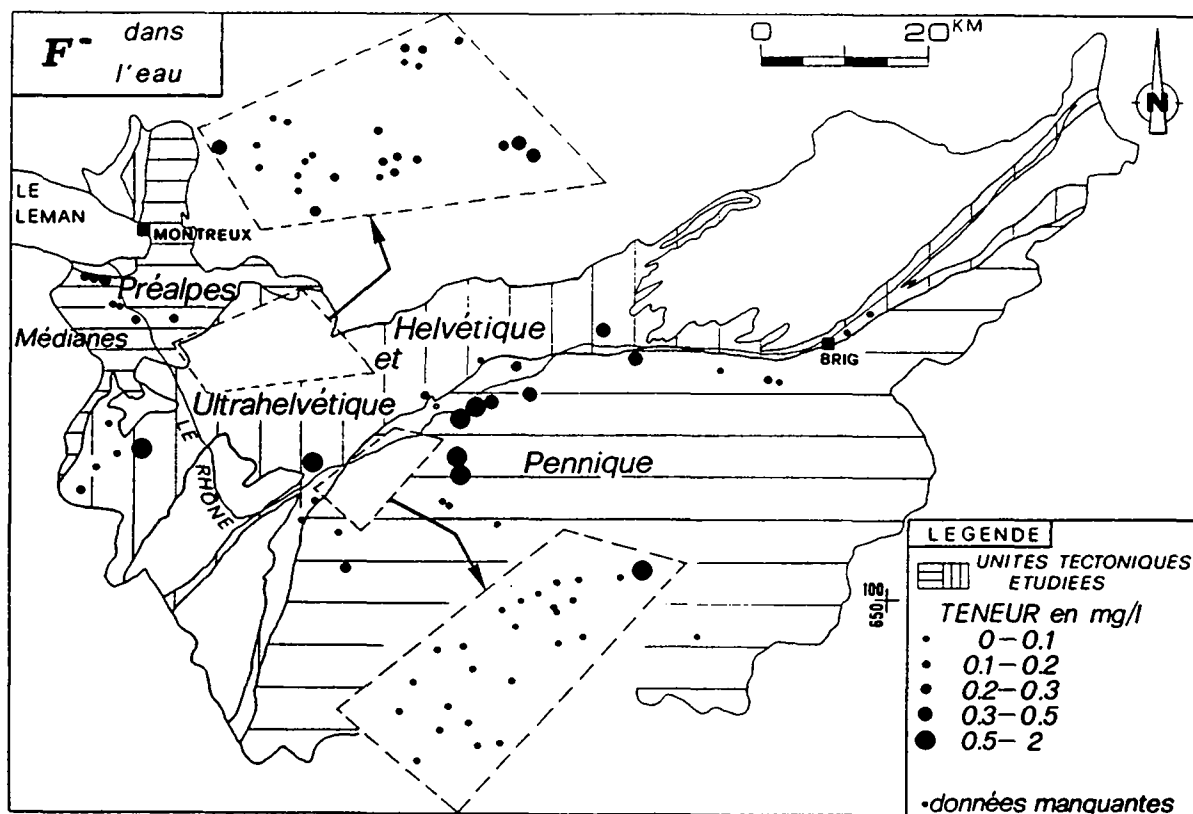


Figure 8.47 Répartition spatiale des teneurs en F des eaux

La présence du F dans les eaux séléniteuses est probablement liée à celle de la fluorine diagénétique (CaF_2) et ou de la fluorapatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) souvent répandues dans les formations évaporitiques du Trias (KORITNIG, 1951; HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978; MATOUSEK, 1985; BAUD, 1987). Cependant, on peut aussi dans certains cas lui attribuer une origine hydrothermale, dont l'épilogue se réalise dans les formations triasiques en contact avec celles du socle (GRASMÜCK, 1961).

Les teneurs plus élevées en F dans les eaux de notre réseau sont liées à des aquifères évaporitiques profonds comme Combioula.

Nos essais avec PHREEQE ont montré que la fluorine est toujours nettement sous-saturée dans les eaux froides. Ce n'est cependant pas le cas avec les eaux chaudes, puisque ce minéral s'est montré pratiquement en équilibre avec les eaux des Bains de Leytron et de Combioula (annexe 9).

8.2.12 Bore

Le bore n'est présent qu'en trace dans les eaux froides. En effet, les teneurs varient entre 0 et 94 $\mu\text{g/l}$. Près de 80 % des sources ont dénoté des teneurs en B inférieures à 50 $\mu\text{g/l}$ (fig. 8.48). La valeur moyenne de 27,4 $\mu\text{g/l}$ est caractérisée par une dispersion spatiale de 84 % à l'échelle du Bassin rhodanien (tab. 8.1 et annexe 13).

L'histogramme des fréquences des teneurs en B fait essentiellement ressortir deux populations: l'une comprenant les sources avec des valeurs s'échelonnant entre 0 et 50 $\mu\text{g/l}$, la seconde celles avec des teneurs variant entre 50 et 94 $\mu\text{g/l}$ (fig. 8.48 et 8.49).

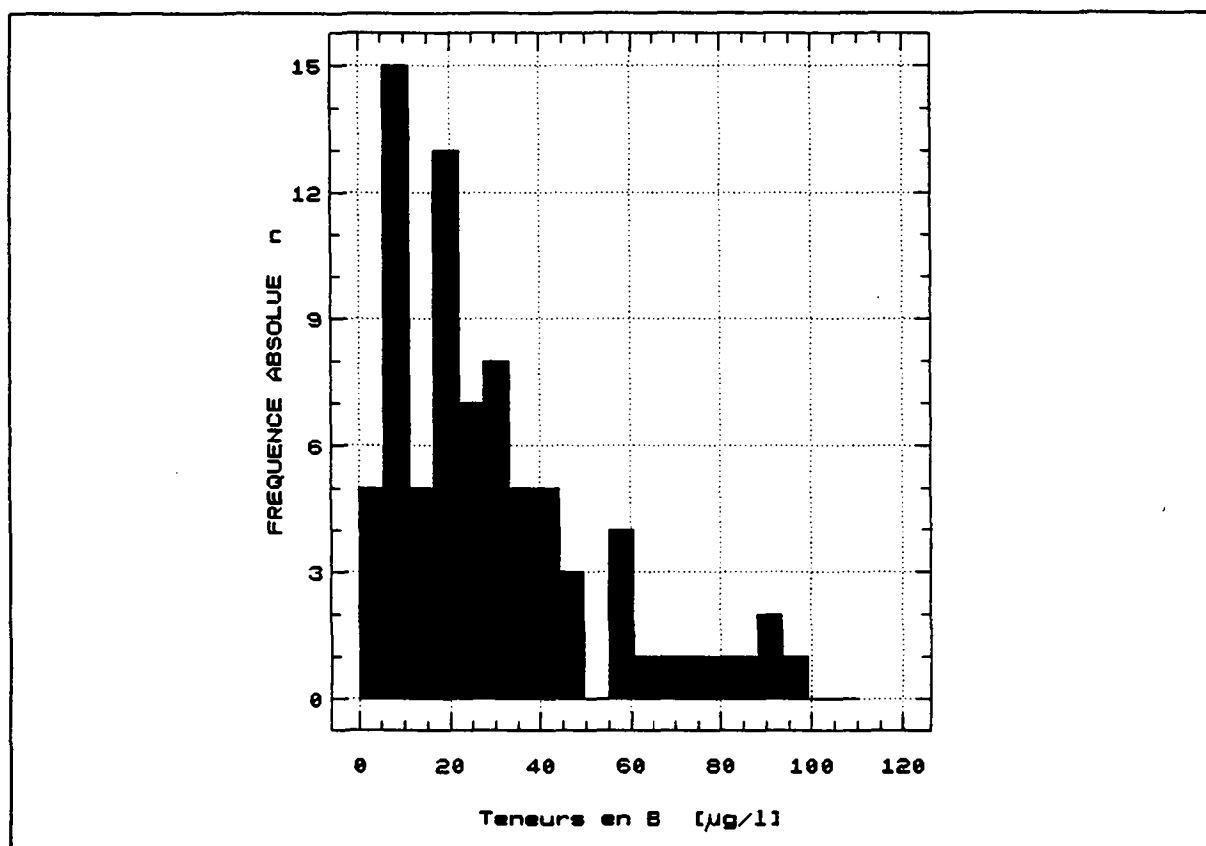


Figure 8.48 Histogramme des teneurs en B des eaux ($n = 83$)

Cette deuxième population concerne principalement les unités préalpine et ultrahelvétique. Dans les Préalpes Médiannes, elle englobe les points d'eau sis entre Saint-Gingolph, Le Grammont, Porte du Sex et Yvorne (sources n° 1 à 13). Dans l'Ultrahelvétique, elle rassemble les sources situées entre l'Avançon, Villars et Ollon (sources n° 24 à 26) (fig. 8.50).

La carte de répartition spatiale des teneurs en B fait en outre ressortir que les valeurs nettement plus élevées sont liées aux émergences chaudes des évaporites. Il s'agit surtout des sources thermales de Val d'Illiez et de Combioula, où nous avons mesuré des concentrations en B de l'ordre de 0,7 à 1,5 mg/l (fig. 8.50).

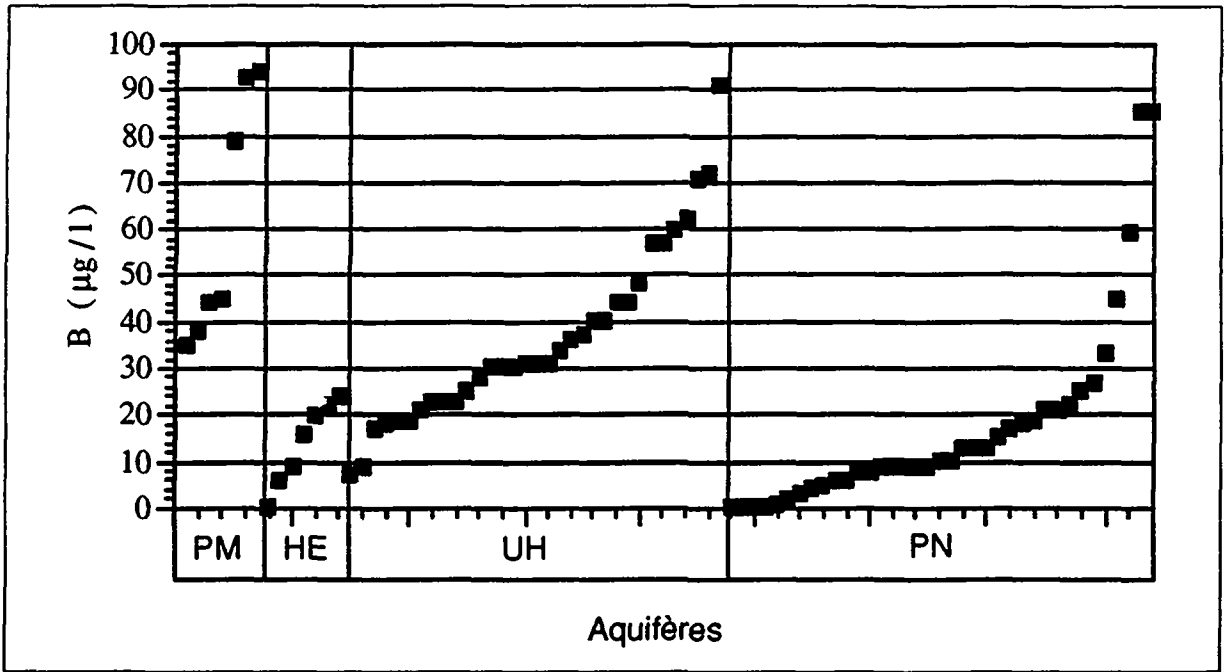


Figure 8.49 Série ordonnée des teneurs en B des eaux

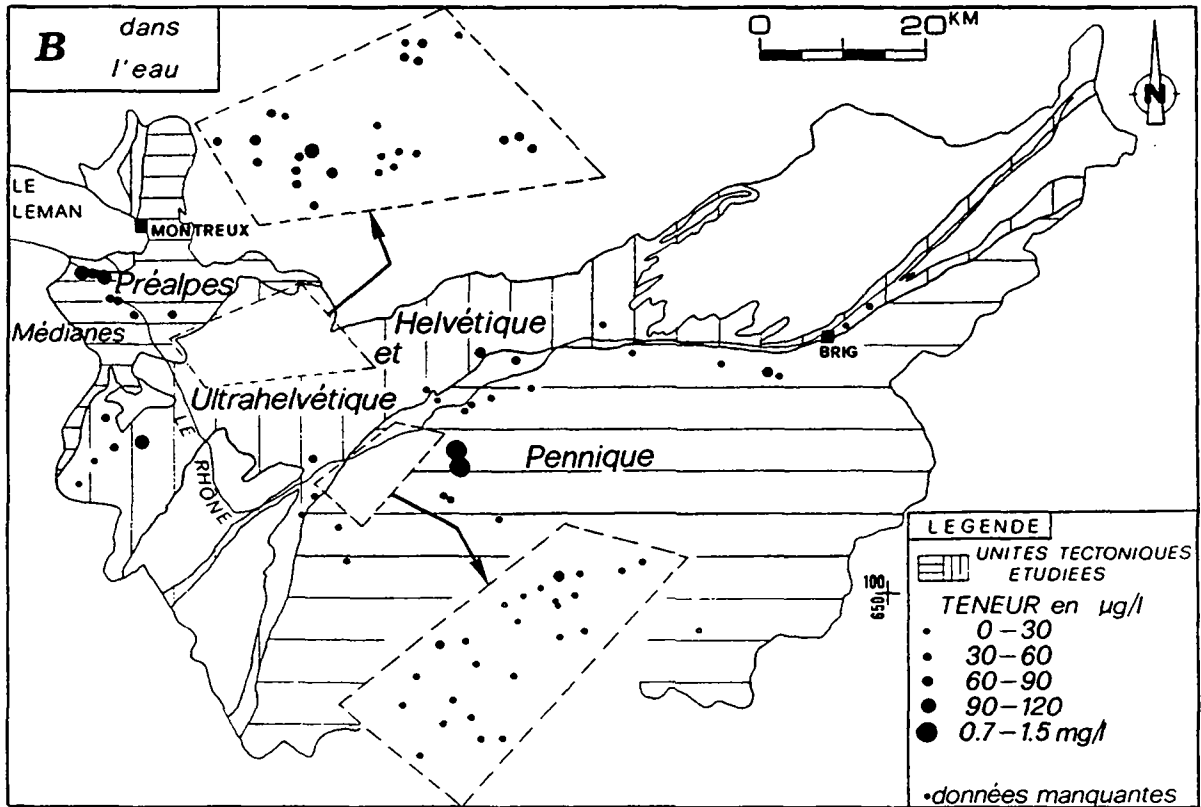


Figure 8.50 Répartition spatiale des teneurs en B des eaux

Nous avons peu d'informations sur l'origine du B dans les eaux séléniteuses. Cependant, il ressort de nos investigations que:

- La boracite ($Mg_3ClB_7O_{13}$) est un minéral caractéristique des gypses, des anhydrites et du sel gemme (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978).
- Dans les formations évaporitiques actuelles, le B est connu comme composé des sels de potassium, des sels de fluorures ou même encore des argiles authigènes (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978).
- B peut aussi provenir de la tourmaline $((Na,Ca)(Li,Mg,Al)-(Al,Fe,Mn)_6(BO_3)_3(Si_6O_{18})(OH)_4)$. En effet, il est l'un des composants de ce minéral que l'on peut trouver dans les formations évaporitiques de notre région d'étude. Son origine résulte essentiellement d'une diagenèse ancienne. Il se rencontre donc très souvent comme minéral authigène dans les sédiments du Trias (BAUD, 1987). Dans le cadre de l'étude des corrélations interparamètres, deux seuls éléments sont apparus plus ou moins liés avec le B: Na et Li (annexe 14). Ces trois ions peuvent être des composants de la tourmaline. Nous avons obtenu des coefficients de 0,39 entre B et Na et de 0,48 entre B et Li. Bien que ces relations n'aient pas été des meilleures, elles tendent néanmoins à montrer que ces trois éléments coexistent puisque nous avons aussi déterminé un coefficient de corrélation de 0,6 entre Na et Li.

En étudiant comparativement les teneurs en F et B (fig. 8.47 et 8.50) des sources chaudes de Val d'Illicz, Bains de Leytron et Combioula, nous constatons qu'ils peuvent coexister dans des systèmes profonds, où la température atteint au moins 25°C. Proportionnels en général à ce paramètre, F et B sont considérés comme des géothermomètres (VUATAZ, 1982).

8.2.13 Lithium

Les teneurs en Li des eaux froides sont faibles (fig. 8.53). La valeur moyenne a été de 27,1 µg/l avec une dispersion spatiale assez homogène de 54 % pour l'ensemble du réseau (tab. 8.1). Les valeurs extrêmes ont été de 1 et 109 µg/l (annexe 13).

A part trois valeurs supérieures à 50 µg/l, l'histogramme des fréquences des teneurs en Li fait ressortir une seule population qui regroupe donc pratiquement la totalité des sources froides (fig. 8.51 et 8.52).

La carte de répartition spatiale des teneurs en Li des eaux froides ne fait pas apparaître d'anomalies importantes (fig. 8.53). Les sources des Préalpes Médiannes, de l'Helvétique et de l'Ultraschévétique présentent une très faible hétérogénéité à l'échelle de chaque unité (fig. 8.53 et annexe 13). Dans le Pennique, la dispersion spatiale est plus conséquente et atteint 67 %, notamment à cause des trois valeurs supérieures à 50 µg/l (fig. 8.52).

Nos observations ont montré des teneurs élevées en Li aux sources chaudes des évaporites: notamment les sources de Val d'Illicz et de Combioula (fig. 8.53). C'est ainsi que nous avons détecté jusqu'à 1,14 mg/l de Li dans l'eau fortement minéralisée du forage de Combioula (source n° 98). Soulignons que Li est en général considéré comme un géothermomètre (VUATAZ, 1982).

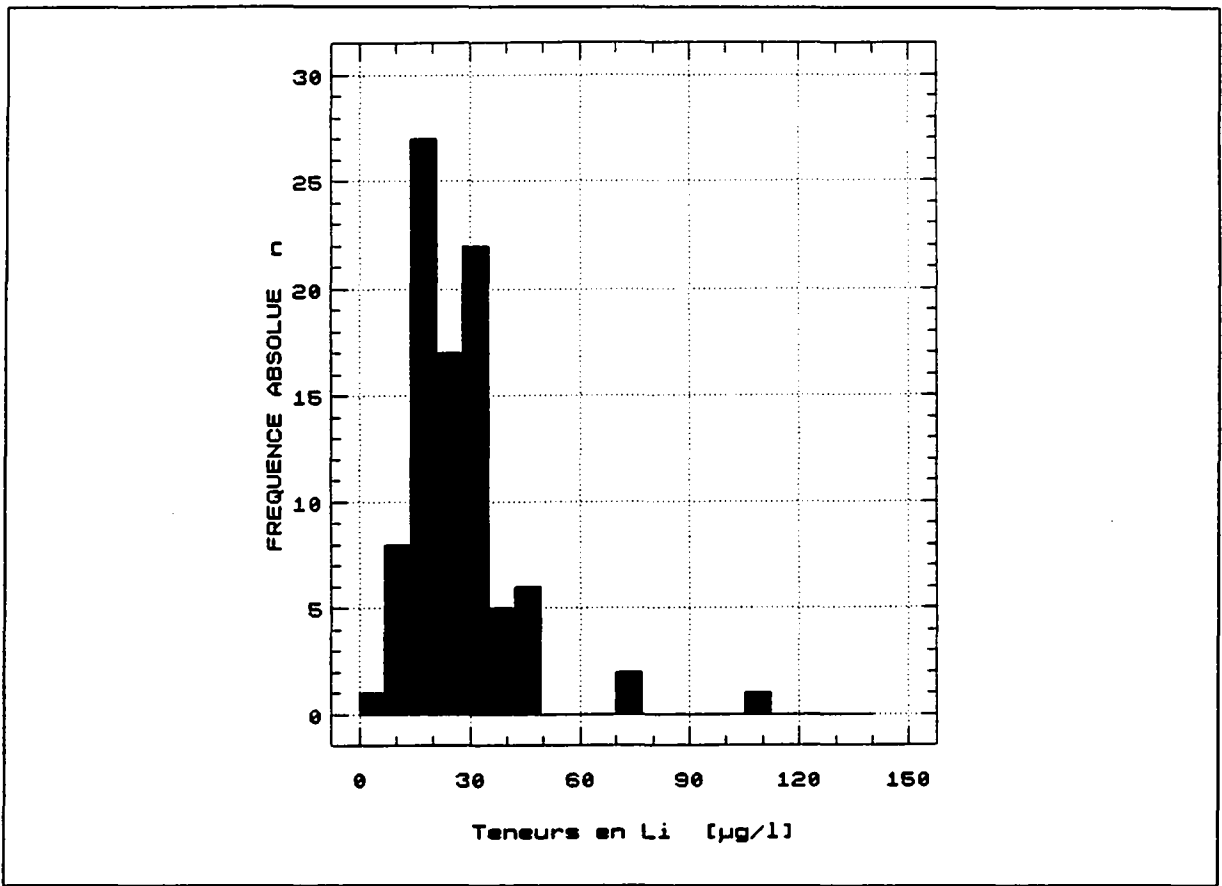


Figure 8.51 Histogramme des fréquences des teneurs en Li des eaux ($n = 89$)

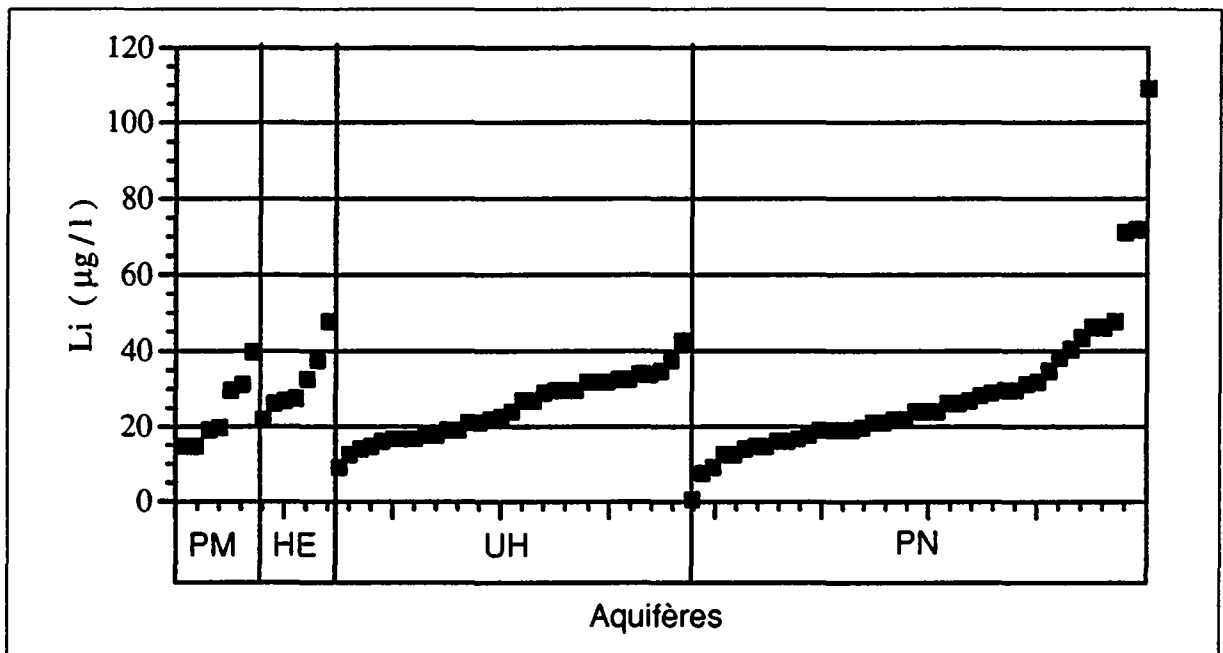


Figure 8.52 Série ordonnée des teneurs en Li des eaux

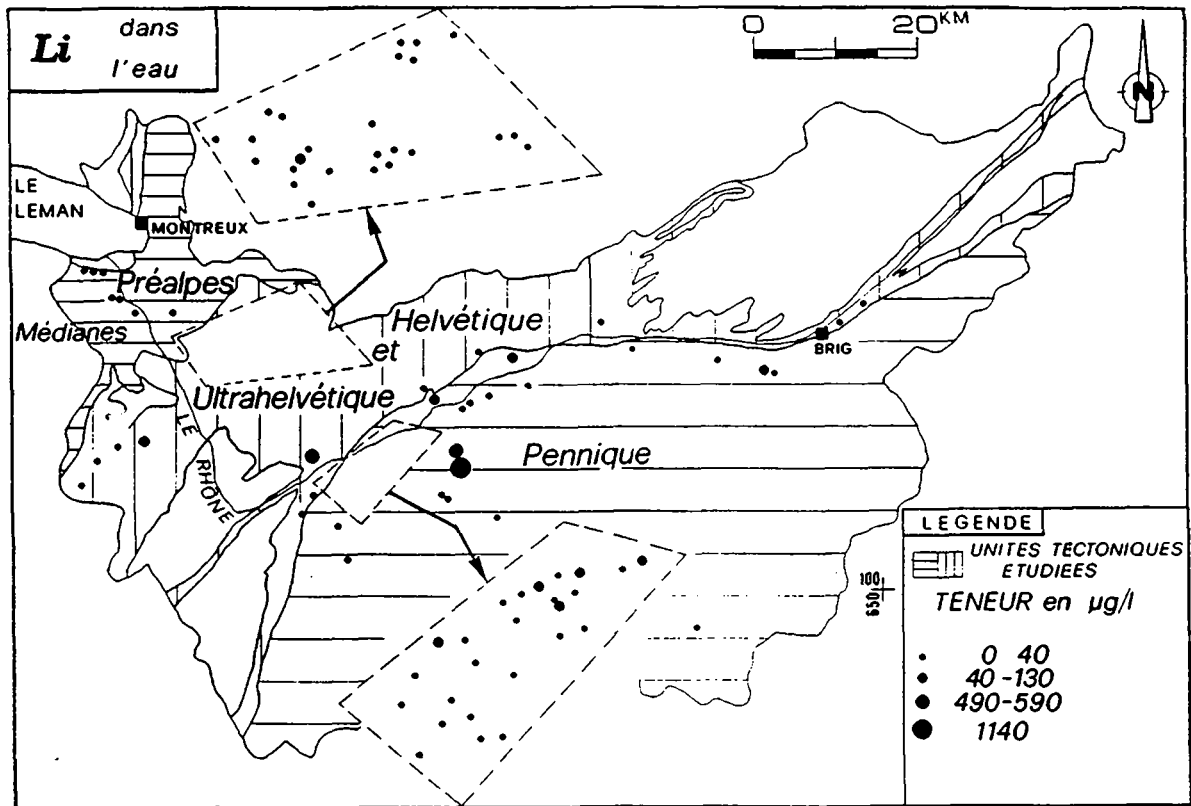


Figure 8.53 Répartition spatiale des teneurs en Li des eaux

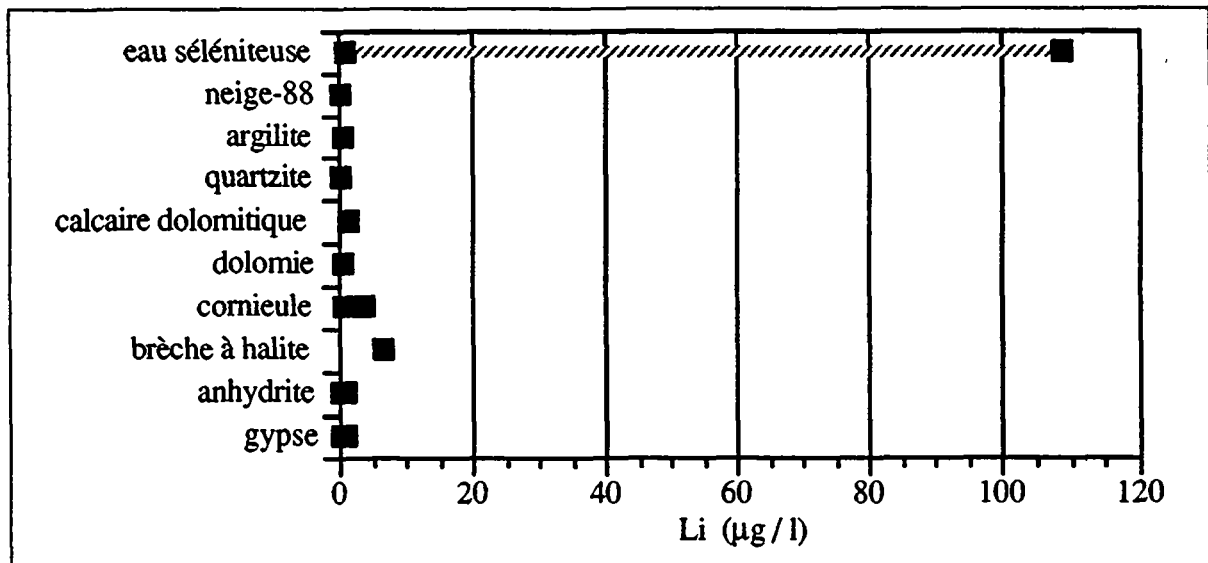


Figure 8.54 Ordre de grandeur des concentrations en Li dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

Il est difficile de déterminer de manière sûre l'origine du Li dans les eaux des évaporites. Nous proposons plusieurs solutions qui peuvent aussi se réaliser simultanément. Dans un premier temps, on peut la rattacher à des formations aquifères du Trias. Nos tests de lixiviation ont ainsi montré que (fig. 8.54):

- 1) La teneur en Li s'est révélée d'une manière générale plus élevée dans les cornieules que dans la plupart des autres roches analysées. Un coefficient de corrélation entre Mg et Li des eaux de 0,63 tend à indiquer que Li peut dépendre de cette roche calcaréo-dolomitique (annexe 14) ou des argiles de décomposition, se trouvant dans ce type de lithologie.
- 2) Le Li est certainement lié au sel gemme. En effet, nous avons détecté une importante quantité de Li dans la brèche à halite (fig. 5.9). En plus, les teneurs élevées en Li corrélées à celles en Na et Cl des sources de Combioula sont là pour le prouver (fig. 8.26, 8.27 et 8.53).

L'origine du Li peut aussi provenir de minéraux comme la tourmaline ou de minéraux argileux souvent répandus dans les roches évaporitiques (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978).

8.2.14 Rubidium

Rb est avec Sc l'un des éléments en trace avec un coefficient de dispersion spatiale inférieur à 50 % (tab.8.1). Les caractéristiques statistiques ont dévoilé une concentration moyenne en Rb de 18,3 $\mu\text{g/l}$ et des valeurs extrêmes de 2,3 et 53,3 $\mu\text{g/l}$ (annexe 13). La teneur la plus élevée a été mesurée dans les PM (fig. 8.56).

Cette homogénéité a également été révélée par l'histogramme des fréquences des teneurs en Rb (fig. 8.55) montrant une seule et unique population (distribution normale légèrement asymétrique).

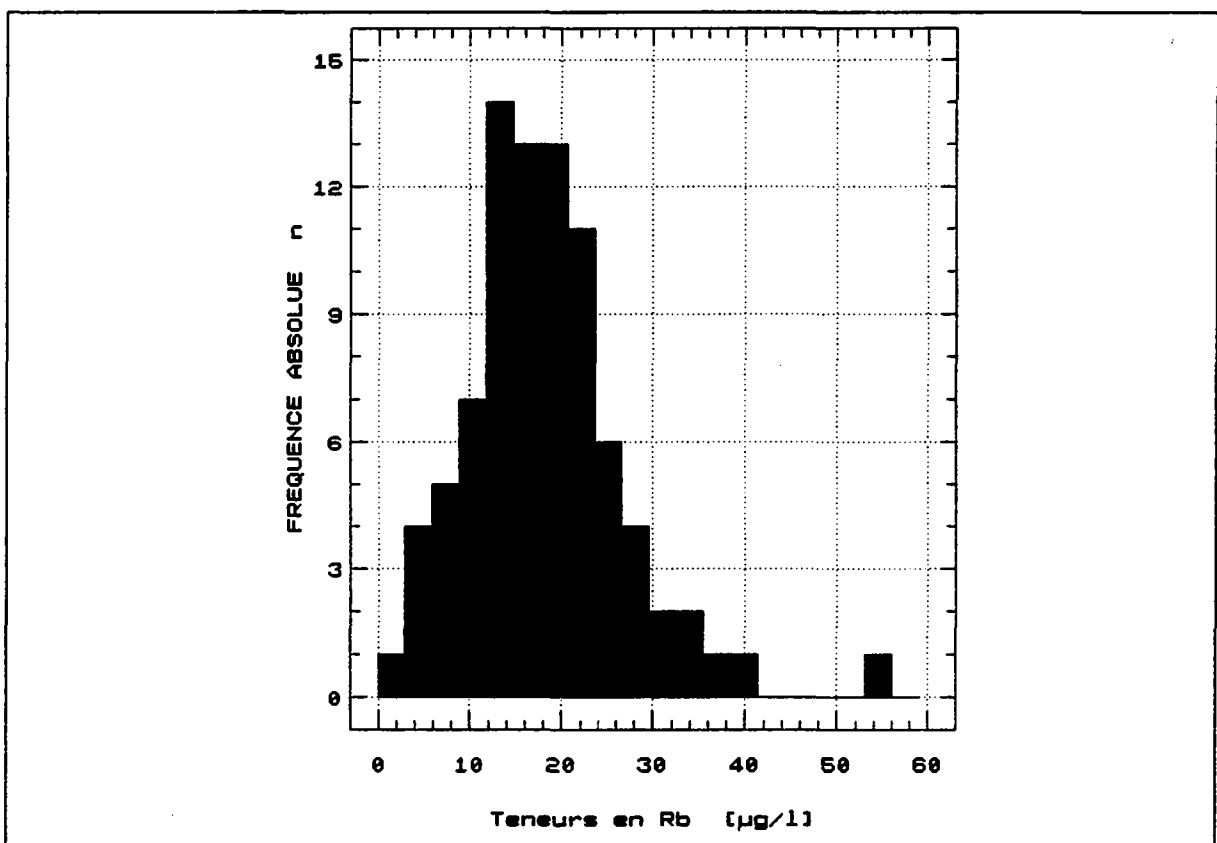


Figure 8.55 Histogramme des fréquences des teneurs en Rb des eaux ($n = 85$)

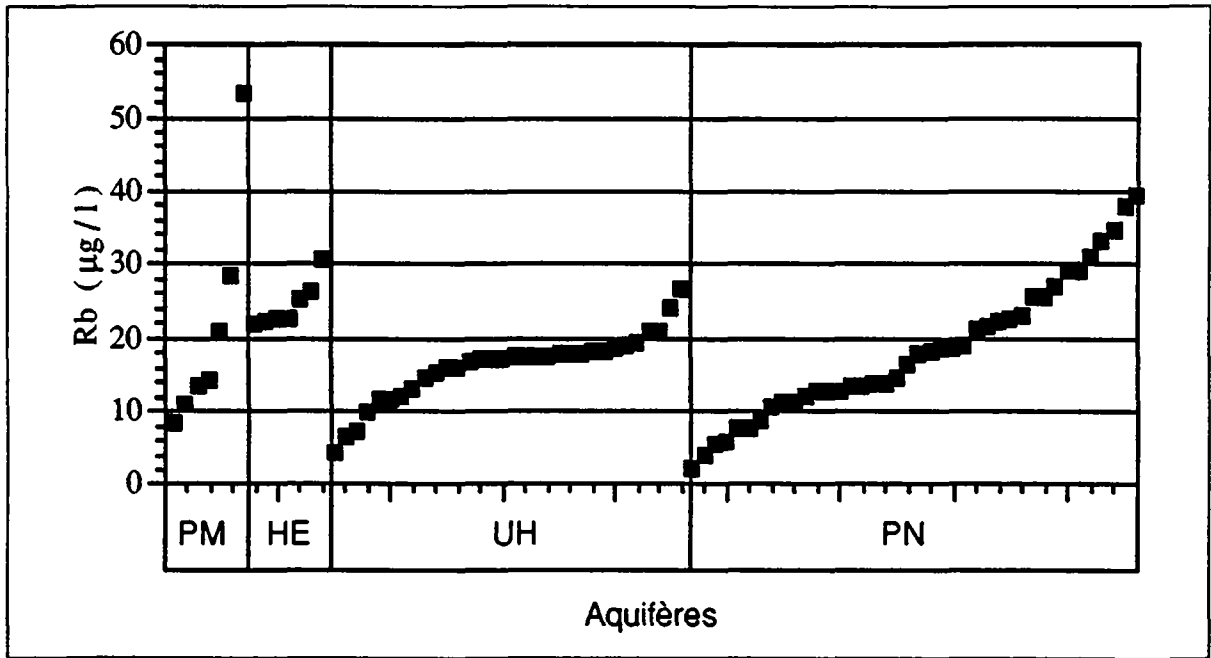


Figure 8.56 Série ordonnée des teneurs en Rb des eaux

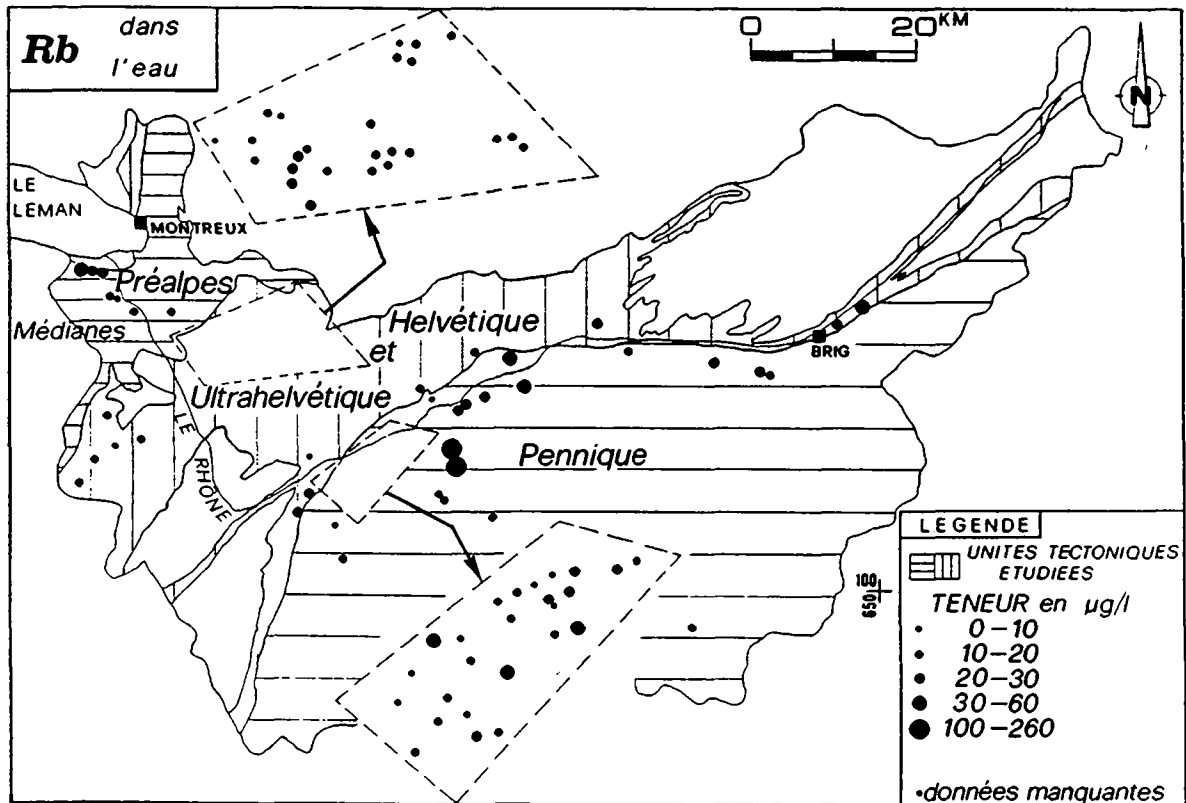


Figure 8.57 Répartition spatiale des teneurs en Rb des eaux

La carte de répartition des teneurs en Rb ne fait pas ressortir d'anomalie géochimique notable. Toutes les sources froides contiennent Rb (fig. 8.57).

Les sources de Combioula sont par contre marquées par des concentrations en Rb plus élevées variant entre 100 et 260 $\mu\text{g/l}$ (fig. 8.57).

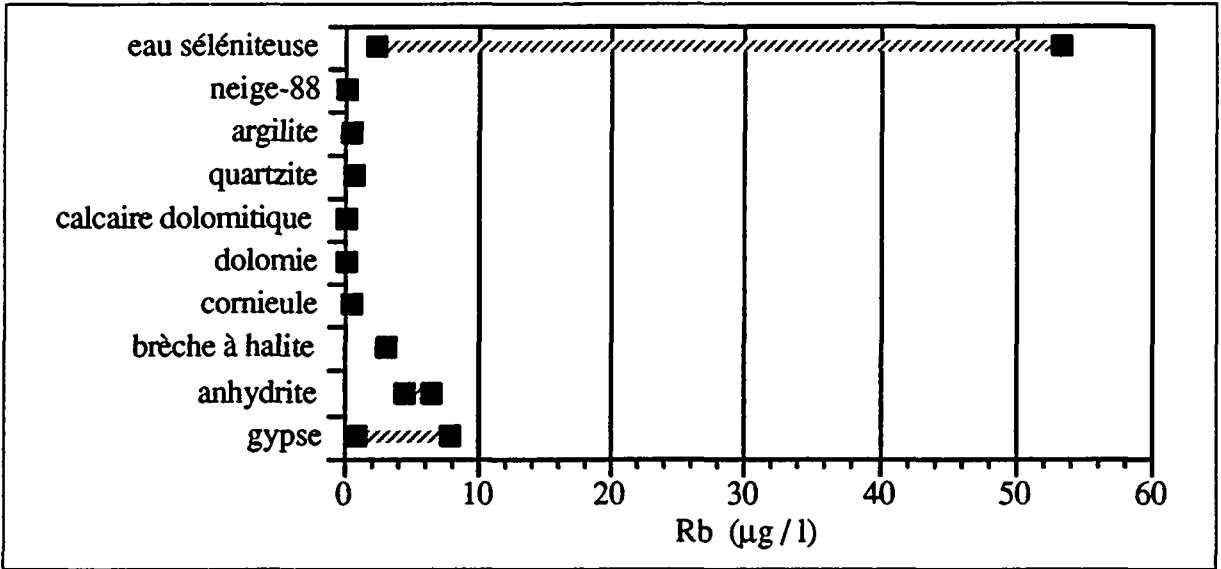


Figure 8.58 Ordre de grandeur des concentrations en Rb dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

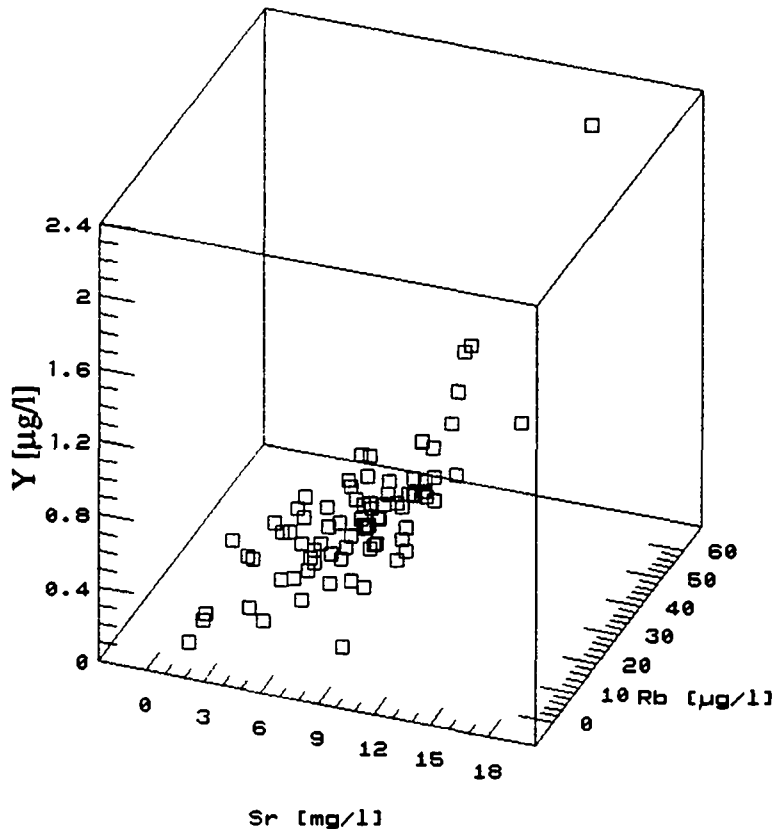


Figure 8.59 Relation Sr-Rb-Y dans les eaux

L'origine du Rb dans les eaux froides semble être rattachée aux roches sulfatées-calciques. En effet, les lixiviats de gypses en particulier, des anhydrites et dans une moindre mesure de la brèche à halite se sont distingués par des teneurs en Rb plus élevées que celles des autres roches du Trias: soit carbonates, quartzites et argilites (fig. 8.58).

L'étude des corrélations interparamètres a en outre révélé de bonnes relations entre Rb–Sr et Rb–Y (fig. 8.59). Les coefficients de corrélation ont été de l'ordre de 0,7 (annexe 14). Nous pouvons en déduire que Rb et Y, présents en traces dans les eaux des évaporites, coexistent avec Sr dans les gypses. On trouve encore des corrélations de l'ordre de 0,5 entre Rb–SO₄ et Y–SO₄ (annexe 14).

Rb est aussi connu dans des gisements de halite (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978). Ceci peut expliquer les teneurs plus élevées notées aux sources de Combioula.

8.2.15 Iode

A l'échelle du Bassin rhodanien, I est apparu avec une très grande dispersion spatiale: 359 % (tab. 8.1). Seuls Zn et NO₃ ont enregistré une variabilité comparable. Elle est due à une étendue des valeurs en I très importante, dont les extrêmes ont été 0 et 570 µg/l (annexe 13). La valeur moyenne des concentrations en I a été de 18,2 µg/l. C'est au sein de l'unité ultrahelvétique que les variations spatiales des teneurs en I des eaux froides ont été les plus élevées, soit près de 330 %. Pour les sources des Préalpes Médiannes, de l'Helvétique et du Pennique, la dispersion est également élevée et atteint près de 200 %.

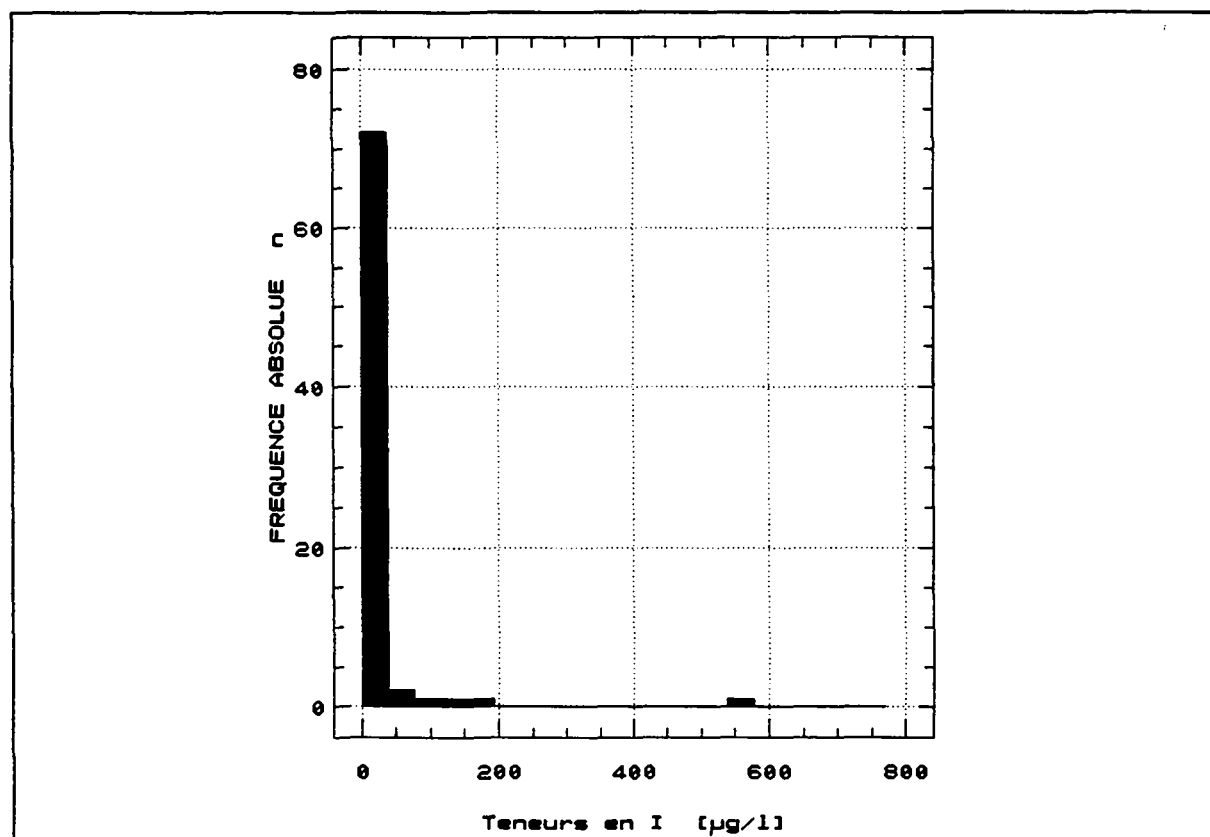


Figure 8.60 Histogramme des fréquences des teneurs en I des eaux (n = 85)

Hormis une dizaine de valeurs comprises entre 20 et 200 $\mu\text{g/l}$ et une très importante de 571 $\mu\text{g/l}$ (fig. 8.60), l'histogramme des fréquences dénote essentiellement une seule population (fig. 8.60 et 8.61). Elle englobe 50 % des sources, dont les concentrations en I sont situées en-dessous de 10 $\mu\text{g/l}$. I représente donc bien un élément en trace dans les eaux étudiées.

D'une manière générale, les émergences penniques contiennent moins de I que celles des autres unités tectoniques (fig. 8.61 et 8.62). Ainsi, des Mayens-de-Riddes à Salins (fig. 4.1: zone 2, annexe 1), la plupart des sources révèlent des valeurs très faibles variant surtout entre 0 et 5 $\mu\text{g/l}$. Dans les trois autres édifices structuraux, nous avons noté dans l'ensemble des concentrations comparables, sauf pour trois points d'eau montrant des teneurs nettement plus élevées (fig. 8.62):

- la source Bach Platraire (source n° 10) près des Evouettes dans les Préalpes Médiannes,
- la source Fontaine de Saint-Martin (source n° 50) au-dessus de Leuk-Stadt dans l'Helvétique,
- la source Abefet (source n° 33) au-dessus de Gryon dans l'Ultraschévétique.

La carte de répartition spatiale des teneurs en I des eaux des évaporites fait en outre ressortir des valeurs élevées en I aux sources chaudes de Val d'Illicz et de Combioula (fig. 8.62). En effet, elles ont dénoté des concentrations en I variant entre 1,6 (Val d'Illicz) et 10,1 mg/l (Combioula).

La faible teneur en I dans les eaux séléniteuses froides peut s'expliquer par la quasi absence de ce ion dans la fraction soluble des différents gypses analysés. Des résultats similaires ont été également observés pour les autres roches triasiques (fig. 8.64). En effet, les concentrations en I ont été rarement supérieures à 1 ppm (voir chap. 5). Les raisons de cette faible minéralisation en I peuvent être rattachées au fait:

- soit que les iodures comme les chlorures ont été lessivés par les eaux au cours du temps, puisqu'il s'agit là de sels hautement solubles,
- soit que ce ion est un élément rare dans les roches sulfatées-calciques du Trias rhodanien.

Quant aux valeurs plus élevées observées aux trois sources froides citées ci-dessus, nous pouvons émettre l'hypothèse suivante: l'iode peut provenir des précipitations. Cette présence dans l'atmosphère est probablement liée à des pollutions industrielles. En effet, nous avons constaté que les neiges prélevées en hiver 1988 dans les régions de Morgins et de Gryon (annexe 4) avaient des teneurs en I de l'ordre de 5,2 à 7,4 $\mu\text{g/l}$. Elles sont plus élevées que celles mesurées dans les différents lixiviats (fig. 8.63) et que la plupart de celles relevées dans les eaux froides. Par exemple, dans ce deuxième cas, près de 63 % des sources ont dévoilé des concentrations en I inférieures à 7,4 $\mu\text{g/l}$. Ainsi, la source Bach Platraire doit probablement contenir du I découlant des produits de combustion passés dans l'atmosphère et provenant de l'usine d'incinération de Collombey dans le Bas-Valais. Les sources de la région Ollon-Villars (fig. 8.62), qui dénotent des teneurs en I légèrement plus hautes que dans d'autres bassins, peuvent aussi être touchées par cette pollution. En effet, la situation géographique de ces points d'eau autorise une telle possibilité. De la même manière, on peut attribuer les concentrations quelque peu élevées des sources de Fontaine de Saint-Martin et dans une moindre mesure de Muellacheren (fig. 4.1 et annexe 1) aux émanations chimiques dégagées par des industries importantes implantées dans la région de Sierre.

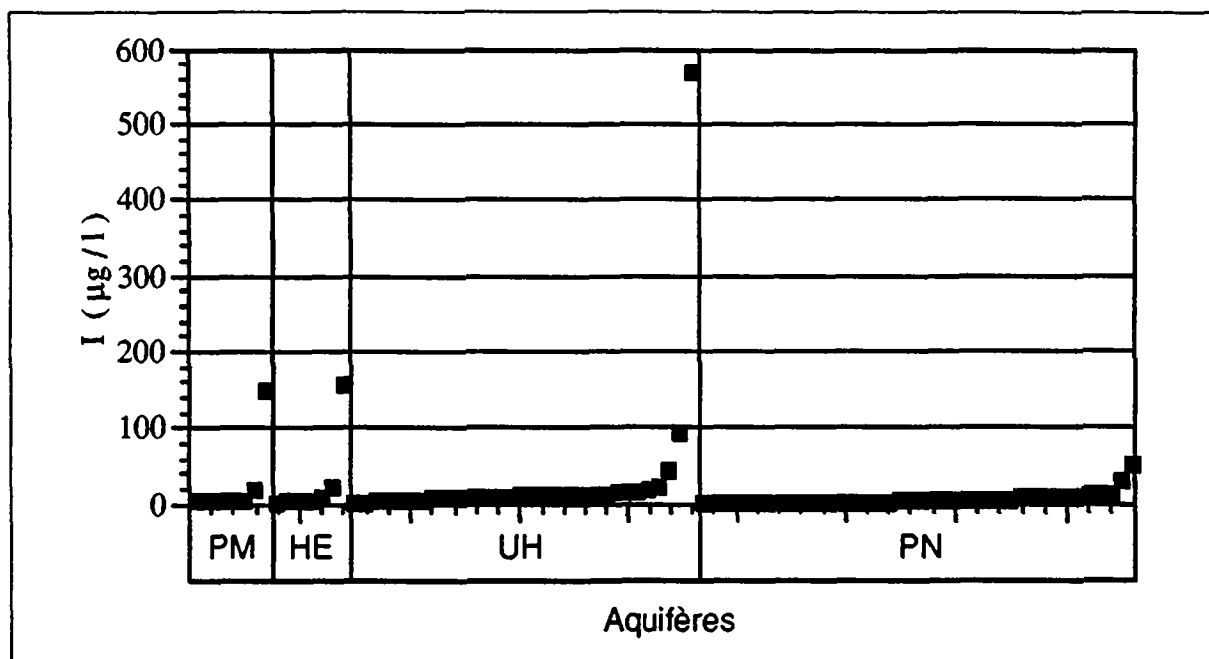


Figure 8.61 Série ordonnée des teneurs en I des eaux

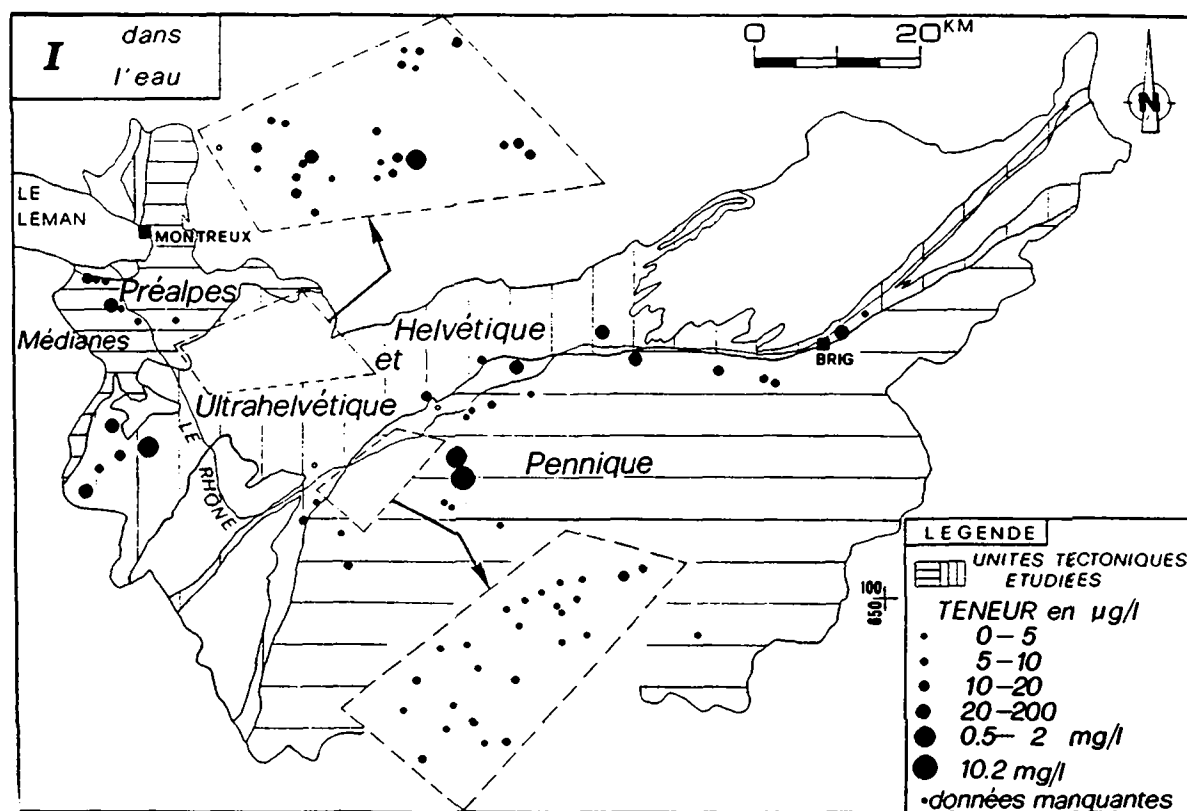


Figure 8.62 Répartition spatiale des teneurs en I des eaux

Nous avons aussi constaté, sans pouvoir l'expliquer, que l'iode était présent dans les eaux froides et chaudes riches en H₂S:

- source froide: Abefet (n° 33),
- sources chaudes: Val d'Iliez (n° 63) et Combioula (n° 98).

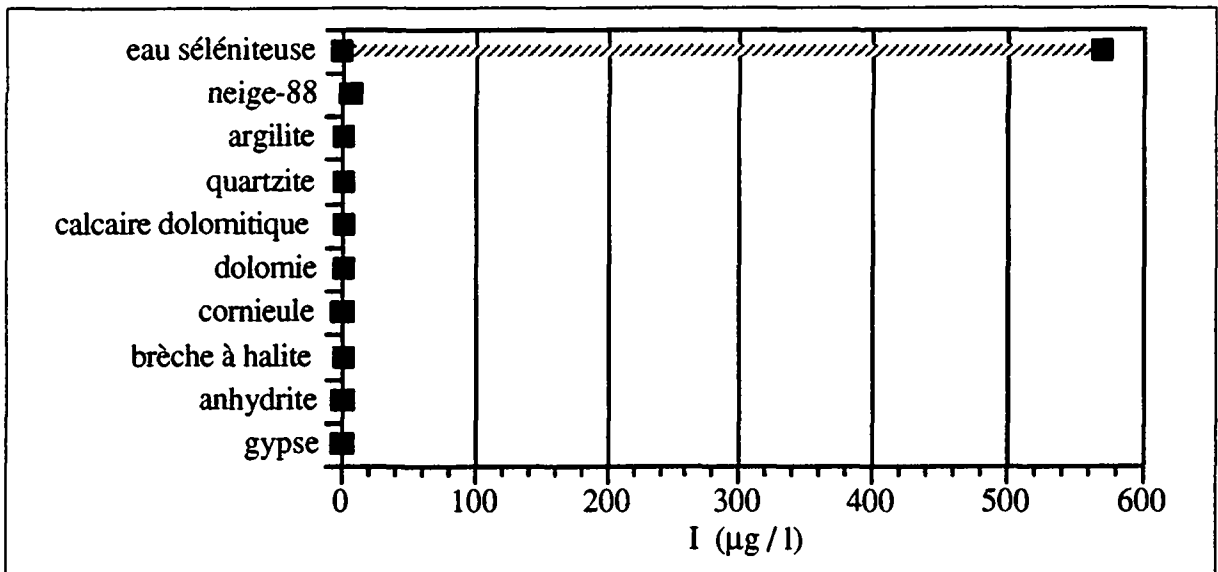


Figure 8.63 *Ordre de grandeur des concentrations en I dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques*

Cependant, une présence aussi importante de ce ion dans l'eau fortement chlorurée et sodique de Combioula doit indiquer également qu'il est lié à des formations de sel gemme.

8.2.16 Aluminium

Les caractéristiques descriptives ont révélé une teneur moyenne en Al de 16,4 µg/l pour les eaux froides. Les valeurs extrêmes ont été de 0 et 93,8 µg/l. La valeur de la dispersion spatiale pour l'ensemble des points d'eau du bassin a été de 91 % (tab. 8.1 et annexe 13).

L'histogramme des fréquences des teneurs en Al présente une seule population qui rassemble près de 95 % des sources avec des valeurs variant entre 0 et 34 µg/l. Cinq valeurs seulement ont été nettement supérieures (fig. 8.64, 8.65 et 8.66).

La carte de répartition spatiale semble faire apparaître des valeurs en Al plus importantes dans les unités préalpine et pennique (fig. 8.65 et 8.66): les concentrations moyennes se sont avérées supérieures à celles observées dans les autres unités (annexe 13). C'est notamment le cas des sources Bach Platraire (source n° 10) et du Tzeppé (source n° 67) avec 93,8, respectivement 68,2 µg/l (fig. 8.66).

Seule l'eau chaude du forage artésien de Combioula a donné une valeur légèrement supérieure: 116,6 µg/l (fig. 8.66).

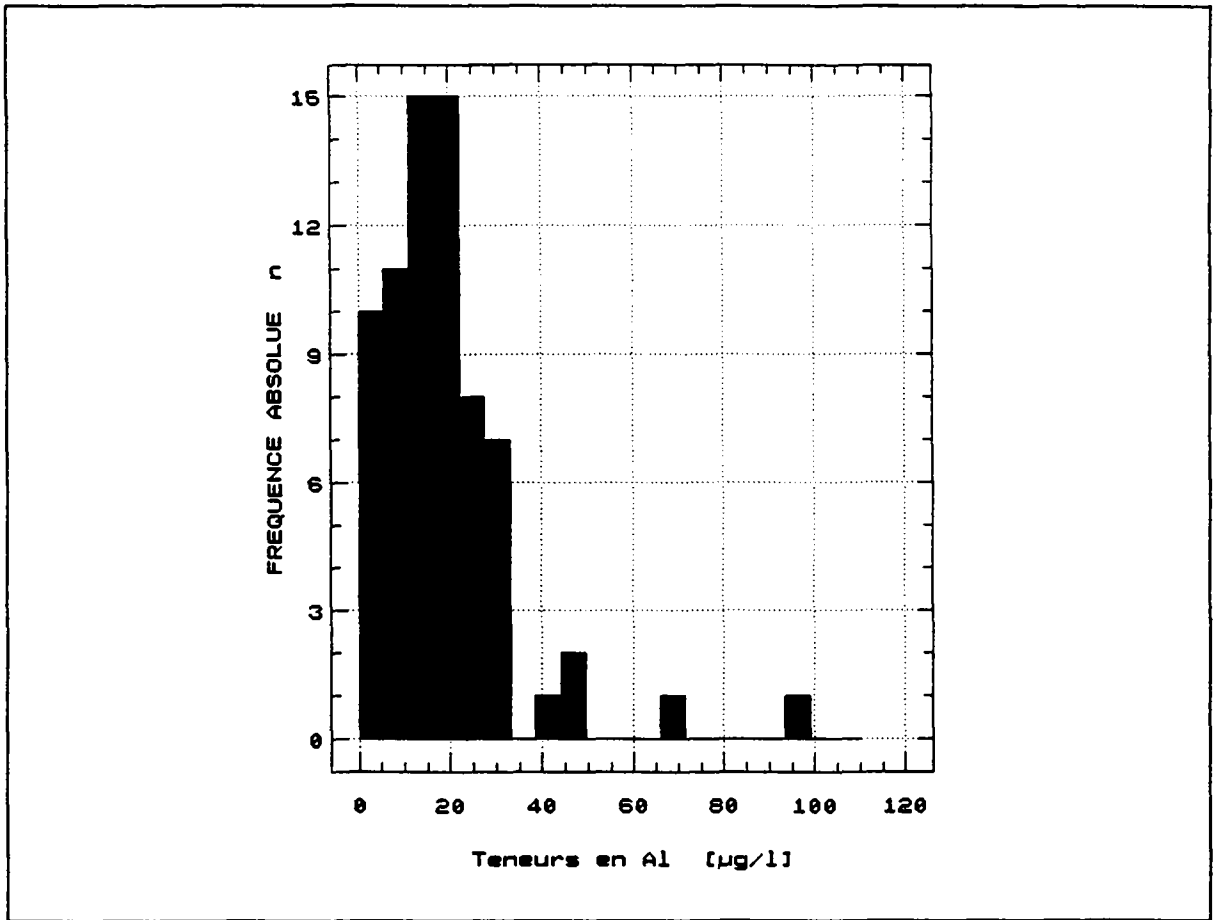


Figure 8.64 Histogramme des fréquences des teneurs en Al des eaux ($n = 85$)

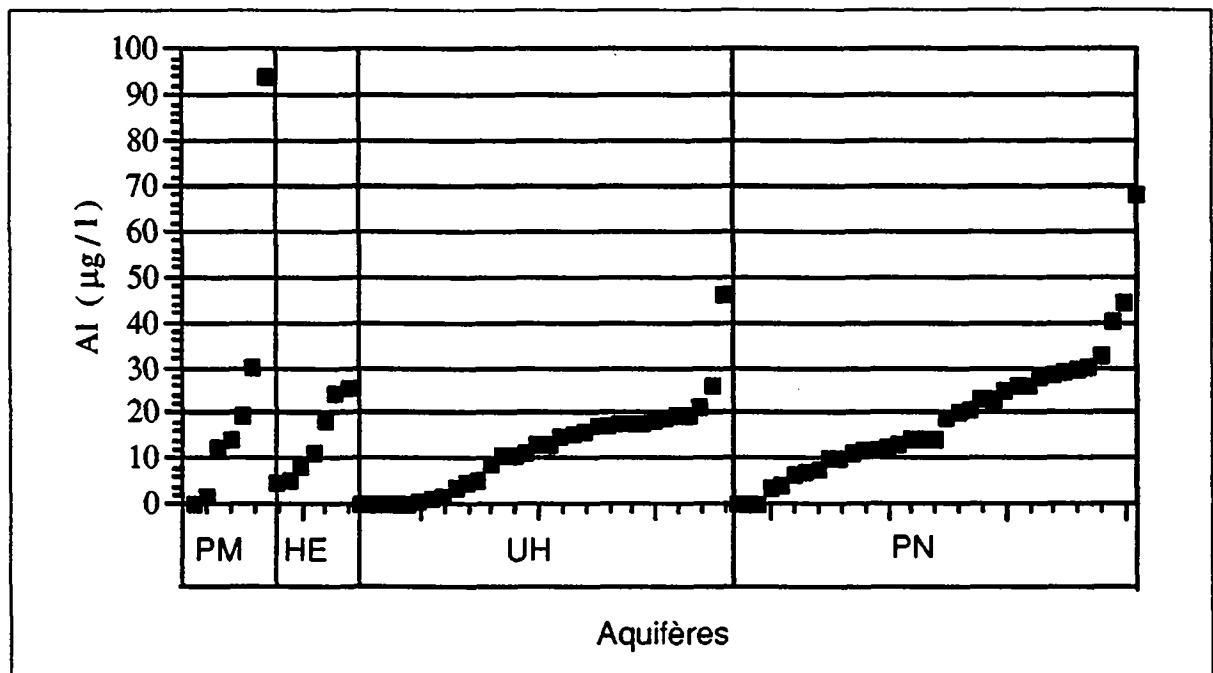


Figure 8.65 Série ordonnée des teneurs en Al des eaux

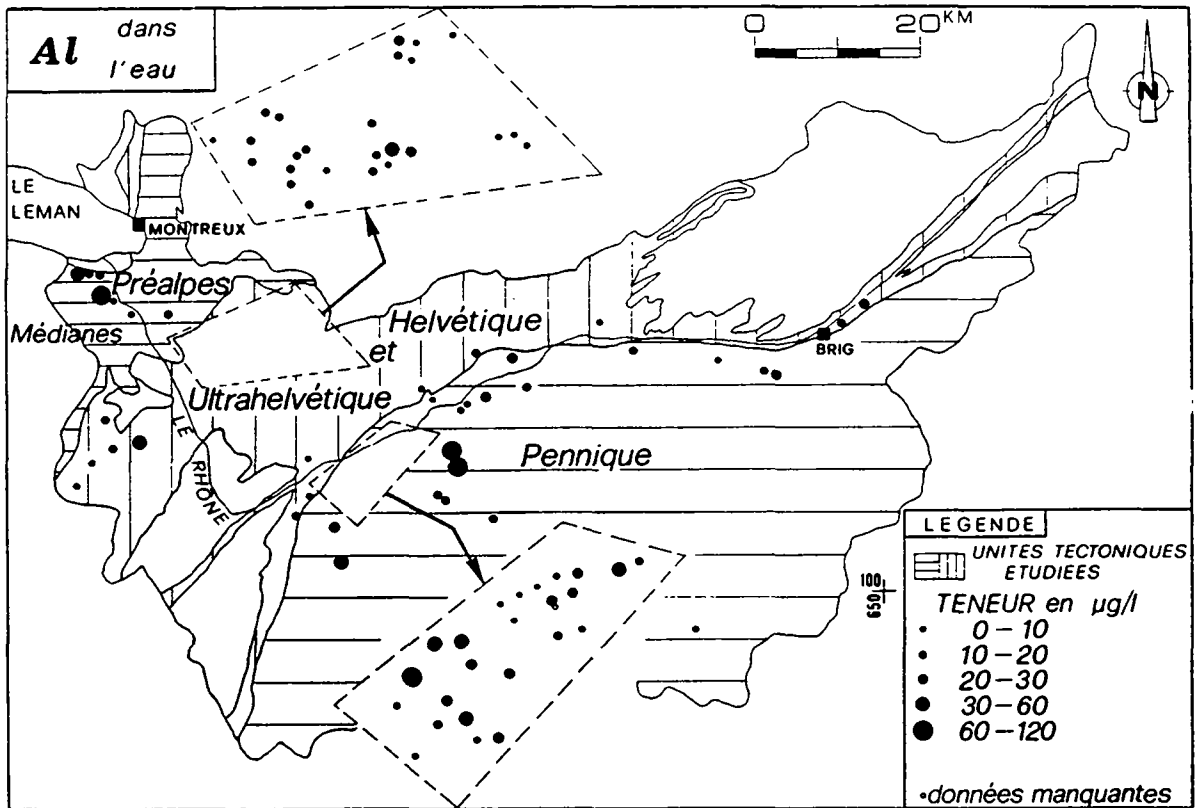


Figure 8.66 Répartition spatiale des teneurs en Al des eaux

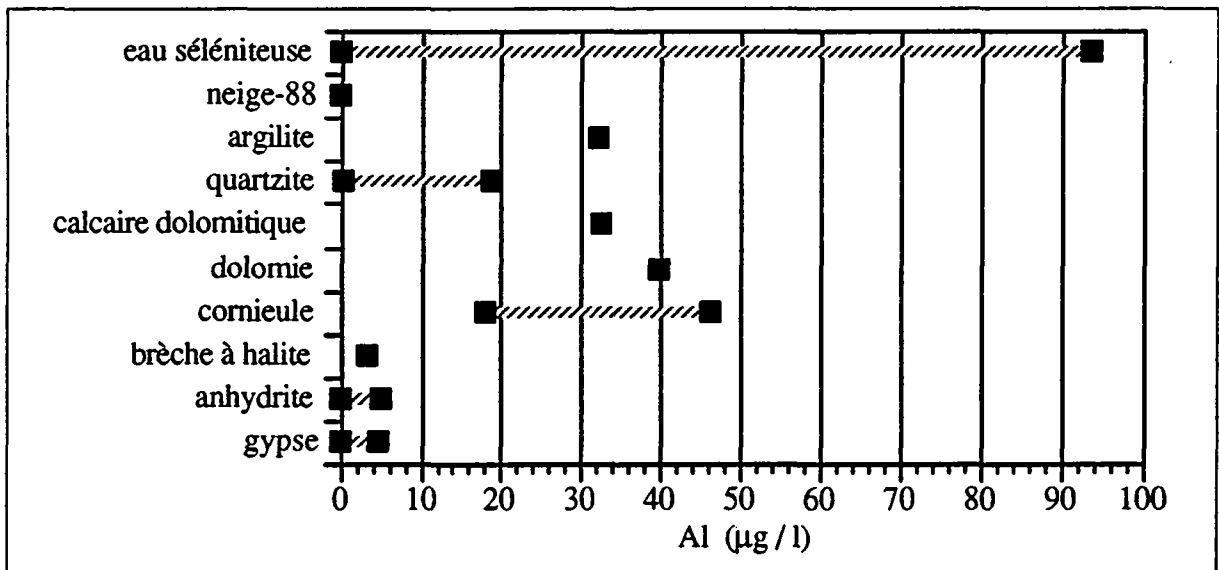


Figure 8.67 Ordre de grandeur des concentrations en Al dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

- Nos essais de lixiviation ont montré que les teneurs en Al des fractions solubles des roches calcaréo-dolomitiques et dans une moindre mesure des quartzites sont supérieures à celles des nombreux gypses analysés (fig. 5.3, 5.4 et 8.67). Ce résultat peut indiquer que la concentration en Al des eaux résulte de leur passage dans l'une de ces lithologies.

Nos recherches sur l'origine de l'Al ont été également poursuivies à l'aide du programme PHREEQE. Le degré de saturation des eaux testées vis à vis de gibbsite ($\text{Al}(\text{OH})_3$), boehmite ($\text{AlO}(\text{OH})$) et alunite ($\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) s'est révélé parfois proche de l'équilibre (annexe 9). Ces minéraux peuvent, au même titre que les minéraux argileux, apparaître comme des minéraux secondaires résultant de la décomposition de silicates d'alumine.

8.2.17 Manganèse

Les caractéristiques statistiques descriptives ont révélé une concentration moyenne en Mn de $12,3 \mu\text{g/l}$ et des valeurs extrêmes de 0 à $31,2 \mu\text{g/l}$ (annexe 13). Mn s'est avéré être un élément en trace avec une hétérogénéité spatiale de 60 %, comparable à celle du Ba (tab.8.1).

L'histogramme des fréquences a une forme plus ou moins dissymétrique négative (fig.8.68). Elle est due essentiellement à la variabilité importante des teneurs enregistrées dans les aquifères PM et PN (fig. 8.69).

La carte de répartition spatiale ne décèle pas d'anomalie importante en Mn (fig. 8.70). Mais une dizaine de points d'eau ont tout de même des teneurs supérieures à $20 \mu\text{g/l}$. Ils sont localisés dans les régions de Saint-Gingolph, de Ollon-Plambuit-Gryon-l'Avançon et de Haute-Nendaz.

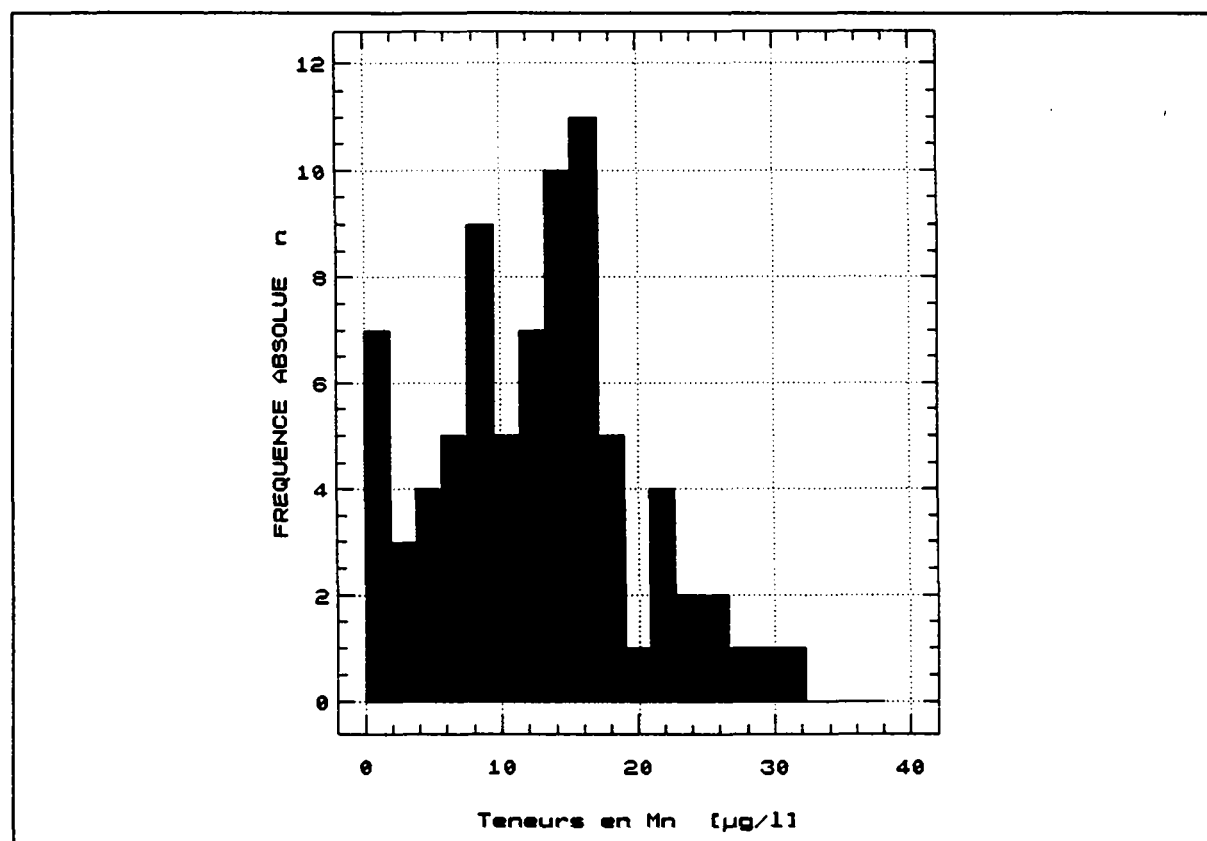


Figure 8.68 Histogramme des fréquences des teneurs en Mn des eaux ($n = 81$)

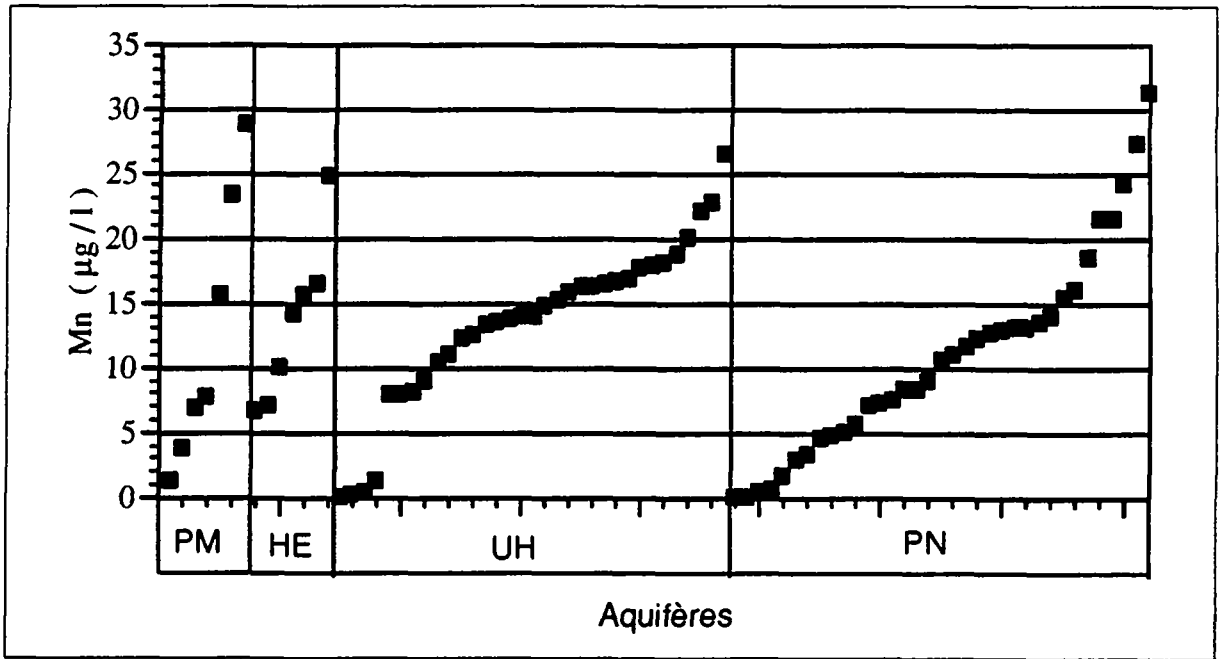


Figure 8.69 Série ordonnée des teneurs en Mn des eaux

Les sources chaudes des évaporites peuvent aussi dévoiler des teneurs similaires, de l'ordre de 35 µg/l (fig. 8.70).

Nos recherches sur l'origine du Mn dans les eaux nous ont conduits à proposer deux solutions. L'une est basée sur un indice géologique, la seconde sur les conditions redox des eaux souterraines.

A) Indice géologique

- Nos différents lixiviats de gypses ont dénoté des teneurs intéressantes en Mn (fig. 8.71). Elles sont dans l'ensemble supérieures à celles des autres roches. Un coefficient de corrélation de 0,42 entre les ions Mn et Y des eaux séléniteuses montre que Mn est peut-être associé aux différents éléments alcalino-terreux Sr, Rb et Y typiques des gypses (annexe 14).
- Les lixiviats de quartzites ont aussi révélé des concentrations en Mn intéressantes. Nous pouvons donc également envisager que les eaux souterraines s'enrichissent en Mn par leur passage dans ces roches triasiques.

B) Conditions redox

Mn se comporte vis-à-vis des eaux de façon très semblable au fer, qui est peu soluble sous des conditions oxydantes. Sa présence dans les eaux est liée généralement au pouvoir réducteur du milieu.

Les normes internationales pour l'eau de boisson (OMS, 1972) préconisent une concentration maximale souhaitable de 0,05 mg/l et une concentration maximale admissible de 0,5 mg/l de Mn. Les teneurs en Mn des eaux étudiées (froides et chaudes) sont nettement en-dessous de ces normes. Nous pouvons de ce fait souligner que le milieu est donc peu réducteur.

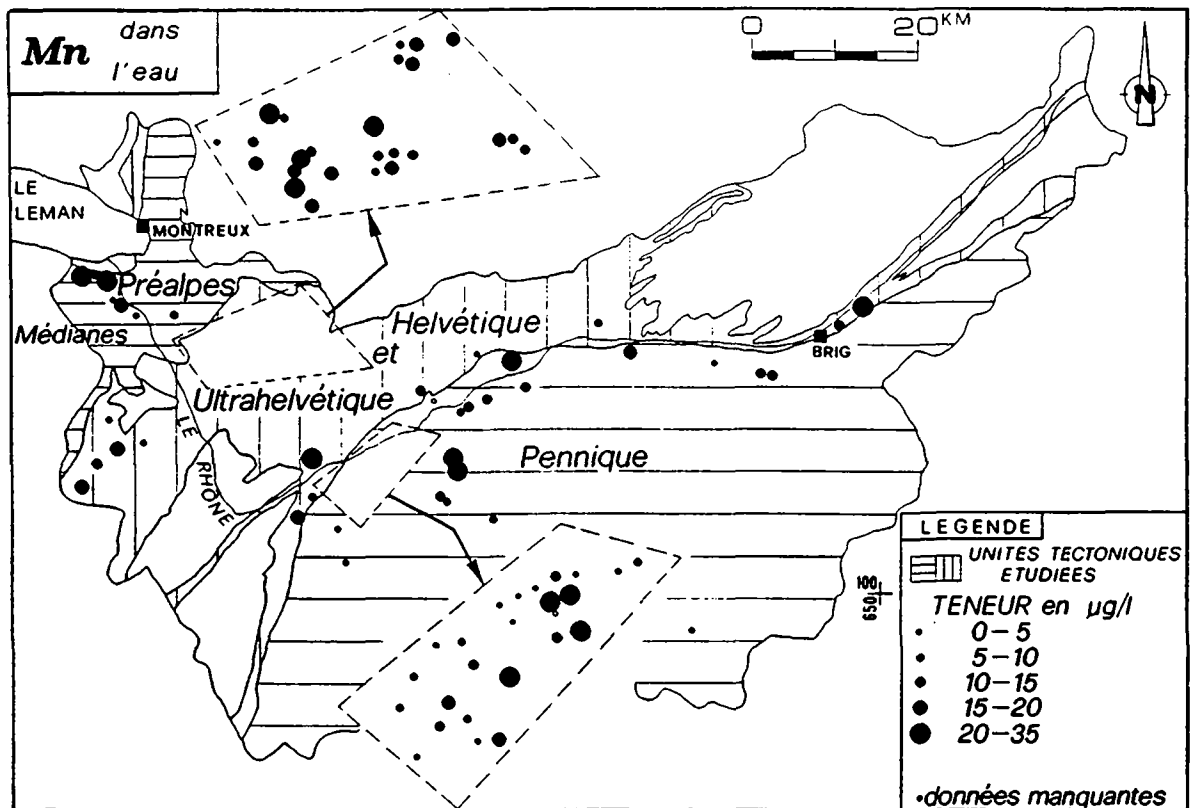


Figure 8.70 Répartition spatiale des teneurs en Mn des eaux

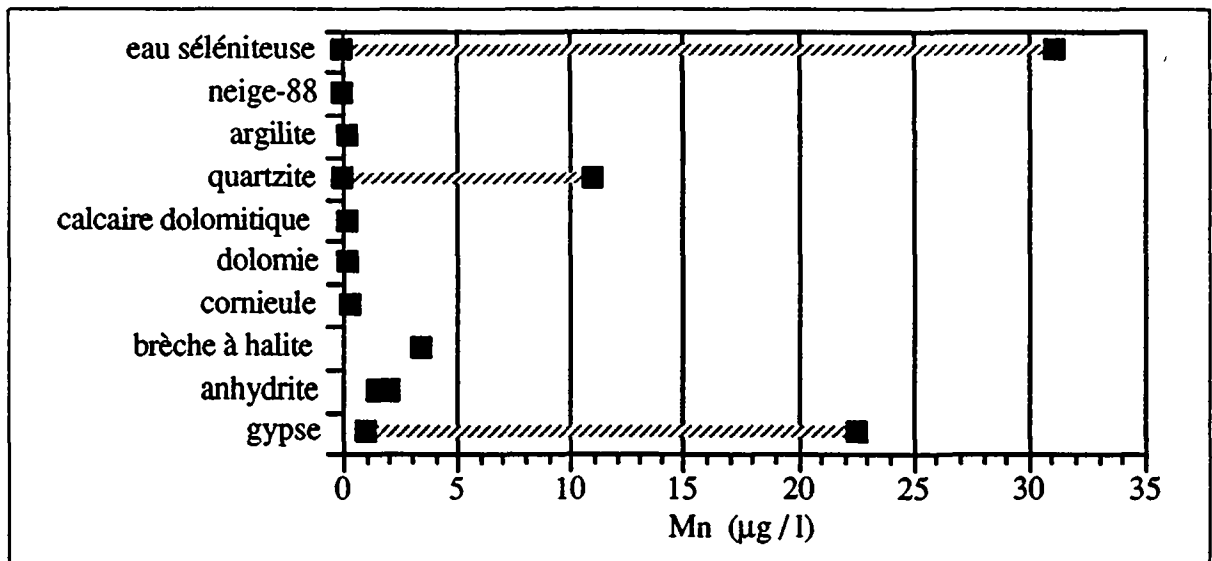


Figure 8.71 Ordre de grandeur des concentrations en Mn dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

Ces différents indices semblent donc indiquer que la présence du Mn dans les eaux des évaporites est rattachée aux gypses. Du reste, aussi bien les lixiviats de gypses rhodaniens que les quatre gypses standards nord-américains (KOCMAN & FOLEY, 1987) ont tous montré une teneur en Mn non négligeable (fig. 8.71).

8.2.18 Baryum

D'une manière générale, la concentration moyenne en Ba des eaux froides est faible. Se situant à 10,6 $\mu\text{g/l}$, elle se caractérise par une dispersion spatiale peu hétérogène de 60 % (tab. 8.1). Les valeurs extrêmes ont été de 1,3 et 38,4 $\mu\text{g/l}$. Les teneurs les plus basses ont été enregistrées pour les aquifères HE (annexe 13).

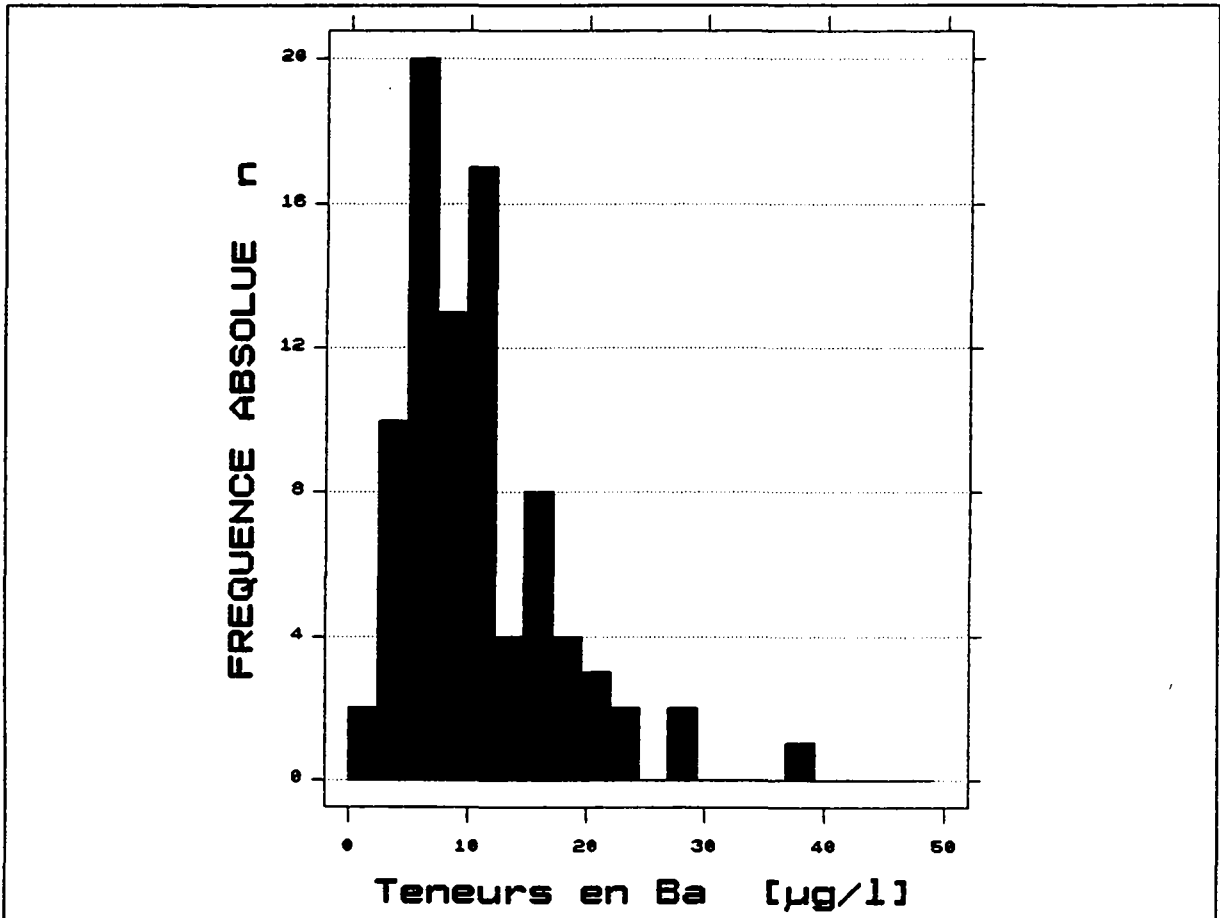


Figure 8.72 Histogramme des teneurs en Ba des eaux ($n = 86$)

L'analyse de l'histogramme des fréquences des teneurs en Ba a mis principalement en évidence deux populations (fig. 8.72 et 8.73). L'une, correspondant à 70 % de l'échantillonnage avec des valeurs comprises entre 1 et 12 $\mu\text{g/l}$, semble définir les aquifères HE, 55 % des aquifères UH et près de 90 % des aquifères PN (fig. 8.74). La seconde, comprenant des teneurs variant entre 12 et 40 $\mu\text{g/l}$, paraît décrire surtout les aquifères PM situées entre Le Grammont et la Porte du Sex (sources n° 10 à 12), les aquifères UH de la région Salin-Ollon-Villars-Gryon (sources n° 14 à 33) et le restant des aquifères PN localisés principalement entre La Drotse (sources n° 74, 76 et 77) et Aproz (source n° 86) (fig. 8.74).

Le baryum a été nettement identifié dans les lixiviats de gypses et également dans les anhydrites (fig.8.75). Les quartzites peuvent cependant aussi renfermer cet élément. L'origine du Ba dans les eaux résulte essentiellement de l'existence de barytine (BaSO_4) dans les formations évaporitiques, et plus particulièrement dans les gypses (fig.8.75 et annexe 14). Elle peut s'y trouver aussi sous forme authigène (GEORGE, 1977).

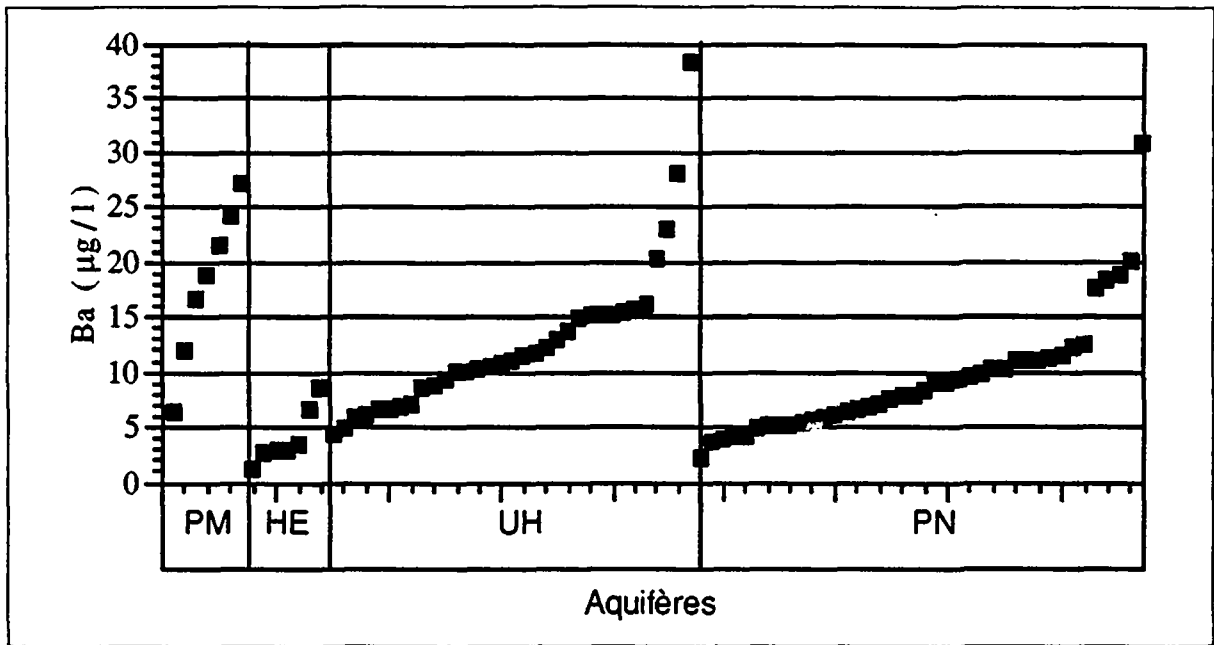


Figure 8.73 Série ordonnée des teneurs en Ba des eaux

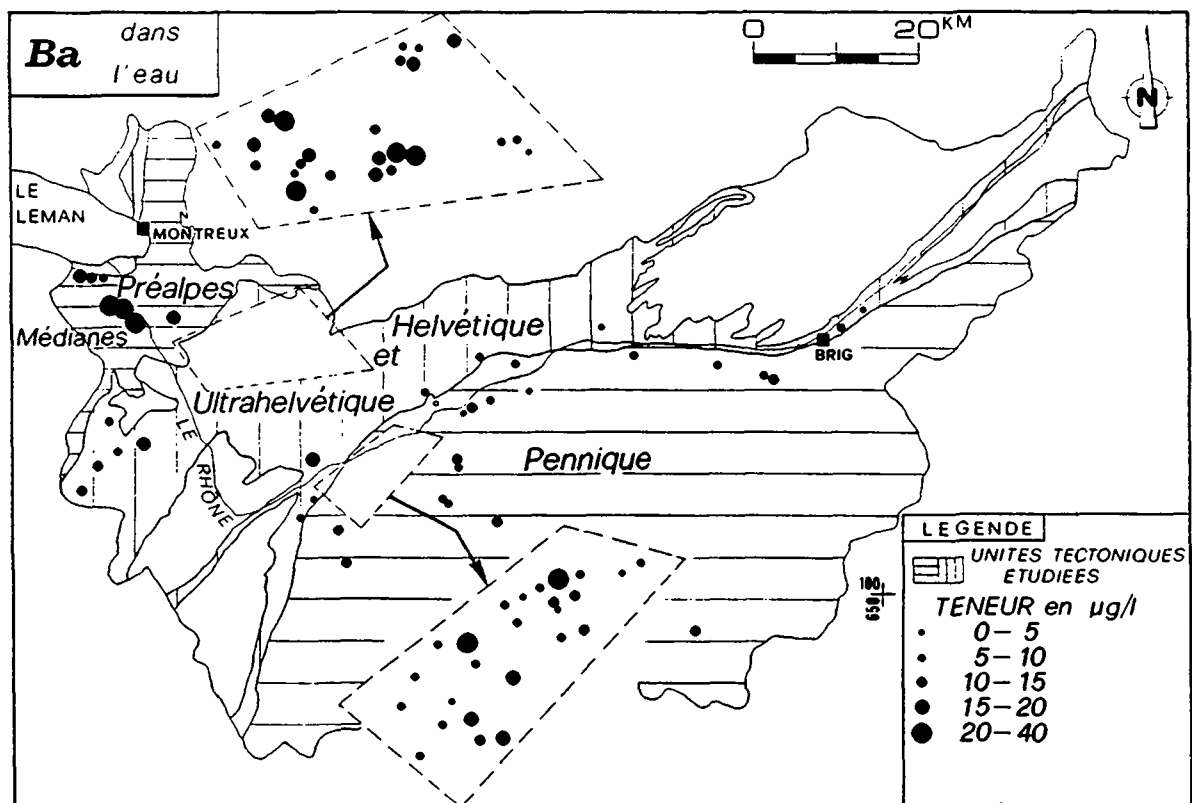


Figure 8.74 Répartition spatiale des teneurs en Ba des eaux

Nos essais avec PHREEQE ont montré que la barytine est en légère sursaturation dans les eaux froides (fig. 6.6). Dans les sources thermominérales de Combioula, ce minéral est par contre en équilibre (fig. 6.6).

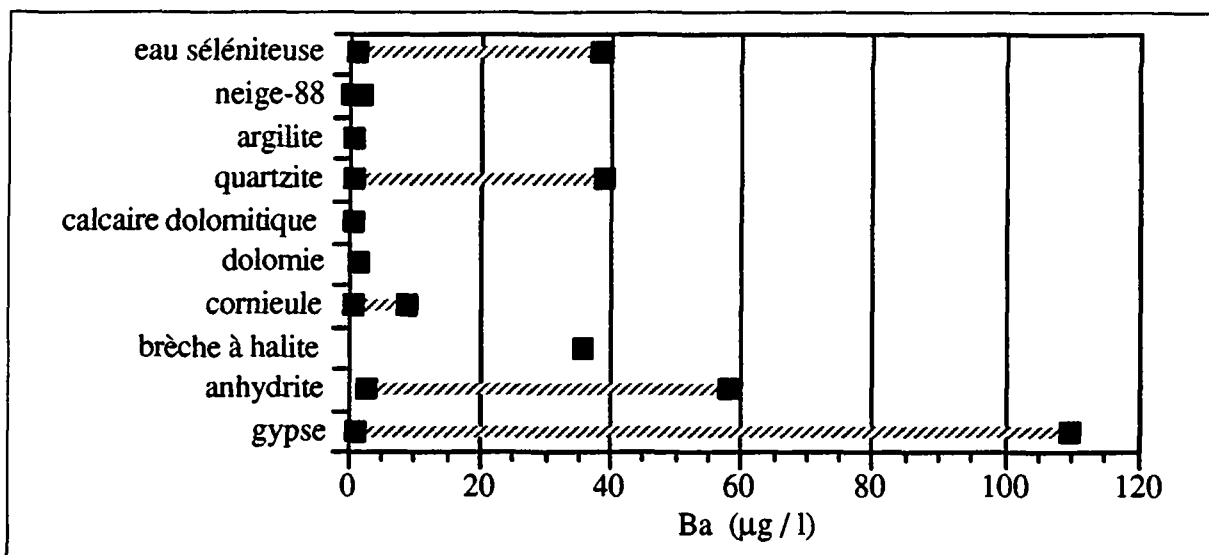


Figure 8.75 *Ordre de grandeur des concentrations en Ba dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques*

8.2.19 Brome

Le Br s'est révélé en tant qu'élément en trace dans les eaux froides des évaporites (fig. 8.76 et 8.77). Sa concentration maximale, 57,9 µg/l, correspond à l'étendue de la série des observations. Avec une dispersion spatiale hétérogène de 115 % (tab.8.1), la teneur moyenne en Br pour l'ensemble des sources a été de 10,6 µg/l (annexe 13).

L'histogramme des fréquences fait ressortir trois populations, dont deux rassemblent près de 96 % des points d'eau avec des teneurs en Br inférieures à 40 µg/l (fig. 8.76):

- La première regroupe environ 55 % des points d'eau avec des teneurs en Br inférieures à 10 µg/l. Elle comprend pratiquement toutes les sources PM et HE, la moitié des sources UH et PN (fig.8.77).
- La seconde population réunit deux sources PM, la moitié restante des sources UH et la plupart des sources PN, dont les concentrations en Br peuvent varier entre 20 et 40 µg/l.
- Le troisième groupe est composé uniquement de trois points d'eau PN avec des valeurs en Br allant de 40 à près de 60 µg/l (fig.8.77).

L'étude de la répartition spatiale des concentrations en Br des eaux a mis en évidence trois zones avec des valeurs de Br plus importantes variant entre 20 et 60 µg/l (fig. 8.78). Deux appartiennent à l'Ultrasuisse et sont situées de part et d'autre du Rhône: en rive gauche, les concentrations en Br caractérisent les points d'eau s'étendant de Val d'Iliez à Champéry (sources n° 59 et 63); en rive droite, elles déterminent les nombreuses émergences de la région Ollon-Villars-Plambuit (sources n° 15 à 18).

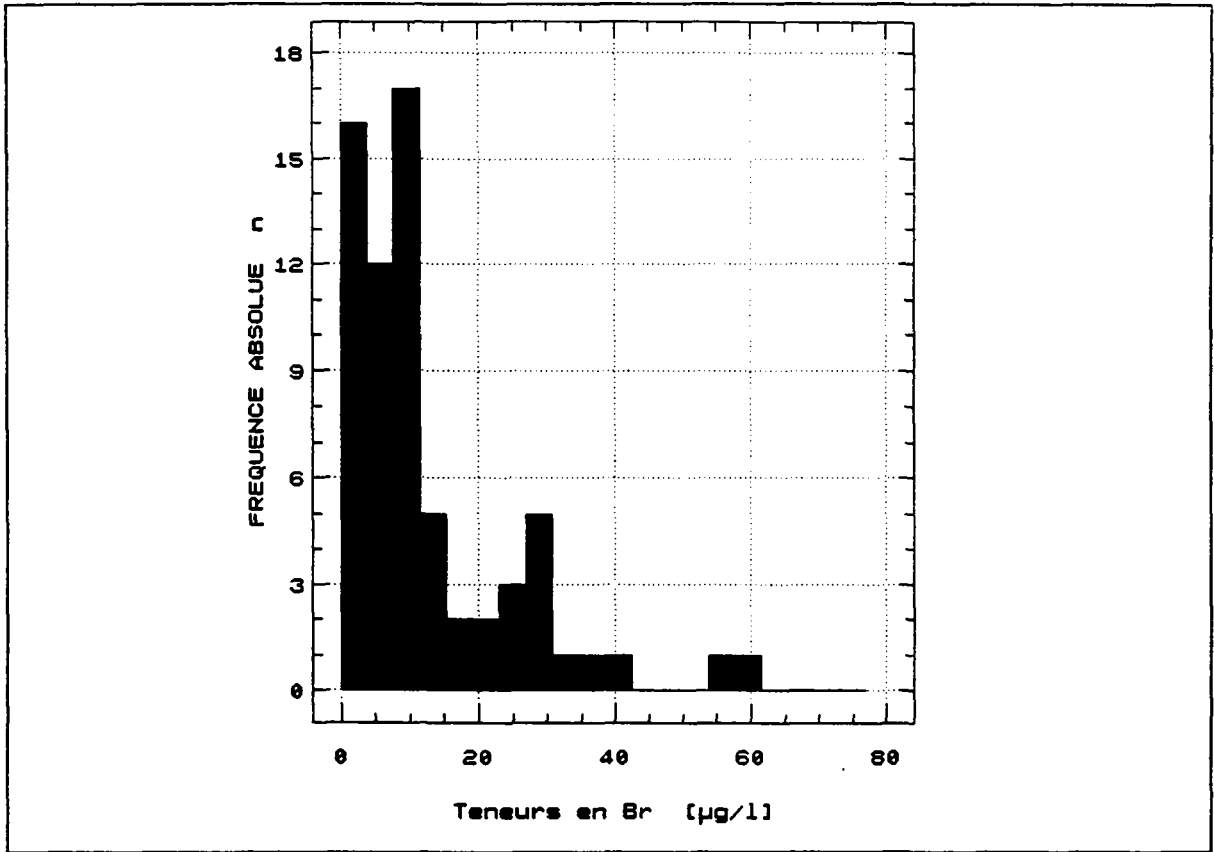


Figure 8.76 Histogramme des fréquences des teneurs en Br des eaux ($n = 80$)

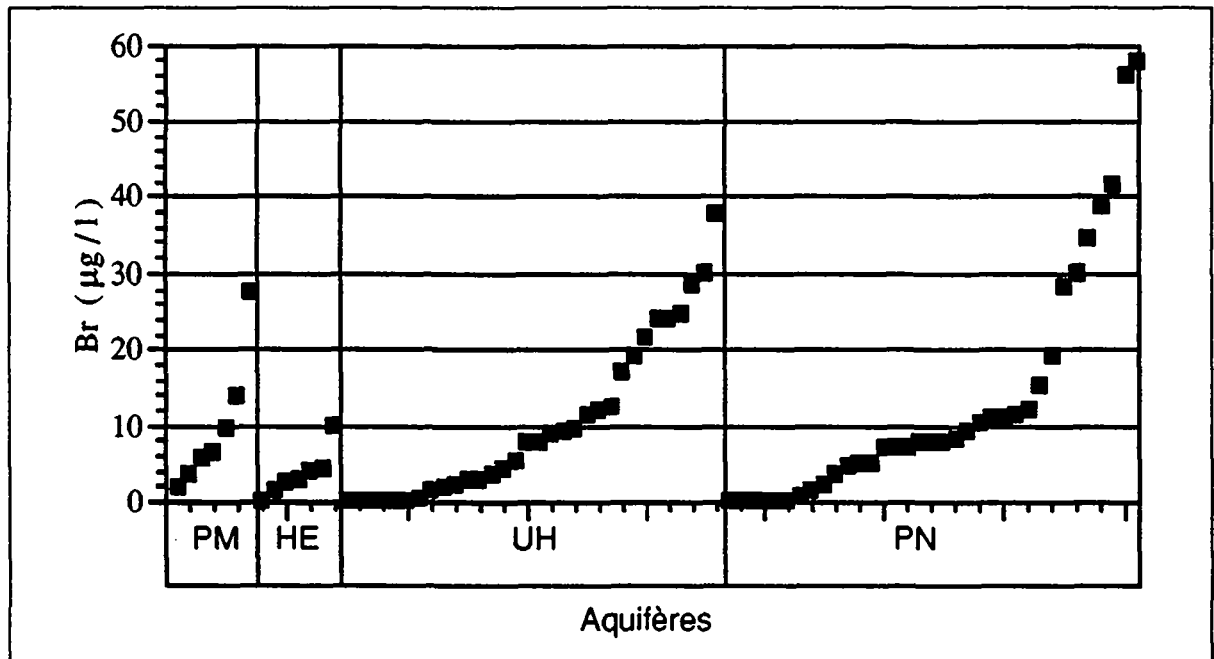


Figure 8.77 Série ordonnée des teneurs en Br des eaux

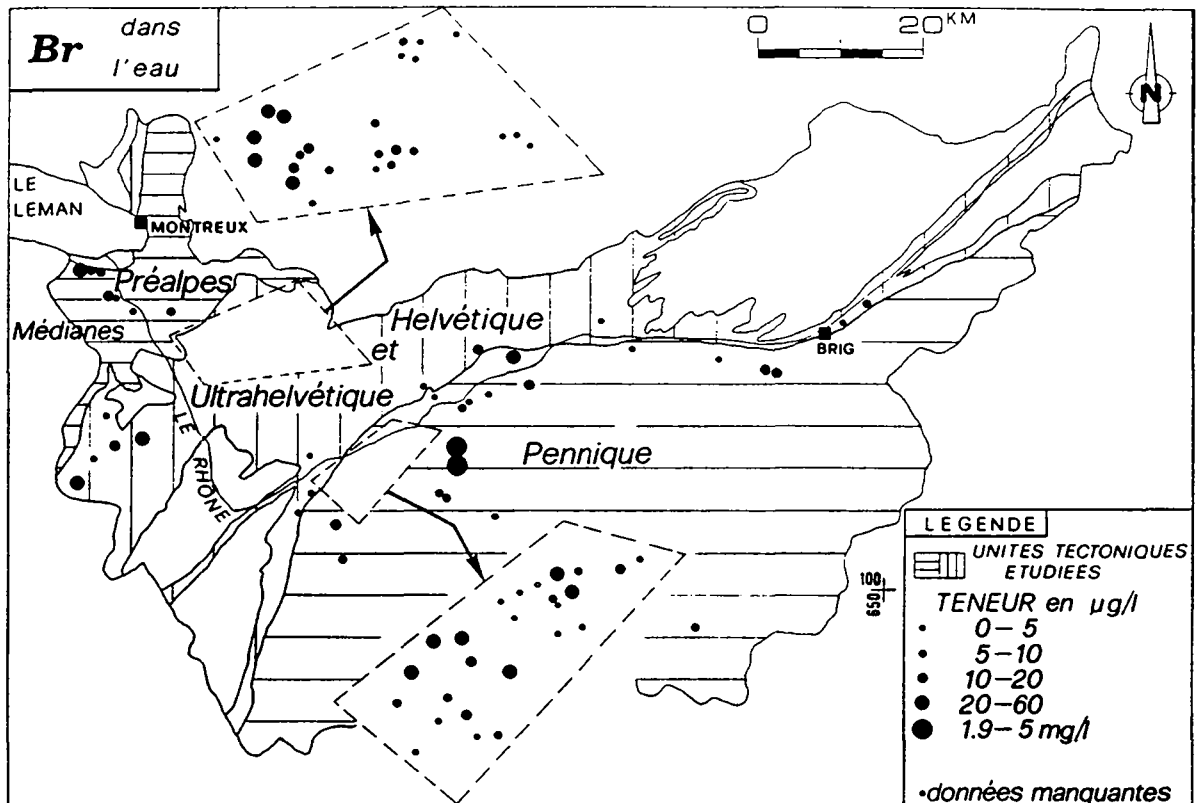


Figure 8.78 Répartition spatiale des teneurs en Br des eaux

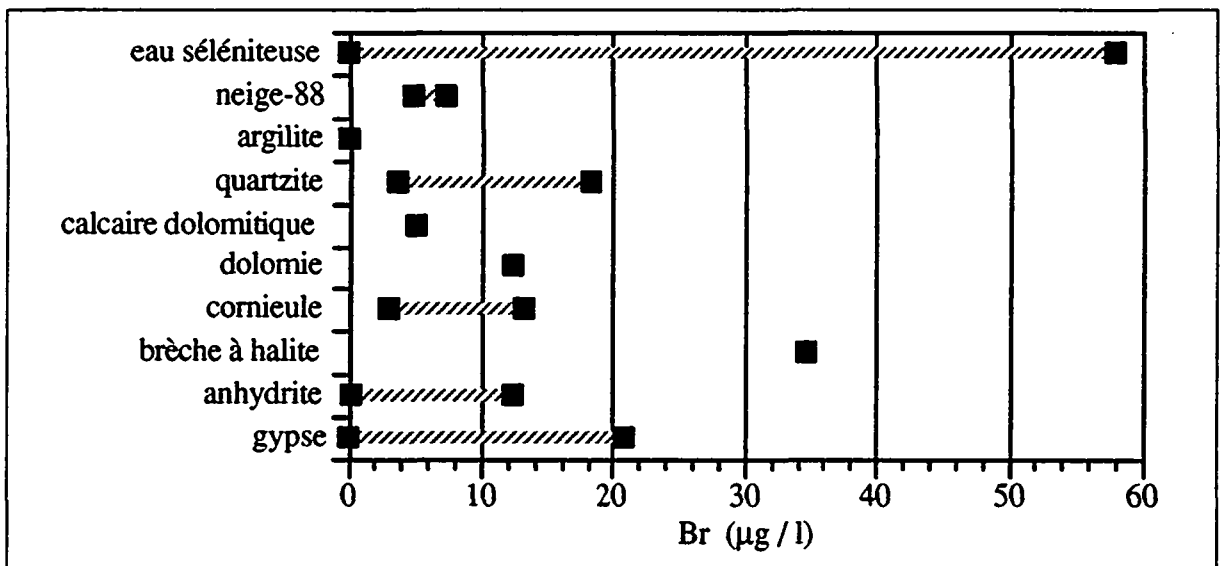


Figure 8.79 Ordre de grandeur des concentrations en Br dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

D'appartenance pennique, la troisième zone présente également une légère anomalie en Br. Localisée entre Iséables et Haute-Nendaz (fig. 8.78), elle comprend les sources allant du Tzeppé (source n° 67) aux Boulets (source n° 85) (fig. 4.1 et annexe 1).

Les eaux chaudes de Combioula sont par contre plus riches en Br. Elles renferment entre 1,9 et 5 mg/l de cet élément (fig.8.78). La valeur plus élevée concerne l'eau du forage artésien. Les autres points d'eau chaude de notre réseau ont des teneurs inférieures à 60 $\mu\text{g/l}$.

La faible minéralisation en Br des eaux froides s'explique par l'absence des bromures dans les formations évaporitiques autres que le sel gemme (SMIRNOV, 1988). Parmi les différents lixiviats, seule la brèche à halite a été caractérisée par le brome (fig.8.79). C'est pour cette raison que nous avons noté des concentrations plus élevées en Br dans les eaux riches en sel gemme de Combioula.

Dans le cadre de l'étude des corrélations interparamètres, nous avons du reste noté des relations intéressantes (annexe 14) entre Br-Cl et Br-Na. Comme Na et Cl, Br semble être aussi un marqueur des aquifères UH et PN.

8.2.20 Uranium et radon

Ces deux paramètres ont été traités ensemble étant donné leur étroite relation physique.

L'étude de la variabilité spatiale des teneurs en U de l'ensemble des eaux sulfatées-calciques a révélé une dispersion importante de 130 % (tab.8.1) autour d'une moyenne de 9,85 $\mu\text{g/l}$. Ceci témoigne d'une certaine hétérogénéité à l'échelle du Bassin rhodanien. Les valeurs extrêmes ont été de 0 et 67 $\mu\text{g/l}$ (annexe 13).

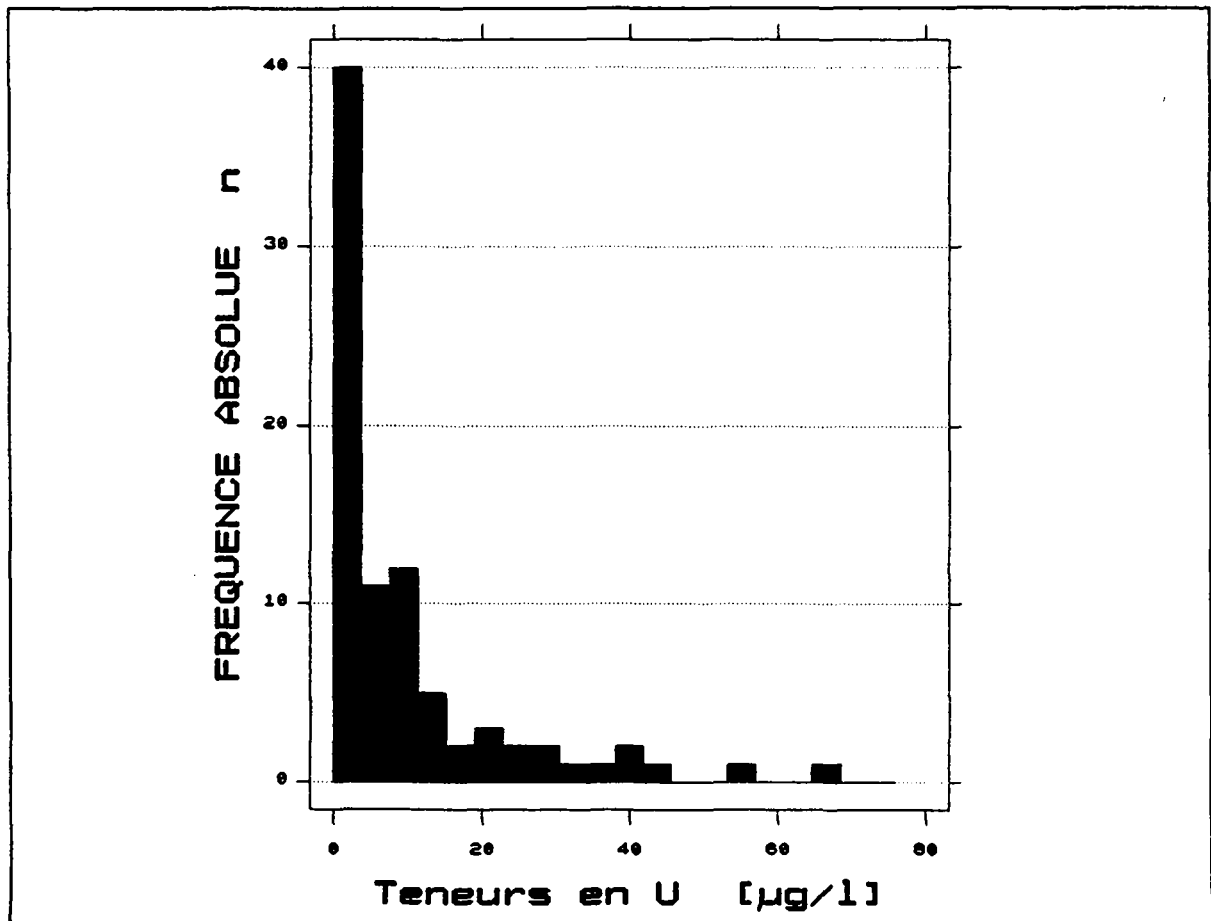


Figure 8.80 Histogramme des fréquences des teneurs en U des eaux (n = 85)

L'histogramme des fréquences a dévoilé plus ou moins deux populations de sources à concentrations différentes (fig. 8.80). Cette distinction provient essentiellement des environnements géologiques auxquels les points d'eau appartiennent.

Ces deux populations sont bien individualisées sur la carte de répartition spatiale des teneurs en U (fig. 8.82). Le premier groupe réunit les sources PM, HE et UH avec généralement des concentrations en U inférieures à 10 $\mu\text{g/l}$ (fig. 8.81). Dans les unités préalpine et ultrahelvétique, elles sont le plus souvent inférieures à 5 $\mu\text{g/l}$ (fig. 8.82). Les sources de l'Helvétique en contact direct avec le Pennique ont cependant dénoté des valeurs un peu plus élevées, atteignant 10 $\mu\text{g/l}$ (fig. 8.81 et 8.82). Ces points d'eau sont localisés dans la région de Saxon (fig.8.82). D'une manière générale, nous avons constaté une homogénéité des teneurs en U pour chacune de ces trois unités: leur coefficient de dispersion n'excédant pas 60 % (annexe 13).

La seconde population rassemble surtout des sources PN avec des teneurs en U s'échelonnant entre 10 et 67 $\mu\text{g/l}$ (fig. 4.1: zone 2, fig. 8.82). C'est dans la partie frontale du Pennique que de telles valeurs ont été détectées (fig.8.82), et plus précisément dans la région de Nendaz. En effet, cette zone, s'étendant de l'usine électrique de Nendaz à Salins, a livré de nombreuses sources avec une anomalie en U variant entre 20 et 67 $\mu\text{g/l}$. A l'est de ce territoire, la plupart des points d'eau ont des valeurs plus faibles comprises entre 10 et 20 $\mu\text{g/l}$. A l'ouest de la Dent de Nendaz et en direction des Mayens-de-Riddes et de Champsec (exemples: sources n° 104 et 106), les valeurs sont sensiblement plus basses, variant entre 0,2 et 20 $\mu\text{g/l}$, plus rarement 30 $\mu\text{g/l}$ (fig.8.82). C'est pourquoi la répartition spatiale des teneurs en U des eaux PN est plus hétérogène, atteignant une dispersion de près de 80 % (annexe 13).

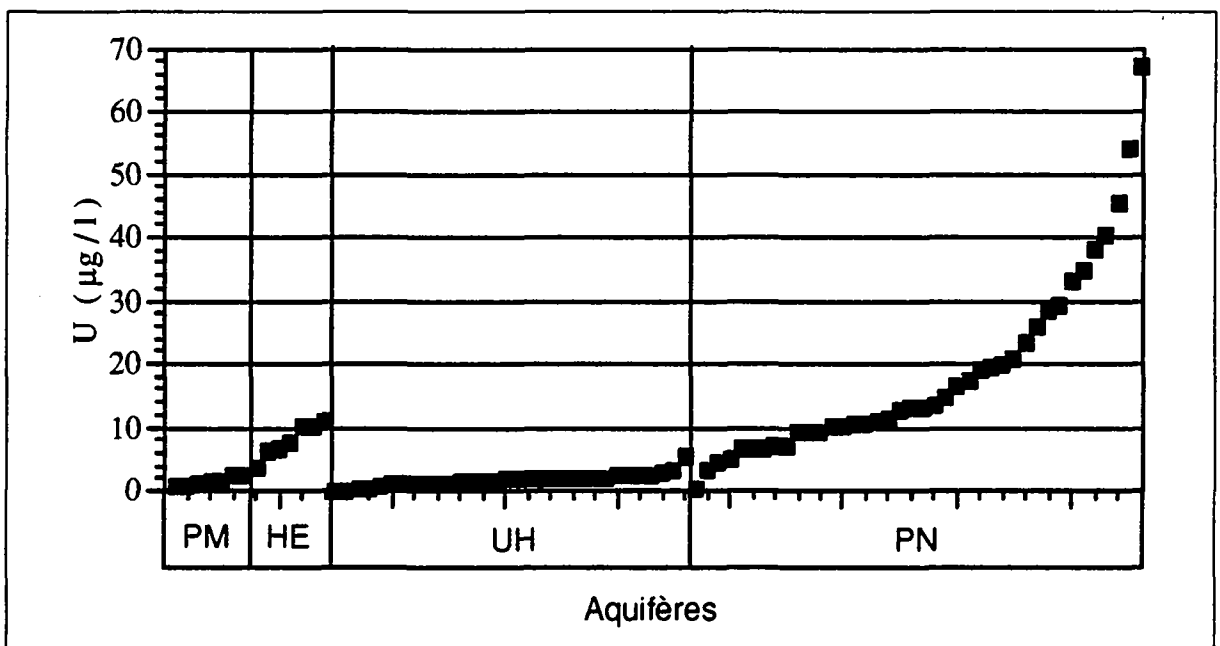


Figure 8.81 Série ordonnée des teneurs en U des eaux

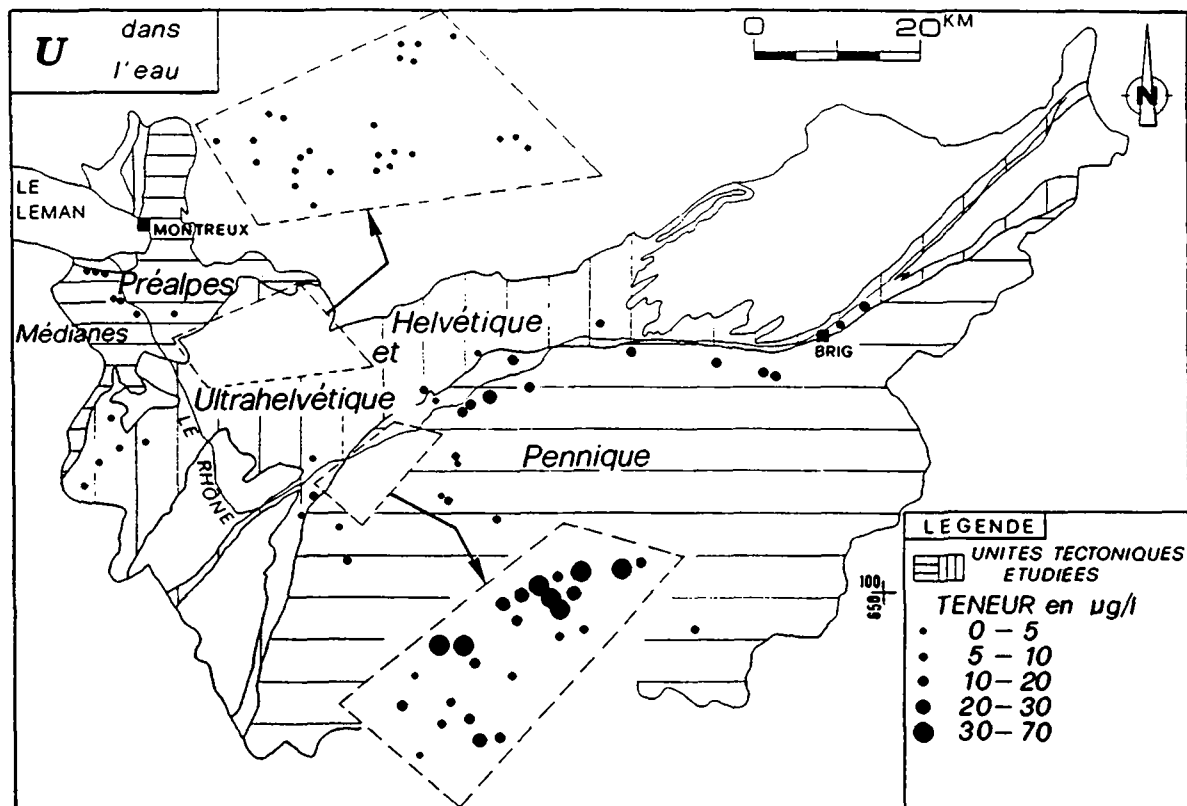


Figure 8.82 Répartition spatiale des teneurs en U des eaux

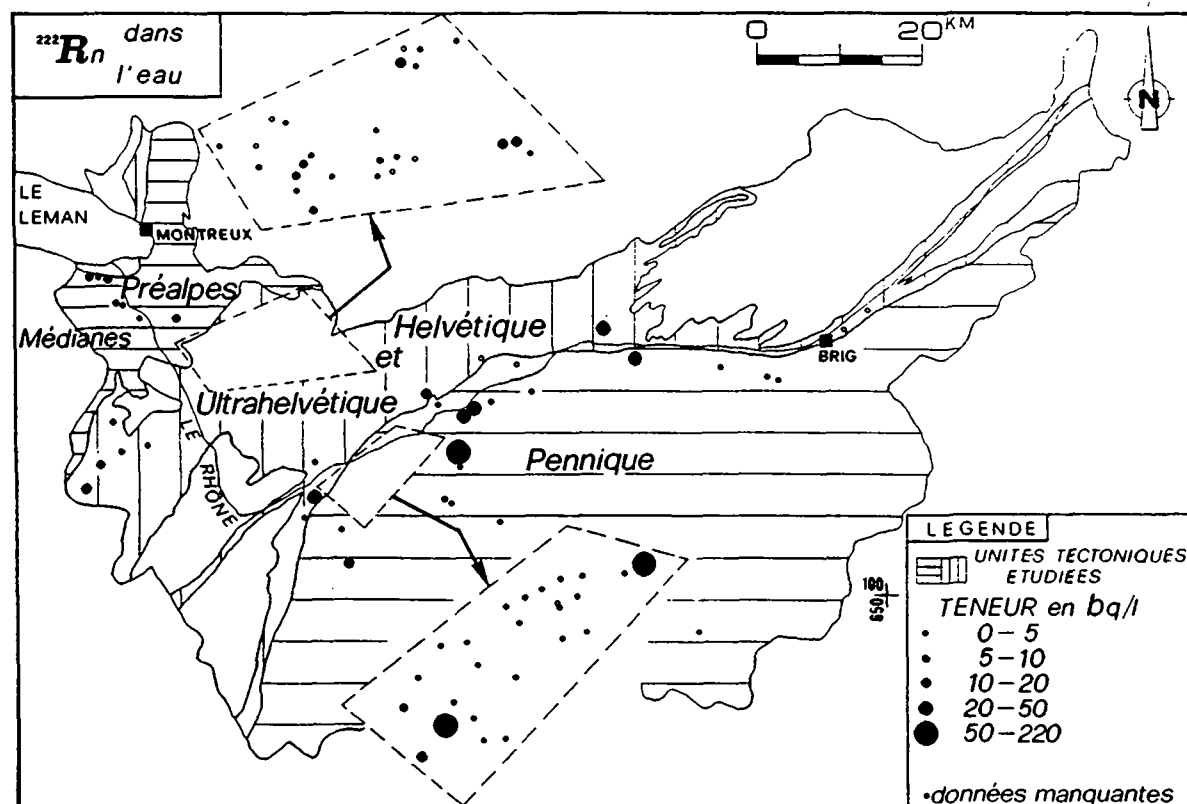


Figure 8.83 Répartition spatiale des teneurs en Rn des eaux

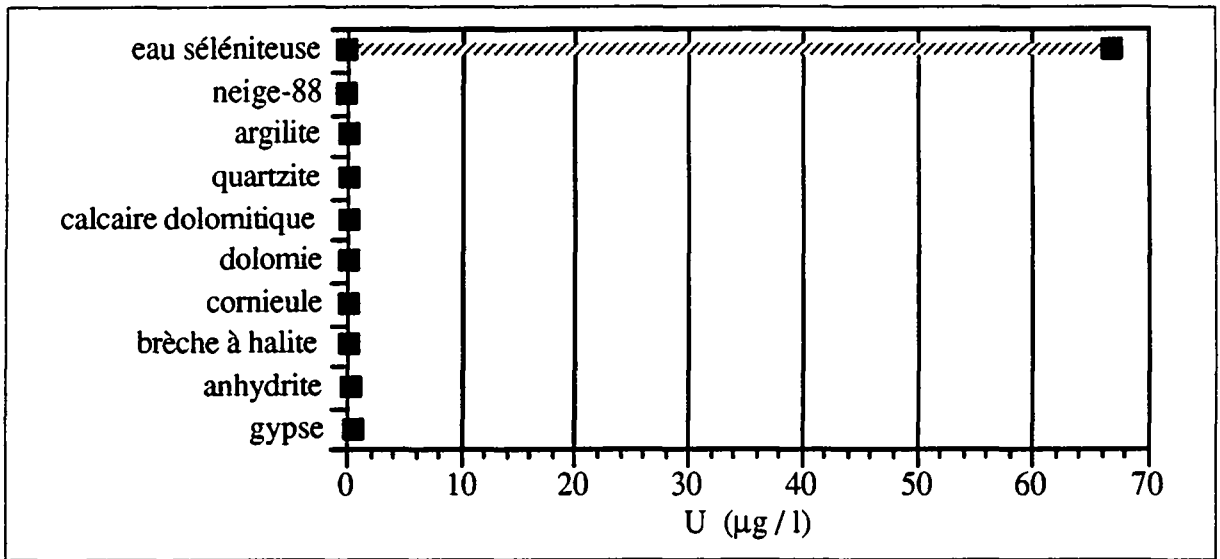


Figure 8.84 *Ordre de grandeur des concentrations en U dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques*

Les concentrations en U des eaux des évaporites sont nettement inférieures à celles observées dans les eaux souterraines provenant des roches des Massifs du Mont-Blanc et des Aiguilles Rouges. En effet, DUBOIS (1990) a relevé des teneurs en U de l'ordre de 2000 μg/l.

Nous avons effectué quelques mesures de radon ²²². Elles se sont révélées délicates à cause des difficultés de prélèvement liées au dégazage à l'exutoire (cf méthodologie). Les résultats obtenus sur les eaux sont en corrélation avec celles de l'uranium. En effet, les valeurs les plus élevées ont été détectées dans les sources penniques (fig. 8.83). La teneur maximale atteinte a été de 68 bq/l (annexe 14). Les sources préalpines et ultrahelvétiques ont révélé de plus faibles teneurs, variant entre 0 et 18 bq/l. Les émergences helvétiques en contact avec le front pennique ont dénoté quelques concentrations intéressantes en Rn comprises entre 10 et 50 bq/l. Les valeurs en Rn mesurées sur les eaux sulfatées-calciques du Pennique sont comparables à celles relevées sur des points d'eau du Trias d'autres régions de Suisse (HÖGL, 1980).

L'origine de cette minéralisation en U et Rn des eaux du Trias pennique est certainement liée à la présence de l'uraninite ou pechblende (UO₂ à U₃O₈) dans les schistes noirs du Permo-Carbonifère ou du Carbonifère. Ce minéral est considéré comme fortement soluble dans les eaux (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978).

Dans les schistes de Casanna de la nappe du Grand Saint-Bernard, GILLIERON (1988) a observé des anomalies en U. Dans le cadre de son étude sur la géologie des minéraux uranifères dans les Alpes suisses, l'auteur décrit notamment deux zones principales où les schistes permocarbonifères sont enrichis en U. Il s'agit des zones de:

- Col des Mines–Nendaz (Bas-Valais),
- Sankt Niklaus–Zeneggen (Haut-Valais).

Associés à l'uraninite, GILLIERON a en outre observé la présence d'autres minéraux probablement de genèse secondaire: pyrite, rutile, galène, bornite, covelline, hématite, molybdénite et or. En général, ce sont des formations de type "black shales" qui peuvent revêtir de telles caractéristiques (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978). Elles sont lithologiquement très comparables aux schistes permocarbonifères du Pennique.

Ces teneurs élevées en U dans les sources du Pennique sont dues à des conditions redox particulières, puisque nous avons mesuré des potentiels redox comparables aussi bien à Noches (aquifère UH, source n° 23) qu'à Muellacheren (aquifère PN, source n° 51). Pour ces deux sources, les valeurs Rh mesurées ont été semblables, de l'ordre de 200 mV.

La teneur en U des roches évaporitiques et des autres roches triasiques est par contre très faible, voire nulle (fig.8.84). Dans le "HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY" (1978), on rapporte qu'elle dépasse rarement 0,1 ppm dans les évaporites. Nos essais de lixiviation ont permis de confirmer ces résultats (fig.8.84), ce qui signifie que l'uranium détecté dans les eaux sulfatées-calciques du Pennique provient de leur passage dans des formations extra-triasiques qui entourent les aquifères PN (fig.8.84).

8.2.21 Zinc

Zn est, avec I et NO₃, un des trois paramètres hydrochimiques avec une répartition spatiale fortement hétérogène: 341 % (tab.8.1). Zn est présent en tant qu'élément en trace dans les eaux. En effet, la concentration moyenne avoisine 7,1 µg/l. Les valeurs extrêmes ont été de 0 et 156,2 µg/l (annexe 13).

L'histogramme des fréquences fait nettement ressortir que 90 % des sources ont des teneurs en Zn inférieures à 10 µg/l (fig.8.85).

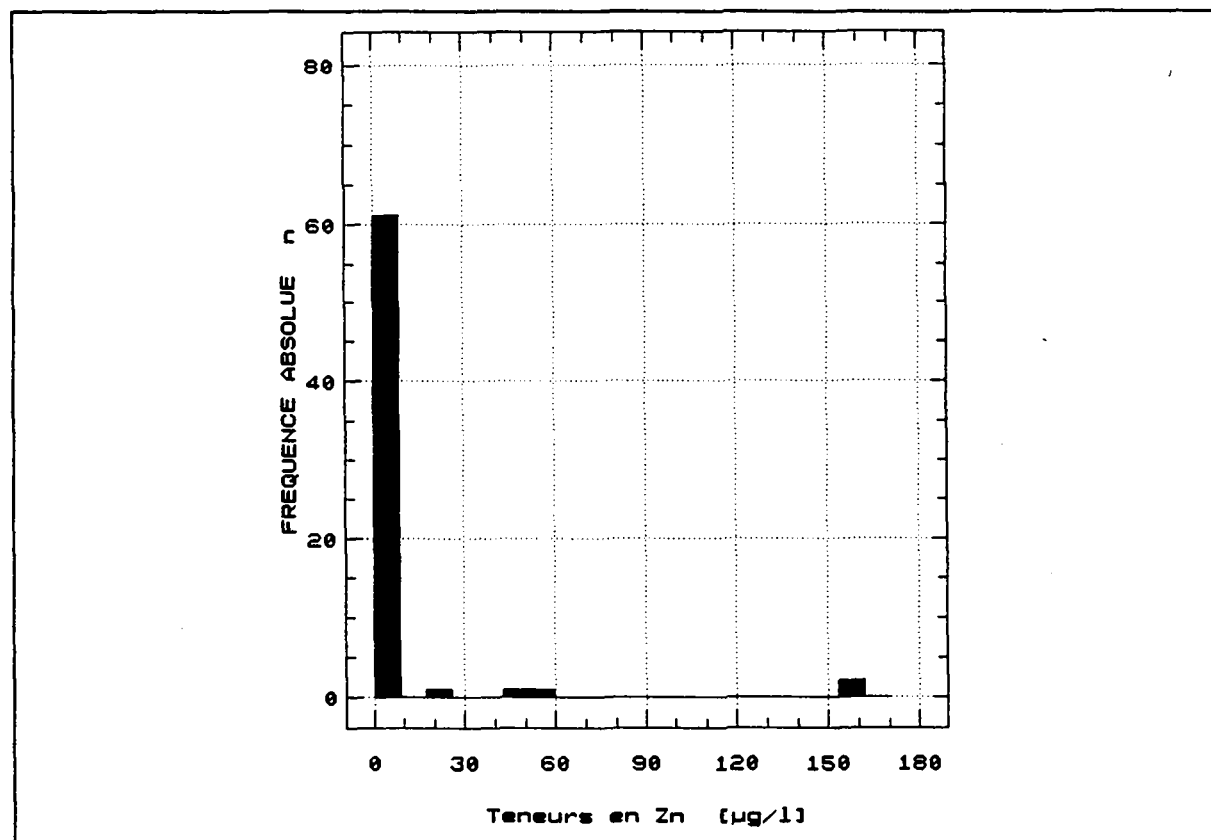


Figure 8.85 Histogramme des fréquences des teneurs en Zn des eaux (n = 86)

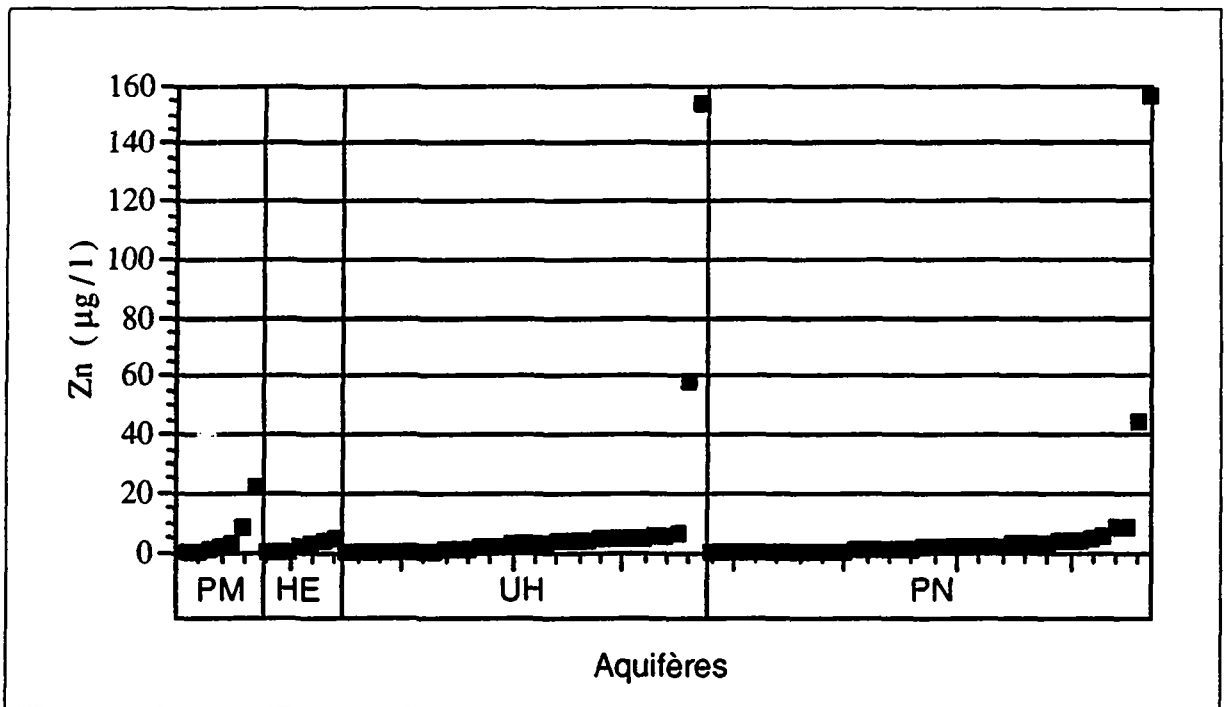


Figure 8.86 Série ordonnée des teneurs en Zn des eaux

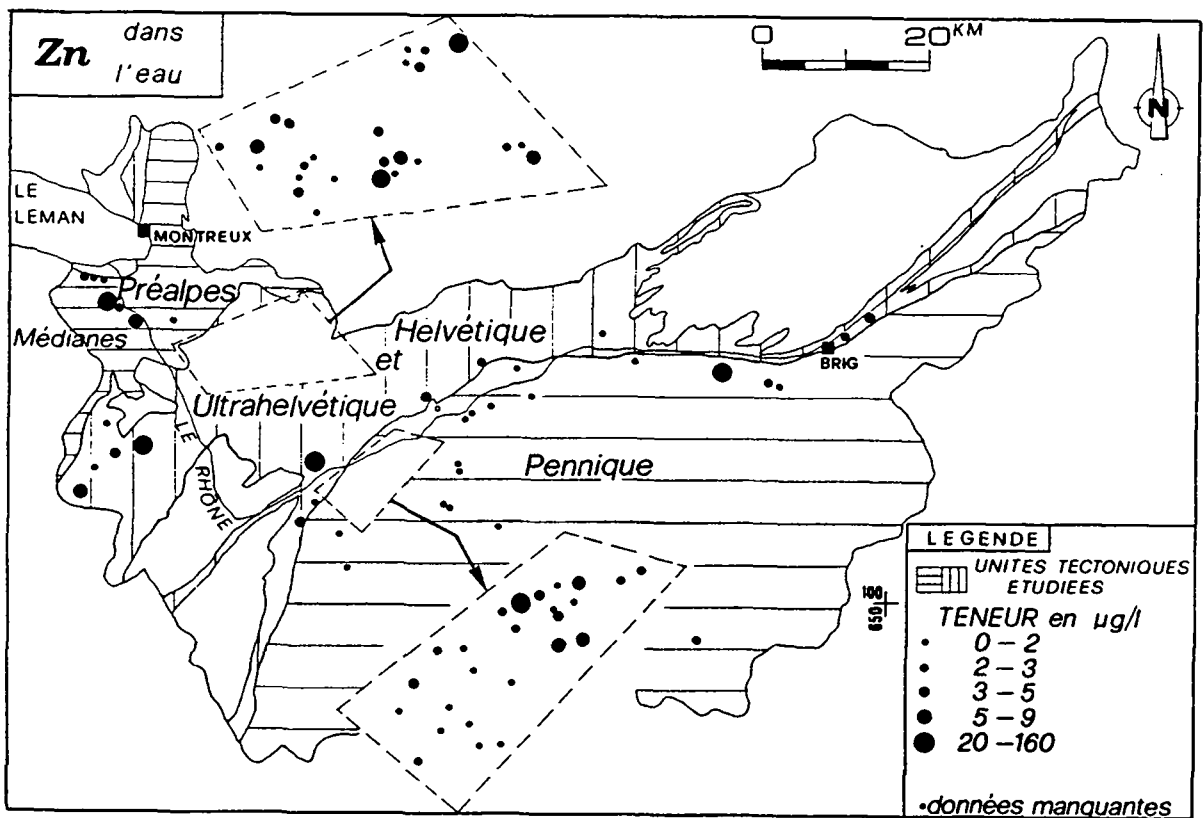


Figure 8.87 Répartition spatiale des teneurs en Zn des eaux

L'étude de la carte des variations spatiales ne permet pas de définir des zones à anomalie en Zn. Seuls cinq points d'eau froide ont enregistré des teneurs élevées en Zn variant entre 22,5 et 156,2 $\mu\text{g/l}$ (fig. 8.86 et 8.87). Il s'agit des sources Bach Platraire (n° 10), La Fouly (n° 27), Les Jorettes (n° 32), Fontaine du Renard (n° 52) et Milieu (n° 81) (fig.4.1 et annexe 1).

Les sources des Bains de Leytron (n° 64) et de Val d'Illiez (n° 63) ont dénoté des concentrations en Zn comprises entre 26,7 et 44,1 $\mu\text{g/l}$ (fig.8.87). Les autres émergences chaudes se sont montrées dépourvues en Zn.

La présence excessive de Zn dans les sources citées ci-dessus est liée essentiellement aux installations de galvanisation (tuyaux) qui les équipent. Ce n'est cependant pas le cas de la source Bach Platraire. Car celle-ci se caractérise simultanément par des concentrations en I et Zn anormales, qui peuvent provenir des précipitations polluées par les industries du Bas-Valais. En effet, nous avons mesuré des teneurs en Zn dans les neiges de Morgins et de Gryon de l'hiver 1988 supérieures à celles de la plupart des sources contrôlées. Elles ont été de l'ordre de 7,1 (neige de Morgins) et de 28,6 $\mu\text{g/l}$ (neige de Gryon) (annexe 4). Elles correspondent aussi à des valeurs plus élevées que celles que nous avons détectées dans les lixiviats de roches triasiques (fig.8.88).

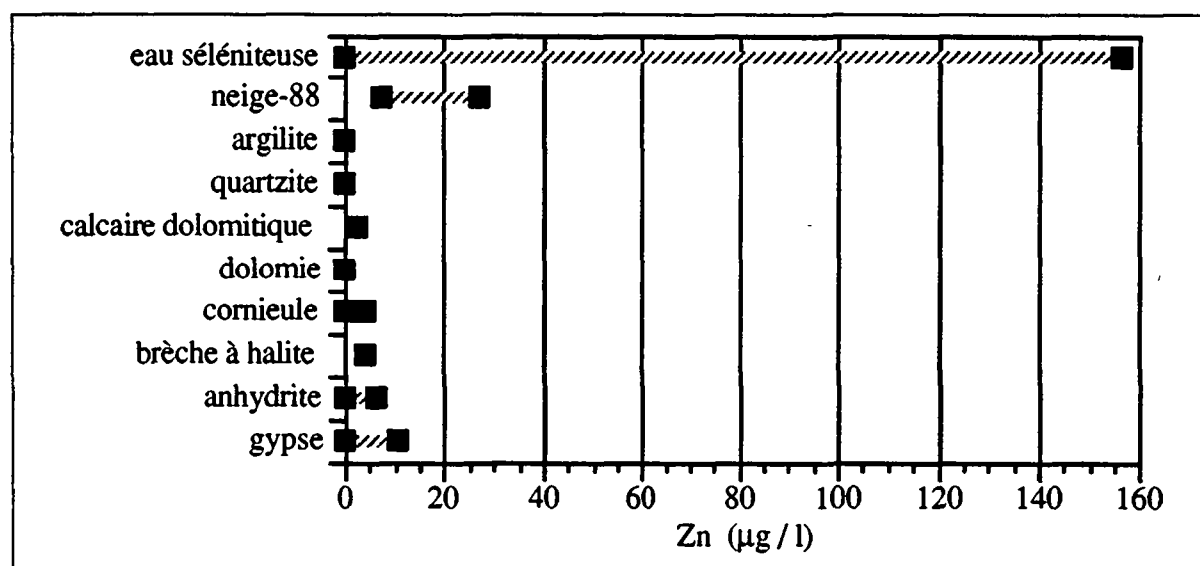


Figure 8.88 Ordre de grandeur des concentrations en Zn dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

Nos essais de lixiviation ont aussi fait apparaître que les gypses ont des teneurs en Zn supérieures à celles des autres roches triasiques (fig. 8.88). Les traces de Zn dans les eaux peuvent être attribuées aux cristaux de sphalérite (ZnS) connus pour remplacer partiellement la matrice carbonatée des niveaux sulfatés du Trias (DRONKERT et al., 1990). Ce minéral a aussi été découvert associé à d'autres sels triasiques: sel gemme, carnallite, sylvinite (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978).

Selon une communication orale de M. Prof. Pfeifer, des traces de Zn peuvent être attribuées à des minéraux comme la staurotide ou le spinelle.

8.2.22 Nickel

Le nickel est présent en faible quantité dans les eaux des évaporites. Autour d'une teneur moyenne de 3,8 $\mu\text{g/l}$, ce ion a dévoilé une importante dispersion spatiale de 123 % à l'échelle du Bassin rhodanien (tab. 8.1). C'est au sein de l'unité pennique que cette variabilité a été la plus forte, atteignant 137 % (annexe 13). Les sources de l'Ultrahelvétique ont par contre fait ressortir une répartition des concentrations en Ni beaucoup moins hétérogène, soit 36 %.

L'histogramme présente une distribution pointue, où 95 % des valeurs enregistrées sont comprises entre 0 et 8 $\mu\text{g/l}$ (fig. 8.89 et 8.90).

Aucune zone géologique à anomalie importante en Ni n'a été mise en évidence par la carte de répartition spatiale (fig.8.91). Seules deux sources ont dénoté des teneurs plus importantes comprises entre 28,5 et 35,7 $\mu\text{g/l}$. Il s'agit des points d'eau des Naveys et de Péroua (fig.4.1 et annexe 1).

Nous pouvons envisager trois possibilités pour expliquer la minéralisation en Ni des eaux:

- Cet élément a déjà été repéré dans des argiles triasiques (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978). Nos tests de lixiviation ont montré que les gypses et les roches sulfatées-calciques en général renferment une concentration en Ni plus grande que celle des autres roches du Trias (fig.8.92). Sa présence dans les eaux peut donc résulter du lessivage des minéraux phylliteux existant dans le gypse.

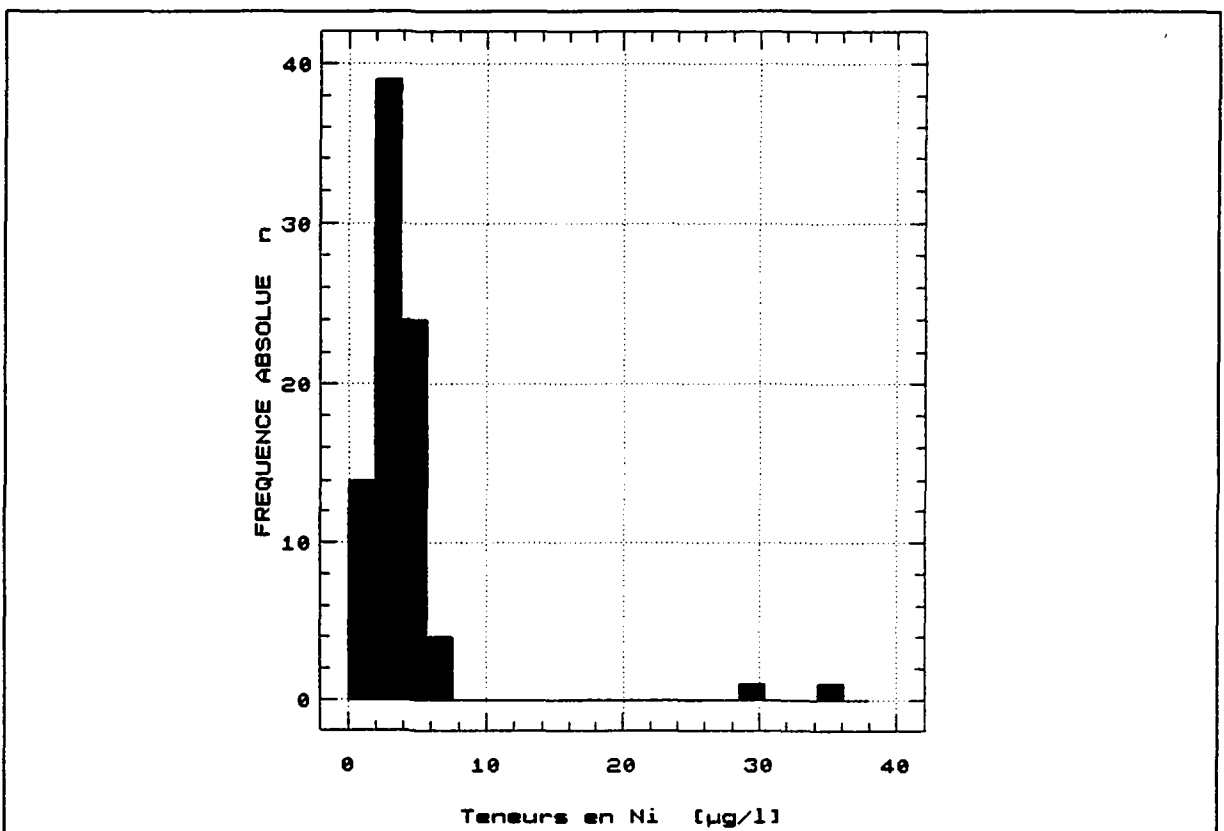


Figure 8.89 Histogramme des fréquences des teneurs en Ni des eaux (n = 85)

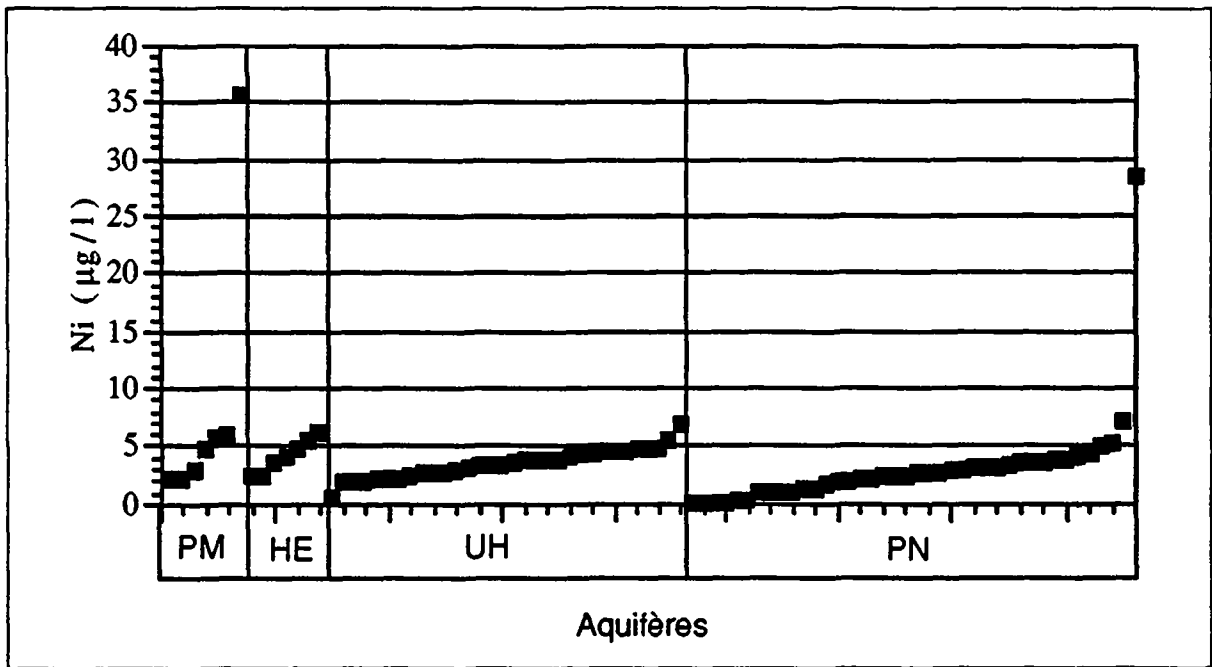


Figure 8.90 Série ordonnée des teneurs en Ni des eaux

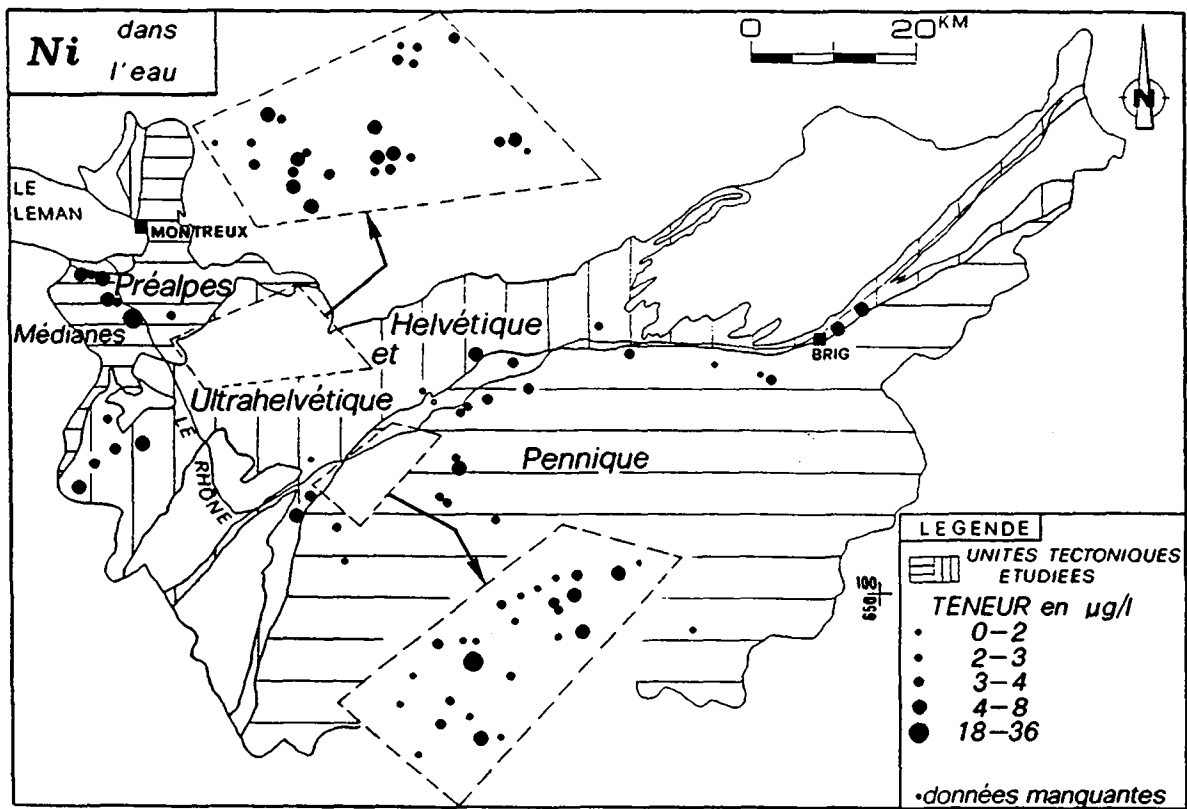


Figure 8.91 Répartition spatiale des teneurs en Ni des eaux

- Des concentrations élevées en Ni, comme nous avons pu les observer aux sources des Naveys et de Péroua, peuvent être liées à une présence plus importante en minéraux sulfurés dans les gypses (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978). Du reste, l'affinité géochimique entre Ni et Fe est connue. Dans le cadre des travaux de forages pour le nouvel aménagement hydroélectrique de la région de Nendaz, les formations du Trias ont souvent dévoilé des passages très riches en minéraux riches en pyrite (PARRIAUX et al., 1990c).
- On peut aussi envisager que Ni provienne des précipitations polluées par des émissions industrielles. Nous avons détecté une teneur en Ni de 2 $\mu\text{g/l}$ dans la neige de Morgins de l'hiver 1988 (annexe 4 et fig. 8.92), supérieure à celles des différents lixiviats.

Les trois solutions proposées sont toutes plausibles. Parmi elles, deux semblent indiquer que la minéralisation en Ni des eaux provient du lessivage des gypses.

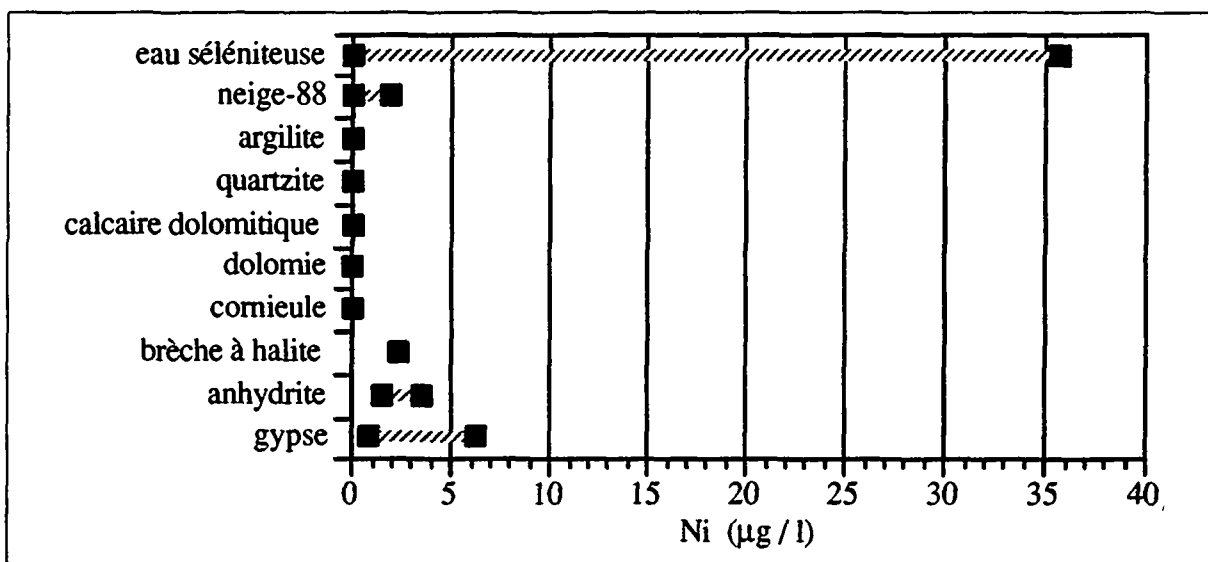


Figure 8.92 *Ordre de grandeur des concentrations en Ni dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques*

8.2.23 Cuivre

Le Cu dans les eaux froides est apparu comme un des éléments en trace avec la plus faible concentration moyenne: 3,1 $\mu\text{g/l}$ (annexe 13). Les concentrations extrêmes ont été de 0 et 14,4 $\mu\text{g/l}$. Pour l'ensemble des points d'eau du bassin, nous avons enregistré une dispersion spatiale des teneurs en Cu de l'ordre de 72 % (tab. 8.1).

L'histogramme des fréquences a montré que la plupart des sources ont des valeurs comprises entre 0 et 6 $\mu\text{g/l}$ (fig. 8.93). Seules cinq sources ont révélé des teneurs en Cu supérieures à cet intervalle (fig. 8.94).

La carte de répartition spatiale du Cu dans les eaux séléniteuses froides fait ressortir une certaine hétérogénéité (fig. 8.95). On note ainsi des sites sourciers avec des anomalies en Cu qui semblent correspondre essentiellement à des zones à gypses, notamment dans les Alpes vaudoises entre Ollon et Les Diablerets (fig. 4.1: zone 1). Bien que dans la région de Nendaz à Salins (fig. 4.1: zone 2) les gypses ne soient pas bien repérables en surface, nous avons observé un grand nombre de points d'eau avec des teneurs en Cu plus importantes qu'ailleurs.

Dans le Pennique, on peut aussi noter le contraste des teneurs en Cu entre les sources situées du côté Nendaz-Salins et celles de la zone s'étendant d'Isérables au Val de Bagnes (sources n° 66 à 106). En effet, les valeurs en Cu dans les eaux souterraines se sont révélées plus faibles vers le SW (fig. 8.95).

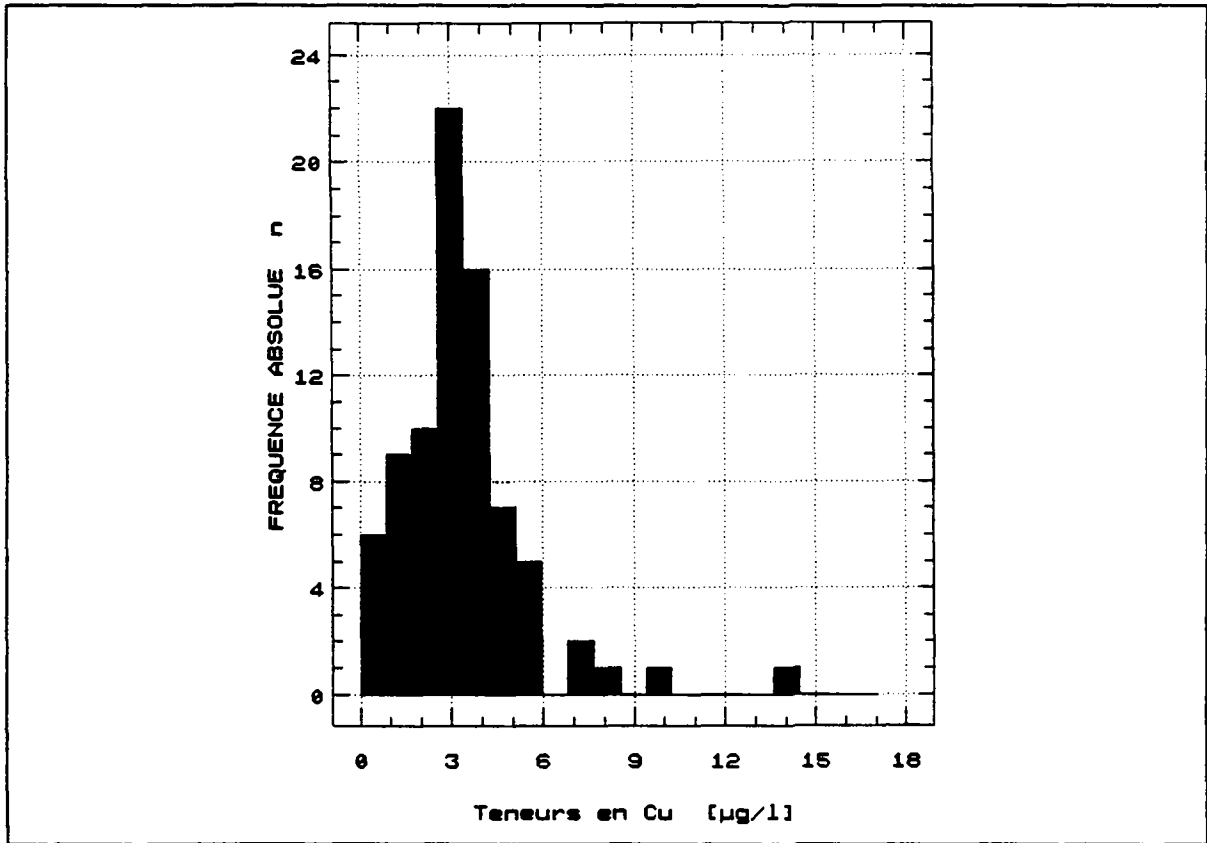


Figure 8.93 Histogramme des fréquences des teneurs en Cu des eaux (n = 86)

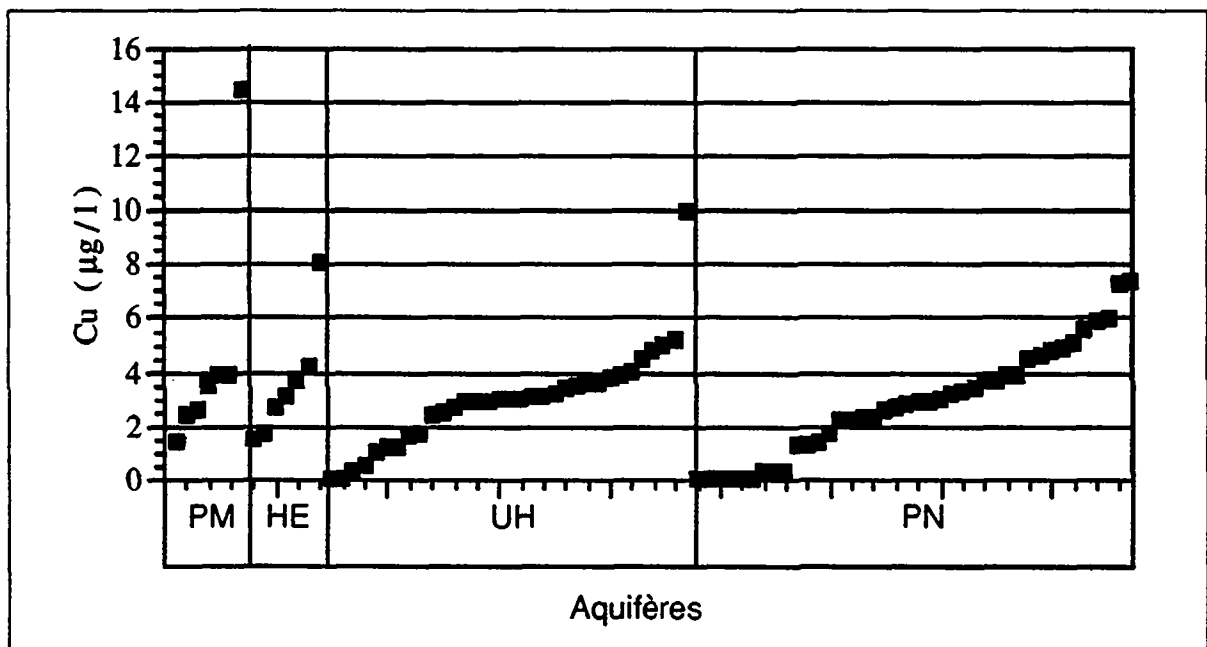


Figure 8.94 Série ordonnée des teneurs en Cu des eaux

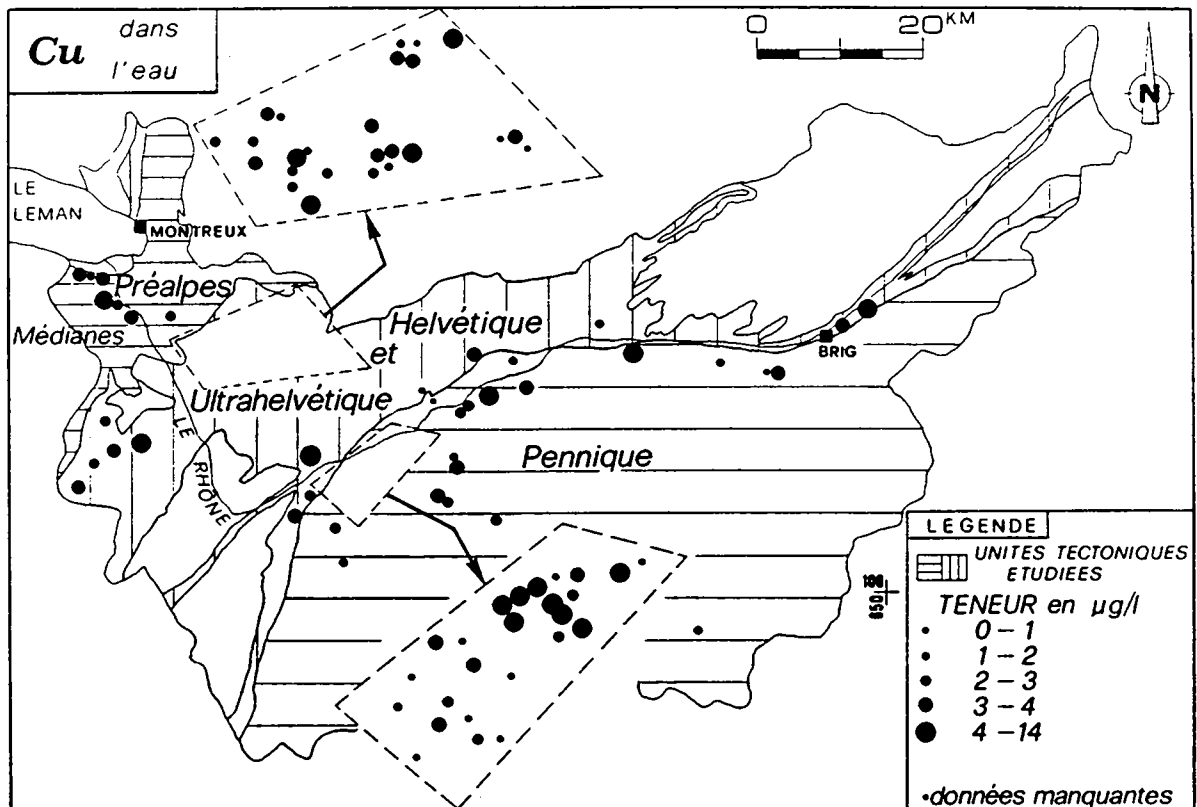


Figure 8.95 Répartition spatiale des teneurs en Cu des eaux

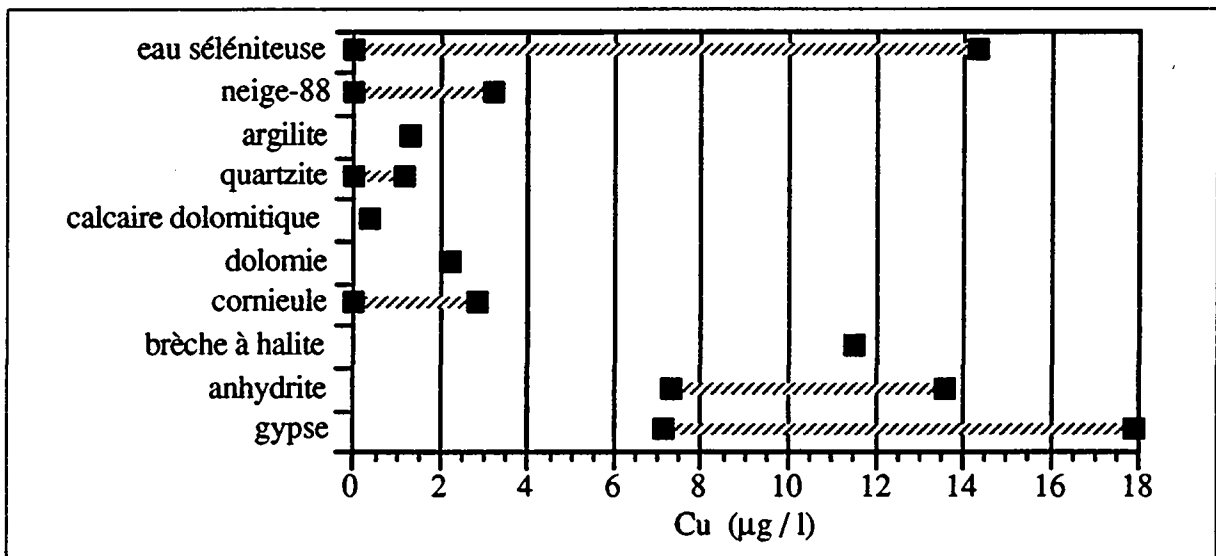


Figure 8.96 Ordre de grandeur des concentrations en Cu dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

Les eaux chaudes ne présentent pas de concentrations en Cu plus élevées que celles des eaux froides (fig. 8.95).

Nos analyses de roches ont surtout montré que la fraction soluble des gypses contient plus de Cu que la plupart des autres roches du Trias (fig. 8.96). Les anhydrites et la brèche à halite ont également dévoilé des teneurs en Cu plus importantes que les roches carbonatées et détritiques. Ces résultats démontrent que l'origine du Cu dans les eaux est essentiellement liée à leur

passage dans des aquifères formés principalement de roches sulfatées-calciques. Sa présence est certainement due à des minéraux cuprifères comme la chalcopryrite (CuFeS_2), la bornite (Cu_2FeS_4), la covelline (CuS) ou la chalcosine (Cu_2S). Certains ont été rencontrés dans les formations évaporitiques traversées par les forages EOS dans la région de Nendaz.

Il existe également d'autres minéraux cuprifères: la malachite ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$), observée dans les quartzites du site sourcier des Etoveys dans la région d'Isérables (fig 4.1 et annexe 1).

La présence de Cu anthropogène est également à envisager. Cependant, nous ne l'avons pas identifié dans notre étude.

8.2.24 Scandium

A l'échelle du Bassin rhodanien, le scandium est l'élément en trace avec la plus faible variabilité spatiale: 39 % (tab.8.1). Ceci a été observé pour chacune des unités tectoniques. Pour l'ensemble des eaux étudiées, les caractéristiques descriptives ont encore révélé une teneur moyenne en Sc de $3 \mu\text{g/l}$ et des valeurs extrêmes de 1,2 et $7,6 \mu\text{g/l}$ (annexe 13).

A part six valeurs situées au-delà de $5 \mu\text{g/l}$ (fig. 8.98), l'histogramme des fréquences des teneurs en Sc présente une distribution normale légèrement asymétrique (fig. 8.97).

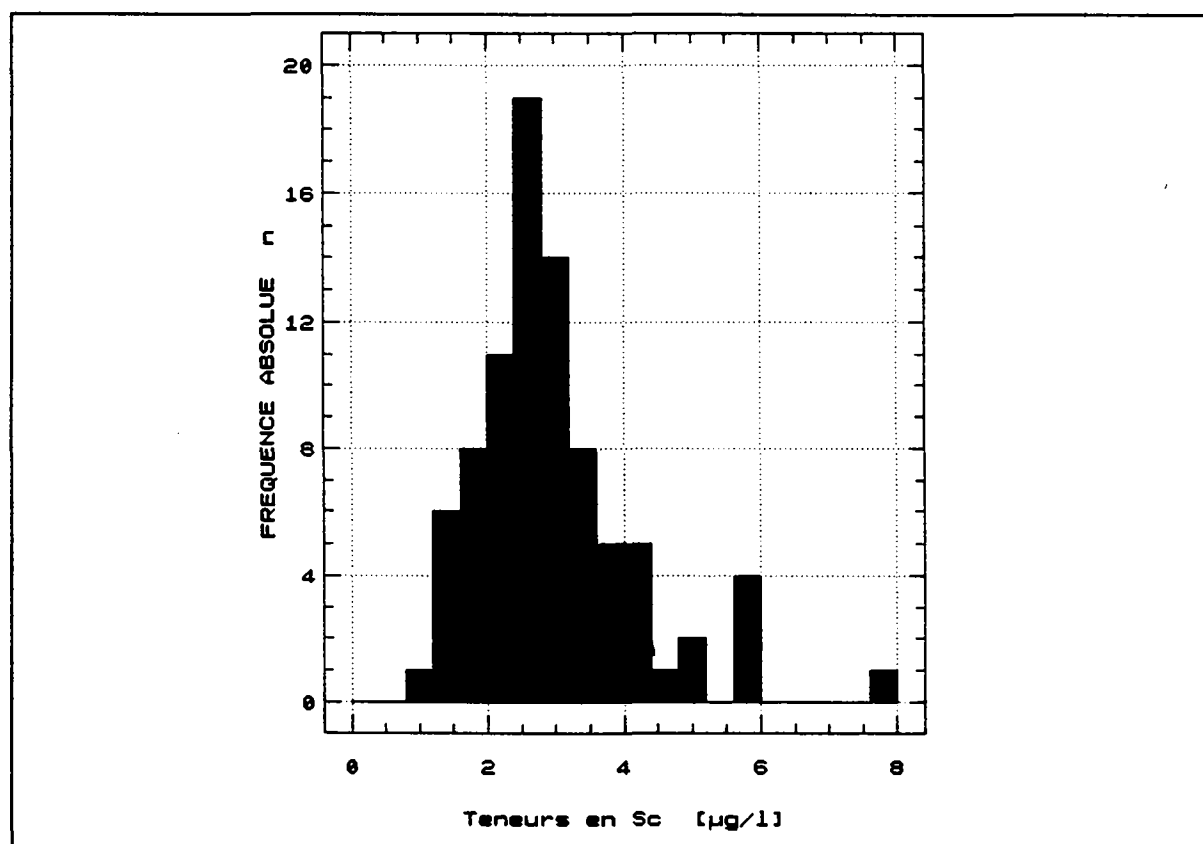


Figure 8.97 Histogramme des fréquences des teneurs en Sc des eaux ($n = 85$)

La répartition spatiale des concentrations en Sc a fait surtout ressortir quatre zones sourcières avec une faible anomalie en Sc. Deux appartiennent au Pennique (zones d'Isérables-galerie de

Fey et de La Printse: sources n° 69, 77 et 75), une aux Préalpes Médiannes (Saint-Gingolph: sources n° 1 à 9) et la quatrième à l'Ultrahelvétique (source des Jorettes: n° 32) (fig. 8.99).

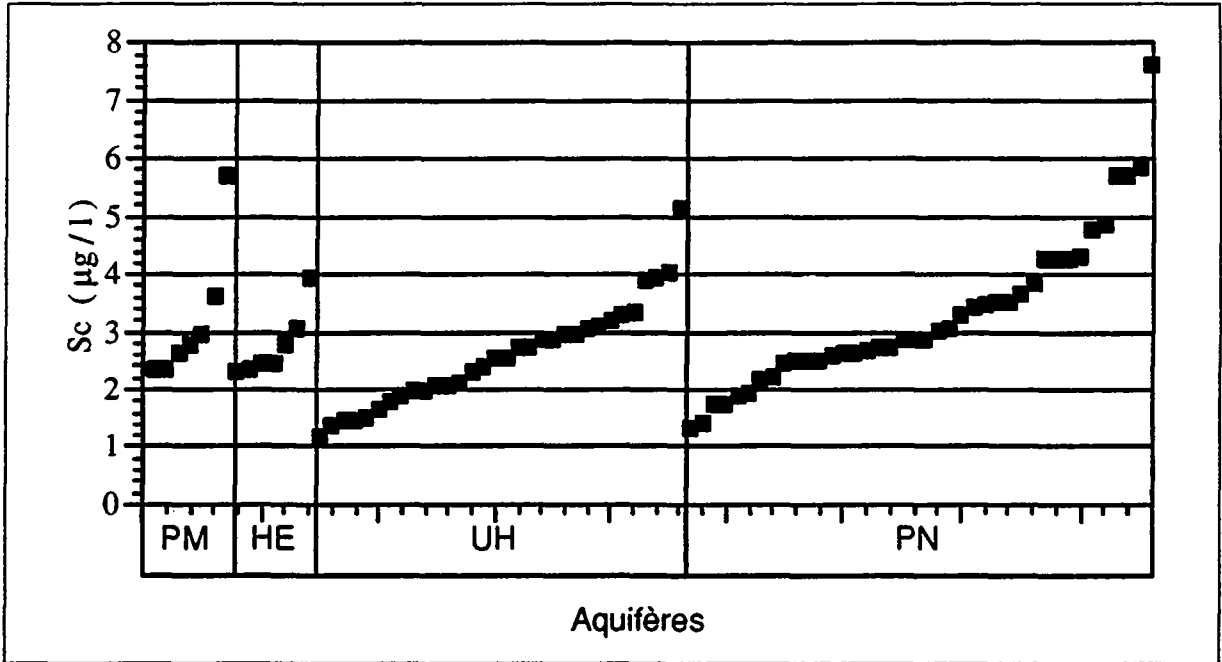


Figure 8.98 Série ordonnée des teneurs en Sc des eaux

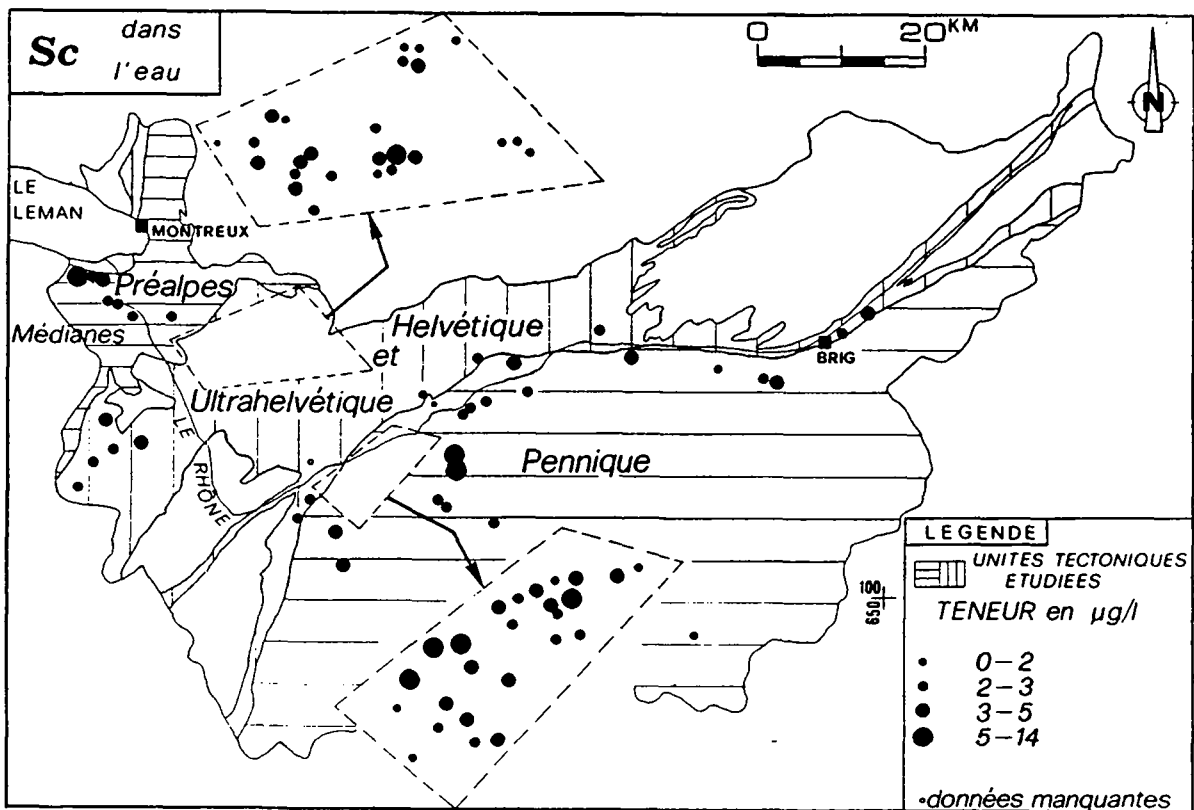


Figure 8.99 Répartition spatiale des teneurs en Sc des eaux

Ce sont celles du Pennique qui dénotent les valeurs les plus élevées. Elles sont comprises entre 5 et 8 $\mu\text{g/l}$ (fig. 8.98). Ailleurs, les teneurs en Sc se sont montrées plus faibles (fig. 8.99).

Parmi les sources chaudes, celles de Combioula sont les plus riches en Sc. Nous avons en effet détecté des concentrations variant entre 7 et 13,2 $\mu\text{g/l}$ (fig. 8.99).

Le scandium est connu essentiellement dans les argilites, les calcaires et les quartzites (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978). Cependant, nos tests de lixiviation ont montré des teneurs intéressantes dans les lixiviats de gypses, les anhydrites et la brèche à halite. Les cornieules et les quartzites ont parfois des concentrations comparables (fig. 8.100).

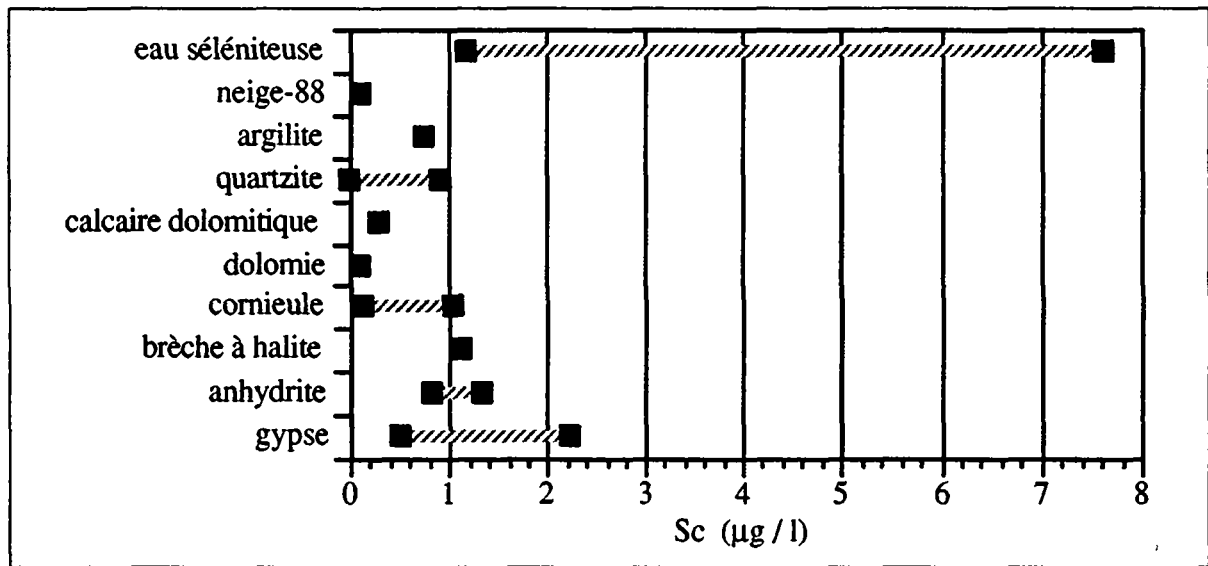


Figure 8.100 Ordre de grandeur des concentrations en Sc dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

L'étude des corrélations interparamètres a montré une étroite liaison entre Sc-Al ($R=0,85$) et Sc-Si ($R=0,8$) (annexe 14), ce qui présuppose une association aux argiles. On trouve encore une bonne relation entre Sc- HCO_3 ($R=0,55$). Comme l'anomalie sourcière Isérables-galerie de Fey est caractérisée aussi par des concentrations substantielles en HCO_3 , Si et Al, l'origine du Sc dans les eaux peut donc aussi dépendre des roches carbonatées, argileuses et ou quartzitiques.

8.2.25 Yttrium

L'yttrium se caractérise par une concentration moyenne très faible de 0,6 $\mu\text{g/l}$ et des valeurs minimale et maximale de 0 et 2,4 $\mu\text{g/l}$ (annexe 13). Il présente une faible hétérogénéité spatiale de 58 % (tab. 8.1).

Hormis six valeurs supérieures à 1 $\mu\text{g/l}$, l'histogramme des fréquences laisse apparaître principalement un seul groupe avec des teneurs comprises entre 0 et 1 $\mu\text{g/l}$ (fig. 8.101 et 8.102).

La carte de répartition spatiale fait ressortir quatre zones à faible anomalie en Y (fig. 8.103). Elles correspondent aux sites sourciers des Serves-Vers Lavaux (Saint-Gingolph: sources n° 1

à 9), de Moulin Dessus-Palulaires (Villars: sources n° 19 à 22), de Tovachir (Loc: source n° 48) et de Birchi (Mörel: sources n° 56 à 58). Des anomalies en Sr ont été également repérées dans ces zones (fig.4.1 et 8.103, annexe 1).

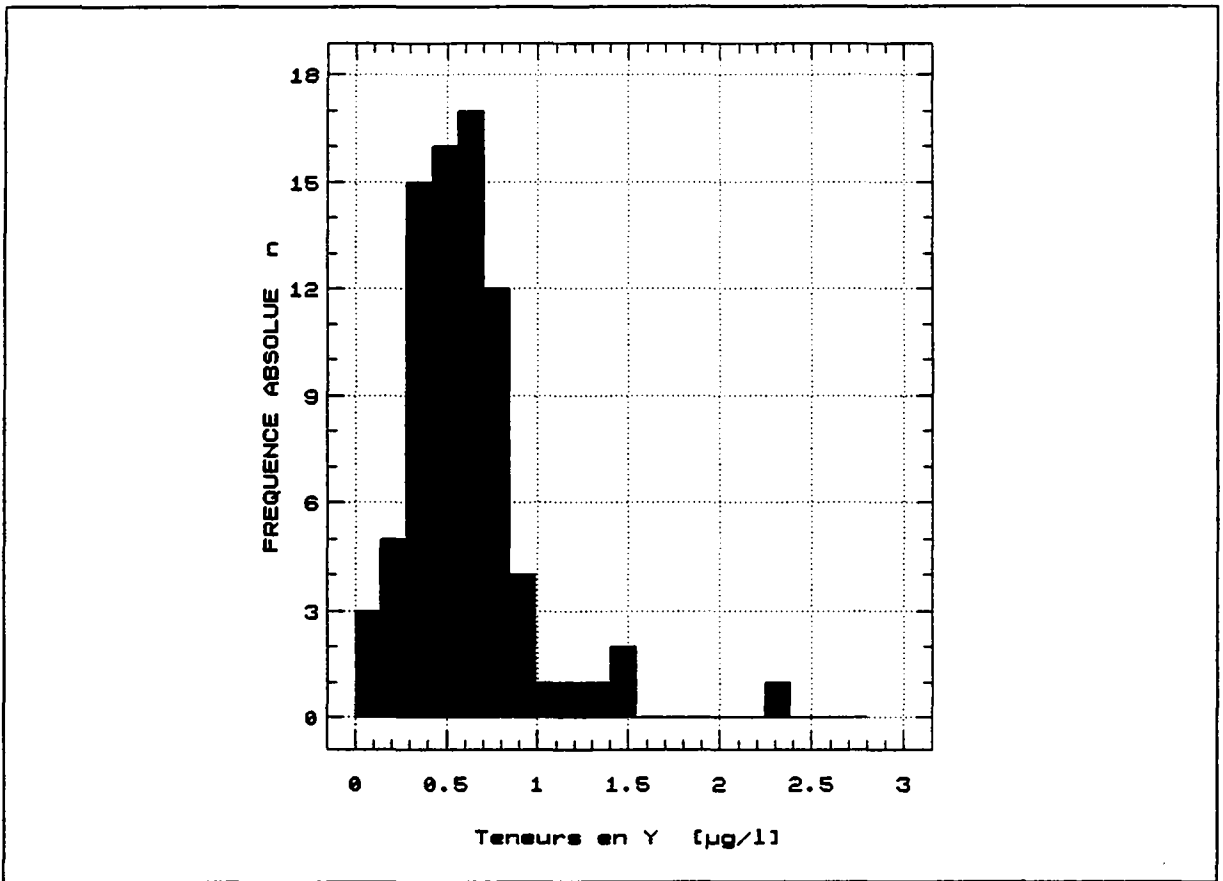


Figure 8.101 Histogramme des fréquences des teneurs en Y des eaux (n = 80)

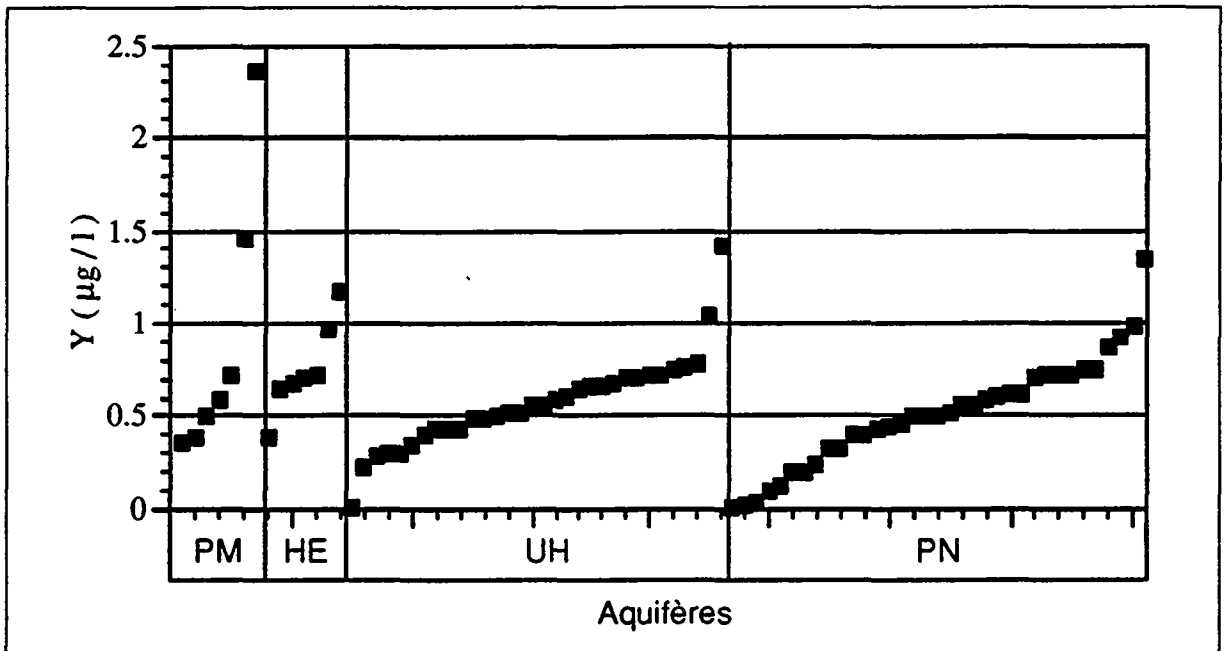


Figure 8.102 Série ordonnée des teneurs en Y des eaux

Les sources chaudes dénotent des concentrations en Y très proches de celles des émergences froides (fig. 8.103).

L'origine de ce ion dans les eaux des évaporites paraît être rattachée comme celle du Sr et du Rb aux gypses. Les tests de lixiviation ont du reste montré que les roches sulfatées-calcaïques sont en général plus riches en Y que les autres (fig. 8.104).

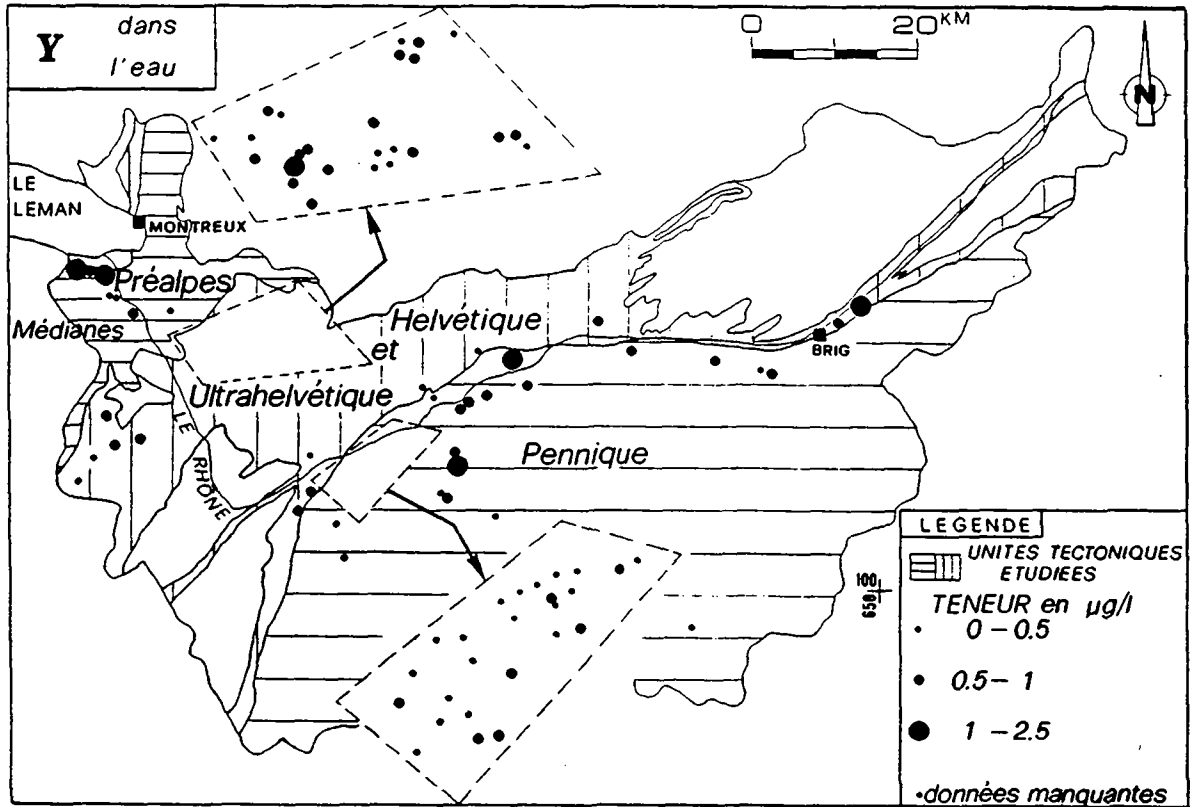


Figure 8.103 Répartition spatiale des teneurs en Y des eaux

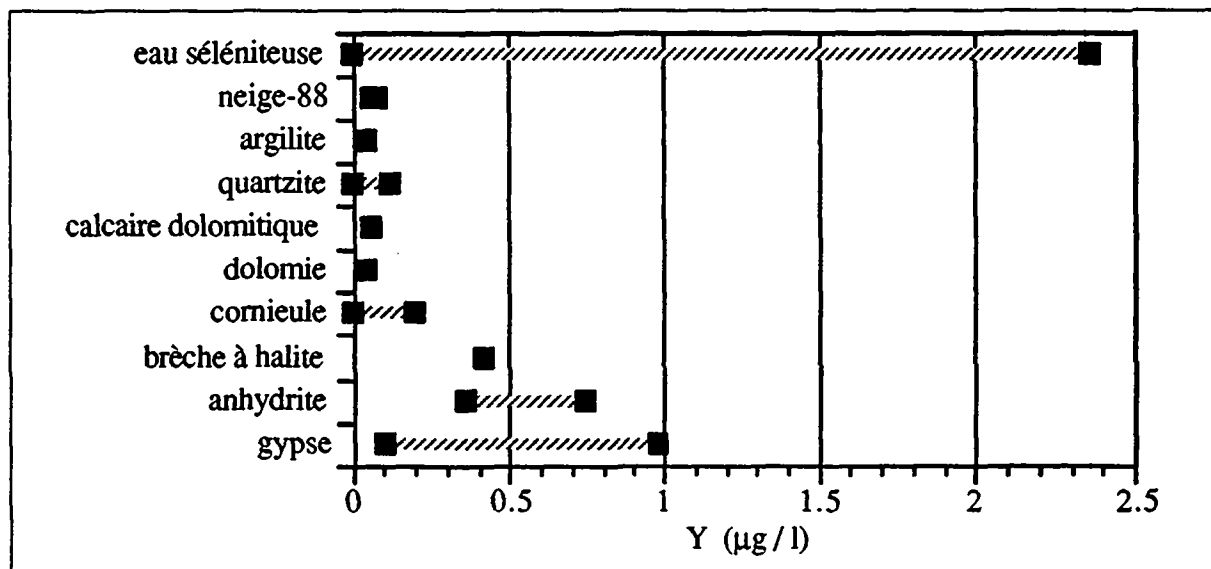


Figure 8.104 Ordre de grandeur des concentrations en Y dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

8.2.26 Arsenic

As s'est révélé comme un élément en trace dans les eaux. La teneur moyenne a été de $0,6 \mu\text{g/l}$ avec une dispersion spatiale élevée de 170 % à l'échelle du Bassin rhodanien (tab. 8.1). Les valeurs minimale et maximale ont été de 0 et $4,3 \mu\text{g/l}$ (annexe 13).

L'histogramme des fréquences permet de voir que près de 85 % des sources ont des teneurs en As inférieures à $1 \mu\text{g/l}$ (fig. 8.105 et 8.106). Sa distribution est bimodale.

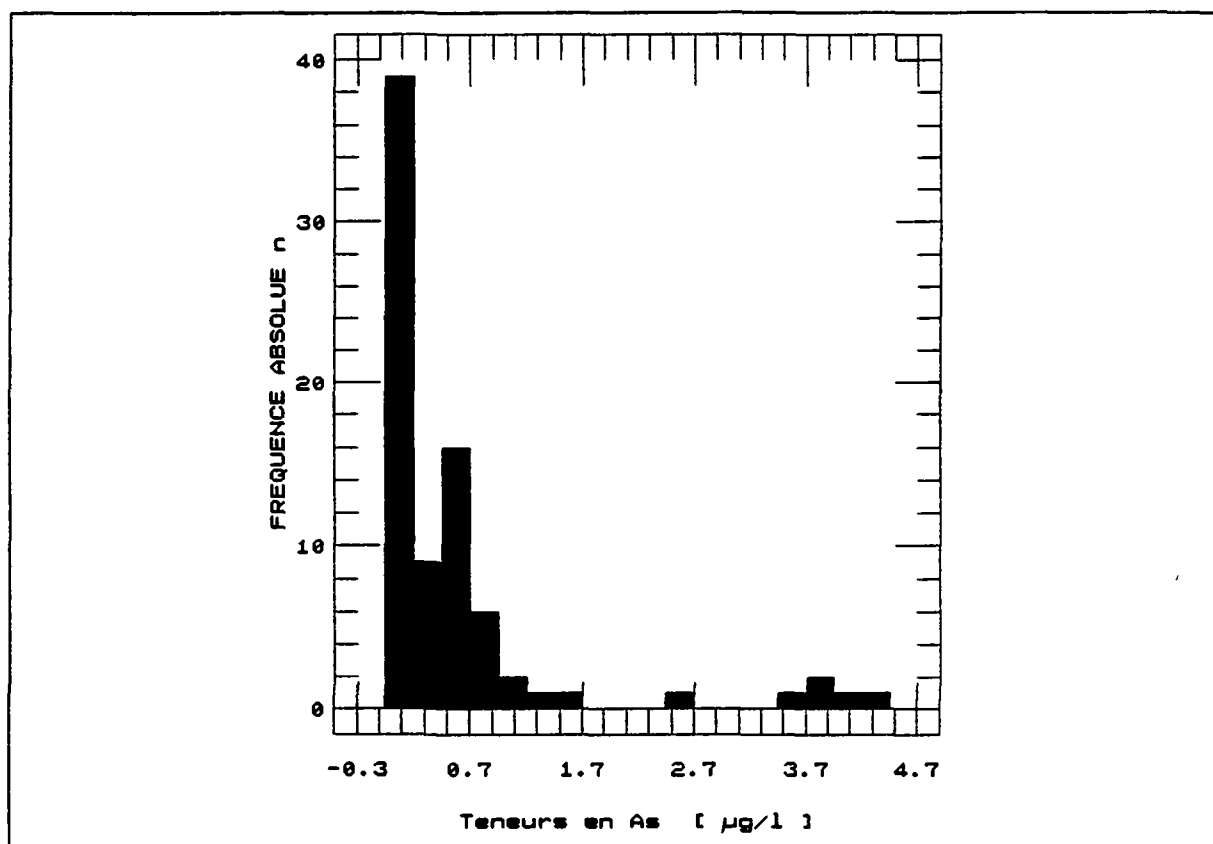


Figure 8.105 Histogramme des teneurs en As des eaux ($n = 80$)

La carte de répartition spatiale et la série ordonnée des teneurs en As des eaux froides mettent surtout en évidence que les aquifères UH et PN ont parfois des concentrations en As légèrement plus élevées que celles des aquifères PM et HE, ce qui explique la tendance bimodale de la distribution fréquentielle (fig. 8.106 et 8.107).

Les sources chaudes du Châtelard (n° 106) et de Combioula (n° 97 et 98) se sont signalées avec des teneurs en As supérieures à celles des eaux froides, comprises entre $8,1$ et $16,5 \mu\text{g/l}$ (fig. 8.107).

Nous avons peu d'informations quant à l'origine de l'As dans les eaux des évaporites. Les lixiviatés des différentes roches triasiques ont généralement fait apparaître des teneurs en As très comparables (fig. 8.108). As n'est pas caractéristique d'une roche du Trias.

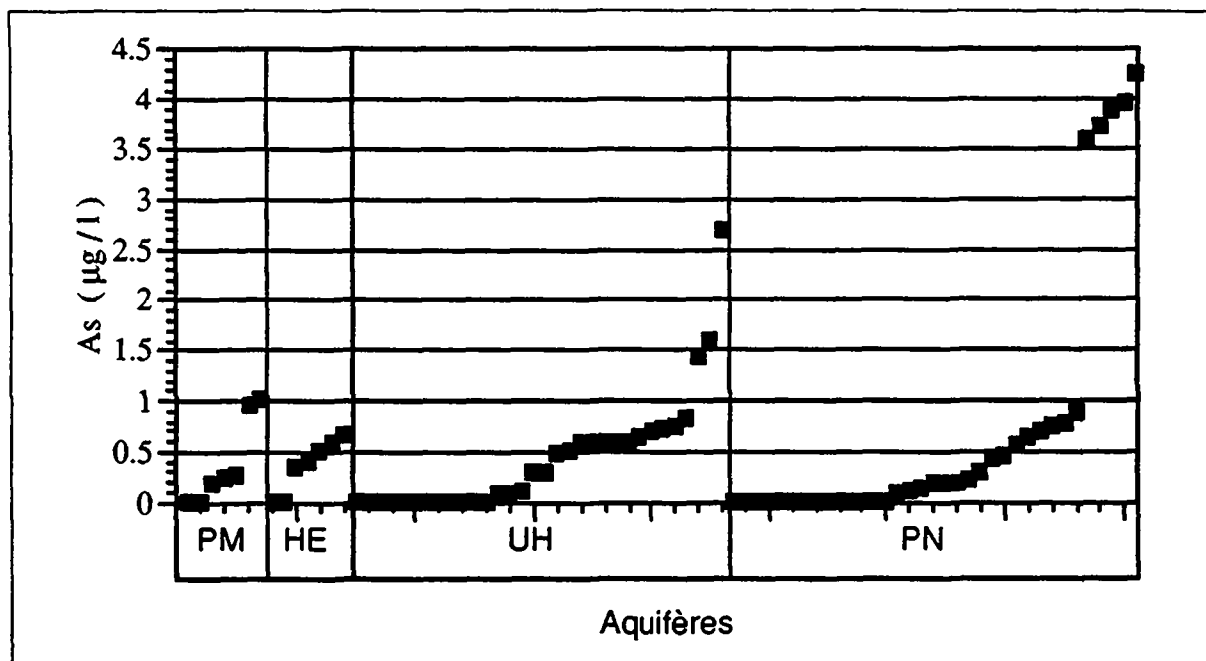


Figure 8.106 Série ordonnée des teneurs en As des eaux

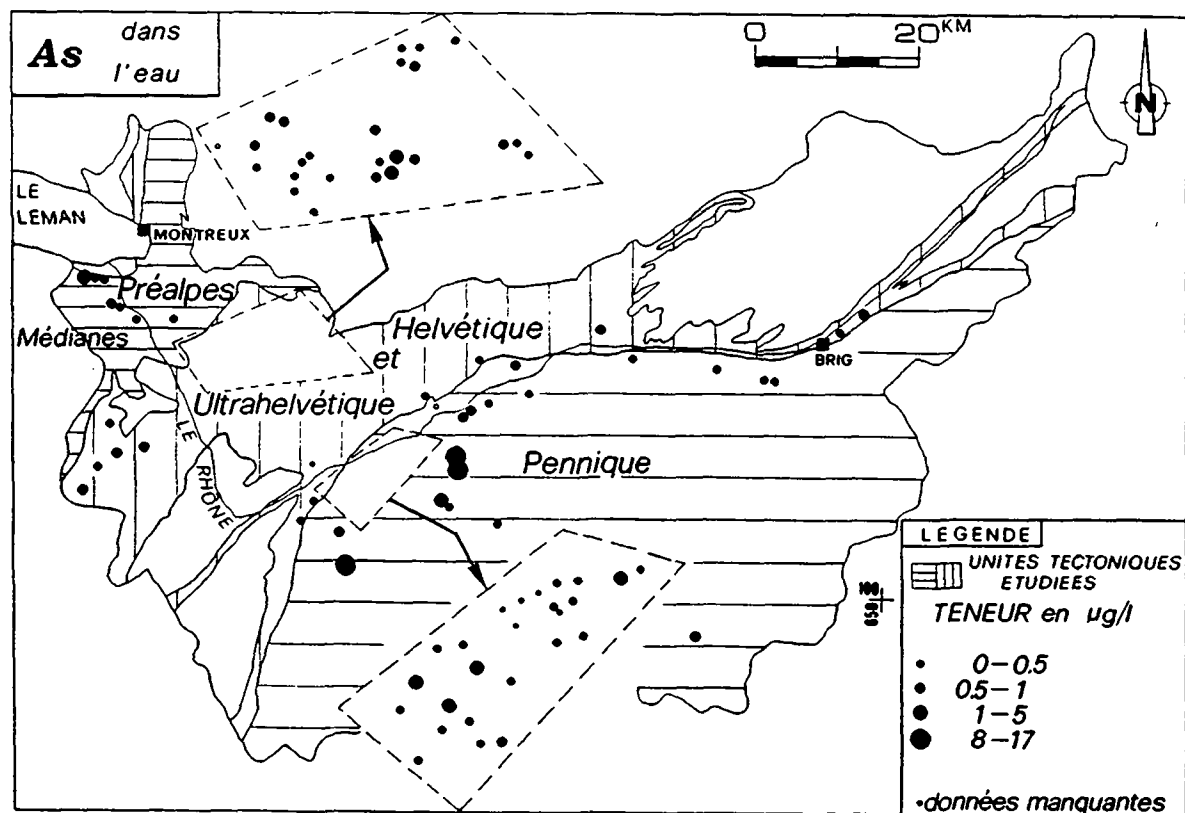


Figure 8.107 Répartition spatiale des teneurs en As des eaux

Cependant, l'étude des corrélations interparamètres a montré des relations intéressantes entre As-Si, As-Sc et As-Al de l'ordre de 0,4 (annexe 14). Nous avons vu précédemment que Si, Sc et Al sont étroitement liés aux argiles. On peut donc penser que la présence d'arsenic dans les eaux est un produit du lessivage des minéraux argileux.

Quelques minéraux à base d'As, dont l'arsénopyrite (FeAsS), sont généralement disséminés dans les calcaires et les dolomies (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978). Une autre constatation est que As est un marqueur de haute température (WHITE, 1971). Les sources chaudes du Châtelard et de Combioula l'ont démontré.

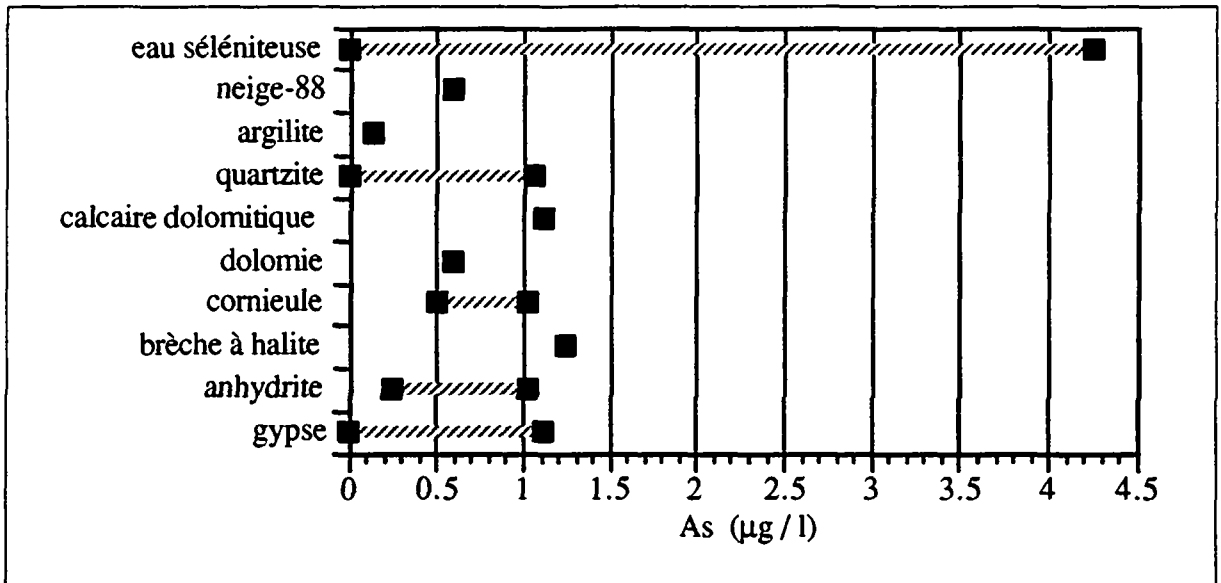


Figure 8.108 Ordre de grandeur des concentrations en As dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

8.2.27 Vanadium

Parmi les nombreux éléments chimiques que nous nous sommes proposés d'analyser dans les eaux des évaporites, V est l'une des six éléments en traces (Y, As, V, Ge, Cr, Cd), dont la concentration moyenne se situe en-dessous de $1 \mu\text{g/l}$. Les valeurs extrêmes ont été de 0 et $1,3 \mu\text{g/l}$ (annexe 13). Cette très faible teneur généralisée à l'ensemble des sources froides du bassin implique une répartition spatiale peu hétérogène de 57 % (tab. 8.1).

L'histogramme des fréquences semble dégager deux populations. La première réunit 65 % des sources avec des teneurs en V variant entre 0 et $0,5 \mu\text{g/l}$ (fig. 8.109 et 8.110). La seconde rassemble les points d'eau avec des valeurs comprises entre 0,5 et $1,3 \mu\text{g/l}$.

La carte de répartition spatiale ne met pas en évidence des zones à anomalie significative en V (fig. 8.111). On note uniquement quelques sources UH et PN à teneurs supérieures à $1 \mu\text{g/l}$ (fig. 8.110), essentiellement localisées dans les régions de Plambuit (sources n° 17 et 18), des Diablerets (source n° 37), de Loc (source n° 48) et de La Printse (source n° 88). Elles correspondent à la première population décrite par l'histogramme.

Les eaux chaudes de Combioula sont par contre caractérisées par des concentrations en V plus élevées de l'ordre de 9 à $24 \mu\text{g/l}$ (fig. 8.111).

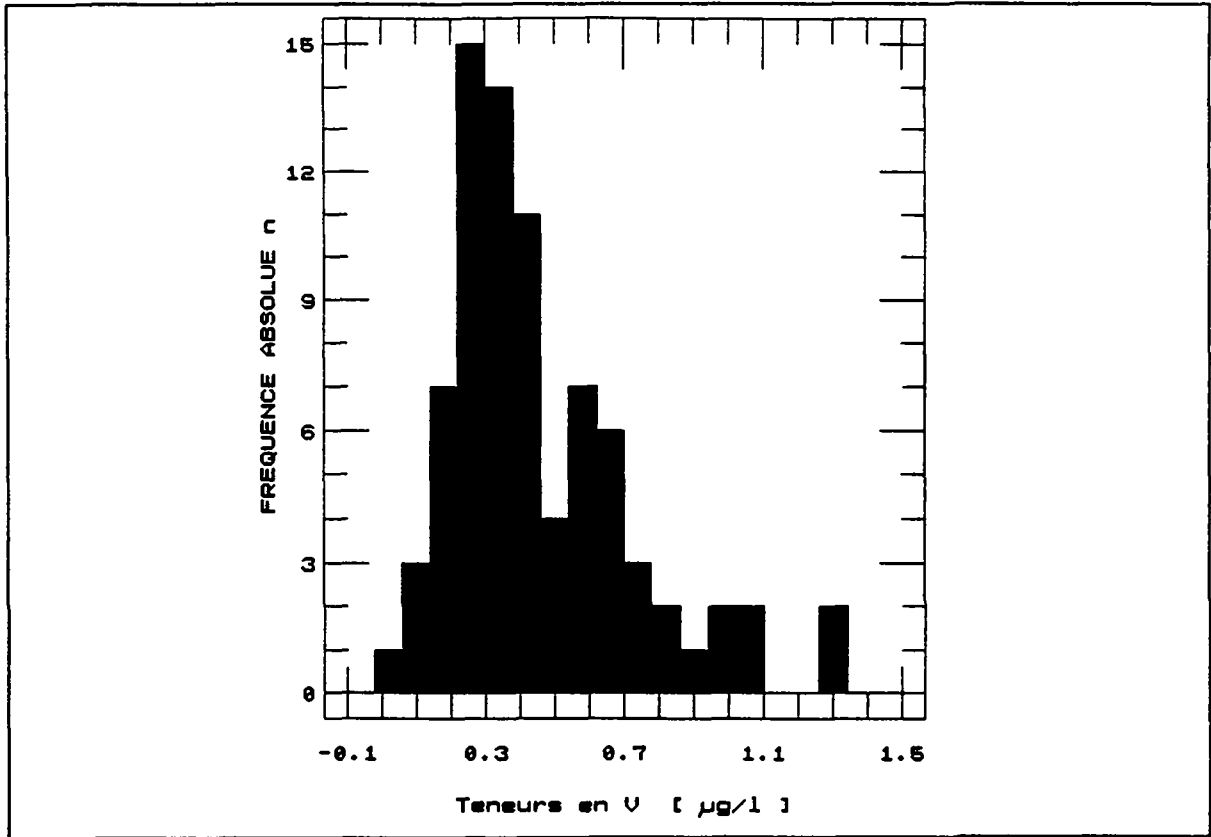


Figure 8.109 Histogramme des fréquences des teneurs en V des eaux (n = 80)

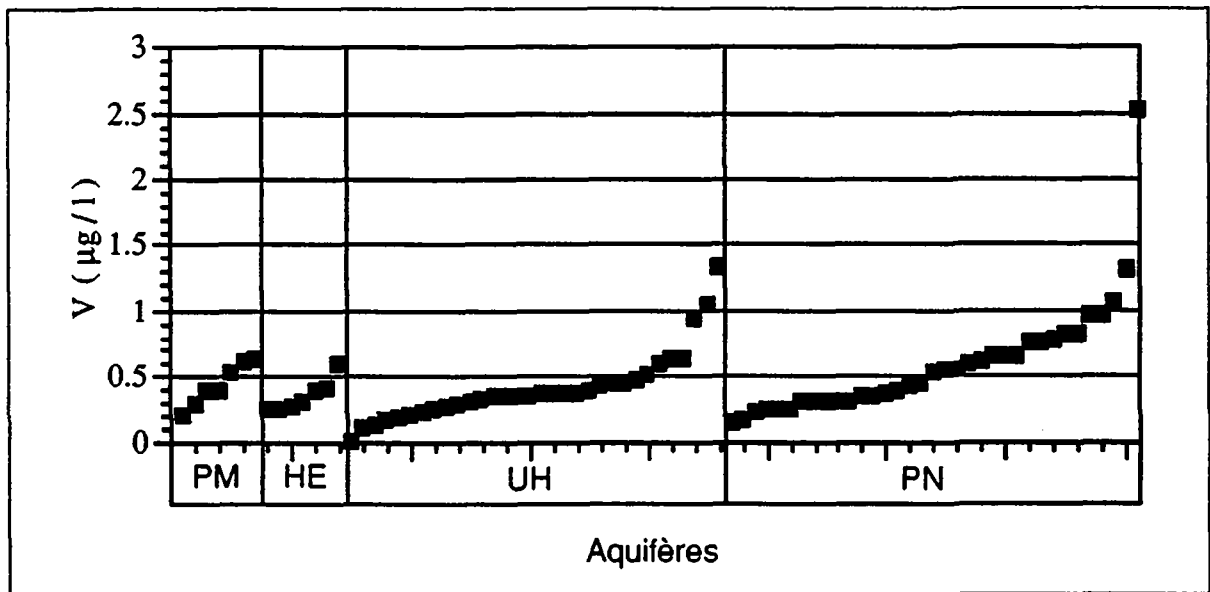


Figure 8.110 Série ordonnée des teneurs en V des eaux

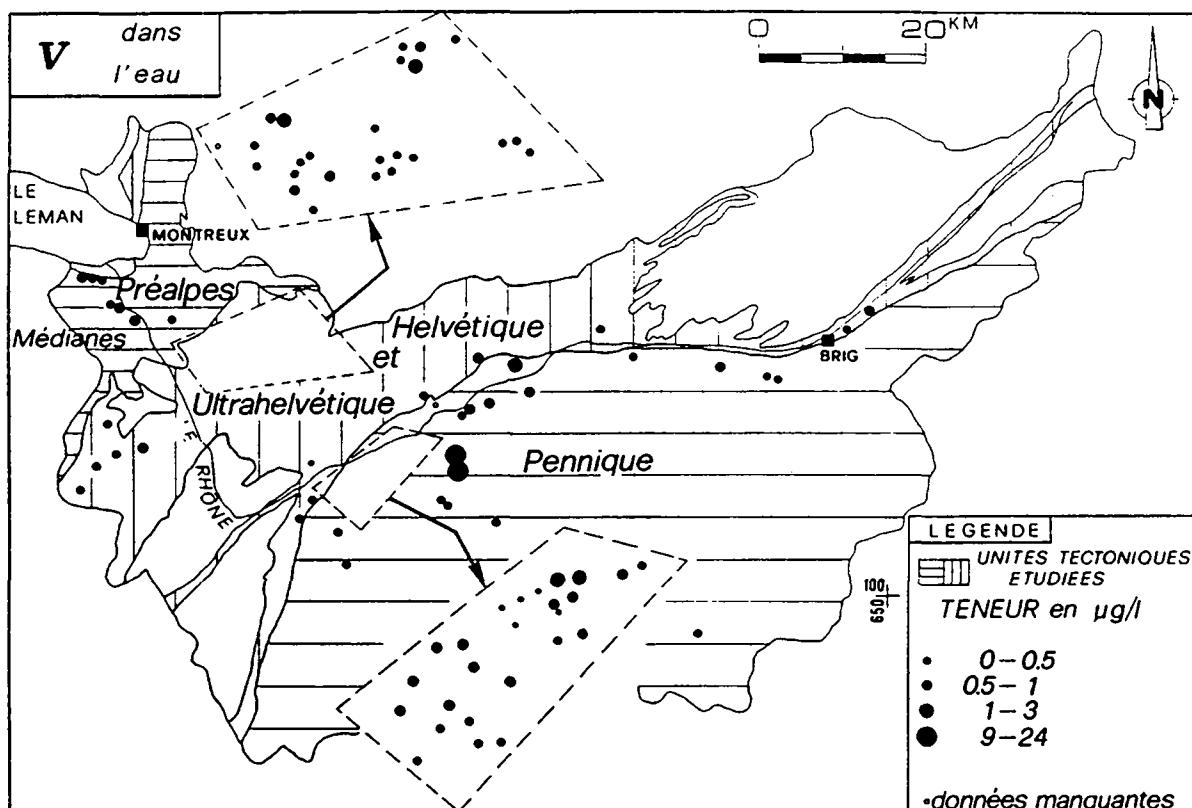


Figure 8.111 Répartition spatiale des teneurs en V des eaux

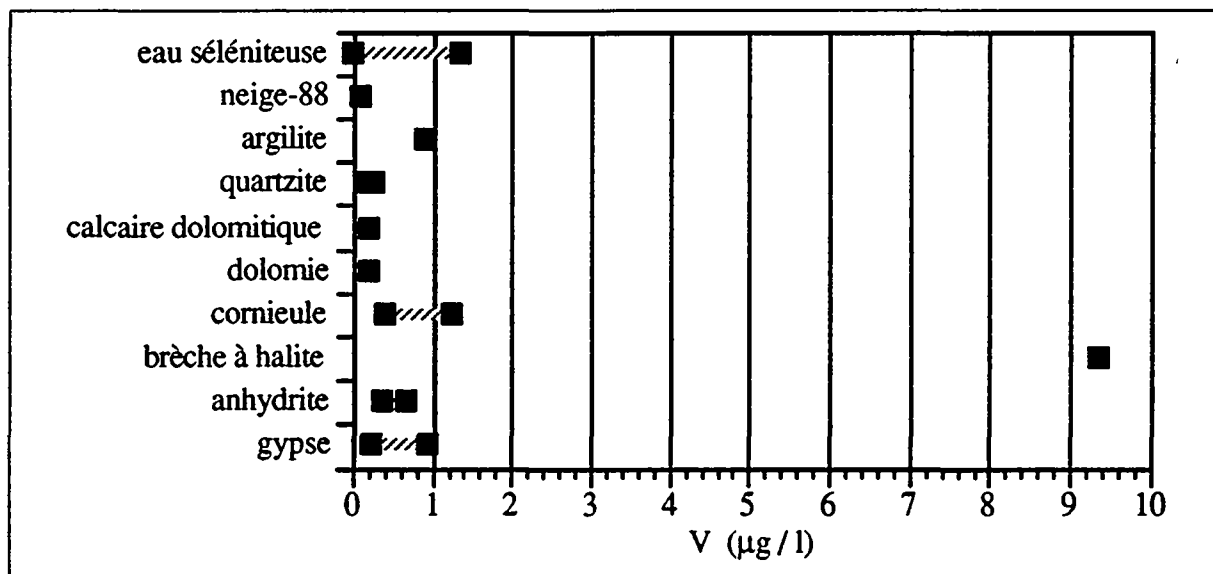


Figure 8.112 Ordre de grandeur des concentrations en V dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

Le lixiviat de la brèche à halite a révélé une teneur en V plus importante que celle des gypses ou des autres roches triasiques (fig. 8.112). La faible minéralisation en V des eaux froides est probablement liée à l'absence du sel gemme dans les formations évaporitiques à faible profondeur. Nous avons du reste obtenu une corrélation intéressante entre V-Na et entre V-Cl de l'ordre de 0,5 à 0,6 (annexe 14).

8.2.28 Germanium

Le Ge, détecté en de très faibles quantités dans les eaux froides, a montré une concentration moyenne de 0,4 $\mu\text{g/l}$ avec un coefficient de variation spatiale assez élevé de 162 % (tab. 8.1). De nombreuses sources se sont révélées dépourvues de Ge et la teneur maximale atteinte a été de 4 $\mu\text{g/l}$ (annexe 13).

L'histogramme des fréquences des teneurs en Ge a une représentation bimodale. Deux groupes d'eaux semblent se dégager: l'un correspond à des valeurs comprises entre 0 et 0,6 $\mu\text{g/l}$, l'autre à des valeurs variant entre 0,6 et 2 $\mu\text{g/l}$ (fig. 8.113 et 8.114).

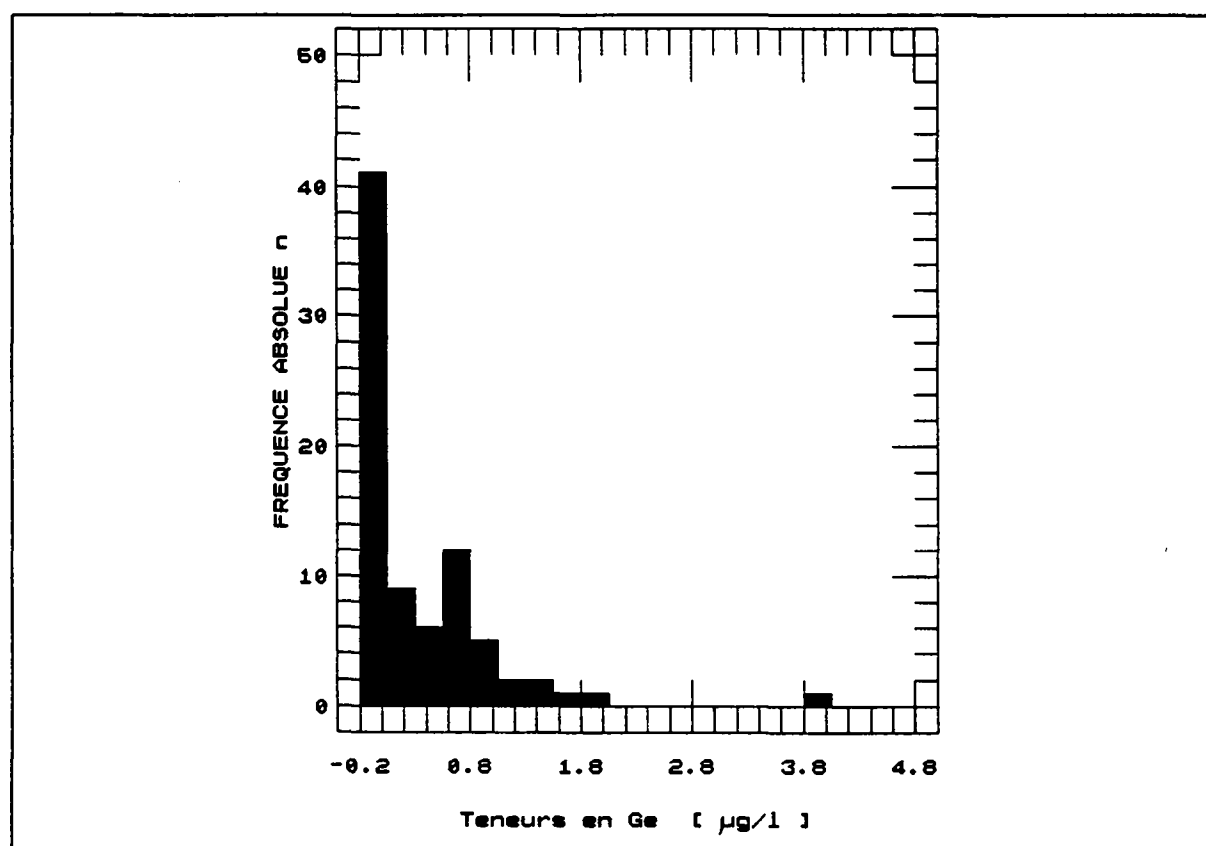


Figure 8.113 Histogramme des fréquences des teneurs en Ge des eaux ($n = 80$)

L'étude de la carte de répartition spatiale des concentrations a fait apparaître que le deuxième groupe se rapporte surtout aux sources UH de la région Ollon-Villars-Gryon (fig. 8.115). D'une manière générale, les sources PM et HE sont moins minéralisées que celles des deux autres unités tectoniques (fig. 8.114).

Seul le forage d'eau chaude de Combioula nous a permis de mesurer une concentration plus importante en Ge de 7,2 $\mu\text{g/l}$ (fig. 8.115).

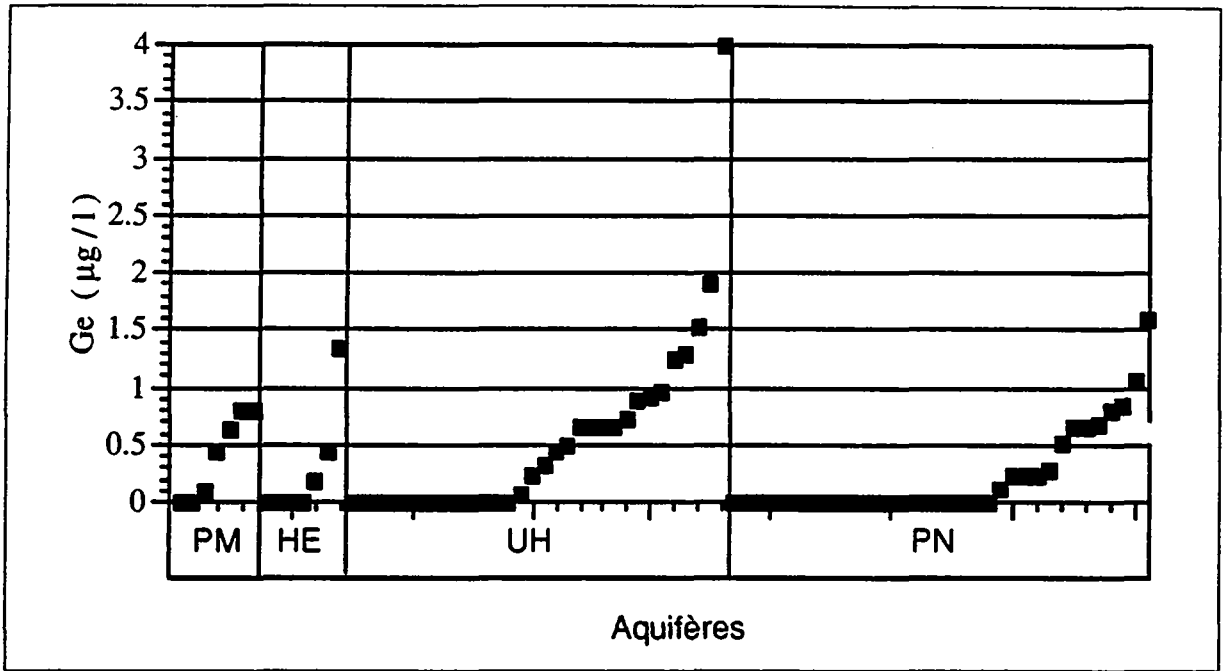


Figure 8.114 Série ordonnée des teneurs en Ge des eaux

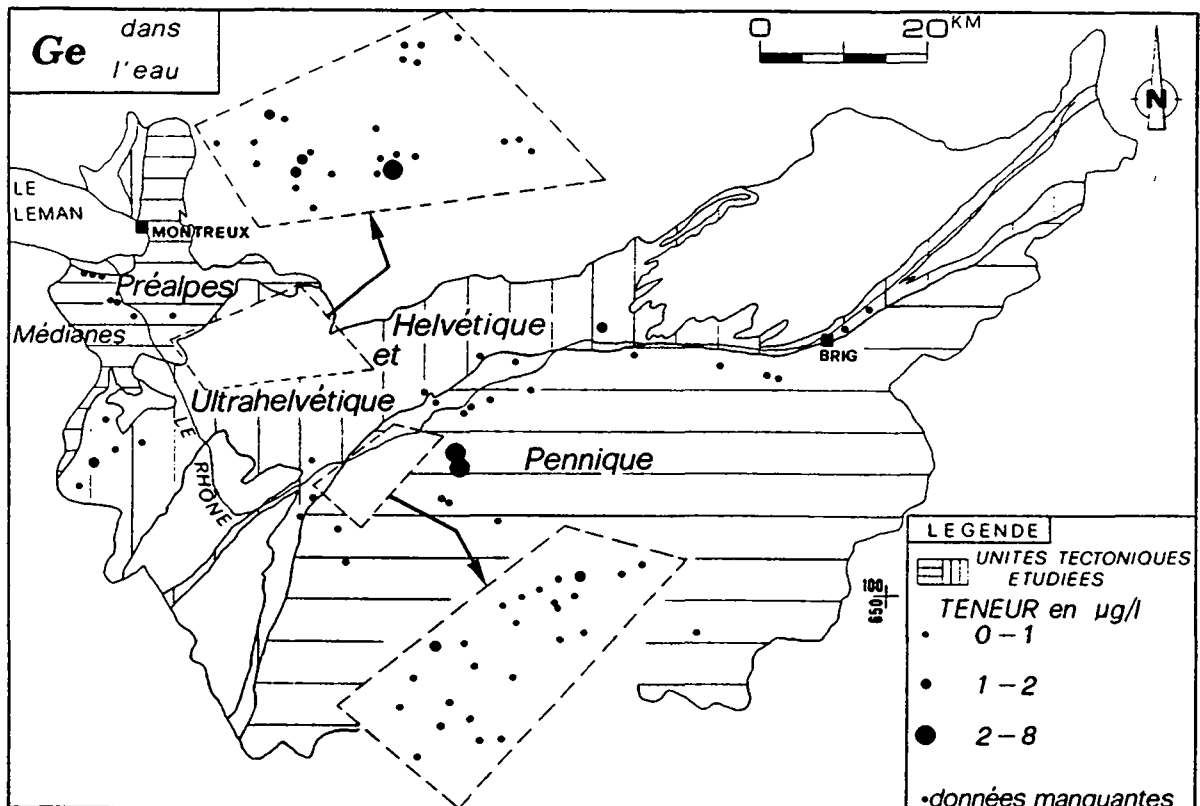


Figure 8.115 Répartition spatiale des teneurs en Ge des eaux

Le Ge est connu en association avec les anhydrites et les gypses (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978). On le trouve également avec le sel gemme, les argiles (illite, montmorillonite, kaolinite, glauconie), les roches carbonatées (carbonates et dolomies)

(HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978). Il est toujours présent en de très faibles quantités dans ces roches et excède rarement 1 ppm. Ces différents résultats provenant de la littérature ont été amplement confirmés par nos essais de lixiviation. Ainsi, la teneur en Ge des fractions solubles a été le plus souvent inférieure à 0,7 ppm. Les gypses, les anhydrites, la brèche à halite, les roches dolomitiques et même les quartzites ont tous révélé le Ge (fig. 8.116). Les lixiviats des gypses rhodaniens se sont parfois distingués par des teneurs plus élevées que celles des autres lithologies. Ceci peut indiquer que la minéralisation en Ge des eaux dépend en bonne partie du lessivage des gypses.

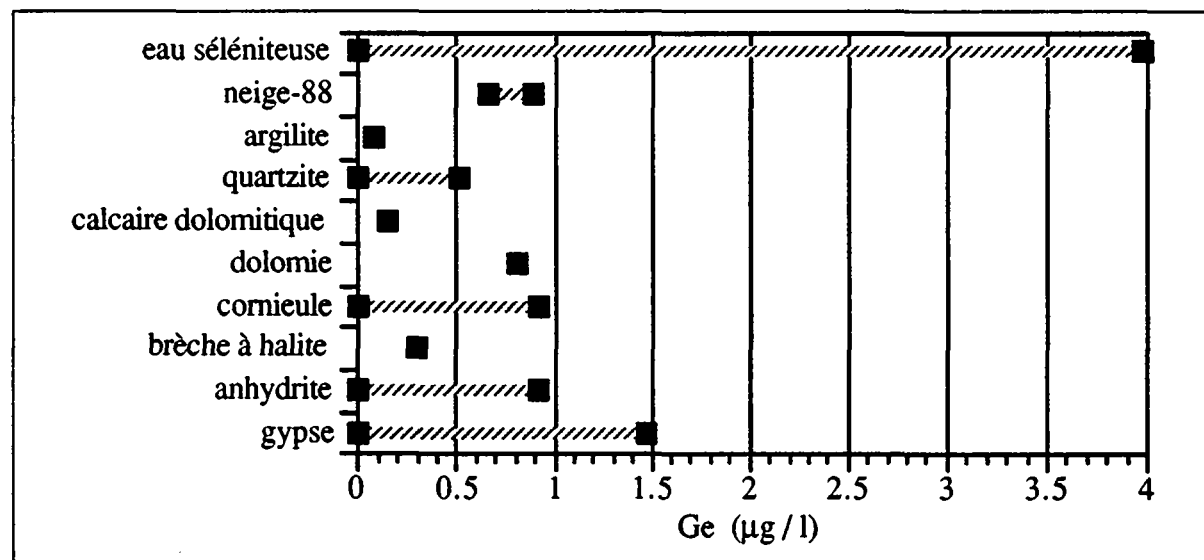


Figure 8.116 Ordre de grandeur des concentrations en Ge dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

Il est à noter que les neiges de l'hiver 1988 ont été caractérisées par des concentrations en Ge de l'ordre de 0,7 à 0,9 µg/l (annexe 4). Il est donc possible que la présence de cet élément dans l'eau souterraine soit d'origine anthropogène

8.2.29 Chrome

Les eaux froides ont révélé de très faibles teneurs en Cr. Dans chaque unité tectonique, la concentration moyenne a toujours été inférieure à 0,4 µg/l (annexe 13) avec des dispersions de l'ordre de 120 % (tab. 8.1). Les teneurs minimale et maximale ont été de 0 et 1,5 µg/l.

L'histogramme des fréquences a une forme exponentielle négative, où 98 % des sources ont des concentrations en Cr inférieures à 1 µg/l (fig. 8.117 et 8.118).

La carte de répartition spatiale fait ressortir deux sources froides avec des teneurs en Cr comprises entre 1 et 1,5 µg/l (fig. 8.119). Il s'agit des points d'eau de Moulin Dessus (source UH: n° 19) dans la région d'Ollon et du Tzeppé (source PN: n° 67) près d'Isérables (fig. 4.1 et annexe 1).

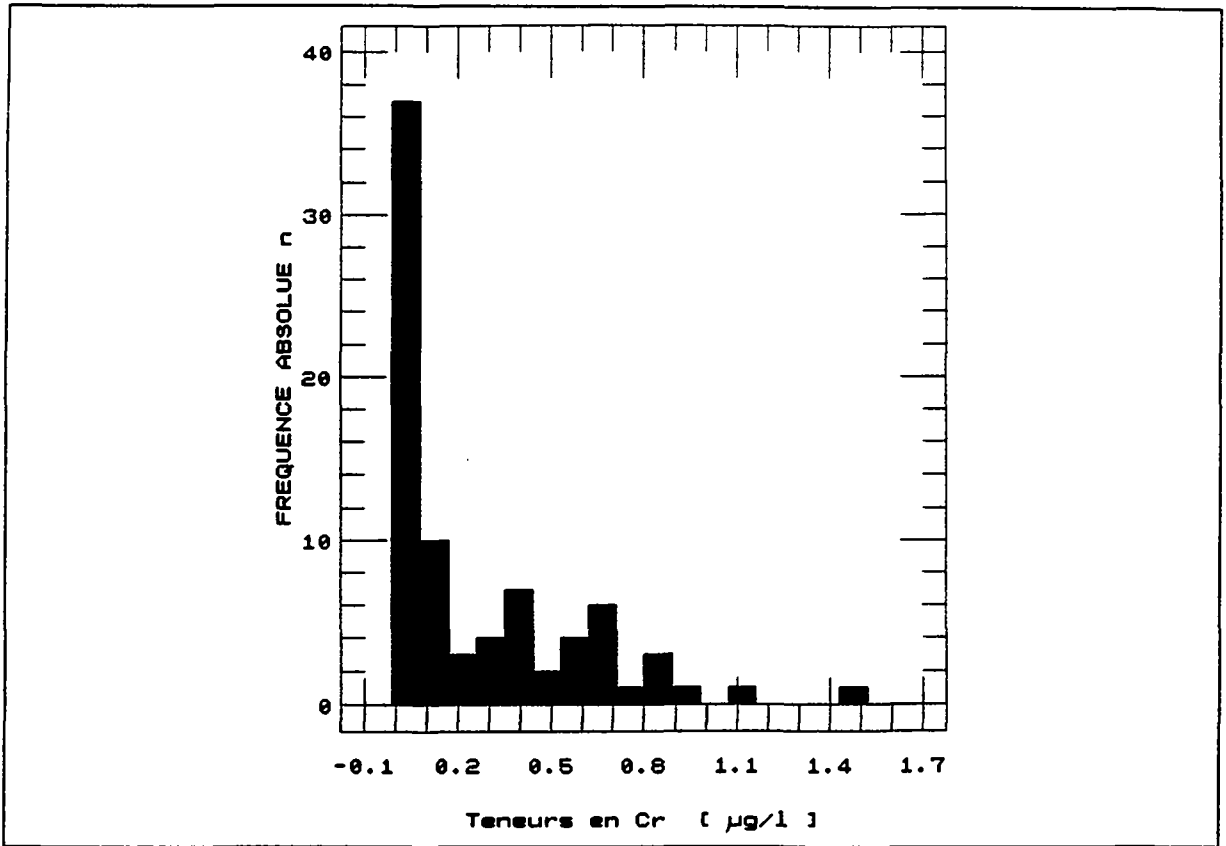


Figure 8.117 Histogramme des fréquences des teneurs en Cr des eaux (n = 80)

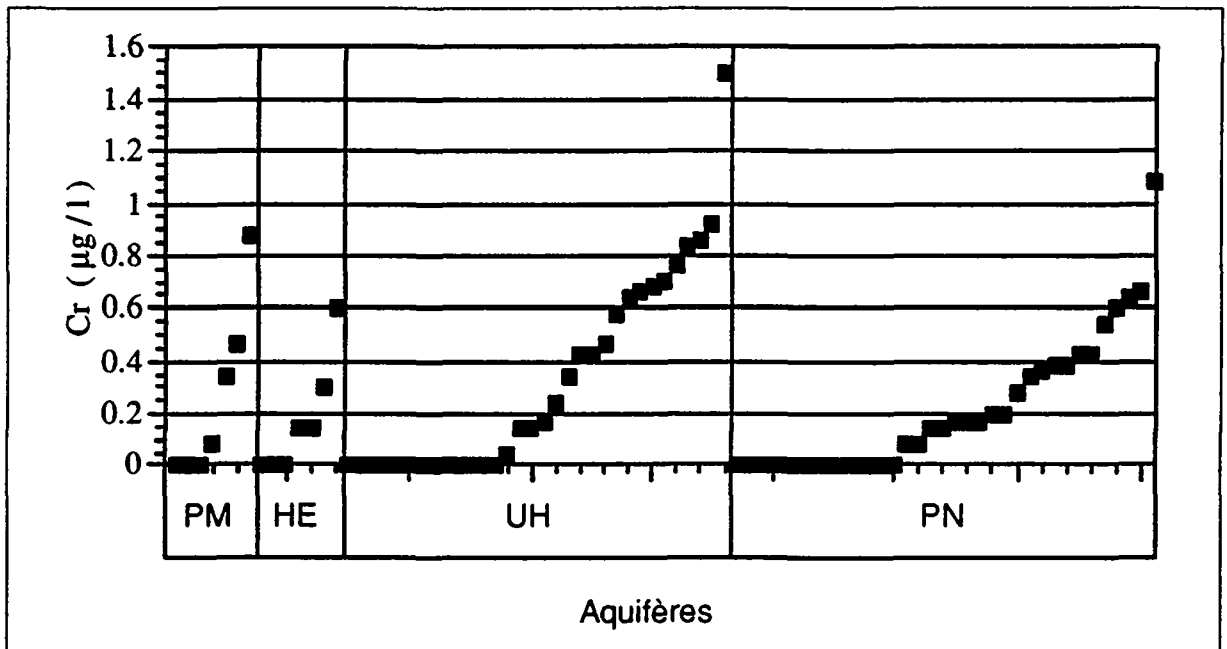


Figure 8.118 Série ordonnée des teneurs en Cr des eaux

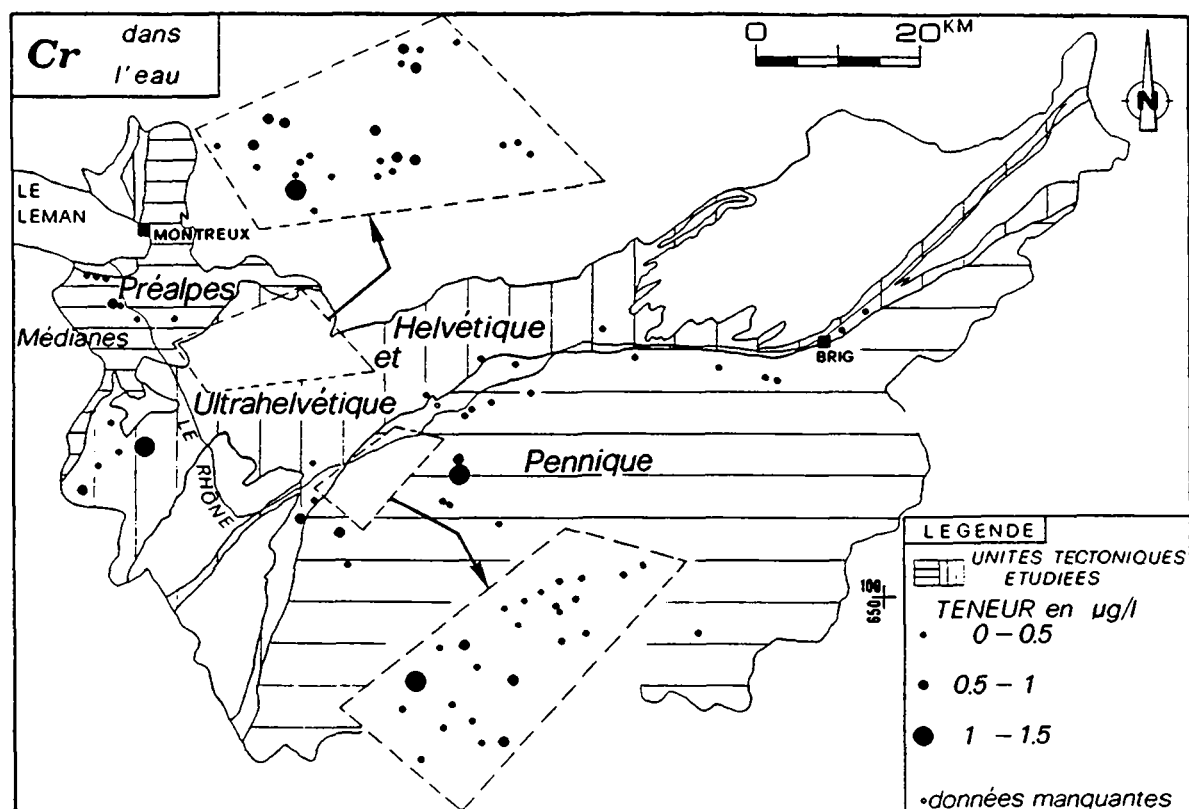


Figure 8.119 Répartition spatiale des teneurs en Cr des eaux

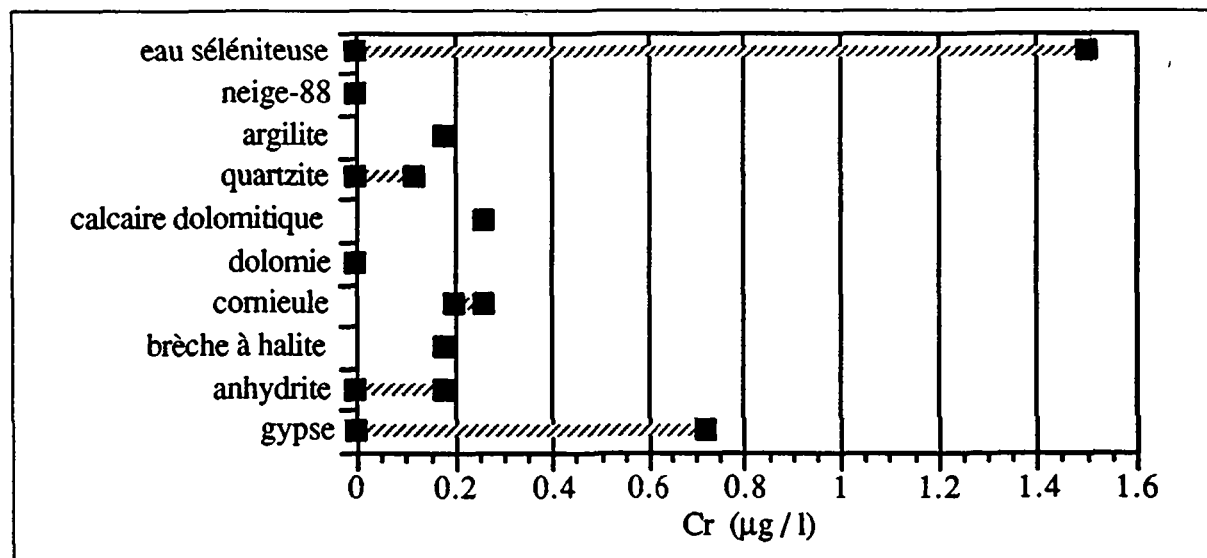


Figure 8.120 Ordre de grandeur des concentrations en Cr dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

Les eaux chaudes de Val d'Illiez (source n° 63) et de Combioula (sources n° 97 et 98) sont également caractérisées par des teneurs en Cr légèrement supérieures à 1 µg/l (fig. 8.119).

Aucune donnée sur l'existence de la chromite dans les évaporites du Trias du Bassin rhodanien ne nous a été rapportée. A priori, sa présence n'est pas à exclure. La faible minéralisation en Cr des eaux est vraisemblablement liée aux gypses. En effet, nos tests de lixiviation ont montré

que les gypses contiennent plus de Cr que les autres roches triasiques (fig. 8.120). Enfin, la présence de Cr est liée parfois à celle du S.

Les neiges de Morgins et de Gryon sont dépourvues de Cr (annexe 4).

8.2.30 Cadmium

Le Cd est très peu présent dans les eaux des évaporites. Sa concentration moyenne a été inférieure à $0,3 \mu\text{g/l}$ (annexe 13) avec une dispersion spatiale de 109 % (tab. 8.1). Les valeurs extrêmes ont été de 0 et $1,6 \mu\text{g/l}$.

L'histogramme des fréquences décrit une forme plus ou moins dissymétrique positive, englobant pratiquement la totalité des sources avec des teneurs inférieures à $1 \mu\text{g/l}$ (fig. 8.121).

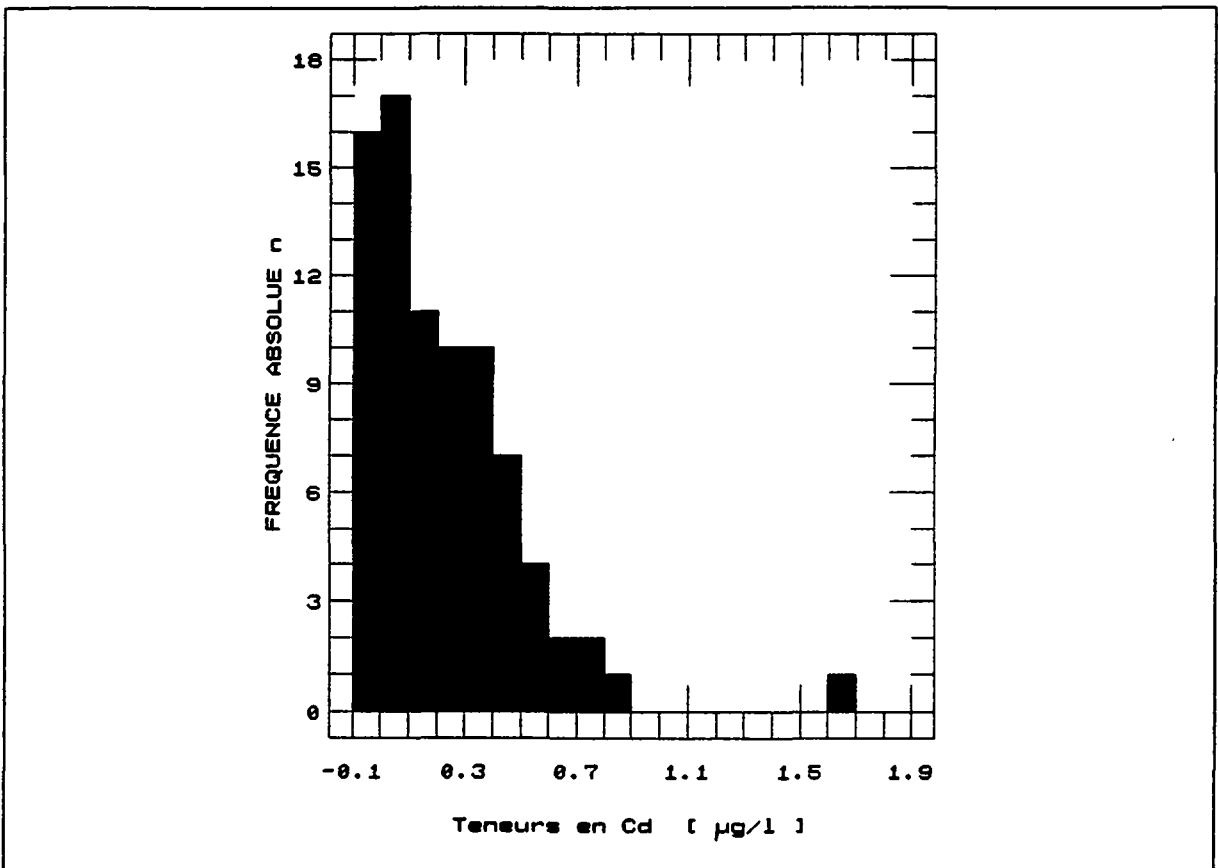


Figure 8.121 Histogramme des fréquences des teneurs en Cd des eaux ($n = 81$)

Les sources avec les concentrations en Cd les plus élevées ont été détectées dans les aquifères PN (fig.8.122 et 8.123). Il s'agit de deux points d'eau au voisinage de La Printse (source n° 88) et de l'émergence Fontaine du Renard (source n° 52) dans la région de Bürchen (fig.4.1 et annexe 1). Partout ailleurs, les valeurs se sont montrées très comparables (fig. 8.123).

L'attribution de l'origine de la minéralisation en Cd des eaux est problématique à bien des égards. On peut envisager deux solutions:

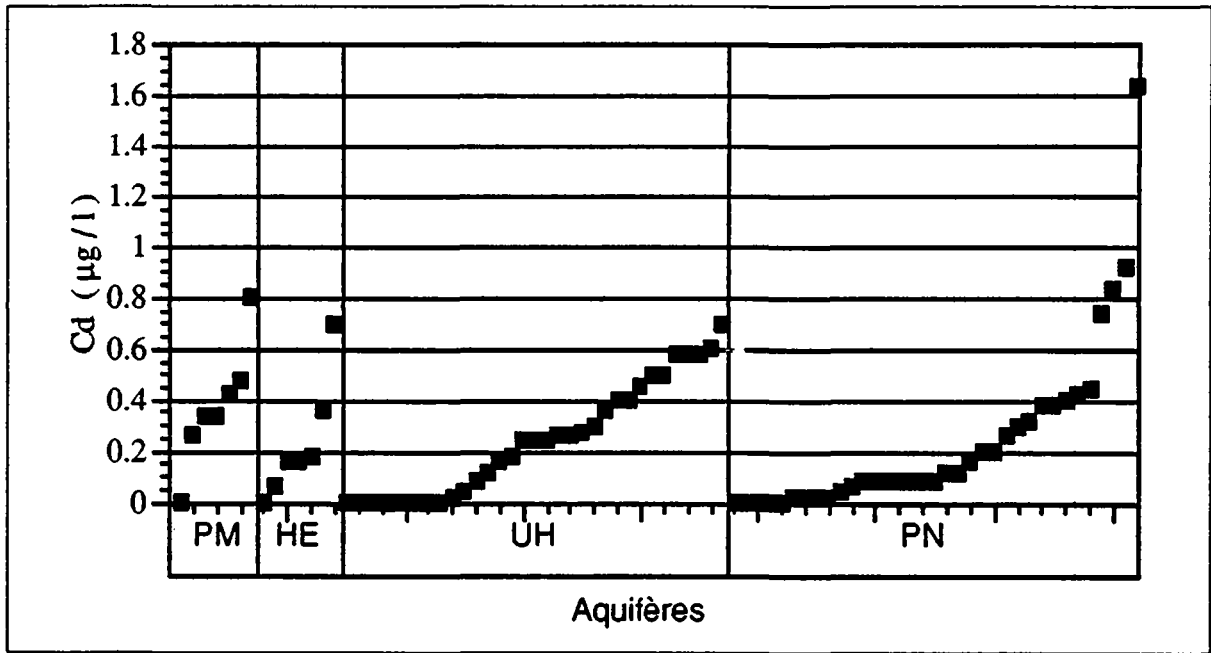


Figure 8.122 Ordre de grandeur des concentrations en Cd dans les eaux séléniteuses, la neige et les lixiviats des diverses roches triasiques

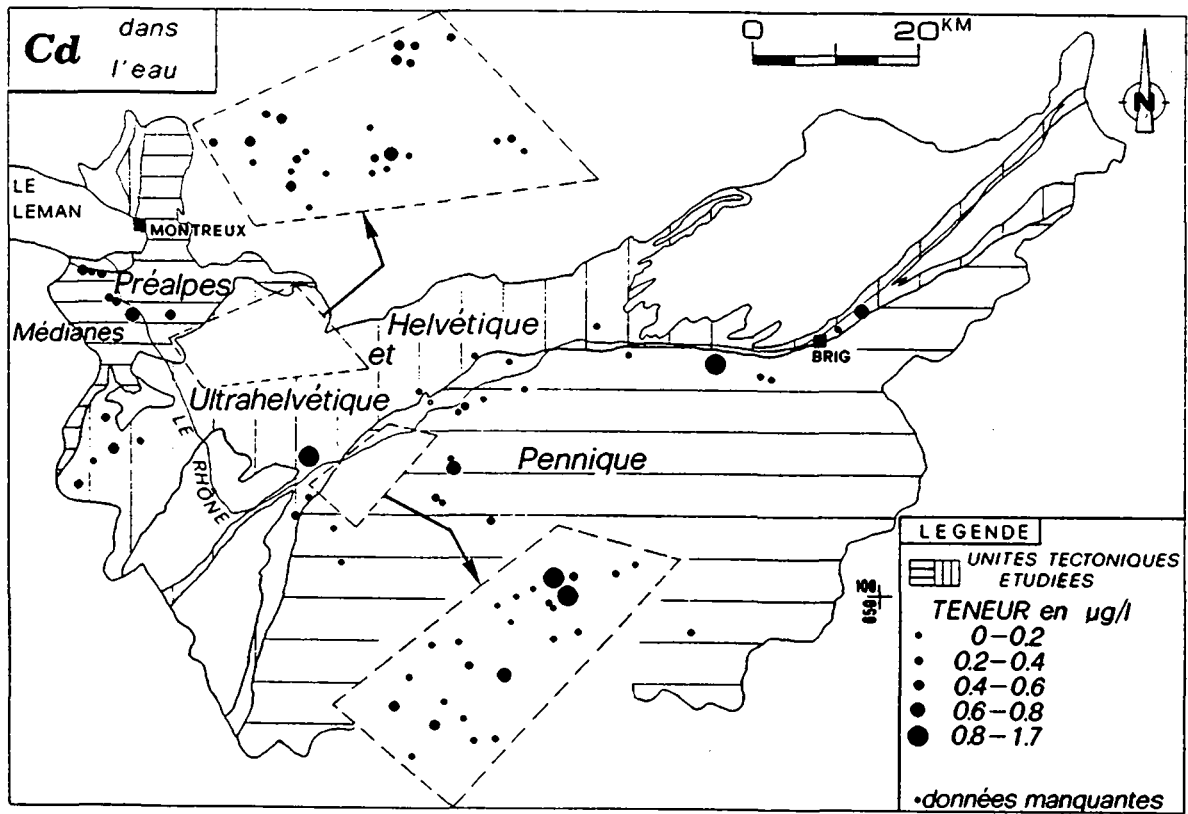


Figure 8.123 Répartition spatiale des teneurs en Cd des eaux

- Selon une communication orale du Prof. Pfeifer, on trouve Cd avec des minéraux phosphatés, notamment l'apatite sous forme de carbonates de cadmium (CdCO_3) (HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY, 1978). L'apatite est souvent répandue dans les formations du Trias (BAUD, 1987; DRONKERT et al., 1990). En effet, les résultats de nos lixiviations montrent que les gypses contiennent du cadmium. La fraction soluble de ces roches dénote en général une teneur en Cd plus importante que celle des autres roches du Trias (fig. 8.124).
- Le Cd a également été détecté dans les neiges de Morgins et de Gryon de l'hiver 1988 (fig. 8.124) en une quantité maximale de près de $0,5 \mu\text{g/l}$. Dans le cadre d'une étude interlaboratoire sur la composition chimique du manteau neigeux dans les Alpes occidentales, des concentrations supérieures jusqu'à $0,9 \mu\text{g/l}$ ont été repérées (PARRIAUX et al., 1990). On peut aussi prévoir que la minéralisation en Cd des eaux souterraines est liée aux eaux météoriques polluées par les industries d'accumulateurs, de peintures, de fertilisants agricoles, de pesticides ou de matières plastiques que l'on peut trouver dans le Bassin du Rhône (FELLRATH & TARRADELLAS, 1984).

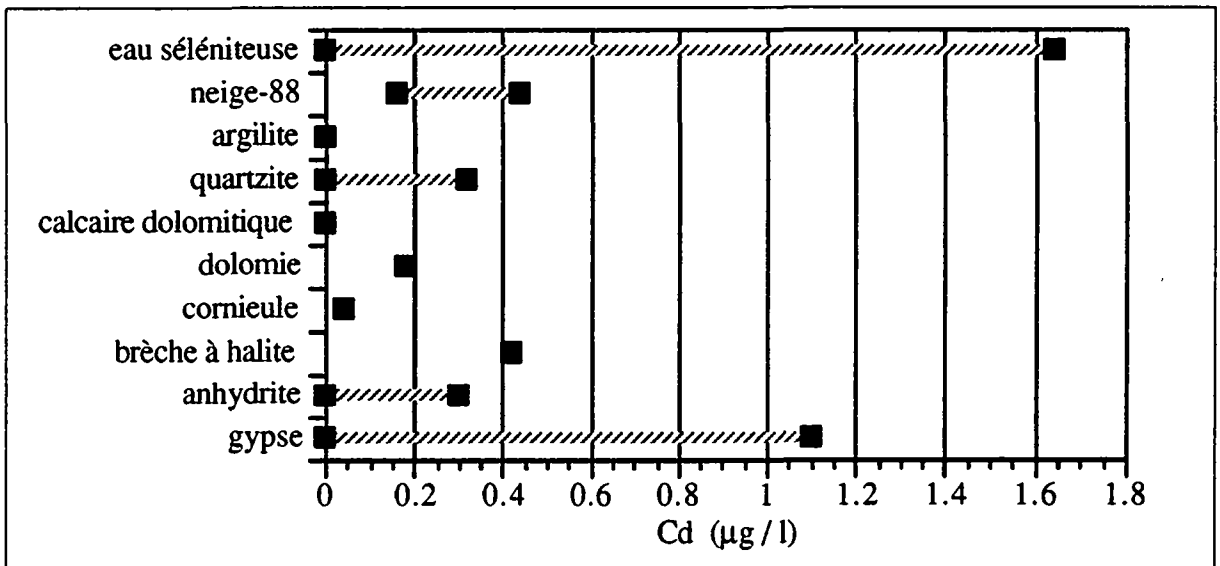


Figure 8.124 Origine de la minéralisation en Cd des eaux

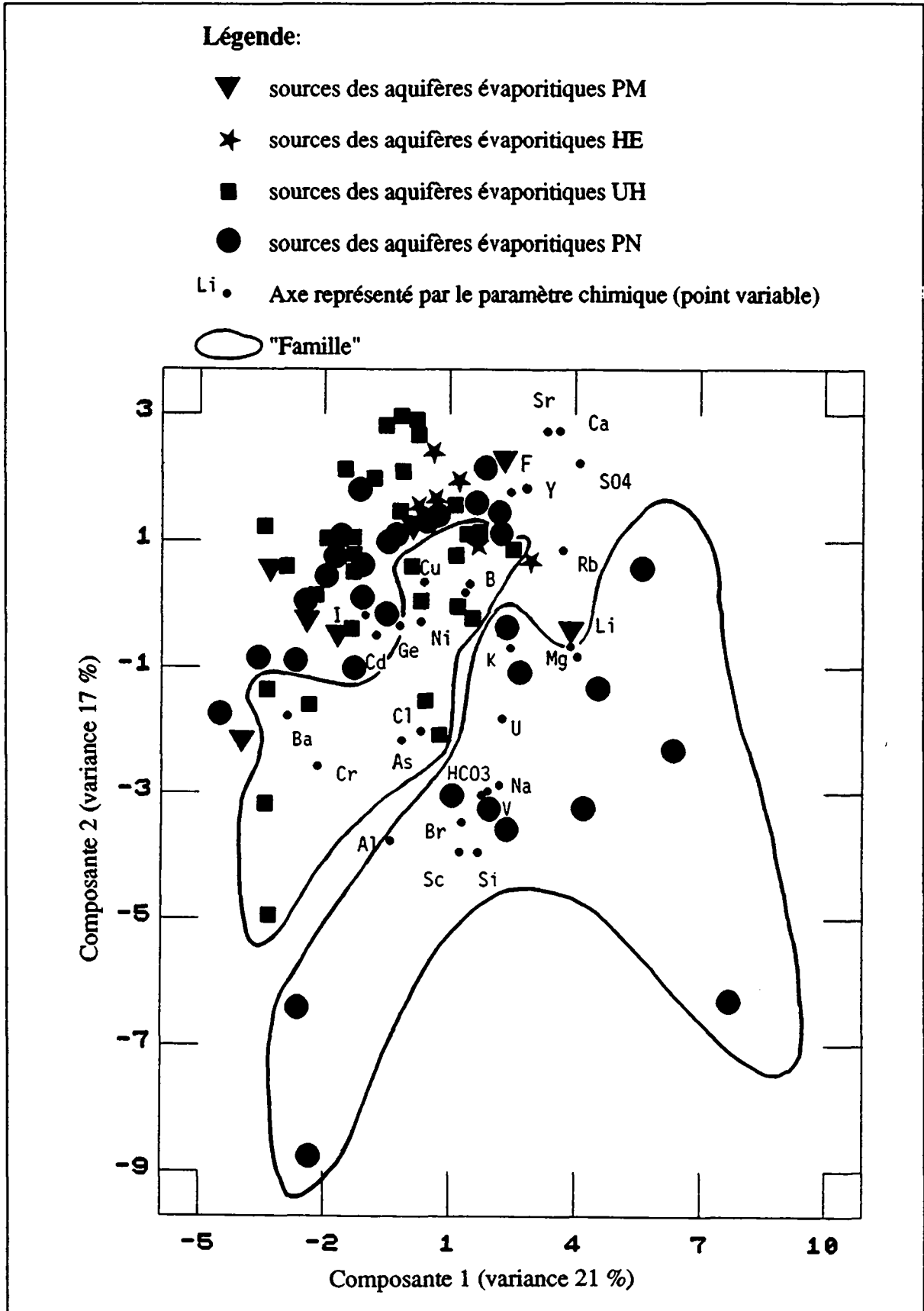


Figure 8.125 Analyse en composantes principales relative aux eaux souterraines

8.3 Conclusion sur l'interprétation des variations spatiales

L'étude des variations spatiales des paramètres physico-chimiques et nos recherches sur l'origine de la minéralisation des eaux ont permis d'aboutir à un bilan provisoire sur les caractéristiques géochimiques des aquifères. Certains éléments ou composants chimiques se sont révélés des marqueurs liés soit:

- aux lithologies,
- au temps de séjour des eaux dans l'aquifère,
- aux conditions de profondeur des aquifères,
- aux structures tectoniques,
- au type d'occupation du sol dans le bassin d'alimentation,
- à la qualité des eaux météoriques.

Nous avons effectué une analyse en composantes principales normée (LEBART et al., 1982) qui illustre les corrélations que nous avons évoquées tout au long de ce chapitre entre les différents paramètres hydrochimiques. Les pourcentages de variance expliquée par les facteurs sont de 21 % pour le premier axe et 17 % pour le second. La plupart des paramètres d'origine anthropogène ont été mis à l'écart de cette analyse multivariée.

L'analyse en composantes principales présentée se rapporte aux données collectées durant la période du 23 juin au 18 août 1988. Elle montre de manière assez nette que les aquifères PN et UH se distinguent des autres par des caractéristiques géochimiques spécifiques (fig. 8.125). Nous verrons dans notre chapitre de synthèse (chap. 9) quels sont les éléments chimiques qui différencient les quatre sous-types d'aquifères PM, HE, UH et PN. Malgré l'incertitude sur l'origine de quelques éléments, l'étude typologique qui va suivre s'annonce prometteuse.

9. SYNTHÈSE TYPOLOGIQUE DES AQUIFÈRES

Dans ce chapitre, nous allons définir les aquifères évaporitiques du Trias du Bassin rhodanien. Pour cela, nous avons déterminé les caractéristiques hydrogéochimiques et hydrogéologiques des sous-types PM, HE, UH, et PN (voir 5.6).

9.1 Définition hydrogéochimique

La définition hydrogéochimique des aquifères proposée tient compte de l'ensemble des interprétations émises aux chapitres 5, 6 et 8.

L'interaction eau-roche a pu être appréhendée par nos connaissances sur leurs compositions. Nous avons ainsi identifié d'une part l'empreinte chimique des lithologies sur l'eau, d'autre part les marqueurs des roches triasiques et extra-triasiques.

9.1.1 Pouvoir de marquage des lithologies triasiques

Nous allons réexaminer le cortège de roches qui sont susceptibles de constituer les aquifères du Trias et de marquer chimiquement les eaux souterraines: gypses, anhydrites, brèche à halite, halite, roches calcaréo-dolomitiques et quartzites.

La quasi-totalité de la composition chimique des eaux froides résulte essentiellement de leur passage au-travers des formations très solubles, représentées surtout par les gypses et dans une moindre mesure par les anhydrites. Ces roches constituent les principaux aquifères du Trias à faible profondeur. Elles sont très souvent associées à des aquifères secondaires se développant dans le karst calcaréo-dolomitique (dolomie, calcaire dolomitique, cornieule). En effet, ces lithologies également marquent chimiquement les eaux. Nous avons ainsi un système hydrogéologique principal composé d'un karst gypseux lié à un karst carbonaté. Il est valable pour tous les sous-types d'aquifères.

La faible minéralisation en Na et Cl des eaux froides témoigne de l'absence d'aquifères de type chloruré et sodique à faible profondeur. Les sources UH et PN ont été les seules à dénoter quelques teneurs significatives en Na et Cl. De plus, la présence de la brèche à halite dans l'Ultraselvétique de la région de Bex (Vaud) et la forte minéralisation en Na et Cl des eaux de Combioula dans le Pennique de la région de Saint Martin (Valais) indiquent que des aquifères UH et PN renferment des niveaux discontinus de sel gemme. Ces formations, hautement solubles, sont connues à grande profondeur (VUATAZ, 1982).

Dans le cadre de notre étude, les quartzites n'ont pas été analysés de manière intensive. Toutefois, nos investigations et des travaux de galerie dans le Pennique indiquent qu'ils peuvent se comporter comme des aquifères (voir 7.6). En outre, certains quartzites ont une composante carbonatée non négligeable qui peut au cours du temps subir une karstification. Ces roches sont pratiquement toujours présentes dans le Trias des quatre unités tectoniques (tab. 5.1). Il semble cependant qu'elles ont un rôle d'aquifère plus prépondérant dans le Pennique.

Dans les eaux des aquifères PN, nous avons détecté des composants ne provenant pas des roches citées ci-dessus. Leur origine est vraisemblablement à rattacher à des formations extra-triasiques (fig. 5.2). Ce marquage peut avoir lieu avant que l'écoulement ne pénètre dans les aquifères évaporitiques.

Suite à l'étude de l'origine de la minéralisation des eaux (voir chap. 8), nous sommes en mesure de proposer une évaluation de l'empreinte chimique des roches sur l'eau. Nous avons élaboré un tableau où figurent les roches triasiques, les composants de l'eau (majeurs, mineurs et en traces), ainsi que le pouvoir de marquage de chaque type de lithologie sur l'eau pour un ion donné (tab. 9.1). En ce qui concerne la brèche à halite (anhydrite et sel gemme), nous avons également, par analogie, tenu compte des résultats chimiques obtenus sur les eaux de Combioula.

Les résultats sont plus fiables en ce qui concerne les gypses, puisque nous les avons analysés plus en détail.

9.1.1.1 Gypses

La composition chimique des eaux et des lixiviats montre que l'empreinte hydrochimique (majeurs, mineurs et traces) provenant des gypses est due aux composants suivants (tab. 9.1):

- pour un marquage très fort: à côté de SO_4 et Ca, par Sr, K, Rb, Ni, Cu, Sc et Y;
- pour un marquage fort: Mn, Ba, Zn, Cr et Cd.

Dans les roches gypseuses, ils ont montré généralement une variabilité spatiale assez homogène à l'échelle du Bassin rhodanien. La même homogénéité a été retrouvée dans la composition chimique des eaux.

En plus de SO_4 et Ca, le strontium est l'un des marqueurs les plus sûrs pour attester du passage des eaux dans les gypses.

9.1.1.2 Anhydrites

Les anhydrites peuvent être parfois aquifères. Les lixiviats révèlent que les eaux sont marquées de la manière suivante (tab. 9.1):

- pour un marquage très fort: à côté de SO_4 , par Rb;
- pour un marquage fort: à côté de Ca, par Sr, K, Ba, Ni, Cu, Sc et Y.

Les anhydrites sont très proches des gypses, mais présentent des particularités géochimiques quelque peu différentes. En effet, la plupart des éléments mineurs et en traces caractéristiques sont en concentrations moindres.

9.1.1.3 Brèche à halite

Les lixiviats indiquent que ce type de roche peut également donner une empreinte chimique très significative à l'eau (tab. 9.1):

- pour un marquage très fort: à côté de SO_4 , par Cl, Na, Li, Rb, Br;
- pour un marquage fort: à côté de Ca, par Mg, Sr, K, I, Ba, Ni, Cu, Sc, Y et V.

La brèche à halite présente une composition chimique plus ou moins comparable à celle des anhydrites, mais elle se distingue à côté de Cl et Na, par Li et Br.

Le sel gemme pur n'existe pas en surface. On peut certainement le définir avec les ions caractéristiques de la brèche à halite, en y ajoutant surtout I et dans une moindre mesure Si, F et B. En effet, ces composants sont présents en forte abondance dans les eaux de Combioula.

9.1.1.4 Roches calcaréo-dolomitiques

Le transit des eaux dans le karst calcaréo-dolomitique peut donner des indices chimiques propres aux roches dolomitiques, comme l'ont déterminé les lixiviats (tab. 9.1):

- pour un marquage très fort: HCO_3 et Mg;
- pour un marquage fort: Ca, Li, Al.

9.1.1.5 Quartzites

Les quartzites sont moins solubles que les roches sulfatées-calciques ou carbonatées. Néanmoins selon nos tests de lixiviation, ils peuvent imprégner les eaux de la manière suivante (tab. 9.1):

- pour un marquage très fort: Si;
- pour un marquage fort: HCO_3 et Ba.

9.1.1.6 Argilites

Les argilites ne forment pas d'aquifères, mais elles risquent d'être en contact avec des zones perméables et être partiellement lessivées par les eaux en transit. Ces roches ont dévoilé par lixiviation des teneurs surprenantes en Li et Al (tab. 9.1). Elles sont donc susceptibles de fournir ces ions à l'eau.

Globalement, l'empreinte chimique dominante des eaux reflète le lessivage des gypses et des roches calcaréo-dolomitiques.

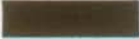


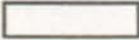
9.1.2 Pouvoir de marquage des lithologies extra-triasiques

Un seul élément a été noté comme étranger dans les eaux des évaporites. Il s'agit de l'uranium (tab. 9.1). Nous l'avons détecté uniquement dans les points d'eau du Pennique, puisqu'il a révélé des teneurs nettement plus hautes que la moyenne de l'ensemble de l'échantillonnage. U a marqué près de 80 % des sources de ce sous-type d'aquifère (tab. 9.1 et 9.4). La présence de ce marqueur met en évidence le fait que les eaux ont touché des formations extra-triasiques (voir chap. 8). L'uranium est probablement lié aux schistes permo-carbonifères, voire carbonifères de la zone Houillère.

Tableau 9.1 Pouvoir de marquage des lithologies triasiques et extra-triasiques sur l'eau

Composants * **	Lithologies du TRIAS						Lithologies extra- triasiques * **
	Gypses	Anhydrites	Brèche à halite	Roches calcaréo- dolomitiques	Quartzites	Argilites	
SO4	très fort	très fort	très fort	très fort	très fort	très fort	
Ca	très fort	fort	fort	fort	fort	fort	
HCO3	fort	fort	fort	très fort	fort	fort	
Mg	fort	fort	fort	très fort	fort	fort	
Sr	très fort	fort	fort	fort	fort	fort	
Cl	fort	fort	très fort	fort	fort	fort	
Na	fort	fort	fort	fort	fort	fort	
Si	fort	fort	fort	fort	très fort	fort	
K	très fort	fort	fort	fort	fort	fort	
F	fort	fort	fort	fort	fort	fort	
B	fort	fort	fort	fort	fort	fort	
Li	fort	fort	très fort	fort	fort	fort	
Rb	très fort	très fort	très fort	fort	fort	fort	
I	fort	fort	fort	fort	fort	fort	
Al	fort	fort	fort	fort	fort	fort	
Mn	fort	fort	fort	fort	fort	fort	
Ba	fort	fort	fort	fort	fort	fort	
Br	fort	fort	très fort	fort	fort	fort	
U	fort	fort	fort	fort	fort	fort	très fort
Zn	fort	fort	fort	fort	fort	fort	
Ni	très fort	fort	fort	fort	fort	fort	
Cu	très fort	fort	fort	fort	fort	fort	
Sc	très fort	fort	fort	fort	fort	fort	
Y	très fort	fort	fort	fort	fort	fort	
As	fort	fort	fort	fort	fort	fort	
V	fort	fort	fort	fort	fort	fort	
Ge	fort	fort	fort	fort	fort	fort	
Cr	fort	fort	fort	fort	fort	fort	
Cd	fort	fort	fort	fort	fort	fort	

Légende: Pouvoir de marquage:

	très fort
	fort
	moyen
	faible

* Composants chimiques classés par ordre décroissant des teneurs moyennes dans les eaux

** Concerne aquifères PN: schistes noirs permo-carbonifères et/ou carbonifères

9.1.3 Répartition des hydrofaciès MmT dans les aquifères PM, HE, UH et PN

Dans le but de décortiquer la forte homogénéité de la composition chimique des eaux, nous avons créé des faciès hydrochimiques M, m, et T à l'aide des composants majeurs, mineurs et traces. Nous les avons associés pour former des hydrofaciès MmT (voir chap. 6), pouvant d'une part définir globalement les caractéristiques chimiques des aquifères PM, HE, UH et PN, d'autre part les différencier (fig. 9.1, 9.2, 9.3 et 9.4). Chaque MmT peut regrouper entre 13 et 16 composants (tab. 6.1). Il s'agit de 3 à 6 ions majeurs, 3 mineurs et 7 en traces propres aux eaux des évaporites.

L'identification de chaque hydrofaciès proposé est exposée au tableau 6.1.

Pour les sources des Préalpes Médiannes et de l'Helvétique, nous n'avons pas donné les fréquences relatives des hydrofaciès MmT les décrivant. Par contre, nous les présentons pour l'Ultraschévétique et le Pennique, puisque le nombre de sources inventoriées a été plus important et par conséquent plus représentatif à l'échelle de l'unité tectonique (tab. 9.2 et 9.3).

9.1.3.1 *Aquifères des Préalpes Médiannes (PM)*

Les aquifères PM contiennent 5 hydrofaciès MmT. Il s'agit surtout de M1m1T9 et dans une moindre mesure de M1m1T13, M1m1T15, M1m2T13 et M5m2T15 (tab. 6.1; fig. 9.1, 9.2, 9.3 et 9.4).

Les quatre faciès hydrochimiques M1 déterminés selon JAECKLI (1970) sont tous représentés. On peut également trouver M5b, mais plus exceptionnellement (fig. 9.1).

Les aquifères PM se distinguent des autres sous-types d'aquifères évaporitiques par M1m2T13 et M5m2T15. En effet, ces deux hydrofaciès n'ont pas été rencontrés dans les unités helvétique, ultraschévétique et pennique (fig. 9.4).

9.1.3.2 *Aquifères helvétiques (HE)*

Quatre hydrofaciès MmT sont essentiellement rencontrés dans les aquifères HE: M1m1T1, M1m2T1, M1m2T2, M1m2T4 (fig. 9.1, 9.2, 9.3 et 9.4).

Parmi les faciès hydrochimiques "majeurs" M, seuls M1a et M1b sont représentés (fig. 9.1).

Un cinquième hydrofaciès détermine les aquifères HE (fig. 9.4): M1m3T7. Il est cependant à l'apanage de la source thermique des Bains de Leytron (source n° 64).

M1m3T7 n'a défini qu'une seule autre source de notre réseau III (fig. 9.4). Il s'agit du point d'eau Le Châtelard (fig. 4.1 et annexe 1: source n° 106). Situé dans le Pennique, il revêt des caractéristiques thermales plus ou moins comparables à celles des Bains de Leytron.

Les hydrofaciès MmT des aquifères HE peuvent aussi décrire des aquifères UH et PN: M1m1T1 est présent dans l'Ultraschévétique et le Pennique, tous les autres n'ont été rencontrés que dans le Pennique (fig. 9.4).

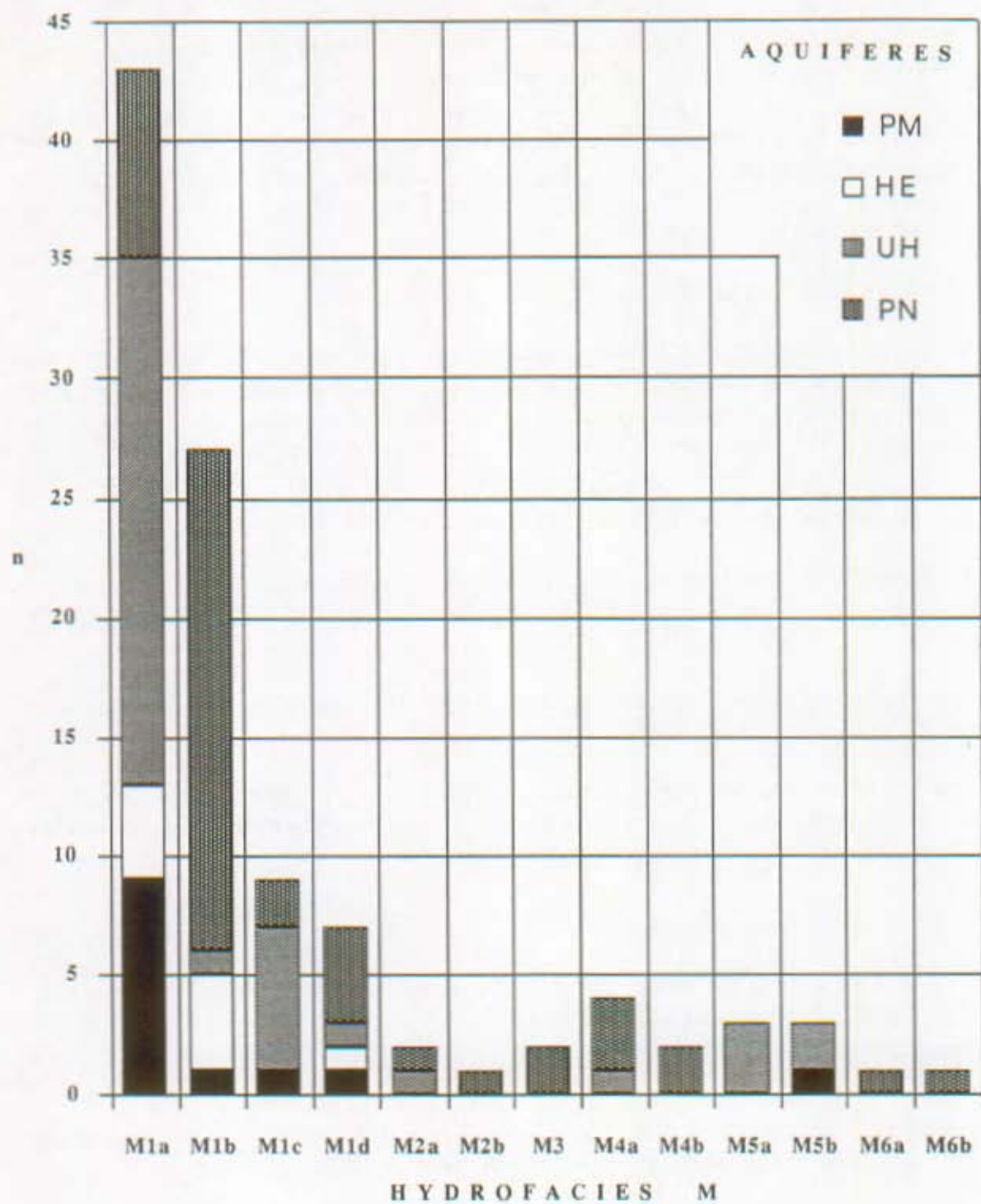


Figure 9.1 Répartition des hydrofaciès M dans les aquifères PM, HE, UH et PN

9.1.3.3 *Aquifères ultrahelvétiques (UH)*

Les aquifères UH présentent 13 hydrofaciès MmT (fig. 9.1, 9.2, 9.3 et 9.4). Ils sont donnés au tableau 9.2, où figurent également leurs fréquences relatives au sein de l'unité ultrahelvétique. Deux d'entre eux sont plus répandus. Il s'agit de M1m1T9 et dans une moindre mesure de M1m1T1. Ils caractérisent 35,4 % des aquifères UH.

M4m3T7 constitue le quatorzième hydrofaciès MmT. Il est unique et caractérise les eaux thermales de Val d'Iliez (fig. 9.4). Si l'on compare ce résultat à ceux obtenus pour les sources des Bains de Leytron et du Châtelard, on constate que le faciès hydrochimique m3T7 semble être représentatif des eaux chaudes d'origine profonde.

A part M3 et M6, tous les autres M sont présents dans l'Ultrahelvétique (fig. 9.1).

Neuf MmT sont propres aux aquifères UH (tab. 9.2) et seuls cinq peuvent définir d'autres sous-types, dont M1m1T9 qui n'est représenté que dans les Préalpes Médiannes (fig. 9.4).

9.1.3.4 *Aquifères penniques (PN)*

Les aquifères PN présentent 22 hydrofaciès MmT (fig. 9.4), dont les plus répandus semblent être M1m1T1, M1m1T4, M1m2T1 et M1m3T2 (tab. 6.1). Ces derniers réunissent environ 32 % des sous-types PN (tab. 9.3).

Deux autres définissent les aquifères PN de grande profondeur, soit M6m4T9 pour Combioula et M1m3T7 pour Le Châtelard.

Parmi les faciès hydrochimiques "majeurs", seul M5 n'apparaît pas. Les hydrofaciès "mineurs" m1 à m5 sont tous représentés. m4 et m5 ne se rencontrent que dans les aquifères PN (fig. 9.2). Enfin, T11, T13 et T15 semblent ne pas exister dans le cas des aquifères PN (fig. 9.3).

Au milieu du très grand nombre des MmT caractérisant ces aquifères (60 % de la totalité des MmT), six apparaissent également pour les sous-types d'aquifères HE et UH (fig. 9.4):

- M1m1T1 pour HE et UH,
- M1m1T3 pour UH,
- M1m2T1, M1m2T2, M1m2T4 et M1m3T7 pour HE.

En ce qui concerne les aquifères HE en contact avec les structures du Pennique, nous avons déjà souligné la possibilité que les écoulements aient été marqués par les formations extra-triasiques, notamment par les schistes permo-carbonifères du Pennique frontal (voir chap. 8). Cette constatation vient ainsi expliquer cette parenté d'hydrofaciès entre les sous-types d'aquifères PN et HE.

Aucun faciès hydrochimique MmT défini pour le Pennique n'a été noté dans les Préalpes Médiannes (fig. 9.4).

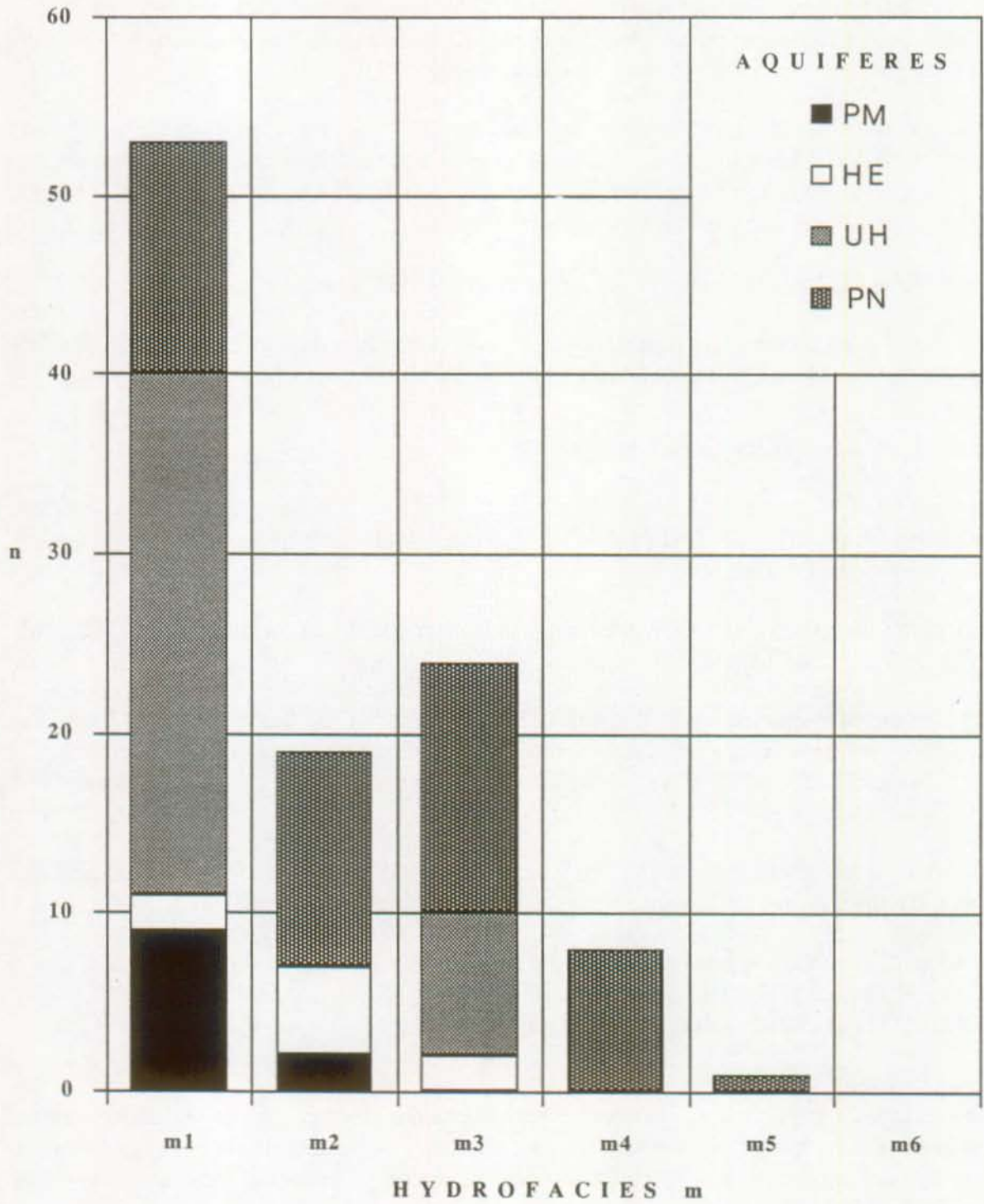


Figure 9.2 Répartition des hydrofaciès m dans les aquifères PM, HE, UH et PN

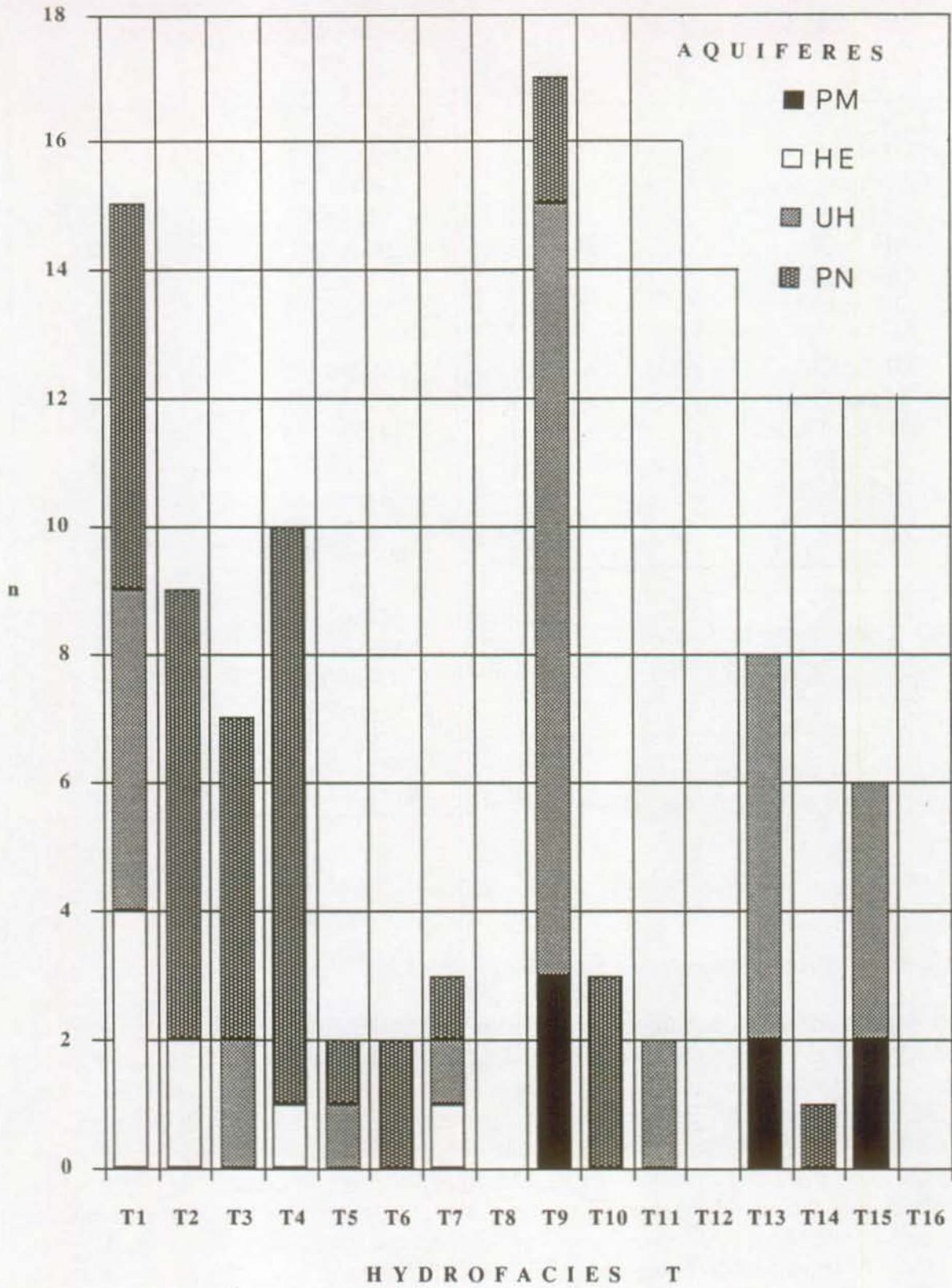


Figure 9.3 Répartition des hydrofaciès T dans les aquifères PM, HE, UH et PN

Tableau 9.2 Fréquences relatives des hydrofaciès MmT dans l'Ultraselvétique

Hydrofaciès MmT	%
M1 m1 T1	11.8
M1 m1 T3	5.9
M1 m1 T9	23.6
M1 m1 T11 •	5.9
M1 m1 T13	8.8
M1 m1 T15	8.8
M1 m3 T9 •	8.8
M1 m3 T15 * •	5.9
M2 m3 T13 •	2.9
M4 m3 T7 ◦ •	2.9
M5 m1 T1 •	2.9
M5 m1 T5 •	2.9
M5 m1 T9 •	2.9
M5 m1 T13 •	5.9

n = 34

* = y.c. la station Noches du réseau AQUITYP
 • = rencontrés uniquement dans UH
 ◦ = eaux chaudes de Val d'Illez

n = 37

* = eaux chaudes
 • = rencontrés uniquement dans PN

Tableau 9.3 Fréquences relatives des hydrofaciès MmT dans le Pennique

Hydrofaciès MmT	%
M1 m1 T1	8.1
M1 m1 T2 •	5.4
M1 m1 T3	2.7
M1 m1 T4 •	8.1
M1 m2 T1	8.1
M1 m2 T2	5.4
M1 m2 T3 •	5.4
M1 m2 T4	5.4
M1 m2 T10 •	5.4
M1 m3 T2 •	8.1
M1 m3 T3 •	2.7
M1 m3 T4 •	5.4
M1 m3 T7 *	2.7
M1 m3 T10 •	2.7
M1 m4 T4 •	2.7
M1 m4 T6 •	2.7
M1 m5 T4 •	2.7
M2 m4 T14 •	2.7
M3 m4 T5 •	2.7
M3 m4 T6 •	2.7
M4 m1 T3 •	2.7
M6 m4 T9 * •	5.4

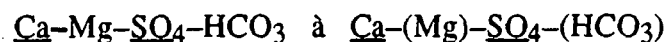
9.1.3.5 Bilan général des hydrofaciès MmT

Ce moyen de définition chimique des aquifères s'est avéré utile pour tenter de mieux les distinguer. En effet, la seule méthode JAECKLI (1970) n'a pas suffi à les différencier suffisamment, puisque les eaux des évaporites ont montré une très faible hétérogénéité spatiale au niveau des éléments majeurs. Au chapitre 5, nous avons vu que plus de 80 % des sources froides présentaient une composition chimique très comparables et que seuls 5 hydrofaciès "majeurs" ont été déterminés selon JAECKLI. Cette méthode supplémentaire a de ce fait permis de tenir compte d'un grand nombre de ions mineurs et en traces plus ou moins propres au type d'aquifère étudié. Ainsi, l'influence des ions très abondants dans les eaux comme Ca, Mg, SO₄ et HCO₃, a fortement été diminuée au profit d'une composition chimique plus étalée. Par cette méthode, nous avons mis en valeur d'autres éléments typiques des eaux séléniteuses froides et des gypses: Sr, K, Rb, Ba, Ni et Cu (voir chap. 8 et tab. 9.1).

Nous allons exposer ci-dessous le bilan de la répartition des différents hydrofaciès établis dans le cadre de cette étude.

a) *Hydrofaciès M*

La classification chimique des eaux selon JAECKLI (1970) a permis de dévoiler que l'hydrofaciès M1 est le plus répandu à l'échelle du Bassin rhodanien (fig. 6.2). Il rassemble près de 82 % des sources qui sont de type (tab. 6.2):



b) *Hydrofaciès m*

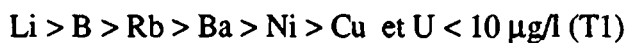
Parmi les faciès hydrochimiques "mineurs", m1 s'est avéré le plus courant. Il réunit 50 % des sources qui sont définies par (tab. 6.2):



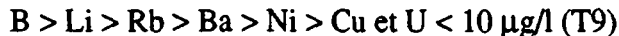
m4 et m5 ne se rencontrent que dans les aquifères PN.

c) *Hydrofaciès T*

Au milieu des 13 hydrofaciès "traces", T1 et T9 ont regroupé près de 38 % des sources qui se caractérisent par (tab. 6.2):



et



T7 semble être propre aux eaux chaudes. Tous les hydrofaciès T pairs décrivent principalement les sources PN (fig. 9.3), qui ont généralement une teneur en U supérieure à 10 $\mu\text{g/l}$.

d) *Hydrofaciès MmT*

26 hydrofaciès MmT sur 36 permettent de bien différencier les quatre sous-types d'aquifères. Ils correspondent essentiellement aux eaux froides des évaporites. D'autres semblent plutôt s'appliquer à des eaux profondes: M1m3T7, M4m3T7 et M6m4T9 (fig. 9.4).

D'une manière générale, les résultats obtenus par l'intermédiaire des hydrofaciès MmT ont montré qu'il est possible de caractériser et de différencier les quatre sous-types d'aquifères.

9.1.4 Potentiel de discrimination des marqueurs chimiques

En étudiant de plus près les caractéristiques limites des teneurs de chaque composé au sein de chacun des sous-types, nous avons établi une synthèse des meilleurs marqueurs chimiques susceptibles de distinguer les aquifères PM, HE, UH et PN.

Nous avons attribué une note allant de 1 à 4 à chaque composé de l'eau à caractéristique limite définie (fig. 9.5). Un marqueur sera qualifié de très bon ou d'ordre 1 s'il détermine un seul sous-type possible. Dès le moment où on le désignera par 2, 3 ou 4, cela signifiera qu'il parvient de moins en moins à discriminer les sous-types (tab. 9.4). Ainsi, un ion coté 4 sera considéré comme un très mauvais marqueur dans le contexte des eaux des évaporites.

Tableau 9.4 Potentiel de discrimination des marqueurs chimiques des aquifères PM, HE, UH et PN

Paramètres chimiques	Caractéristiques limites	% par rapport au réseau III	PM	HE	UH	PN
TSD (mg/l)	2450 - 2760	10	-	2	-	2
	2150 - 2450	18.9	-	3	3	3
	734 - 2150	71.1	4	4	4	4
SO ₄ (mg/l)	1450 - 1620	8.9	-	2	-	2
	1300 - 1450	16.7	-	3	3	3
	165 - 1300	73.4	4	4	4	4
Ca (mg/l)	144 - 577	100	4	4	4	4
HCO ₃ (mg/l)	397 - 610	4.5	-	-	-	1 (9.5%)
	262 - 397	31.1	-	3	3	3
	85 - 262	64.4	4	4	4	4
Mg (mg/l)	135 - 216	5.6	-	-	-	1 (11.9%)
	96 - 135	13.3	-	2	-	2
	65 - 96	16.7	-	3	3	3
	15.9 - 65	64.4	4	4	4	4
Sr (mg/l)	12.2 - 16.4	3.3	2	-	-	2
	1 - 12.2	96.7	4	4	4	4
Cl _Δ (mg/l)	3.56 - 75.9	47.8	-	-	2	2
	0 - 3.56	52.2	4	4	4	4
Na _Δ (mg/l)	5.63 - 29.4	36.7	-	-	2	2
	0.81 - 5.63	63.3	4	4	4	4
Si (mg/l)	4.36 - 9.4	12.4	-	-	-	1 (26.6%)
	3.96 - 4.36	10.1	-	-	2	2
	0 - 3.96	77.5	4	4	4	4
NO ₃ ◦ (mg/l)	1.35 - 154	24.4	-	-	2	2
	0 - 1.35	75.6	4	4	4	4
K (mg/l)	5.21 - 38.6	6.7	-	-	-	1 (14.2%)
	3.17 - 5.21	14.4	-	-	2	2
	1.77 - 3.17	26.7	-	3	3	3
	0.4 - 1.77	52.2	4	4	4	4
F (mg/l)	0.5 - 0.88	3.6	-	-	-	1 (8.3%)
	0.25 - 0.5	9.5	-	3	3	3
	0 - 0.25	86.9	4	4	4	4
B (μg/l)	25 - 94	44	3	-	3	3
	0 - 25	56	4	4	4	4
Li (μg/l)	70 - 109	3.4	-	-	-	1 (7.2%)
	1 - 70	96.6	4	4	4	4
Rb (μg/l)	26.5 - 53.3	12.8	3	3	-	3
	2.3 - 26.5	87.2	4	4	4	4
I _Δ (μg/l)	0 - 600	100	4	4	4	4
Al (μg/l)	25.2 - 93.8	18.5	3	-	3	3
	0 - 25.2	81.5	4	4	4	4
Mn (μg/l)	0 - 31.2	100	4	4	4	4
Ba (μg/l)	8.5 - 38.3	56.3	3	-	3	3
	0 - 8.5	42.7	4	4	4	4
Br (μg/l)	38 - 57.9	4.9	-	-	-	1 (11.5%)
	28 - 38	7.4	-	-	2	2
	10 - 28	22.2	3	-	3	3
	0 - 10	65.5	4	4	4	4
U (μg/l)	11 - 67	26.7	-	-	-	1 (80.5%)
	6 - 11	22.1	-	2	-	2
	0 - 6	51.2	4	4	4	4
Zn _Δ (μg/l)	40 - 156.2	5	-	2	-	2
	0 - 40	95	4	4	4	4
Ni (μg/l)	0 - 35.7	100	4	4	4	4
Cu (μg/l)	0 - 14.4	100	4	4	4	4
Sc (μg/l)	4 - 7.6	15.1	3	-	3	3
	1.2 - 4	84.9	4	4	4	4
Y (μg/l)	1.5 - 2.4	2.5	1*	-	-	-
	0 - 1.5	97.5	4	4	4	4
As (μg/l)	1 - 4.3	9.9	-	-	2	2
	0 - 1	90.1	4	4	4	4
V (μg/l)	0.6 - 1.3	19.5	-	-	2	2
	0 - 0.6	80.5	4	4	4	4
Ge _Δ (μg/l)	1.5 - 4	4.9	-	-	2	2
	0 - 1.5	95.1	4	4	4	4
Cr (μg/l)	0.6 - 1.5	17.3	3	-	3	3
	0 - 0.6	82.7	4	4	4	4
Cd _Δ (μg/l)	0 - 1.6	100	4	4	4	4

Légende: Marqueur d'ordre 1 = très bon marqueur : caractéristique d'un seul sous-type
 2 = bon marqueur : caractéristique de deux sous-types
 3 = mauvais marqueur : caractéristique de trois sous-types
 4 = non marqueur : caractéristique de quatre sous-types

(25%) : % de sources marquées au sein d'un sous-type

* : % non indiqué à cause de la faible taille de l'échantillon

Δ : éléments chimiques partiellement ou totalement d'origine anthropique

◦ : composés chimiques totalement d'origine anthropique

Nous devons souligner que notre discrimination est fondée sur les limites supérieures des domaines de concentration. Car les aquifères évaporitiques sont surtout caractérisés par des minéralisations élevées de leurs eaux. Nous aurions aussi pu utiliser les limites inférieures des domaines. Toutefois, cette méthode aurait été dangereuse dans les cas d'eaux non typiquement séléniteuses, adoucies par mélange avec d'autres eaux.

Nous allons surtout présenter ci-dessous les éléments chimiques ayant le meilleur potentiel de discrimination des aquifères (marqueurs chimiques d'ordre 1 et 2). Ils sont donnés selon l'ordre des meilleurs marqueurs indiqué à l'annexe 15. Pour les marqueurs d'ordre 2, nous avons traité ensemble ceux qui définissent le même "couple" d'aquifères.

Les marqueurs d'ordre 3 et 4 avec des concentrations limites définies ont un faible potentiel de discrimination (tab. 9.4 et annexe 15). Par exemple, le calcium, qui est un élément très représentatif des eaux des évaporites, ne permet pas de différencier les aquifères PM, HE, UH et PN. En effet, les teneurs en Ca observées dans les eaux sont comparables quelle que soit leur unité tectonique d'appartenance. De la même manière, des éléments considérés comme des marqueurs lithologiques (tab. 9.1) ne sont pas forcément ceux qui permettent de différencier les aquifères à l'échelle régionale. Ainsi, les ions Ca, Rb, Ni, Mn et Cu, plus ou moins typiques des gypses, sont de mauvais marqueurs pour la caractérisation des quatre sous-types d'aquifères évaporitiques (tab. 9.4). Par contre, ils peuvent être utiles pour distinguer les eaux des évaporites des autres types d'eaux, par exemple celles du réseau AQUITYP.

L'ensemble des résultats de cette discrimination sont exposés au tableau 9.4 et à l'annexe 15.

9.1.4.1 *Marqueurs chimiques d'ordre 1*

Etant donné l'homogénéité de la composition chimique des eaux, les marqueurs d'ordre 1 ont été peu nombreux à l'échelle du Bassin rhodanien: huit ont déterminé des aquifères PN et un des aquifères PM. Les autres sous-types n'ont jamais été décrits par des marqueurs d'ordre 1 (tab. 9.4).

a) *U-Si-K-Mg-Br-HCO₃-F-Li*

U caractérise le plus grand nombre d'aquifères PN: près de 81 %. Si, K, Mg, Br, HCO₃, F et Li définissent entre 3,4 et 26,7 % des aquifères étudiés. Ils sont cependant propres au sous-type PN (voir chap. 8). Li est le ion qui en décrit le moins, soit 7.2 %. Après U, Si est le second meilleur marqueur (annexe 15).

Les aquifères PN sont dans un contexte géologique très différent des autres. Ils présentent la particularité d'être intimement associés avec des formations extra-triasiques (voir chap. 8). Le marquage des eaux en U est lié justement au transit des eaux au travers des lithologies étrangères au Trias. Par contre, la caractérisation plus forte des aquifères PN en ions Si, K, Mg, Br, HCO₃ et Li, provenant certainement des roches triasiques, est plutôt à attribuer à une circulation des eaux plus lente dans les formations du Trias. D'une manière générale, les sources PN se sont révélées plus riches en sels dissous que les autres points d'eau de notre réseau III (tab. 9.4). Cette faible célérité des écoulements résulte probablement de la présence des schistes permo-carbonifères du Pennique parmi des roches triasiques (fig. 5.2), qui freinent les eaux et les obligent à lessiver plus longuement les roches aquifères et donc à se minéraliser plus fortement. A ce titre, nos différents essais de traçage dans le Pennique ont dans l'ensemble démontré que les eaux séléniteuses parviennent lentement à l'exutoire (voir chap. 7).

b) Y

Les aquifères PM ont été marqués par des valeurs en Y plus importantes. Elles sont très probablement liées à celles élevées en Sr caractérisant également ce sous-type (tab. 9.4).

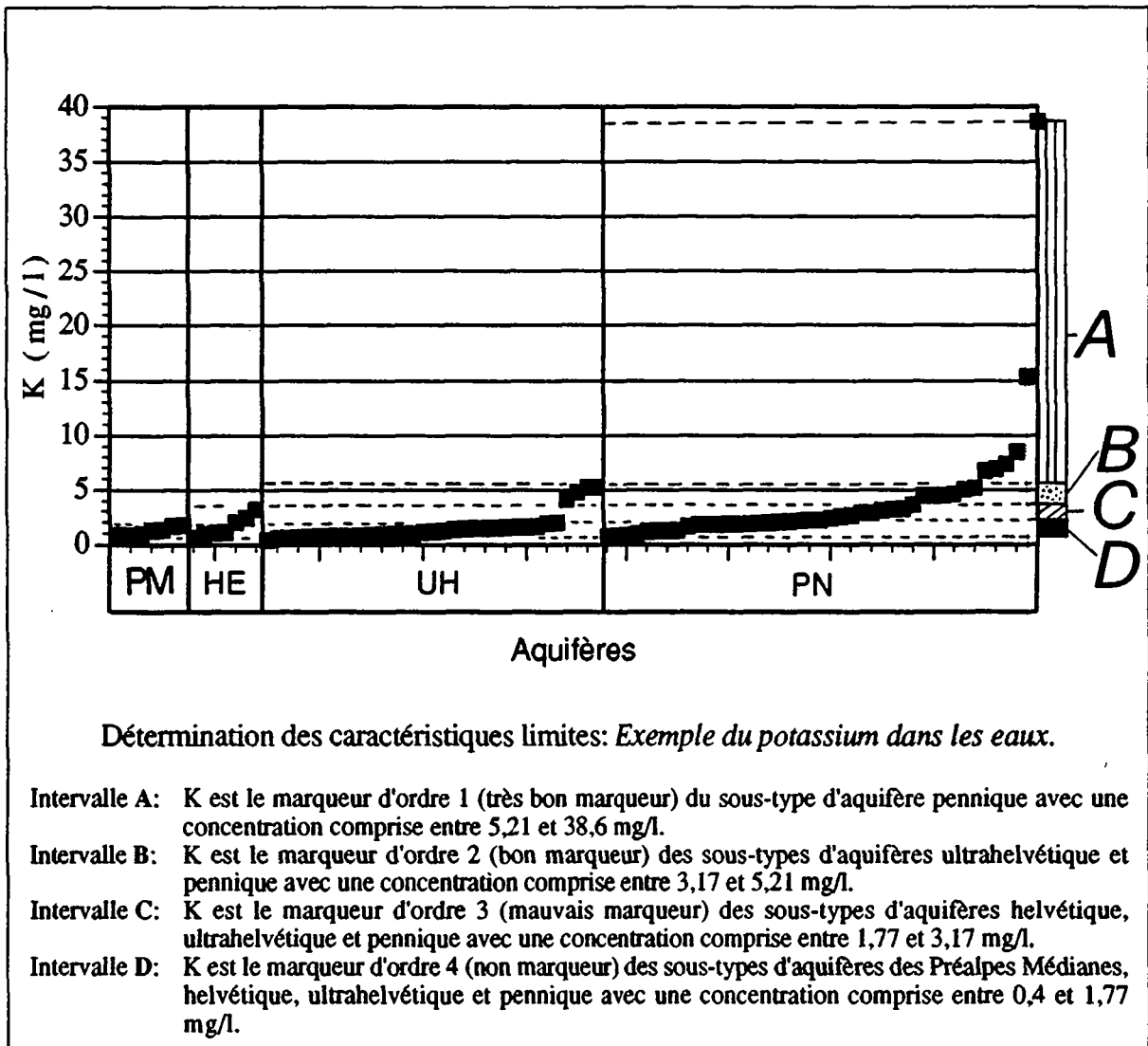


Figure 9.5 Méthode de détermination des caractéristiques limites

9.1.4.2 Marqueurs chimiques d'ordre 2

Les marqueurs chimiques d'ordre 2 sont au nombre de 17. Chacun d'entre eux peut décrire jusqu'à deux sous-types d'aquifères (tab. 9.4 et annexe 15). Cependant, quatre sont susceptibles d'être partiellement ou totalement d'origine anthropique: Na, Cl, Zn et Ge. Ils sont donc à considérer avec une certaine prudence.

Un cinquième, NO_3 , provient totalement de l'occupation humaine des bassins versants. Nous ne le considérons pas ci-dessous, puisqu'il n'est pas un marqueur géologique, mais un témoin utile pour caractériser les bassins hydrogéologiques. Il décrit notamment ceux de l'Ultrahelvétique et du Pennique qui sont à des altitudes généralement plus basses.

a) *Cl-Na-V-K-Si-As-Sc-Br-Zn-Ge*

Ils ont défini des aquifères UH et PN (tab. 9.4 et annexe 15). K, Si et Br déterminent à nouveau des aquifères PN.

b) *U-Mg-TSD-SO₄*

Les aquifères HE et PN se distinguent par des minéralisations élevées de leurs eaux (tab. 9.4). C'est ainsi que TSD et SO₄ sont des marqueurs d'ordre 2. On note également U et Mg.

c) *Sr-Sc*

Sr et Sc caractérisent des aquifères PM et PN (tab. 9.4). Sc semble être invariablement dominant dans les formations perméables du Trias pennique. Après Y, Sr est le second meilleur marqueur des aquifères PM.

La définition hydrogéochimique des aquifères PM, HE, UH et PN a globalement montré l'homogénéité de leurs compositions. Seuls ceux du Pennique sont quelque peu différents.

9.2 Comportement hydrogéologique des aquifères

L'analyse des régimes des sources a permis de cerner le comportement hydrogéologique des aquifères PM, HE, UH et PN. Il dépend en partie du type de bassin hydrogéologique. En effet, si celui-ci est jointif (fig. 5.12), l'alimentation de la zone de recharge provoque de rapides variations de débits, qui vont influencer directement les régimes géochimiques et thermiques des sources. Si par contre le modèle de bassin est non jointif (fig. 5.12), les fluctuations des débits n'entraînent pas ou peu de modifications de la minéralisation et de la température des eaux. Dans ce cas, la nappe souterraine est de type captif et elle réagit aux variations de pression dans la zone de recharge.

Nous allons présenter ci-dessous les résultats majeurs découlant des interprétations exposées au chapitre 7. Ils sont également synthétisés au tableau 9.5.

9.2.1 Aquifères des Préalpes Médiannes (PM)

Les bassins hydrogéologiques des aquifères PM étudiés sont de type non jointif (tab. 9.5). Cependant, on peut trouver des bassins jointifs dans le cas d'anticlinaux ou de synclinaux mis à nu par l'érosion (fig. 5.12).

Les aquifères PM peuvent avoir tous les comportements hydrogéologiques proposés, excepté le régime géochimique I (tab. 9.5). Ceci implique que les eaux de base subissent généralement une dilution à proximité de l'exutoire. Elle est cependant moins importante que celle que l'on peut rencontrer dans le cas de certains aquifères UH (voir chap. 7).

La dilution des eaux séléniteuses des aquifères PM peut avoir lieu de deux manières:

- directement par des zones d'infiltration secondaires existant dans les formations triasiques perméables,

- indirectement par des aquifères carbonatés du Dogger ou du Malm en contact sus-jacent avec les évaporites du Trias (LUTZ et al., 1987).

9.2.2 Aquifères helvétiques (HE)

Les bassins hydrogéologiques HE présentent surtout le modèle non jointif. Ils nous sont cependant moins connus, étant donné leur faible extension géographique.

Le comportement hydrogéologique des aquifères HE est très proche de celui des aquifères PN (voir chap. 7): malgré des débits variables, la chimie et la température des eaux restent dans l'ensemble stables (tab. 9.5).

9.2.3 Aquifères ultrahelvétiques (UH)

La plupart des bassins hydrogéologiques UH semblent être les seuls de type jointif (fig. 5.12). Malgré cela, les nappes d'eau peuvent aussi ne pas subir de modifications dans leurs régimes géochimiques et thermiques.

Les aquifères UH présentent toutes les possibilités de comportements hydrogéologiques définis dans le cadre de cette étude (tab. 9.5). On peut donc envisager des systèmes avec ou sans mélange d'eau à proximité de l'exutoire (voir chap. 7).

Tableau 9.5: Comportement hydrogéologique des aquifères PM, HE, UH et PN

		Type: Aquifère évaporitique			
		Sous-types: Aquifères			
		PM	HE	UH	PN
Modèle de bassin hydrogéologique		NJ	NJ	J	NJ
Régimes	hydraulique	Débit variable			
	géochimique	II,III	I, II	I,II,III	I
	thermique	I, II	I, II	I, II	I
Systèmes d'écoulement		I, II	I	I,II	I

Légende:

J: Modèle de bassin hydrogéologique jointif = les zones d'infiltration et d'émergence sont **jointives**.

NJ: Modèle de bassin hydrogéologique non jointif = les zones d'infiltration et d'émergence sont **non jointives**.

Régime géochimique I: aucune variation de la minéralisation au cours du temps
 II: faibles variations de la minéralisation au cours du temps
 III: variations importantes de la minéralisation au cours du temps

Régime thermique I: température stable au cours du temps
 II: température variable au cours du temps

Systèmes d'écoulement: I: - réservoir principal de grande capacité
 - circulation des eaux dans microdiscontinuités
 - aucun mélange (dilution) des eaux
 II: - Réservoir principal plus ou moins de grande capacité
 - circulations principales des eaux dans microdiscontinuités
 - infiltration secondaire, donc circulations secondaires des eaux dans macrodiscontinuités et mélange (dilution) des eaux

9.2.4 Aquifère pennique (PN)

Les bassins hydrogéologiques PN sont de type non jointif (tab. 9.5 et fig. 5.12).

Nous avons vu plus haut que les aquifères PN dévoilent une caractérisation hydrogéochemique globalement différente des autres sous-types. C'est également le cas du point de vue hydrogéologique. En effet, ils sont les seuls à présenter un comportement où les régimes géochimiques et thermiques sont toujours stables quelle que soit la variabilité des débits (tab. 9.5). Cette extrême stabilité est à attribuer au contexte géologique particulier auquel ces aquifères appartiennent, notamment au rôle de tampon que jouent les schistes étanches du Permo-Carbonifère au sein des formations triasiques (fig. 5.2).

Le comportement hydrogéologique général des aquifères évaporitiques peut se définir de la manière suivante:

Malgré des débits variables liés principalement à la fonte des neiges, nous avons constaté une assez grande stabilité chimique et thermique des sources. Ceci confirme nos hypothèses sur la karstification des gypses (voir 7.6). Les différents régimes observés sur les points d'eau du Pennique se sont montrés les plus stables.

10. COMPARAISON HYDROGEOCHIMIQUE AVEC D'AUTRES AQUIFERES EVAPORITQUES

Dans ce chapitre, nous avons comparé les aquifères évaporitiques du Trias du Bassin lémanique du Rhône à ceux du Trias d'autres régions:

- Jura de la Suisse nord-orientale,
- Reggio Emilia (Italie).

La comparaison a été quelque peu difficile, puisque les données disponibles recueillies n'ont pas toujours été les mêmes. Nous les avons donc confrontées à celles correspondantes acquises sur les eaux du Trias rhodanien.

Seuls les points d'eau avec des températures inférieures à 12°C ont été retenus.

10.1 Comparaison avec les aquifères du Trias jurassien

Nous avons rassemblé les analyses chimiques de six sources typiques du Trias jurassien. Il s'agit de:

- Buenten Quelle 2,
- Magdalenenquelle,
- Schenkenbergquelle,
- Melsten,
- In der Gipsi,
- Ramsach-Bad.

Elles sont localisées entre Bâle et Zürich. Leurs caractéristiques chimiques et leur environnement géologique et géographique sont présentés dans HÖGL (1980). De nombreux travaux effectués par la CEDRA réunissent également des données importantes sur la stratigraphie et la géochimie du Trias de la Suisse nord-orientale (DRONKERT, 1987; MATTER et al., 1988a; MATTER et al., 1988b; MATTER et al., 1988c; DRONKERT et al., 1990).

Elles sont liées principalement à des aquifères constitués de gypses et ou d'anhydrites, secondairement à des aquifères formés de roches calcaréo-dolomitiques (Muschelkalk et Keuper). Leurs minéralisations correspondent à celles observées dans le cadre de notre propre étude. Elles varient entre 1300 (Ramsach-Bad) et 2600 mg/l (Magdalenenquelle). De composition chimique plus ou moins proche, elles ont été traitées ensemble.

Parmi elles, nous avons deux sources dont les eaux sont mises en bouteilles comme eaux de boisson (HÖGL, 1980), soit:

- Buenten Quelle 2 de Meltingen dans le canton de Soleure,
- et Melsten d'Eptingen dans le canton de Bâle-Campagne.

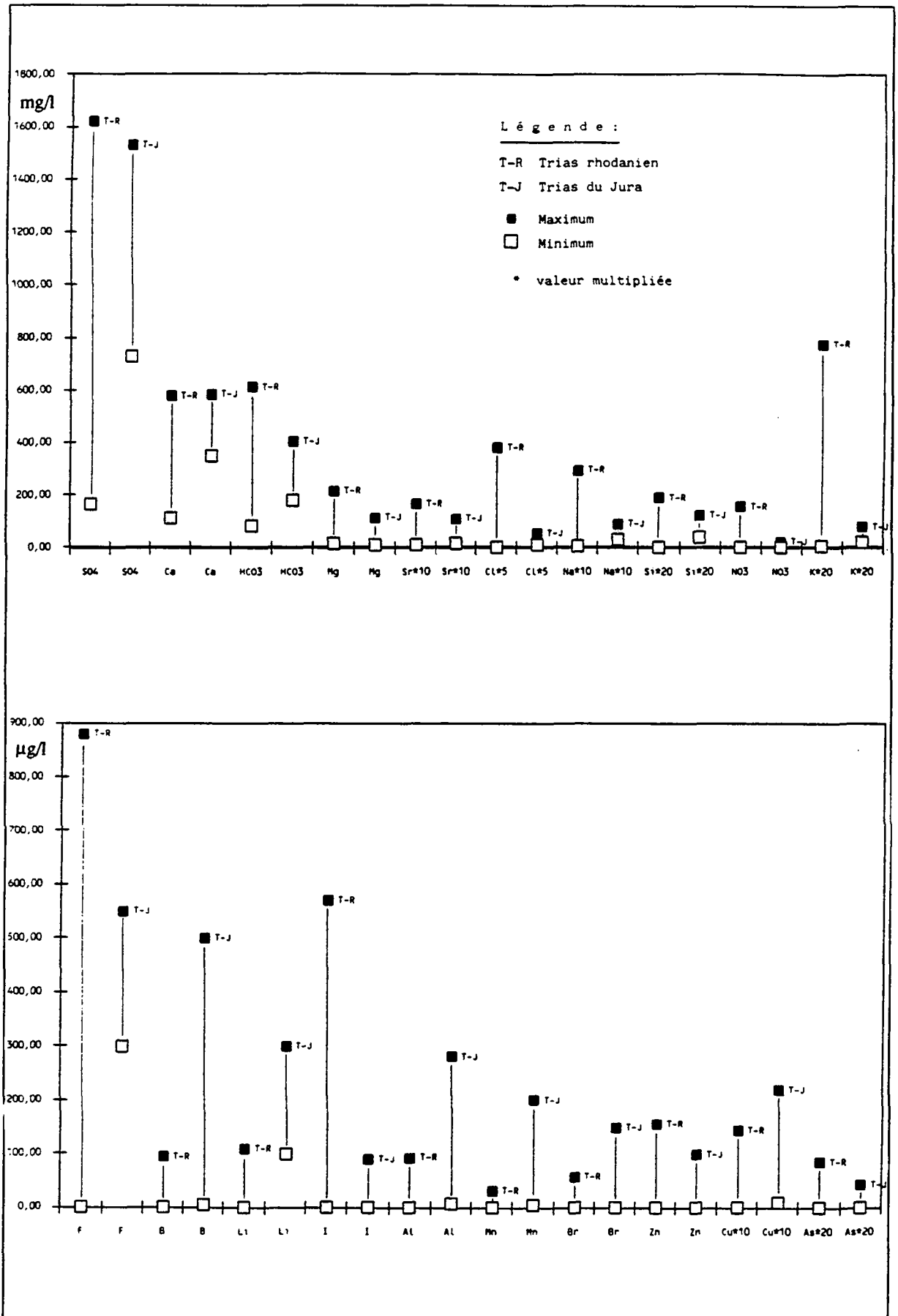


Figure 10.1 Comparaison entre la composition chimique des eaux du Trias rhodanien et celle du Trias jurassien

Avec les données à notre disposition (une analyse pour chaque source), nous n'avons pu définir que des faciès hydrochimiques Mm (éléments en traces incomplets). Ces émergences caractérisant les aquifères triasiques jurassiens ont présenté trois différents faciès hydrochimiques partiels (tab. 10.1):

- M1m1: $\underline{\text{Ca}}-(\text{Mg})-\underline{\text{SO}_4}-(\text{HCO}_3)$ ou $\underline{\text{Ca}}-\text{Mg}-\underline{\text{SO}_4}-(\text{HCO}_3)$ et $\text{Sr} > \text{Na} > \text{K}$,
- M1m3: $\underline{\text{Ca}}-(\text{Mg})-\underline{\text{SO}_4}-(\text{HCO}_3)$ et $\text{Na} > \text{Sr} > \text{K}$,
- M5m3: $\underline{\text{Ca}}-\underline{\text{SO}_4}-(\text{HCO}_3)$ et $\text{Na} > \text{Sr} > \text{K}$.

Sur la base de ces hydrofaciès, on peut vérifier que les eaux du Trias jurassien ont une composition chimique très similaire à celles du Trias rhodanien (tab. 10.1 et fig. 10.1).

Si M1m1 et M1m3 ont souvent défini les aquifères PM, HE, UH et PN, ce n'est apparemment pas le cas de M5m3 (fig. 9.4 et tab. 6.1). Dans le cadre de notre propre étude, nous avons rencontré en de rares occasions M5m1 et M5m2 ne caractérisant que des aquifères UH et PM (fig. 9.4). On peut d'une certaine manière considérer ces deux faciès hydrochimiques comme très proches de M5m3. Ainsi, la source de Ramsach-Bad, déterminée par cet hydrofaciès (tab. 10.1), pourrait par exemple correspondre aux émergences évaporitiques de Bach Plattraire ou du Maupas (annexe 1: sources n° 10 et 60).

En étudiant de plus près la composition chimique des six sources jurassiennes, nous pouvons faire les constatations suivantes (fig. 10.1):

- Les teneurs en ions majeurs sont comparables à celles observées dans les eaux des évaporites rhodaniennes.
- Na, Cl, K et I semblent être plus abondants dans les eaux du Trias rhodanien.
- Les points d'eau du Trias jurassien font par contre apparaître des teneurs plus importantes en B, Li, Al et Mn.
- Parmi les éléments que nous avons définis comme caractéristiques du passage des eaux dans les gypses, nous avons noté dans les émergences du Trias jurassien, en plus de SO_4 et Ca: Sr, Cu et dans une moindre mesure Mn (tab. 9.1).

Les aquifères évaporitiques du Trias rhodanien et jurassien ont révélé qu'ils se ressemblent fortement du point de vue géochimique. Ceci est valable dans le cas d'une comparaison avec les eaux froides des évaporites, c'est-à-dire pour des circulations s'effectuant de manière privilégiée dans les gypses.

10.2 Comparaison avec les aquifères du Trias italien

A notre demande, le Prof. Forti de l'Université de Bologne nous a remis quelques analyses physico-chimiques de sources minérales liées au Trias de Reggio Emilia (FORTI & FRANCAVILLA, 1988; FORTI et al., 1988). Pour notre comparaison, nous avons retenu trois sources froides représentatives des aquifères évaporitiques de cette région d'Italie:

- Tanone risorgente,
- Tanone grande,
- Fonti di Poiano (Poiano 1).

Poiano 1 est cependant très différente du groupe des sources de Tanone. Nous les présentons donc ci-dessous séparément.

10.2.1 Aquifère de Tanone

Les sources de Tanone (Tanone risorgente et Tanone grande), très comparables entre elles, ont révélé des caractéristiques chimiques plus ou moins analogues à celles du Trias rhodanien (fig. 10.2). Caractérisées par des températures généralement inférieures à 11 °C, elles ont une minéralisation de l'ordre de 1800 à 2000 mg/l. Les hydrofaciès MmT de ces eaux n'ont malheureusement pas pu être établis de manière complète, notamment à cause du faible nombre d'analyses en ions mineurs et en traces (FORTI et al., 1988). Malgré tout, ces sources peuvent se définir par le faciès hydrochimique Mm partiel suivant (tab. 6.1 et 10.1):

M5 et m1, m2 ou m3: $\underline{\text{Ca}}\text{-}\underline{\text{SO}_4}\text{-(HCO}_3\text{)}$ et $\text{Sr} > \text{Na} > \text{K}$, $\text{Sr} > \text{K} > \text{Na}$ ou $\text{Na} > \text{Sr} > \text{K}$.

Dans le cas où elles présenteraient le faciès hydrochimique m1 ou m2, ce qui est possible, elles seraient susceptibles de ressembler aux sources des Préalpes Médiannes ou de l'Ultraselvétique: comme Bach Plattraire ou Maupas (sources n° 10 et 60). Avec m3, elles correspondraient plutôt au type d'émergence de Ramsach-Bad du Trias jurassien (voir 10.1).

10.2.2 Aquifère de Poiano

Parmi les quatre sources de Poiano (Fonti di Poiano), très semblables entre elles, nous avons choisi pour notre comparaison Poiano 1 (FORTI et al., 1988).

Elle apparaît très nettement différente des émergences de Tanone. En effet, avec une température de l'ordre de 11 °C, Poiano 1 a révélé de très fortes teneurs en SO_4 , Na et Cl (fig. 10.2). Sa minéralisation totale avoisine près de 8500 mg/l (FORTI et al., 1988). Avec les données à notre disposition, nous n'avons pu déterminer qu'un faciès hydrochimique Mm partiel (tab. 10.1):

$\underline{\text{Na}}\text{-}\underline{\text{Ca}}\text{-}\underline{\text{Cl}}\text{-}\underline{\text{SO}_4}$ et m3 ou m4.

D'une manière générale, Poiano 1 peut être comparé plus ou moins à l'hydrofaciès M6 de Combioula (tab. 6.1):

$\text{Ca}\text{-}\text{Na}\text{-(Mg)}\text{-}\underline{\text{SO}_4}\text{-}\underline{\text{Cl}}$ ou $\underline{\text{Ca}}\text{-}\text{Na}\text{-(Mg)}\text{-}\underline{\text{SO}_4}\text{-}\underline{\text{Cl}}$.

Mais Poiano 1 présente tout de même des différences notables avec Combioula (sources n° 87 et 98), d'une part une minéralisation totale deux fois plus élevée, d'autre part une température de l'eau nettement plus froide: environ 11 °C contre 29 °C.

Il apparaît clairement que l'aquifère des sources de Poiano est fortement constitué de sel gemme. Un tel aquifère n'a cependant pas été rencontré dans le cas du Trias rhodanien, surtout si l'on considère que la température de l'eau de Poiano correspond à celle de la plupart des eaux séléniteuses faiblement minéralisées en Na et Cl. On trouve néanmoins des concentrations comparables en HCO_3 , Mg, K et dans une moindre mesure Ca (fig. 10.2).

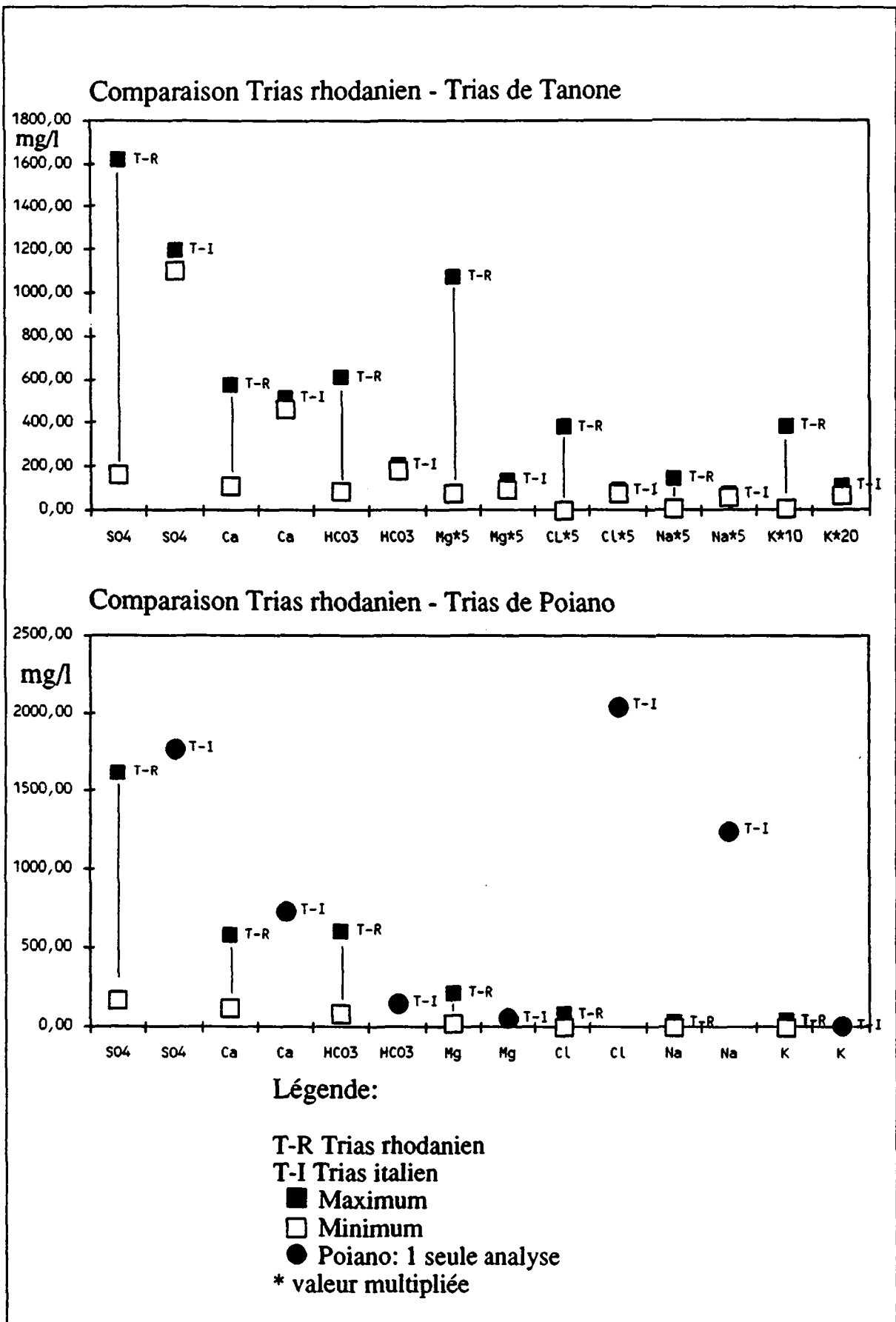


Figure 10.2: Comparaison entre la composition chimique des eaux du Trias rhodanien et celle du Trias de Reggio Emilia

Il ressort de ce rapprochement que les aquifères triasiques de Reggio Emilia semblent présenter plus d'hétérogénéité que ceux du Trias du Bassin lémanique du Rhône. Cette constatation est valable dans le cas des eaux froides des évaporites.

Tableau 10.1: *Hydrofaciès Mm des aquifères évaporitiques du Trias du Jura suisse (Bâle-Zürich) et de Reggio Emilia (Italie)*

Sources	Hydrofaciès Mm*
Trias du Jura suisse:	
Buente Quelle 2 (Meltingen)	M1m1
Magdalenenquelle	M1m1
Schenkenbergquelle	M1m1
Melsten (Eptingen)	M1m3
In der Gipsi	M1m3
Ramsach-Bad	M5m3
Trias de Reggio Emilia:	
Tanone risorgente	M5 avec m1, m3 ou m4
Tanone grande	M5 avec m1, m3 ou m4
Poiano I	Na-Ca-Cl-SO ₄ avec m3 ou m4

Remarque: *les données disponibles sont insuffisantes pour former MmT au complet

11. COMPARAISON HYDROGEOCHIMIQUE AVEC LE RESEAU AQUITYP

Le concept global du projet AQUITYP tend à la caractérisation de 15 aquifères-types qui se différencient lithologiquement (tab. 11.1). Ces 15 aquifères-types appartiennent à 5 groupes généraux d'aquifères:

- Groupe 1: terrains meubles quaternaires;
- Groupe 2: roches sédimentaires à porosité de fissures et d'interstices;
- Groupe 3: roches karstifiables carbonatées;
- Groupe 4: roches karstifiables évaporitiques;
- Groupe 5: roches cristallines silicatées.

La traverse de base du projet AQUITYP comprend 19 points d'eau de référence représentatifs de ces 5 groupes, y compris les sources de Noches (n° 14) et des Bains de Leytron (n° 64). Leur localisation est donnée à la figure 11.1 et au tableau 11.1.

Afin de comparer les caractéristiques géochimiques des aquifères évaporitiques à celles des autres groupes d'aquifères, nous avons retenu les données chimiques acquises sur le réseau AQUITYP lors d'une tournée générale réalisée en novembre 1989 (annexe 17). Cette période correspond à une situation d'étiage suite aux très basses eaux de l'été 1989.

Nous avons également collecté quelques renseignements provenant d'autres travaux intégrés dans ce projet. Il s'agit de deux études: l'une sur la typologie des aquifères des flysch (BASABE, en cours) (annexe 19), l'autre sur celle des aquifères des massifs cristallins (DUBOIS, 1991).

Les analyses des travaux sus-cités ont été faites selon les mêmes méthodes que pour notre étude (tab. 4.2).

Cette comparaison entre aquifères de différentes natures lithologiques comprend dans un premier temps l'analyse du degré de représentativité des stations de Noches et des Bains de Leytron choisies au départ (1981 et 1982) comme typiques du contexte Trias évaporitique. Puis, nous verrons comment différencier les aquifères évaporitiques des autres groupes d'aquifères traités dans le projet AQUITYP.

11.1 Degré de représentativité des stations AQUITYP de Noches et des Bains de Leytron

Chaque donnée chimique propre à l'un ou à l'autre de ces deux points d'eau a été comparée à la valeur moyenne obtenue d'une part à l'échelle du sous-type auquel il appartient, d'autre part à celle des quatre sous-types d'aquifères évaporitiques PM, HE, UH et PN identifiés dans le cadre de notre étude. Leurs caractéristiques utilisées pour ce rapprochement résultent de deux tournées de mesures effectuées par le GEOLEP en août 1988 et en novembre 1989 (annexe 16).

Tableau 11.1 Localisation et environnement géologique de l'hydrotraverse du réseau AQUITYP

RESEAU AQUITYP

Groupes d'aquifères-types	Groupes n°	Aquifères-types	Point d'eau		Unité géographique	S / P *	Feuille au 1:25000	Coordonnées		Altitude du point d'eau	Altitude max. du bassin	Enregistr. Niveau/Q depuis	Chimie GEOLEP depuis
			Code	Nom				Commune	Y				
Terrains meubles quaternaires	1	Graviers de plaine alluviale	LUC	Lucens	Lucens	P	1204	555.46	174.19	484	680	4.11.74	24.11.81
			CHA	Charivaz	Buchillon	P	1242	520.93	146.50	390	1485	1.9.78	10.10.83
		Graviers fluvioglaciers sur karst	MOR	Morand	Montricher	P	1222	520.38	161.87	659	1650	27.2.74	6.4.81
			DIZ	Dizy	Dizy	S	1222	527.24	164.75	576	620	1.4.84	7.4.81
			THI	Thierrens	Thierrens	S	1203	547.09	172.02	765	860	-	16.2.87
Roches sédimentaires à porosités fissurées et d'interstices	2	Molasse subalpine	COR	Cornalle	Eppes	S	1243	547.42	149.24	597	800	3.6.83	24.11.81
			CHE	Cheseaux	Morrens	S	1223	537.30	160.28	675	717	8.8.84	7.2.84
		Molasse burdigalienne	LRY	Lutry	Savigny	S	1243	544.62	157.35	878	895	3.8.83	24.11.81
			POZ	Pierre-Ozair	Savigny	S	1243	544.86	156.69	855	880	3.8.83	25.11.81
			ILL	Lac Lison	Oymont-Dessous	S	1265	576.12	137.39	1845	2478	10.5.82	27.11.81
Roches karstiques carbonatées	3	Flysch du Niesen	ALL	Alliaz	Blonay	S	1224	560.05	147.05	1020	1250	-	16.10.84
			TIL	Tilenet	Brettonnières	S	1202	526.26	173.45	650	1010	12.11.80	25.11.80
		Helvétique	LIO	Lionne	L'Abbaye	S	1221	514.53	166.72	1040	1679	25.11.80	25.11.80
			MAL	Malagne	Montricher	S	1222	518.05	160.61	720	1650	6.1.76	8.12.80
			BOR	Borneis	L'Euvaz	S	1265	576.78	142.26	1140	2458	1.1.70	27.11.81
Roches karstiques évaporitiques	4	Trias évaporitique alpin	SAR	Sarve	Sailion	S	1305	579.72	113.16	470	3051	23.12.81	26.11.81
			NOC	Noches	Aigle	S	1284	564.04	128.24	395	2112	23.11.82	27.11.81
			BLE	Bains de Leytron	Leytron	S	1305	580.58	114.56	560	3051	20.10.81	26.11.81
Roches cristallines silicatées	5	Massif du Mt-Blanc	BRO	Brocard	Martigny	S	1325	570.30	102.49	570	2838	12.2.81	8.4.81

* S = source P = puits

11.1.1 Station de Noches

La source de Noches représente a priori les eaux évaporitiques à circulation rapide. Sa saturation en oxygène est élevée, supérieure à 50 %. La station de Noches s'est révélée comme très représentative aussi bien à l'échelle des aquifères évaporitiques UH qu'à celle de l'ensemble des sous-types associés PM, HE, UH et PN (fig. 11.1). En effet, au minimum 12 et au maximum 13 paramètres chimiques sur 24 ont montré des rapports compris entre 0,7 et 1,3 que nous avons jugés favorables (fig. 11.1 et annexe 16). A l'échelle de l'unité ultrahelvétique, il s'agit de: TSD, SO₄, Ca, HCO₃, Mg, Sr, K, Li, Ba, Br, U, Cu, V. Nous retrouvons pratiquement les mêmes ions lorsque l'on compare la station de Noches à l'ensemble des aquifères du groupe 4 avec en plus Si. D'une manière générale, ils correspondent aux éléments parmi les plus caractéristiques des eaux froides des évaporites. En ce qui concerne U, la correspondance élevée observée dans la comparaison avec tous les aquifères est due principalement aux eaux du Pennique, très riches en U par rapport aux sources purement séléniteuses (voir chap. 8).

Parmi les composants de l'eau de Noches qui se sont montrés les moins représentatifs, nous notons: Mn, Al, Rb, Ni, Sc, B, F, Na, et Cl (fig.11.1 et annexe 16). Mn, Al, Rb, Ni et Sc sont en déficit. En revanche, B, F, Na et Cl sont en excès. Etant donné que les concentrations de ces 4 paramètres dépendent de la température, on peut en déduire que la source de Noches est marquée par une très légère composante thermique.

La température des eaux de Noches est stable au cours du temps (annexe 10), comme la plupart des sources des évaporites. Elle varie entre 10,8 et 11,1 °C. Par contre, la valeur moyenne de 11 °C est légèrement supérieure à celles enregistrées à l'échelle de l'unité ultrahelvétique (8,4 °C) ou de l'ensemble des quatre édifices structuraux (8,7 °C). Ces résultats semblent confirmer que la source de Noches est caractérisée par une très légère anomalie thermique.

D'une manière générale, la station de Noches peut donc sans aucun doute être jugée comme représentative des aquifères évaporitiques peu profonds et maintenue dans l'hydrotraverse de base d'AQUITYP.

11.1.2 Station des Bains de Leytron

Contrairement aux résultats observés pour Noches, la station des Bains de Leytron s'est avérée très peu représentative. En effet, nous n'avons noté au maximum que trois paramètres compris dans des rapports au voisinage de 1. Il s'agit de Cl, Br et V. Tous les autres ions se sont révélés avec des concentrations très différentes par rapport aux valeurs moyennes enregistrées aussi bien à l'échelle du sous-type auquel cette source appartient qu'à celle des quatre sous-types PM, HE, UH et PN réunis (fig. 11.1 et annexe 16).

Les autres composés chimiques comparés sont soit fortement en excès, soit fortement en déficit (fig. 11.1). Dans le premier cas, cela s'explique par le caractère thermal de cette eau. Une teneur plus importante en Mn indique aussi que cette eau est réduite. En effet, sa teneur en oxygène est inférieure à 10 %. Dans le second cas, la relative faible minéralisation de l'eau des Bains de Leytron résulte d'un séjour plus court dans des formations triasiques solubles.

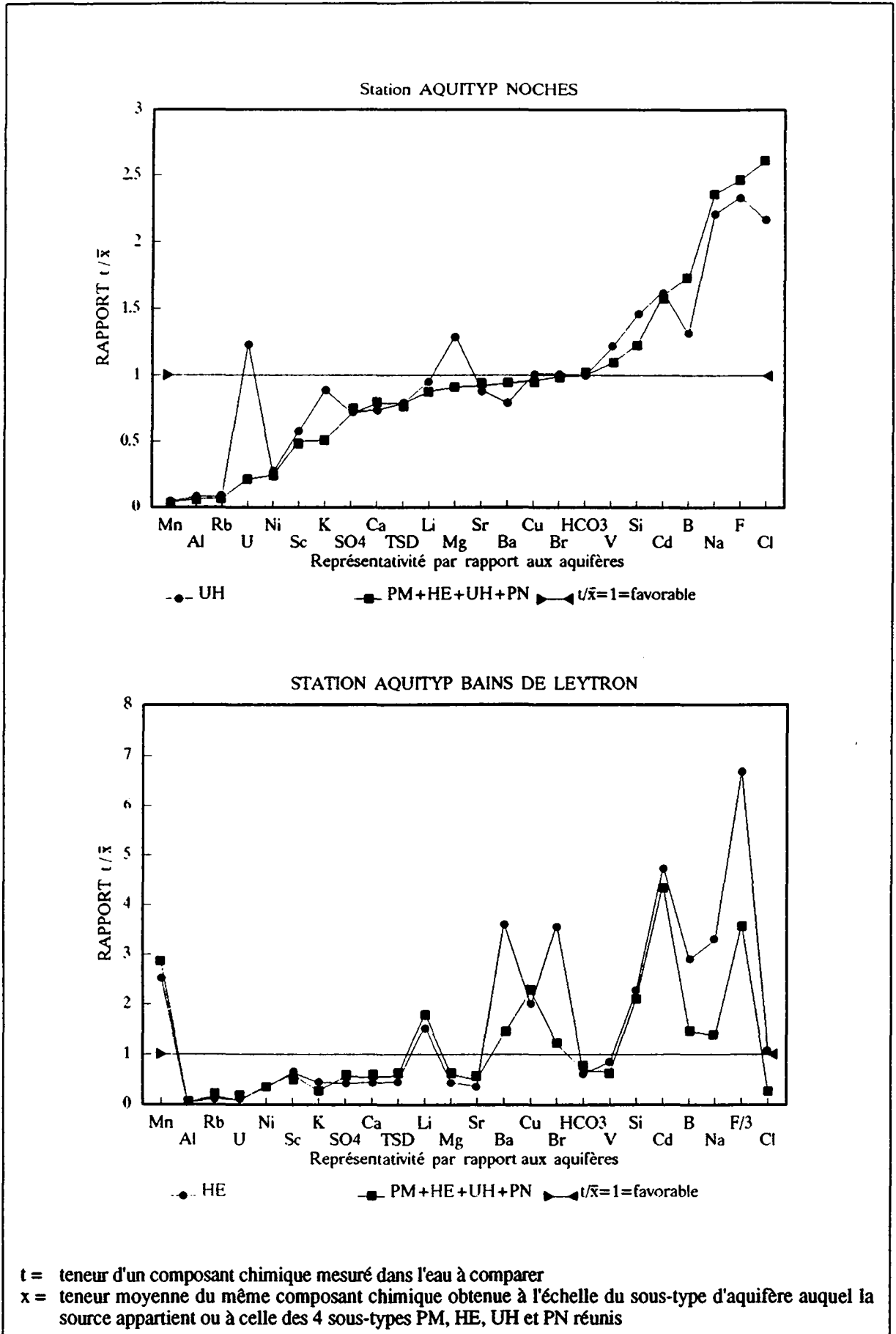


Figure 11.1 Degré de représentativité des stations de Noches et des Bains de Leytron

Au point de vue du régime thermique, la source des Bains de Leytron est également très distincte de l'ensemble des points d'eau étudiés: sa température varie entre 23,5 et 25,1 °C au cours du temps. Elle est cependant stable (annexe 10).

Bien que les eaux soient marquées par leur passage dans des formations triasiques, cette station ne peut être considérée comme typique des aquifères évaporitiques à faible profondeur. En effet, ses caractéristiques chimiques et thermiques doivent certainement dépendre en partie de circulations d'eau s'effectuant dans des aquifères de nature lithologique différente (calcaires du Dogger de l'Helvétique) et d'un réservoir principal se trouvant à plusieurs centaines de mètres de profondeur (PARRIAUX, 1983).

La station des Bains de Leytron ne présente pas les propriétés typiques des aquifères évaporitiques à faible profondeur, elle reste cependant un point d'accrochage important dans le contexte des eaux séléniteuses profondes réduites. Ces eaux ressemblent d'une certaine manière aux eaux chaudes de Val d'Iliez, également pauvres en Na et Cl. Elles diffèrent cependant très nettement des eaux profondes du Trias pennique, dont les sources de Combioula sont les témoins principaux.

Comme les sources de Noches et des Bains de Leytron ont été intégrées dans notre réseau (voir chap. 4), leurs données ont été associées à l'ensemble de celles acquises sur les aquifères évaporitiques pour les comparer aux 15 sources représentatives des groupes 1, 2, 3 et 5.

Après avoir testé la représentativité de ces deux stations de référence, nous avons passé à l'étude comparative proprement dite, qui comprend:

- la classification chimique des 15 points d'eau selon les hydrofaciès MmT et leur comparaison avec des sources évaporitiques choisies comme typiques des aquifères du groupe 4 et représentatives des hydrofaciès "majeurs" M1 à M5;
- l'analyse des abondances des divers composés de l'eau pouvant distinguer au mieux le groupe 4 des autres.

11.2 Comparaison avec les groupes d'aquifères 1, 2, 3 et 5

Dans le but de comparer les caractéristiques hydrogéochimiques des aquifères évaporitiques à celles des autres aquifères du réseau AQUITYP, nous avons dans un premier temps établi les faciès hydrochimiques MmT de tous les points d'eau de l'hydrotraverse de base, y compris ceux de Noches et des Bains de Leytron. Nous les avons confrontés à ceux de six sources-exemples représentatives des aquifères évaporitiques et des hydrofaciès M1 à M6 (tab. 11.2). Les hydrofaciès réduits mT déterminés pour les groupes 1, 2, 3 et 5 ont été mis en parallèle avec ceux des aquifères 4 (fig. 11.2).

Pour tenter de déceler des marqueurs chimiques permettant une différenciation hydrogéochimique supplémentaire entre les aquifères évaporitiques et les autres types, nous avons en première approche comparé les concentrations maximales, minimales et moyennes des divers composés des eaux séléniteuses avec celles de chaque point d'AQUITYP, excepté ceux de Noches et des Bains de Leytron (annexe 18).

Comme nous nous sommes très vite aperçus que la plupart des valeurs maximales des ions contenus dans les eaux des évaporites ont été pratiquement toujours supérieures, nous avons de

ce fait poursuivi notre comparaison avec les minima et les moyennes (tab. 11.3). Cette méthode de comparaison a permis de mettre en évidence une différenciation hydrogéochimique entre le groupe 4 et les autres.

Notre groupe 4 a été comparé tour à tour aux quatre autres groupes d'AQUITYP. Dans ces comparaisons, si la concentration minimale en un ion dans les eaux séléniteuses s'est révélée supérieure à toutes les valeurs enregistrées pour le même élément dans le groupe de confrontation, cet élément chimique a été qualifié de marqueur du premier degré (marqueur 1.d) des aquifères 4 par rapport à ce groupe. Quant aux composés, dont les valeurs moyennes se sont avérées de la même manière plus élevées, nous les avons désignés comme des marqueurs du second degré (marqueur 2.d). Malgré qu'ils soient plutôt indicatifs d'un ordre de grandeur, ils permettent de faire une différenciation hydrogéochimique appréciable. Les marqueurs 1.d qui n'ont pas permis de distinguer au moins un des groupes à comparer, peuvent être des marqueurs 2.d (tab. 11.3).

Lorsque la comparaison avec les divers aquifères-types d'un groupe considéré donne le même résultat, nous pouvons attribuer cette relation au groupe entier. En revanche, si un ou plusieurs aquifères-types de ce groupe montrent un résultat différent des autres, seule une appréciation pourra être donnée sur la comparaison avec ce groupe (annexe 18).

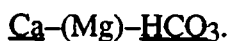
Au tableau 11.3, nous ne présentons que les marqueurs 1.d et 2.d susceptibles de distinguer le groupe 4 dans au moins un cas. Les marqueurs 1.d sont donc: SO₄, Ca, Mg, Sr et Rb. Les autres paramètres chimiques ont un faible potentiel de différenciation. F, U, I, Zn, Ge, Cr et NO₃ n'ont pas été exposés, puisqu'ils ne sont pas ou peu liés aux aquifères évaporitiques. Certains de ces éléments sont parfois totalement ou partiellement d'origine anthropogène. D'autres sont rattachés à des formations extra-triasiques (voir chap. 8).

D'une manière globale, les eaux séléniteuses se sont montrées plus minéralisées que celles provenant des autres aquifères. Dans de rares cas, nous avons relevé des ions en plus grande abondance dans les eaux des groupes 1 et 2 (voir ci-dessous).

Nous allons voir maintenant les comparaisons détaillées entre notre groupe 4 et successivement les autres groupes d'aquifères-types.

11.2.1 Différenciation entre groupe 4 et groupe 1

Les hydrofaciès MmT du groupe 1 se sont montrés très distincts (tab. 11.2). En effet, leurs eaux sont essentiellement bicarbonatées-calciques et légèrement magnésiennes. Elles ne contiennent que le faciès hydrochimique M suivant (JAECKLI, 1970):



En outre, elles semblent ne dévoiler que deux faciès hydrochimiques mT: m4T13 ou m4T15 (tab. 11.2 et 6.1, fig. 11.2), qui n'apparaissent pas dans le groupe 4.

Les seuls marqueurs 1.d qui permettent de distinguer à coup sûr les aquifères évaporitiques des aquifères du groupe 1 ont été (tab. 11.3 et annexe 18):



Parmi les marqueurs 2.d, nous avons noté (tab. 11.3 et annexe 18):

Ca, Mg, Na, K, B, Li, Al, Mn, Sc et As.

Leurs concentrations sont en général plus élevées dans les eaux des évaporites que dans celles circulant au-travers des formations meubles quaternaires (groupe 1).

Bien que le Ba soit un des éléments caractéristiques des roches évaporitiques (voir chap. 8), nous l'avons cependant détecté en plus grande quantité dans les sources de Morand, Dizy et Thierrens (groupe 1) (annexe 18).

11.2.2 Différenciation entre groupe 4 et groupe 2

Parmi les cinq sources caractérisant les aquifères du groupe 2, quatre ont une composition chimique fondée sur les ions majeurs plus ou moins similaire: essentiellement bicarbonatée-calcique et légèrement à fortement magnésienne (tab. 11.2). Elles présentent deux faciès hydrochimiques "majeurs" qui ne sont jamais apparus dans le cas des eaux des évaporites. Il s'agit de (JAECKLI, 1970):



Trois d'entre elles se révèlent avec des hydrofaciès mT comparables à ceux observés pour le groupe 1: m4T13 et m4T15 (fig. 11.2 et tab. 11.2). Il s'agit des trois sources issues des formations molassiques: Cornalle, Lutry et Pierre-Ozairé (tab. 11.1).

Par contre, la quatrième laisse apparaître le faciès hydrochimique m6 qui n'a jamais été relevé dans les eaux séléniteuses, où $K > Na > Sr$ (tab. 6.1). En effet, la source des flysch du Niesen (Lac Lioson) est caractérisée par m6T15 (fig. 11.2 et tab. 11.2).

La cinquième émergence du groupe 2 dénote des propriétés chimiques tout à fait différentes des quatre précédentes. Du reste, elle appartient à un environnement hydrogéologique complexe lié à la juxtaposition de flysch et de formations évaporitiques. Il s'agit des eaux profondes et anciennes du forage de l'Alliaz qui se distinguent par un hydrofaciès M (JAECKLI, 1970) très distinct des autres eaux de ce groupe 2:



Quoique ce faciès hydrochimique M n'ait pas été repéré dans les sources des aquifères du groupe 4, l'Alliaz présente cependant un hydrofaciès m3T15 que nous avons déjà noté dans deux sources sulfatées-calciques de l'Ultrasuisse (fig. 11.2 et tab. 11.2).

Cette diversité dans la composition chimique des eaux provenant des formations à porosité de fissures et d'interstices a fait apparaître une substantielle hétérogénéité de ce groupe 2. En effet, les points d'eau de la Molasse et ceux des flysch paraissent décrire des types d'aquifères sensiblement différents.

Compte tenu de ces caractéristiques géochimiques très variables, les marqueurs du groupe 4 se sont révélés peu nombreux (tab. 11.3 et annexe 18):

- 1.d: SO₄ et Ca;
- 2.d: Mg, Sr, Rb, Mn et As.

En outre, nous avons remarqué quatre ions en concentration plus importante que les maximales observées dans les eaux des évaporites: B, Ba, Cl et Na (annexe 18). Ils caractérisent les trois points d'eau apparemment les plus exotiques du groupe 2: Pierre-Ozaire, Lac Lioson et Alliaz (annexe 17).

Il faut remarquer que si l'on enlève de nos statistiques l'eau très particulière de l'Alliaz, la différenciation devient nette.

11.2.3 Différenciation entre groupe 4 et groupe 3

Le groupe 3 dévoile deux sortes d'eaux:

- La première est liée aux formations calcaires du Jura et rassemble les point d'eau de Tilenet et de la Lionne (tab. 11.1). Les sources sont principalement bicarbonatées-calciques (tab. 11.2) et présentent un hydrofaciès M identique, qui n'a jamais été noté dans les eaux des évaporites (JAECKLI, 1970):



Les faciès hydrochimiques mT de ces deux sources sont cependant différents (fig. 11.2 et tab. 11.2): m4T15 pour Tilenet et m6T13 pour la Lionne. Aucun de ces faciès n'a été rencontré dans les eaux évaporitiques (fig. 9.4). Si m4T15 a déjà été noté pour les groupes 1 et 2, en revanche m6T13 (tab. 6.1) apparaît pour la première fois.

- La seconde est rattachée aux formations carbonatées et partiellement évaporitiques des Préalpes Médiannes et de l'Helvétique, réunissant les sources des Bornels et de la Sarve (tab. 11.1). Elles présentent des hydrofaciès MmT très proches de ceux des eaux séléniteuses (fig. 9.4 et tab. 11.2): M3m1T15 pour la Sarve et M3m2T15 pour les Bornels. M3 (JAECKLI, 1970) est comparable à celui de la source de la galerie de Fey (source n° 73):



Les faciès hydrochimiques m1T15 et m2T15 ont déjà été observés dans le cas des eaux évaporitiques, caractérisant notamment des points d'eau PM et UH (fig. 9.4). Ceci prouve que du point de vue hydrogéologique, les sources des Bornels et de la Sarve ont probablement touché des formations gypseuses. Cependant, les écoulements principaux se développent de manière privilégiée dans le karst calcaire ou le karst calcaréo-dolomitique. De telles eaux se caractérisent le plus souvent par de faibles minéralisations, parfois même inférieures à celles des groupes 1 et 2.

C'est donc en raison de la très faible minéralisation des sources provenant des aquifères du groupe 3 que les marqueurs sont nombreux (tab. 11.3 et annexe 18):

- 1.d: SO₄, Mg, Sr et Rb;
- 2.d: Ca, Cl, Na, Si, K, B, Li, Al, Mn, Br, Ni, Sc et As.

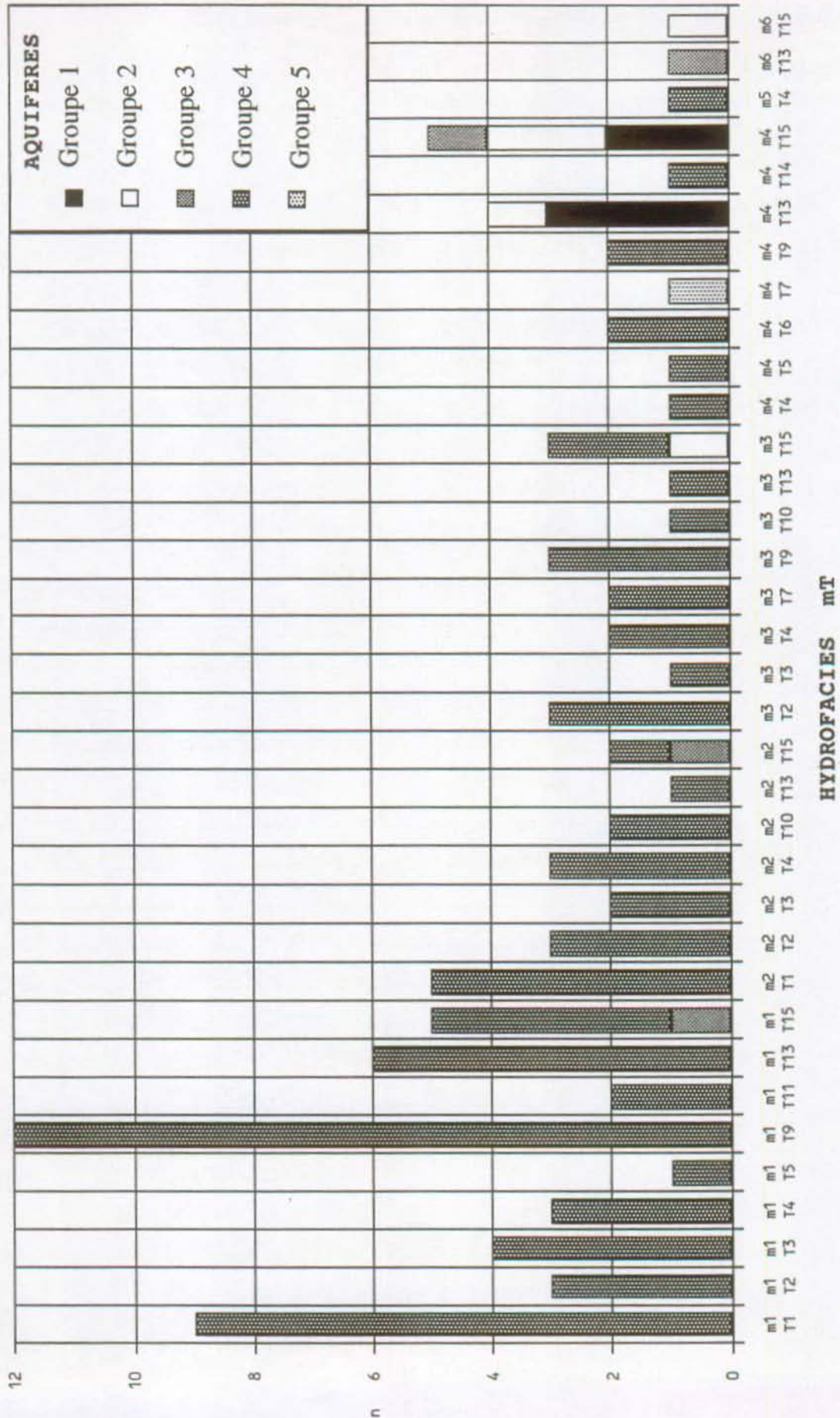
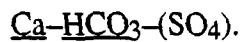


Figure 11.2 Comparaison entre les hydrofaciès mT des groupes d'aquifères 1, 2, 3, 4 et 5

11.2.4 Différenciation entre groupe 4 et groupe 5

Le réseau AQUITYP ne comprend actuellement qu'une seule station de référence implantée dans le groupe 5. Il s'agit de la source du Brocard, caractérisée par un hydrofaciès M qui n'a pas été rencontré dans le cas des eaux des évaporites (JAECKLI, 1970) (tab. 11.2):



Son faciès m4T7 n'a jamais été noté pour les sources séléniteuses (fig.11.2).

Tableau 11.2 Classification chimique des 17 sources d'AQUITYP et comparaison entre les hydrofaciès MmT des groupes d'aquifères-types 1, 2, 3, 4 et 5

Groupes d'aquifères-types	Sources	Hydrofaciès MmT	
		JAECKLI (1970): M	mT
1	Lucens*	$\underline{\text{Ca}}-(\text{Mg})-\underline{\text{HCO}_3}$	m4T15
	Chanivaz*	$\underline{\text{Ca}}-(\text{Mg})-\underline{\text{HCO}_3}$	m4T15
	Morand*	$\underline{\text{Ca}}-(\text{Mg})-\underline{\text{HCO}_3}$	m4T13
	Dizy*	$\underline{\text{Ca}}-(\text{Mg})-\underline{\text{HCO}_3}$	m4T13
	Thierrens*	$\underline{\text{Ca}}-(\text{Mg})-\underline{\text{HCO}_3}$	m4T13
2	Cornalle*	$\text{Ca}-\text{Mg}-\underline{\text{HCO}_3}$	m4T15
	Lutry*	$\underline{\text{Ca}}-(\text{Mg})-\underline{\text{HCO}_3}$	m4T13
	Pierre-Ozaire*	$\underline{\text{Ca}}-(\text{Mg})-\underline{\text{HCO}_3}$	m4T15
	Lac Lioson*	$\underline{\text{Ca}}-(\text{Mg})-\underline{\text{HCO}_3}$	m6T15
	Alliaz*	$\underline{\text{Na}}-\underline{\text{HCO}_3}$	m3T15
3	Tilnet*	$\underline{\text{Ca}}-\underline{\text{HCO}_3}$	m4T15
	Lionne*	$\underline{\text{Ca}}-\underline{\text{HCO}_3}$	m6T13
	Bornels*	$\underline{\text{Ca}}-(\text{Mg})-\underline{\text{HCO}_3}-\text{SO}_4 = \text{M3}$	m2T15
	Sarve*	$\underline{\text{Ca}}-(\text{Mg})-\underline{\text{HCO}_3}-\text{SO}_4 = \text{M3}$	m1T15
4 Exemples du Trias évaporitique	Noches*	$\underline{\text{Ca}}-\text{Mg}-\text{SO}_4-\underline{\text{HCO}_3} = \text{M1}$	m3T15
	Bains de Leytron*	$\underline{\text{Ca}}-\text{Mg}-\text{SO}_4-\underline{\text{HCO}_3} = \text{M1}$	m3T7
	La Latte**	$\underline{\text{Ca}}-(\text{Mg})-\text{SO}_4-(\underline{\text{HCO}_3}) = \text{M1}$	m2T4
	Salin**	$\underline{\text{Ca}}-(\text{Mg})-\text{SO}_4-\underline{\text{HCO}_3}-(\text{Cl}) = \text{M2}$	m3T13
	Fey**	$\underline{\text{Ca}}-\text{Mg}-\underline{\text{HCO}_3}-\text{SO}_4 = \text{M3}$	m4T6
	Val d'Illicz**	$\underline{\text{Ca}}-\text{Mg}-\text{SO}_4 = \text{M4}$	m3T7
	Maupas**	$\underline{\text{Ca}}-\text{SO}_4-(\underline{\text{HCO}_3}) = \text{M5}$	m1T13
	Combioula**	$\text{Ca}-\text{Na}-(\text{Mg})-\text{SO}_4-\text{Cl} = \text{M6}$	m4T9
5	Brocard*	$\underline{\text{Ca}}-\underline{\text{HCO}_3}-(\text{SO}_4)$	m4T7

* réseau AQUITYP: tournée de mesures de novembre 1989

** Thèse MANDIA

En plus des données chimiques de la source du Brocard, nous avons aussi examiné celles de l'étude DUBOIS (1991) afin de dégager des marqueurs plus sûrs du groupe 4 par rapport au groupe 5. Par exemple, la teneur minimale en SO_4 des eaux des évaporites n'est pas supérieure à celles maximales rencontrées dans les eaux du groupe 5 (tab. 11.3). Si nous n'avions tenu compte que des données du Brocard, cette constatation n'aurait pas été possible. En effet, la concentration en SO_4 de cette source ne dépasse guère 10 mg/l (annexe 17). Ceci démontre que les minéralisations des eaux du groupe 5 peuvent être plus élevées que le point d'eau du Brocard choisi comme représentatif dans la traverse AQUITYP.

Les marqueurs chimiques du groupe 4 ont été les suivants (tab.1 1.3 et annexe 18):

- 1.d: Ca et Mg;
- 2.d: SO_4 , HCO_3 , Sr, Al, Mn, Br, Ni, Cu, Sc et V.

Tableau 11.3 Marqueurs chimiques des aquifères du groupe 4 par rapport à ceux des groupes 1, 2, 3 et 5 du réseau AQUITYP

Groupes d'aquifères-types					
Groupe 4 (=aquifères évaporitiques) comparé à		1	2*	3	5*
1°	Marqueurs 1.d et valeurs minimales				
SO_4 :	165 mg/l	>	>	>	.
Ca:	114 mg/l	.	>	.	>
Mg:	15,9 mg/l	.	.	>	>
Sr:	1 mg/l	>	.	>	.
Rb:	2,3 $\mu\text{g/l}$	>	.	>	.
2°	Marqueurs 2.d et valeurs moyennes				
SO_4 :	1041 mg/l	⊙	⊙	⊙	>
Ca:	419 mg/l	>	⊙	>	⊙
HCO_3 :	251 mg/l	.	.	.	>
Mg:	66,6 mg/l	>	>	⊙	⊙
Sr:	7,9 mg/l	⊙	>	⊙	>
Cl :	7 mg/l	.	.	>	.
Na :	5,8 mg/l	>	.	>	.
Si :	3,19 mg/l	.	.	>	.
K:	2,71 mg/l	>	.	>	.
B:	27,6 $\mu\text{g/l}$	>	.	>	.
Li :	27,1 $\mu\text{g/l}$	>	.	>	.
Rb:	18,3 $\mu\text{g/l}$	⊙	>	⊙	.
Al:	16,4 $\mu\text{g/l}$	>	.	>	>
Mn :	12,3 $\mu\text{g/l}$	>	>	>	>
Br:	10,6 $\mu\text{g/l}$.	.	>	>
Ni:	3,8 $\mu\text{g/l}$.	.	>	>
Cu:	3,1 $\mu\text{g/l}$.	.	.	>
Sc:	3 $\mu\text{g/l}$	>	.	>	>
As:	0,6 $\mu\text{g/l}$	>	>	>	.
V:	0.5 $\mu\text{g/l}$.	.	.	>

Légende: > supérieur

.: la différenciation n'est pas possible: on peut avoir > ou <

⊙ déjà marqueur 1.d

Remarques: * y compris les données provenant des travaux de BASABE (en cours) pour le groupe 2 et de DUBOIS (1991) pour le groupe 5

F, U, I, Zn, Ge, Cr et NO_3 n'ont pas été présentés, puisqu'ils ne sont pas ou peu liés aux aquifères évaporitiques (voir chapitre 8).

11.3 Bilan général de la comparaison avec AQUITYP

De ces différentes comparaisons, nous pouvons tirer le bilan général suivant:

- La station de Noches (source n° 14) est très représentative des aquifères évaporitiques peu profonds. En revanche, ce n'est pas le cas de la station des Bains de Leytron (source n° 64).
- La Sarve et les Bornels (groupe 3) et l'Alliaz (groupe 2) sont les seuls points d'eau présentant des hydrofaciès proches de ceux des sources évaporitiques. Ceci est en accord avec leur structure géologique.
- Hormis l'émergence du Brocard, les 14 autres ont toutes montré des faciès hydrochimiques "traces" T où le bore est supérieur au lithium.
- Le rapport d'abondance $K > Na > Sr$ définissant l'hydrofaciès "mineurs" m6 a caractérisé les points d'eau du Lac Lioson et de la Lionne. Ce faciès hydrochimique n'a jamais été rencontré dans le cas des eaux séléniteuses.
- Par notre méthode de différenciation hydrogéochimique à l'échelle de la concentration d'un ion, nous proposons cinq marqueurs dits du premier degré (1.d) à des concentrations déterminées, qui permettent de distinguer de façon sûre les aquifères du groupe 4 de ceux des groupes 1, 2, 3 et 5. Il s'agit de: SO_4 , Ca, Mg, Sr et Rb.
- Les aquifères du groupe 2 semblent dégager des caractéristiques hydrogéochimiques très variables. De ce fait, nous n'avons décelé que peu de marqueurs chimiques 1.d et 2.d susceptibles de bien différencier le groupe 4 du groupe 2.
- Parmi les éléments chimiques analysés dans les eaux séléniteuses, le baryum est le seul à ne pouvoir jamais différencier les aquifères évaporitiques dans au moins une comparaison avec les groupes 1, 2, 3 et 5. C'est également le cas avec le Rb, mais uniquement avec le groupe 5.

12. CONCLUSION

L'étude de la typologie des aquifères évaporitiques du Trias dans le Bassin lémanique du Rhône a bien abouti, puisque nous avons atteint les objectifs fixés.

Grâce à une étude systématique des variations temporelles des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines, nous avons cerné le comportement dynamique des écoulements dans le karst gypseux et carbonaté du Trias rhodanien. Il est très différent de celui que l'on peut rencontrer dans le karst calcaire du Jura.

Mis à part les composants majeurs caractéristiques des eaux séléniteuses froides, nous avons surtout mis en évidence des éléments en traces particuliers aux formations triasiques perméables à faible profondeur, comme les gypses. Ceci n'a pu être réalisé qu'à partir d'une étude de la composition chimique des eaux et des roches susceptibles de les marquer. La connaissance de ces propriétés géochimiques a été facilitée par le choix délibéré d'étudier au départ uniquement des systèmes mono-aquifères, en l'occurrence les aquifères de type évaporitique. Elle sera cependant utile lorsqu'il s'agira d'élucider le comportement de systèmes hydrogéologiques plus complexes, par exemple pour identifier des venues d'eau en ouvrages souterrains. Ce travail peut fournir les moyens de reconnaissance directement utilisables dans l'identification de l'origine des eaux.

Au travers de cette étude, nous avons d'une part renforcé le concept du projet AQUITYP, d'autre part fourni des renseignements fondamentaux sur le comportement des eaux souterraines en montagne, sur la nature du sous-sol (diversité des roches) et sur l'utilisation possible des eaux séléniteuses pour l'alimentation en eau potable lors de l'étiage hivernal.



BIBLIOGRAPHIE

- AL-DROUBI, A. (1976): Géochimie des sels et des solutions concentrées par évaporation. Modèle thermodynamique de simulation. Application aux sols salés du Tchad. Sciences géologiques, N 46. Université de Strasbourg.
- ALLEMAN, R. (1989): Evaluation comparative des différents traceurs artificiels en hydrogéologie. Diplôme 3e cycle CHYN. Université de Neuchâtel. Non publié.
- ATLAS PLUVIOMETRIQUE ET METEOROLOGIQUE DE LA SUISSE (1986-1989).
- BADOUX, H. (1963): Les Unités ultrahelvétiques de la Zone des Cols. *Eclog. geol. Helv.*, 56/1, pp. 1-13.
- BADOUX, H. (1965): Carte géologique au 1:25'000 et notice explicative de la feuille 1264 (Montreux). Atlas géologique de la Suisse. Comm. Géol. Suisse. Kümmerly et Frey, Berne.
- BADOUX, H. (1966): Description géologique des Mines et Salines de Bex et leurs environs. *Matér. Géol. Suisse, sér. géotechnique*, 41. Kümmerly et Frey, Berne.
- BADOUX, H. (1982): Mines de sel de Bex. Aperçu géologique et minier. Publication Aminsels.
- BADOUX, H., BONNARD, E.G., BURRI, M. & VISCHER, A. (1959): Carte géologique au 1:25'000 et notice explicative de la feuille 1285 (St-Léonard). Atlas géologique de la Suisse. Comm. Géol. Suisse. Kümmerly et Frey, Berne.
- BADOUX, H., BURRI, M., GABUS, J.H., KRUMMENACHER, D., LOUP, G. & SUBLET, P. (1971): Carte géologique au 1:25'000 et notice explicative de la feuille 1305 (Dt de Morcles). Atlas géologique de la Suisse. Comm. Géol. Suisse. Kümmerly et Frey, Berne.
- BADOUX, H. & GABUS, J.H. (1991): Carte géologique au 1:25'000 et notice explicative de la feuille 1285 (Les Diablerets). Atlas géologique de la Suisse. Comm. Géol. Suisse. Kümmerly et Frey, Berne.
- BADOUX, H. & MAUTNER, J. (1978): Cartes hydrogéologiques du canton de Vaud et cadastre des sources. Non publié.
- BASABE, P. (en cours): Typologie des aquifères des flysch. Thèse, Laboratoire de géologie, EPFL, Lausanne.
- BASABE, P. & PARRIAUX, A. (1990): Hydrochemical characterization of the Flysch sources of the Niesen tectonic nappe (Swiss Prealps). *Memoires of the XXIIInd Congress of IAH, EPFL, Lausanne, Part 1*, 514-524.
- BAUD, A. (1972): Observations et hypothèses sur la géologie de la partie radicale des Préalpes Médiannes. *Eclog. geol. Helv.*, 65/1, pp. 43-55.

- BAUD, A. (1987): Stratigraphie et sédimentologie des calcaires de Saint-Triphon (Trias, Préalpes, Suisse et France). Mémoires de géologie n° 1. Université de Lausanne.
- BAUD, A. & SEPTFONTAINE, M. (1980): Présentation d'un profil palinspastique de la nappe des Préalpes Médiannes en Suisse occidentale. *Eclog. geol. Helv.*, 73/2, pp. 651-660.
- BEARTH, P. (1953): Carte géologique au 1:25'000 et notice explicative de la feuille 1348 (Zermatt). Atlas géologique de la Suisse. Comm. Géol. Suisse. Kümmerly et Frey, Berne.
- BENSIMON, M., GABUS, J.H. & PARRIAUX, A. (1990): Characterization of natural waters using trace elements analysis obtained in a plasma source mass spectrometer. *J. Trace Microprobe Techn.* Sous presse.
- BENSIMON, M. & PARRIAUX, A. (1990): Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) to the determination of trace elements in water resources. *Memoires of the XXIIInd Congress of IAH, EPFL, Lausanne, 1990, Part 1, 314-319.*
- BERGIER, J.F. (1982): *Une histoire du sel.* Office du Livre. Fribourg.
- BEZINGE, A. & BONVIN, G. (1974): Image du climat sur les Alpes. *Bulletin de la Murithienne*, n° 91, pp. 27-48.
- BLAVOUX, B. & MUDRY, J. (1983): Séparation des composantes de l'écoulement d'un exutoire à l'aide des méthodes physico-chimiques. *Bulletin du B.R.G.M. Hydrogéologie-géologie de l'ingénieur*, 4, pp. 269-278.
- BÖGLI, A. (1980): *Karst Hydrology and Physical Speleology.* Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York.
- BURRI, M. (1987): *Connaître la nature en Valais. Les roches.* Ed. Pillet. Martigny.
- BURRI, M. & JEMELIN, L. (1983): Carte au 1:25'000 et notice explicative de la feuille 1325 (Sembrancher). Atlas géologique de la Suisse. Comm. Géol. Suisse. Kümmerly et Frey, Berne.
- CARLE, W. (1975): *Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa.* Geologie, Chemismus, Genese. Stuttgart.
- COLLET, G. (1986): *Aux sources de la Noches.* Mémoire de Licence. Université de Lausanne. Non publié.
- DATE, A.R. & GRAY, A.L. (1989): *Applications of inductively coupled Plasma Mass Spectrometry.* Blackie. Chapman & Hall. New York.
- DEMATHIEU, G. & WEIDMANN, M. (1982): Les empreintes de pas de reptiles dans le Trias du Vieux Emosson (Finhaut, Valais, Suisse). *Eclog. geol. Helv.*, 75/3, pp. 721-757.
- DRAY, M., PARRIAUX, A. & DUBOIS, J.D. (1990): Image synchrone de la composition isotopique de la couverture neigeuse des Alpes de Suisse occidentale. *Hydrology in*

mountainous regions. I - Hydrological measurements; Water cycle. IAHS Publ. 193, 447-454.

DROGUE, C. (1982): L'aquifère karstique: un domaine perméable original. *Courrier du C.N.R.S.*, 44, pp. 18-22.

DRONKERT, H. (1987): Diagenesis of Triassic evaporites in northern Switzerland. *Eclog. geol. Helv.*, 80/2, pp. 397-413.

DRONKERT, H., BLAESI, H.R. & MATTER, A. (1990): Facies and Origin of Triassic Evaporites from the NAGRA Boreholes, Northern Switzerland. *Rapports géologiques*, Nr.12. SHGN. Berne.

DUBOIS, J.D. (1991): Typologie des aquifères du cristallin. Exemple des massifs des Aiguilles Rouge et du Mont-Blanc (France, Italie et Suisse). Thèse. Laboratoire de géologie, EPFL, Lausanne.

DUBOIS, J.D. & FLÜCK, J. (1984): Utilisation of geothermal resources of the Baden area. NEFF 165 IB032. University of Geneva.

DUBOIS, J.D., & PARRIAUX, A. (1990): Hydrogeological characteristics of The Mont Blanc and Aiguilles Rouges Massifs (France, Italy and Switzerland): First results. *Memoires of the XXIIInd Congress of IAH*, Vol. XXIIInd, part 1, Lausanne, pp. 504-513.

ESCHER, A. (1988): Structure de la nappe du Grand Saint-Bernard entre le val de Bagnes et les Mischabel. *Rapports géologiques*, Nr.7. SHGN. Berne.

ESCHER, A., MASSON, H. & STECK, A. (1987): Coupes géologiques des Alpes occidentales suisses. *Rapports géologiques*, Nr.2. SHGN. Berne.

FELLRATH, M. & TARRADELLAS, J. (1984): Qualité des eaux. Cours Institut du Génie de l'Environnement. EPFL, Lausanne.

FLÜCK, J. (1984): Etude hydrogéologique et géothermique des sources de Combioula (Val d'Hérens, Valais). Diplôme Univ. Genève. Non publié.

FORTI, P. & FRANCAVILLA, F. (1988): Hydrodynamics and hydrochemical evolution of gypsum karst aquifers: data from the Emilia Romagna region. *Proceedings of the XXIst Congress of IAH*, vol.XXI, part 1, pp. 219-224.

FORTI, P., FRANCAVILLA, F., PRATA E. & RABBI, E. (1988): Idrochimica ed idrogeologia della formazione evaporitica triassica dell'alta Val di Secchia con particolare riguardo alle Fonti di Poiano. L'area carsica dell'alta Val di Secchia: la regione Emilia Romagna e la provincia di Reggio Emilia, Università di Bologna, pp. 81-105.

GABUS, J.H. & MANDIA, Y. (1988): Accumulation sur le lit de La Gryonne: essai de traçage. Rapport d'expertise GEOLEP. Non publié.

GAGNEBIN, E., DE LOYS, F., REINHARD, M., LUGEON, M., OULIANOFF, N., HOTZ, W., POLDINI, E. & VON KAENEL, F. (1931): Carte géologique au 1:25'000 de la feuille 1304 (Val d'Illiez). *Atlas géologique de la Suisse*. Comm. Géol. Suisse. Kümmerly et Frey, Berne.

- GEORGE, A.I. (1974): Preliminary Index of Gypsum Speleothems in the Caves of Kentucky, Indiana, and Tennessee. West Virginia Geological and Economic Survey: Conference on Karst Geology and Hydrology 4th, Proceedings pp. 169-177.
- GEORGE, A.I. (1977): Evaluation of sulphate water quality in the north central Kentucky karst. Hydrologic Problems in Karst regions. Western Kentucky University, pp. 340-356.
- GOVINDARAJU, K. & MEVELLE, G. (1987): Fully automated dissolution and separation methods for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry rock analysis: Applications to the determination of rare earth elements. *Journal of Analytical Spectrometry*, 2, pp. 615-621.
- GRASMÜCK, K. (1961): Die helvetischen Sedimente am Nordostrand des Mont Blanc-Massivs (zwischen Sembrancher und dem Col Ferret). *Eclog. geol. Helv.*, 54/2, pp. 351-450.
- HANDBOOK OF GEOCHEMISTRY (1978): 6 volumes. Ed. Wedepohl. Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York.
- HÖGL, O. (1980): Die Mineral- und Heilquellen der Schweiz. Haupt. Bern und Stuttgart.
- JAECKLI, H. (1970): Kriterien zur Klassifikation von Grundwasservorkommen. *Eclog. geol. Helv.*, 63/2, pp. 389-434.
- JAMIER, D. (1975): Etude de la fissuration, de l'hydrogéologie et de la géochimie des eaux profondes des massifs de l'Arpille et du Mont Blanc. Thèse de doctorat. Université de Neuchâtel.
- JEANBOURQUIN, P. & BURRI, M. (1989): La zone de Sion-Courmayeur dans la région du Simplon. *Rapports géologiques*, Nr.11. SHGN. Berne.
- KOCMAN, V. & FOLEY, L.M. (1987): Certification of four north-american gypsum rock samples type: calcium sulphate dihydrate, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, GYP-A, GYP-B, GYP-C and GYP-D. *Geostandards Newsletter*, Vol.11, n° 1, pp. 87-102.
- KORITNIG, S. (1951): Ein Beitrag zur Geochemie des Fluor. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, vol.1, pp. 89-16.
- LEBART, L., MORINEAU, A. & FENELON, J.P. (1982): Traitement des données statistiques. Méthodes et programmes. Dunod. Paris.
- LISZKAY-NAGY, M. (1965): Geologie der Sedimentbedeckung des südwestlichen Gotthard-Massivs im Oberwallis. *Eclog. geol. Helv.*, 58/2, pp. 901-966.
- LUGEON, M. (1940): : Carte géologique au 1:25'000 et notice explicative de la feuille n° 19 (Les Diablerets). Atlas géologique de la Suisse. Comm. Géol. Suisse. Kümmerly et Frey, Berne.
- LUGEON, M. & GAGNEBIN, E. (1941): Observations et vues nouvelles sur la géologie des Préalpes romandes. *Bull. Lab. Géol. Lausanne*, n° 72.

- LUTZ T. & PARRIAUX A. (1988): The identification of Uranine in natural water by High Performance Liquid Chromatography. *Steirische Beiträge zur Hydrogeologie*, Nr. 39, Seiten 141-147, Graz.
- LUTZ T., PARRIAUX A. & TISSIERES P. (1987): Traçage au Gouffre du Chevrier (Préalpes vaudoises) et méthodes d'identification de l'uranine à faible concentration. - *Bull. Centre d'Hydrogéologie Univ. Neuchâtel*, No. 7.
- MANDIA, Y. (1984): Etude géologique des Préalpes Médiannes entre le vallées du Motélon et du Gros Mont. Diplôme. Université de Fribourg. Non publié.
- MANDIA, Y. & PARRIAUX, A. (1990): Hydrochemical study of evaporitic aquifers of the Rhone Basin Trias (Western Swiss Alps). First results. *Memoires of the XXIIInd Congress of IAH, EPFL, Lausanne, Part 1*, 304-313.
- MANGIN, A. (1982): Mise en évidence de l'originalité et de la diversité des aquifères karstiques. 3eme colloque d'hydrologie en pays calcaires, Neuchâtel. *Ann. Scient. Univ. Besançon*, 1, pp. 159-172.
- MARTHALER, M. (1984): Géologie des unités penniques entre le val d'Anniviers et le val de Tourtemagne (Valais, Suisse). *Eclog. geol. Helv.*, 77/2, pp. 395-448.
- MASSON, H, HERB, R. & STECK, A. (1980): *Geology of Switzerland: a guide-book. Part B: Excursion No.I*. Wepf & Co. Publishers. Basel New York.
- MATOUSEK, F. (1985): *Hydrogeologie und Hydrogeochemie des Waldenburger Tales (Baselbieter Jura)*. Diss. ETH Zürich, Nr. 7829.
- MATTER, A., PETERS, T., ISENSCHMID, C., BLAESI, H. & ZIEGLER, H.J. (1988a): Sondierbohrung Riniken. *Geologie. Textband und Beilagenband. Rapports géologiques, Nr.5. SHGN. Berne.*
- MATTER, A., PETERS, T., BLAESI, H.R., MEYER, J., ISCHI, H. & MEYER, C. (1988b): Sondierbohrung Weiach. *Geologie. Textband und Beilagenband. Rapports géologiques, Nr.6. SHGN. Berne.*
- MATTER, A., PETERS, T., BLAESI, H.R., SCHENKER, F. & WEISS, H.P. (1988c): Sondierbohrung Schafisheim. *Geologie. Textband und Beilagenband. Rapports géologiques, Nr.8. SHGN. Berne.*
- MAYORAZ, R., LOUP, B., HOMEWOOD, P. & LATELTIN, O. (1988): Un paléocanyon oligocène dans le parautochtone du Haut Val d'Illiez (Valais, Suisse). *Eclog. geol. Helv.*, 81/3.
- MEISSER, N. (1991): *Les minéraux des mines de Bex. Texte accompagnant une exposition. Musée géologique. Lausanne. Non publié.*
- MÜLLER, I. (1976): Observations hydrogéologiques dans la région du Vanil Noir (Préalpes fribourgeoises). *Eclog. geol. Helv.*, 69/2, pp. 481- 499.
- OMS (1972): *Normes internationales pour l'eau de boisson. Genève.*

- PARKHURST, D.L., THORSTENSON, D.C. & PLUMMER, N.L. (1980): Phreeqc - A computer program for geochemical calculations. U.S. Geological Survey.
- PARRIAUX, A. (1983): Litige sur l'utilisation des eaux thermales du vallon de la Salentse. Rapport d'expertise GEOLEP. Non publié.
- PARRIAUX, A. & DUBOIS, J.D.(1990): Groundwater typology before and after the introduction of the ICP-MS. *Chimia*, 44/1990, 243-245.
- PARRIAUX, A. & LUTZ T.(1988): Contribution of an informatized concept to the chemical analysis of groundwater series. - Mémoires du XXIIe Congrès de l'AIH à Guilin (Chine), octobre 1988.
- PARRIAUX, A., BASABE, P., DUBOIS, J.D. & MANDIA, Y. (1991): Methodological essay for a preliminary study of the response of groundwater flow systems. GEOLEP. Non publié.
- PARRIAUX, A., DUBOIS, J.D. & DRAY, M.(1990a): Chemical composition of snow cover on the West Swiss Alps. *Hydrology in mountainous regions. I - Hydrological measurements; water cycle*. IAHS Publ. 193, 501-509.
- PARRIAUX, A., DUBOIS, J.D., MANDIA, Y., BASABE, P. & BENSIMON, M. (1990b): The AQUITYP project: towards an aquifer typology in the alpine orogen. *Memoires of the XXIIInd Congress of IAH, EPFL, Lausanne, Part 1*, 254-262.
- PARRIAUX A., LIZSKAY M., MUELLER I., DELLA VALLE G. (1988): Guide pratique pour l'usage des traceurs artificiels en hydrogéologie. - Publication du Groupe Suisse des Hydrogéologues, GEOLEP EPFL, mai 1988.
- PARRIAUX, A., MANDIA, Y. & DUBOIS, J.D. (1990d): The concept of protection zones in karstic mountains. *Memoires of the XXIIInd Congress of IAH, EPFL, Lausanne, Part 2*, 1136-1143.
- PARRIAUX, A., MAYORAZ, R. & MANDIA, Y. (1990c): Impact assessment of deep underground works on a mineral water resource in an alpine evaporitic context. *Memoires of the XXIIInd Congress of IAH, EPFL, Lausanne, Part 2*, 1249-1258.
- PETERS, T., MATTER, A., BLAESI, H. & GAUTSCHI, A. (1987): Sondierbohrung Böttstein. *Geologie. Textband und Beilagenband. Rapports géologiques, Nr.1*. SHGN. Berne.
- PETERS, T., MATTER, A., BLAESI, H.R., ISENSCHMID, C., KLEBOTH, P., MEYER, C. & MEYER, J. (1989a): Sondierbohrung Leuggern. *Geologie. Textband und Beilagenband. Rapports géologiques, Nr.9*. SHGN. Berne.
- PETERS, T., MATTER, A., ISENSCHMID, C., MEYER, J. & ZIEGLER, H.J. (1989b): Sondierbohrung Kaisten. *Geologie. Textband und Beilagenband. Rapports géologiques, Nr.10*. SHGN. Berne.
- PINTA, M. (1979): Spectrométrie d'absorption atomique. Applications à l'analyse chimique. Tome I. Masson. Paris.

- PINTA, M. (1980): Spectrométrie d'absorption atomique. Applications à l'analyse chimique. Tome II. Masson. Paris.
- RODIER, J. (1978): L'analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod technique. Paris.
- SCHMIDT, C. (1921): Bericht über die Salzbohrung bei Sitten und über den Stellen von Combioula in Wallis. Archives Géologiques Suisses. Berne.
- SHUSTER, E.T. & WHITE, W.B. (1971): Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs, a possible means for characterizing carbonate aquifers. J. Hydrol., 14, pp. 93-128.
- SIEGENTHALER, U. & SCHOTTERER, U. (1977): Hydrologische Anwendungen von Isotopenmessungen in der Schweiz. Gas, Wasser, Abwasser, Nr.57, pp. 501-506.
- SMIRNOV, V. (1988): Géologie des minéraux utiles. Mir. Moscou.
- STANDARD METHODS (1975): Standard methods for the examination of water and wastewater. 14th. ed.. American Public Health Association. Washington DC.
- STARK, R. (1987): Encyclopedia of Lotus 123: A Complete Cross-Reference to all Macros, Commands, Functions, Applications and Troubleshooting. Tab Books Inc.. Blue Ridge Summit.
- STGC (1989): STATGRAPHICS: Statistical Graphics System by Statistical Graphics Corporation, version 4.0.
- SYDNEY, P., CLARK, F. & NIBBLETT, E. (1956): Terrestrial heat flow in the Swiss Alps. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Geophysical supplement, vol. 7, n° 4.
- TOPKAYA, M. (1950): Recherches sur les silicates authigènes dans les roches sédimentaires. Bull. Lab. Géol. Min. Géophys. Mus. géol. Lausanne, n 97, pp. 1-132.
- TOULEMONT, M. (1984): Le karst gypseux du Lutétien supérieur de la région parisienne: caractéristiques et impact sur le milieu urbain. Revue de géologie dynamique et de géographie physique, vol. 25, fasc. 3, pp. 213-228.
- TRÜMPY, R. (1954): La zone de Sion-Courmayeur dans le haut Val Ferret valaisan. Eclog. geol. Helv, 47/2, pp. 315-359.
- TRÜMPY, R. (1980): Geology of Switzerland: a guide-book. Part A: An outline of the Geology of Switzerland. Wepf & Co. Publishers. Basel New York.
- VUATAZ, F.D (1982): Hydrogéologie, géochimie et géothermie des eaux thermales de Suisse et des régions limitrophes. Matériaux pour la géologie de la Suisse - Hydrologie, n 29.
- WHITE, D.E. (1971): Geochemistry applied to the discovery, evaluation and exploitation of geothermal energy resources. U.N. Symp. on the Dev. and Utilization of Geothermal Resources, Pisa, Italy, 1970, 1, pp. 58-80.

WOODTLI R., JAFFE. F. & VON RAUMER, J. (1987): Prospection minière en Valais: le projet Uromine. Matériaux pour la géologie de la Suisse. Kümmerly & Frey. Berne.

YOST, R.W., ETTRE, L.S. & CONLON, R.D. (1980): Practical liquid chromatography: an introduction. Perkin-Elmer.

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Localisation et environnement géologique des sources (cadastre des sources)	225
Annexe 2	Localisation et environnement géologique des roches (cadastre des roches)	229
Annexe 3	Mesures et analyses physico-chimiques effectuées sur l'eau souterraine	231
Annexe 3.1	Données des variations temporelles.....	232
Annexe 3.2	Données des variations spatiales.....	252
Annexe 4	Analyses chimiques effectuées sur les neiges	259
Annexe 5	Analyses chimiques des gypses effectuées par Gips-Union S.A. et essai de barbotage au CO ₂	261
Annexe 6	Analyses chimiques des roches obtenues par lixiviation	263
Annexe 6.1	Résultats bruts (en µg/l) provenant des lixiviats	264
Annexe 6.2	Résultats en ppm de la roche totale	266
Annexe 6.3	Présentation des résultats en ppm sur fond géologique simplifié	267
Annexe 6.4	Caractéristiques statistiques descriptives des composés chimiques de 19 gypses rhodaniens et comparaison avec les gypses nord-américains (GYP-A et GYP-D)	277
Annexe 6.5	Caractéristiques statistiques descriptives des composés chimiques de cinq anhydrites penniques.....	278
Annexe 7	Analyses chimiques des roches par fluorescence des rayons X.....	279
Annexe 8	Analyses isotopiques des eaux des évaporites.....	281
Annexe 9	Résultats des tests de saturation de quelques minéraux obtenus à l'aide du programme PHREEQE.....	283
Annexe 10	Représentations graphiques des variations temporelles des paramètres physico-chimiques des sources des réseaux I et II	285
Annexe 11	Essais de traçage dans le karst évaporitique	299

Annexe 12	Origine du Ca, Mg, Sr, Na et K dans les eaux: Résultats chimiques obtenus par les tests de lixiviation, à l'attaque à HCl et à la fusion alcaline effectués sur les gypses, et comparés aux analyses de l'eau	315
Annexe 13	Caractéristiques statistiques descriptives des paramètres physico-chimiques des eaux	319
Annexe 14	Matrice de corrélation partielle (tableau) et corrélations interparamètres (représentations graphiques).....	325
Annexe 15	Synthèse des meilleurs marqueurs chimiques des sous-types d'aquifères PM, HE, UH et PN	333
Annexe 16	Degré de représentativité des stations AQUITYP de Noches et des Bains de Leytron.....	335
Annexe 17	Données physico-chimiques provenant de la tournée AQUITYP de novembre 1989.....	337
Annexe 18	Comparaison entre les aquifères évaporitiques et les autres types d'aquifères du réseau AQUITYP	339
Annexe 19	Données chimiques provenant de l'étude sur la typologie des aquifères des flysch (BASABE, en cours).....	341

Annexe 1

**Localisation et environnement géologique des sources
(cadastre des sources)**

N° source	Nom des sources	Code	S/ P *	N° réseau	N° feuille nationale 1:25000	Coord. X	Coord. Y	Altitude point d'eau (mmsm)	Altitude max. (mmsm) **	Lieu-dit ou hameau	Canton	Unités tectoniques ***	Point d'eau ****	Type de captage	Utilisation de l'eau	Hydrofaciès Mm T (tableau 6.1)
1	Les Servas A	SEF	S	II	1264	551.714	137.858	385	2170	Les Servas	Valais	PM	C	Galerie	Fontaine	M1m1T9
2	Les Servas B	SEC	S	II	1264	551.728	137.885	375	2170	Les Servas	Valais	PM	N			M1m1T9
3	Les Servas C	SES	S	II	1264	551.787	137.859	385	2170	Les Servas	Valais	PM	C	Drain	Fontaine	M1m1T9
4	Les Servas D	SEM	S	I	1264	551.795	137.873	375	2170	Les Servas	Valais	PM	N			M1m1T9
5	Les Servas E	SEA	S	II	1264	551.805	137.872	375	2170	Les Servas	Valais	PM	N			M1m1T9
6	Vers Lavaux A	LEI	S	II	1264	552.68	137.43	385	2170	Vers Lavaux	Valais	PM	N			M1m1T9
7	Vers Lavaux B	LEG	S	II	1264	552.74	137.4	385	2170	Vers Lavaux	Valais	PM	N			M1m1T9
8	Vers Lavaux C	LEB	S	II	1264	552.76	137.39	385	2170	Vers Lavaux	Valais	PM	N			M1m1T9
9	Vers Lavaux D	LED	S	II	1264	552.82	137.35	400	2170	Vers Lavaux	Valais	PM	C	Drain	Aucune	M1m1T9
10	Bach Plattraire	BAP	S	II	1264	554.45	134.16	1140	2170	Bach Plattraire	Valais	PM	N			M5m2T15
11	Parfieu	PAR	S	III	1264	554.66	134.11	1080	2170	Les Esserts	Valais	PM	N			M1m2T13
12	Les Naveys	NAV	S	III	1284	557.48	132.87	380	2430	Les Naveys	Valais	PM	N			M1m1T13
13	La Raveire	RAE	S	III	1284	561.9	132.92	380	2180	La Raveire	Vaud	PM	N			M1m1T15
14	Noches	NOC	S	I	1284	564.05	128.24	390	2110	Chale-Noches	Vaud	UH	C	Drain	Agricole	M1m3T15
15	Schertzer	SCH	S	II	1284	566.13	126.52	440	2110	Epeasse	Vaud	UH	C	Drain	Fontaine	M1m1T9
16	Le Bondet	BON	S	III	1284	566.48	128.06	610	2110	Le Bondet	Vaud	UH	C	Canalisé	Aucune	M1m3T15
17	Le Banson	BAN	S	II	1285	567.7	129.74	950	2110	Le Banson	Vaud	UH	N			M1m3T9
18	Salin	SAI	S	III	1285	568.17	129.69	1120	2110	Salin	Vaud	UH	N			M2m3T13
19	Le Moulin Dessus A	MOD	S	III	1285	568.45	125.85	720	1980	Le Moulin Dessus	Vaud	UH	N			M1m1T13
20	Le Moulin Dessus B	MOE	S	III	1285	568.53	125.81	710	1980	Le Moulin Dessus	Vaud	UH	N			M1m1T13
21	Paluaires A	PAU	S	II	1285	568.6	126.16	770	1980	Paluaires	Vaud	UH	N			M1m1T9
22	Paluaires B	PAA	S	III	1285	568.63	126.21	780	1980	Paluaires	Vaud	UH	N			M1m1T9
23	Huënoz	HUE	S	I	1285	569	127.2	1090	1980	Huënoz-Les Tannes	Vaud	UH	C	Drain	Etang	M1m1T3
24	Sublin	SUB	S	III	1285	569.2	123.88	540	3210	Sublin	Vaud	UH	N			M1m1T9
25	Galerie des Vaux	VAU	S	II	1285	569.64	127.1	1080	1980	Les Vaux	Vaud	UH	N			M1m1T9
26	Pra Lanfrey	LAN	S	III	1285	570.67	126.05	1020	1980	Pra Lanfrey	Vaud	UH	N			M1m3T9
27	La Foully	FOU	S	III	1285	573.3	125.34	1130	3210	La Foully	Vaud	UH	C	Drain	Fontaine	M1m1T15
28	La Rasse	RAS	S	III	1285	573.45	128.3	1380	2110	La Rasse	Vaud	UH	N			M1m1T9
29	Les Ernets	ERN	S	III	1285	573.84	126.11	1390	3210	Les Ernets	Vaud	UH	N			M5m1T5
30	Les Chaudannes A	CHU	S	III	1285	573.92	125.84	1320	3210	Les Chaudannes	Vaud	UH	C	Drain	Inconnue	M5m1T1
31	Les Chaudannes B	CHD	S	III	1285	573.98	125.89	1330	3210	Les Chaudannes	Vaud	UH	N			M5m1T13
32	Les Jorettes	JOE	S	III	1285	574.13	126.1	1420	3210	Les Jorettes	Vaud	UH	N			M1m1T13
33	Abefet	ABE	S	III	1285	575.36	126.08	1410	3210	Abefet	Vaud	UH	N			M1m1T15
34	Boudier	BOD	S	III	1285	578.29	133.18	1150	2170	Boudier	Vaud	UH	C	Drain	Evacuée	M1m1T1
35	Les Iles	ILE	S	III	1285	578.37	132.74	1180	2790	Les Iles-Les Vioz	Vaud	UH	N			M1m1T3
36	Meunière	MEU	S	III	1285	578.45	133.09	1170	2170	Meunière	Vaud	UH	C	Canalisé	Evacuée	M1m1T9
37	Source Hôtel des Sources A	SHD	S	III	1285	578.47	132.8	1170	2790	Hôtel des Sources	Vaud	UH	N			M1m1T11
38	Source Hôtel des Sources B	SHA	S	III	1285	578.57	132.76	1170	2790	Hôtel des Sources	Vaud	UH	N			M1m1T11
39	Les Jorettes en Pillon	JOR	S	III	1285	581.1	133.29	1420	2170	Creux du Pillon	Vaud	UH	C	Drain	Inconnue	M1m1T15
40	La Tour A	TOU	S	III	1285	583.57	126.87	1460	3210	La Tour	Valais	UH	N			M1m1T1
41	La Tour B	TOR	S	III	1285	583.6	126.85	1450	3210	La Tour	Valais	UH	N			M1m1T9
42	La Lui	LUI	S	III	1285	583.88	126.8	1430	3210	La Lui	Valais	UH	N			M1m1T1
43	Godey	GOD	S	III	1285	584.11	126.46	1390	3210	Godey	Valais	UH	C	Drain	Fontaine	M1m1T9
44	Les Moulins	MON	S	III	1286	594.76	123.35	800	2880	Tsambir	Valais	UH	N			M1m1T1

N° source	Nom des sources	Code	S/ P *	N° réseau	N° feuille nationale 1:25000	Coord. X	Coord. Y	Altitude point d'eau [msm]	Altitude max. [msm] **	Lieu-dit ou hameau	Canton	Unités tectoniques ***	Point d'eau ****	Type de captage	Utilisation de l'eau	Hydrofaciès MmT (tableau 6.1)
45	Comba Bernard	CBE	S	III	1286	595.8	121.98	650	2760	Comba Bernard	Valais	PN	N			M2m4
46	La Latte	MAR	S	III	1286	601.26	127.12	1380	2260	La Maroz	Valais	UH	C	Drain	Evacuée	M5m1T9
47	La Latte	LAT	S	III	1286	601.99	122.03	600	2650	La Latte	Valais	PN	C	Drain	Arrosage	M1m2T4
48	Tovachir	LOC	S	III	1287	605.05	126.81	820	3100	Tovachir	Valais	PN	N			M1m3T2
49	Chapelle du Bouillet	BOU	S	III	1287	606.72	123.27	1030	3150	Bouillet	Valais	PN	C	Drain	Aucune	M1m5T4
50	Fontaine de Saint-Martin	OBÉ	S	III	1287	614.95	130.05	840	2760	Oberbaum	Valais	HE	C	Canalisé	Arrosage	M1m1T1
51	Muellacheren	MUL	S	I	1287	618.97	127.15	630	3030	Muellacheren	Valais	PN	C	Retenue	Aucune	M1m1T4
52	Fontaine du Renard	BOU	S	III	1288	629.22	126.44	1260	2970	Riederswald	Valais	PN	C	Drain	Arrosage	M1m2T4
53	Betchji	BEI	S	III	1288	635.14	125.1	900	2910	Betchji	Valais	PN	N			M1m3T10
54	Baechji	BAJ	S	III	1288	636.36	124.68	1430	2910	Baechji	Valais	HE	C	Canalisé	Evacuée	M1m2T10
55	Aqua Vera	TER	S	III	1289	644.3	131.05	720	2660	Unerm Bord	Valais	HE	C	Drain	Aucune	M1m2T1
56	Birchi A	M3	S	III	1289	646.62	133.71	750	2990	Birchi	Valais	HE	N			M1m2
57	Birchi B	M2	S	III	1289	646.69	133.68	780	2990	Birchi	Valais	HE	N			M1m2T2
58	Birchi C	M1	S	III	1289	646.91	133.67	870	2990	Birchi	Valais	HE	N			M1m2T4
59	Eau de la Pierre	PIE	S	III	1304	551.03	112.35	1605	2300	La Pierre	Valais	UH	N	Drain	Aucune	M1m1T9
60	Maupas	MAU	S	III	1304	552.74	115.15	1810	2280	Maupas	Valais	UH	C	Drain	Boisson	M5m1T13
61	Eau Rouge de Morgins	EAR	S	I	1304	554.2	120.42	1360	2280	Sex Bortlo	Valais	UH	N			M1m1T11
62	Eau Rouge de Champoussin	CHA	S	II	1304	555.35	116.79	1640	2280	En L'Au	Valais	UH	C	Drain	Aucune	M1m1T13
63	Eaux Chaudes Val d'Illeiez	VAT	P	III	1304	558.4	117.45	790	2280 ou 3260	Buchelirole	Valais	UH	C	Puits	Bains	M4m3T7
64	Bains de Leytron	BLE	S	I	1305	580.58	114.56	560	3050	Les Bains	Valais	HE	N			M1m3T7
65	Ravoire	RAO	S	III	1305	582.8	111.82	690	2140	Ravoire	Valais	PN	N			-
66	Bissig	BIS	S	III	1305	583.66	111.63	1220	2140	Les Planches	Valais	PN	C	Drain	Fontaine	M1m1T4
67	Le Yessyé	TZE	S	III	1306	585.12	112.66	1220	2740	Grands- Essents	Valais	PN	N			M3m4T5
68	Hermann	HER	S	III	1306	585.3	111.18	1080	2740	Les Peutys	Valais	PN	N			-
69	Usine électrique de Nendaz	UNE	S	III	1306	585.4	114.6	480	2740	Arbin	Valais	PN	N			M1m4T4
70	Crettenand A	CRE	S	III	1306	585.65	111.1	1120	2740	Les Entcillires	Valais	PN	N			M1m1T1
71	Les Fioveys	ETO	S	II	1306	585.72	111.85	1330	2740	Teisa	Valais	PN	C	Drain	Bétail	M1m3T3
72	Crettenand B	CRS	S	III	1306	585.74	111.09	1160	2740	Les Entcillires	Valais	PN	C	Drain	Arrosage	M1m1T1
73	Galerie de Fey	FEY	S	III	1306	585.89	114.43	880	2460	Les Eudrans	Valais	PN	C	Drain	Evacuée	M3m4T6
74	Cotayer	COT	S	III	1306	586.18	111.33	1290	2740	Cotayer	Valais	PN	C	Drain	Inconnue	M1m4T6
75	Galerie de Péroua	PER	S	II	1306	586.48	113.5	1400	2460	La Péroua	Valais	PN	C	Drain	Evacuée	M1m3T2
76	Droise A	DRA	S	III	1306	586.85	110.29	1400	2740	Droise	Valais	PN	C	Drain	Evacuée	M1m2T2
77	Droise B	DRB	S	III	1306	586.89	110.34	1400	2740	Droise	Valais	PN	C	Drain	Evacuée	M1m1T2
78	Les Bancs	BCS	S	III	1306	588.04	113	1800	2460	Forêt du Banc	Valais	PN	C	Drain	Boisson	M1m2T1
79	Confatyre	COY	S	II	1306	588.56	115.22	1190	2460	Les Tsintres	Valais	PN	C	Drain	Commerciale	M1m3
80	Pollen	POL	S	II	1306	588.95	116.5	520	2460	Dzardi	Valais	PN	C	Drain	Commerciale	M1m3
81	Milieu	MIL	S	II	1306	589.06	116.44	520	2460	Dzardi	Valais	PN	C	Drain	Commerciale	M4m3
82	Ancienne	ANC	S	II	1306	589.15	116.43	520	2460	Dzardi	Valais	PN	C	Drain	Commerciale	M4m3
83	Quenon	QUE	S	II	1306	589.34	116.44	620	2460	Plan des Tsarboounires	Valais	PN	C	Drain	Arrosage	M1m3T4
84	Charbonnière	CHB	S	II	1306	589.42	116.34	660	2460	Plan des Tsarboounires	Valais	PN	C	Drain	Commerciale	M1m1
85	Les Boulets	BET	S	II	1306	590.12	114.62	1180	2460	Les Boulets	Valais	PN	C	Galerie	Boisson	M1m2T3
86	Usine électrique d'Aproz	UEA	S	III	1306	590.14	116.79	530	2460	Cor	Valais	PN	N			M2m4T14
87	Aproz	APR	S	III	1306	590.2	116.84	530	2460	Cor	Valais	PN	N			M1m3T4

N° source	Nom des sources	Code	S / P *	N° réseau	N° feuille nationale 1:25000	Coord. X	Coord. Y	Altitude point d'eau [msm]	Altitude max. [msm] **	Lieu-dit ou hameau	Canton	Unités tectoniques ***	Point d'eau ****	Type de captage	Utilisation de l'eau	Hydrofaciès MmT (tableau 6.1)
88	La Printise A	PRJ	S	III	1306	590.7	116.37	650	2460	La Printise	Valais	PN	N			M1m3T2
89	La Printise B	PRC	S	III	1306	590.72	116.38	660	2490	La Printise	Valais	PN	C	Drain	Arrossage	M1m3
90	Beuson	BEU	S	III	1306	591.02	114.52	1000	3340	Beuson	Valais	PN	C	Drain	Evacuée	M1m2T1
91	Chalèdo A	SAZ	S	III	1306	593.13	117.23	910	2490	Chalèdo	Valais	PN	C	Drain	Evacuée	M1m1T2
92	Chalèdo B	SAL	S	III	1306	593.39	117.26	920	2490	Chalèdo	Valais	PN	N			M1m1T4
93	Artseno A	ARS	S	III	1306	596.22	110.19	1400	2790	Artseno	Valais	PN	N			M4m1
94	Artseno B	ARE	S	III	1306	596.24	110.13	1390	2790	Artseno	Valais	PN	N			M4m1
95	Artseno C	ART	S	III	1306	596.29	110.34	1380	2790	Artseno	Valais	PN	N			M4m1T3
96	La Lichière	LJC	S	III	1306	596.8	110.1	1450	3000	La Lichière	Valais	PN	N			M1m2T3
97	Combioula Galerie	COG	S	III	1306	598.27	115.05	690	3000	Combioula	Valais	PN	N			M6m4T9
98	Combioula Forage	COF	P	III	1306	598.32	114.95	690	3000	Combioula	Valais	PN	C	Puits	Aucune	M6m4T9
99	Poutafontana A	POU	S	II	1306	599.35	121.36	500	2650	Poutafontana	Valais	PN	N			M1m2T10
100	Poutafontana B	POP	S	II	1306	599.52	121.49	500	2650	Poutafontana	Valais	PN	N			M1m2T2
101	Praz Berthoud	BER	S	III	1325	579.5	107.94	1420	2470	Boveresse	Valais	HE	N			M1m2T1
102	Fontaine du Day A	DAP	S	II	1325	580.6	109.76	880	2470	Les Maratches	Valais	HE	C	Drain	Etang	M1m1T2
103	Fontaine du Day B	DAG	S	II	1325	580.7	109.78	880	2470	Les Maratches	Valais	HE	C	Drain	Etang	M1m1T1
104	Sonalon	SON	S	III	1325	583.25	106.65	1880	2420	Sonalon	Valais	PN	C	Drain	Evacuée	M1m1T3
105	Six Blanc	SIX	S	III	1325	584.28	109.84	1660	2420	Les Esserts	Valais	PN	C	Drain	Evacuée	M1m1T1
106	Le Châtelard	CHT	S	III	1325	584.3	102.64	1180	2730	Le Châtelard	Valais	PN	C	Drain	Aucune	M1m3T7
107	Lana	LAA	S	III	1327	603	107.58	1420	2930	Lana	Valais	PN	C	Drain	Inconnue	M1m2T1
108	Gant	GAN	S	III	1348	627.1	95.37	2220	4190	Gant	Valais	PN	C	Drain	Boisson	M4m2

* S = Source P = Puits

*** PM = Préalpes Médiannes

HE = Helvétique

UH = Ultrahelvétique

P = Pennique

** Altitude maximale du bassin topographique

**** C = capté N = non capté

Annexe 2

**Localisation et environnement géologique des roches
(cadastre des roches)**

N°	Ech.	Types de roches	Lieu d'échantillonnage	Forages-EOS profondeur [m]	Coordonnées		Altitude [msm]	Unité tectonique
					X	Y		
1	BAP1	Gypse	Bach Platraire (Les Evouettes)		554.45	134.16	1140	Préalpes Médiannes
2	BEX1	Gypse	Bouillet (Bex)		568.30	125.20	590	Ultrahelvétique
3	GRY	Gypse	Gériton (Gryonne)		568.57	125.86	750	Ultrahelvétique
4	SUB1	Gypse	Sublin (L'Avançon)		569.20	123.88	540	Ultrahelvétique
5	PRA1	Gypse	Pra Lanfrey (Arveves)		570.67	126.05	1020	Ultrahelvétique
6	CR1	Gypse	Les Blancholeys (Col de la Croix)		576.00	130.50	1780	Ultrahelvétique
7	TOU	Gypse	La Tour (Derborence)		583.57	126.87	1460	Ultrahelvétique
8	BIS1	Gypse	Bissig-Les Combes (Riddes)		583.66	111.63	1220	Pennique
9	CRE	Gypse	Crettenand (Isérables)		585.74	111.09	1160	Pennique
10	ETO1	Gypse	Les Etoveys (Isérables)		585.82	111.82	1380	Pennique
11	ETO2	Gypse	Les Etoveys (Isérables)		585.82	111.82	1380	Pennique
12	N5	Gypse	Forage Péroua BD2-EOS (Nendaz)	152.00	586.50	113.57	1400	Pennique
13	BD4A4	Gypse	Forage BD4-EOS (Nendaz)	128.30	587.21	113.78	1470	Pennique
14	NAX1	Gypse	Coma (Nax)		600.30	120.52	1200	Pennique
15	GRA1	Gypse	St-Clément (Granges)		601.40	123.76	530	Pennique
16	GRA2	Gypse	St-Clément (Granges)		601.40	123.76	530	Pennique
17	LOC1	Gypse	Tovachir (Loc)		605.05	126.81	820	Pennique
18	MUL2	Gypse	Unner Halde (Unterems)		619.38	126.87	900	Pennique
19	TER11	Gypse	Unnerm Bord (Terren)		644.30	131.05	720	Helvétique
20	TER12	Gypse	Unnerm Bord (Terren)		644.30	131.05	720	Helvétique
21	S1	Anhydrite + Halite	Mines du Bouillet (Bex)		568.30	125.20	590	Ultrahelvétique
22	N4	Anhydrite	Forage Péroua BD2-EOS (Nendaz)	145.00	586.50	113.57	1400	Pennique
23	N2	Anhydrite	Forage BD3-EOS (Nendaz)	111.00	586.78	113.43	1550	Pennique
24	N1	Anhydrite	Forage BD3-EOS (Nendaz)	121.50	586.78	113.43	1550	Pennique
25	BD4A6	Anhydrite	Forage BD4-EOS (Nendaz)	133.00	587.21	113.78	1470	Pennique
26	BD4A8	Anhydrite	Forage BD4-EOS (Nendaz)	179.80	587.21	113.78	1470	Pennique
27	EMO1	Cornieule	Barrage d'Emosson (Emosson)		557.95	101.63	2200	Helvétique
28	EMO3	Calcaire dolomitique	Barrage d'Emosson (Emosson)		558.00	101.62	2200	Helvétique
29	BEX2	Dolomie	Bouillet (Bex)		568.37	125.30	600	Ultrahelvétique
30	CR2	Cornieule	Grande Combe (Col de la Croix)		576.00	130.20	1760	Ultrahelvétique
31	MUL1	Calcaire dolomitique	Muellacheren (Tourtemagne)		618.97	127.15	630	Pennique
32	EMO2	Quartzite	Vieux Emosson (Finhaut)		557.10	99.80	2400	Helvétique
33	CRS1	Quartzite	Crettenand (Isérables)		585.74	111.09	1160	Pennique
34	N3	Quartzite	Forage BD3-EOS (Nendaz)	19.50	586.78	113.43	1550	Pennique
35	DRO1	Quartzite	Drotse (Isérables)		586.85	110.29	1400	Pennique
36	MUL3	Quartzite	Kastleren (Tourtemagne)		619.38	127.40	640	Pennique
37	ETO3	Argilite	Les Etoveys (Isérables)		585.82	111.82	1380	Pennique
38	GRI	Argilite	Les Moulins (Grimisuat)		594.76	123.35	800	Helvétique
HORS-TERRAIN								
(Référence)								
39	GYP-A	Gypse	Amérique du Nord	(Kocman & Foley, 1987)				
40	GYP-D	Gypse	Amérique du Nord	(Kocman & Foley, 1987)				
41	BLS	Cornieule	Forage 88-1 (Les Bornels)		576.82	142.32	1140	Préalpes Médiannes

230

Annexe 3

Mesures et analyses physico-chimiques effectuées sur l'eau souterraine

3.1 Données des variations temporelles

3.2 Données des variations spatiales

Données des variations temporelles – Réseau I

N° CODESOURCE		4	4	4	4	4	4	4
		SEM	SEM	SEM	SEM	SEM	SEM	SEM
DATE		8-jan-87	10-fév-87	10-mar-87	2-avr-87	7-mai-87	5-jui-87	25-jui-87
DEBIT	[l/mn]	360.0	360.0	360.0	360.0	-	-	450.0
TEMP.	[°C]	9.8	9.8	9.7	9.7	9.8	9.9	9.9
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1610	1550	1550	1520	1460	1470	1360
pH		-	-	-	7.0	-	-	-
D.TOT.	[°F]	129.75	121.25	122.00	116.00	112.75	113.25	99.75
D.PASS.	[°F]	19.50	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.75
SO4	[mg/l]	999	973	981	922	890	898	762
Cl	[mg/l]	3.59	3.34	2.45	3.36	2.89	3.42	4.04
NO3	[mg/l]	0.70	0.00	0.94	1.30	1.53	0.00	0.81
HCO3	[mg/l]	238	244	244	244	244	244	253
Ca	[mg/l]	368	365	371	358	347	345	311
Mg	[mg/l]	73.4	68.1	67.2	60.5	58.9	61.7	49.4
Sr	[mg/l]	16.30	16.70	15.80	15.80	16.40	16.40	16.10
Li	[mg/l]	0.045	0.045	0.045	0.049	0.048	0.048	0.046
Na	[mg/l]	5.32	5.44	5.00	4.84	4.75	4.71	4.14
K	[mg/l]	1.50	1.31	1.11	1.60	1.53	1.52	1.35
F	[mg/l]	0.198	0.200	-	0.200	0.200	0.200	0.200
B	[mg/l]	0.101	-	0.092	0.090	0.085	0.089	0.084
Si	[mg/l]	3.74	-	3.70	3.67	3.61	3.57	3.54
TSD	[mg/l]	1710	1679	1692	1615	1571	1579	1406
CATIONS	[meq/l]	25.08	24.52	24.68	23.48	22.81	22.94	20.19
ANIONS	[meq/l]	24.82	24.36	24.51	23.32	22.65	22.80	20.15
CAT+ANI	[meq/l]	49.90	48.88	49.19	46.81	45.46	45.74	40.34

N° CODESOURCE		4	4	4	4	4	4	4
		SEM	SEM	SEM	SEM	SEM	SEM	SEM
DATE		10-août-87	7-sep-87	6-oct-87	14-déc-87	22-mar-88	28-jui-88	14-oct-88
DEBIT	[l/mn]	415.0	-	375.0	-	362.0	344.0	-
TEMP.	[°C]	10.0	10.2	10.0	9.7	9.7	10.0	10.0
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1460	1490	1510	1560	1480	1540	1500
pH		-	7.2	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	110.00	114.50	116.50	121.00	110.00	120.25	114.00
D.PASS.	[°F]	20.25	20.50	20.50	20.50	20.50	21.00	20.00
SO4	[mg/l]	861	904	924	967	857	972	856
Cl	[mg/l]	3.47	3.09	1.32	2.07	2.40	2.76	2.64
NO3	[mg/l]	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	247	250	250	250	250	256	244
Ca	[mg/l]	346	362	368	373	351	370	347
Mg	[mg/l]	59.0	54.0	55.6	63.5	50.4	63.1	62.2
Sr	[mg/l]	16.60	16.80	16.80	16.50	15.00	16.40	16.40
Li	[mg/l]	0.049	0.050	0.050	0.049	0.040	0.040	0.040
Na	[mg/l]	4.53	4.61	4.87	4.98	4.99	5.12	4.87
K	[mg/l]	1.48	1.49	1.47	1.51	1.22	1.28	1.29
F	[mg/l]	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
B	[mg/l]	0.091	0.089	0.093	-	0.090	0.093	0.096
Si	[mg/l]	3.60	3.61	3.63	-	3.60	3.60	3.58
TSD	[mg/l]	1538	1600	1626	1679	1536	1691	1538
CATIONS	[meq/l]	22.27	23.16	23.60	24.47	22.28	24.31	23.08
ANIONS	[meq/l]	22.09	23.02	23.38	24.30	22.02	24.52	21.91
CAT+ANI	[meq/l]	44.36	46.18	46.99	48.77	44.30	48.84	44.99

N° CODESOURCE		14	14	14	14	14	14	14
		NCC	NCC	NCC	NCC	NCC	NCC	NCC
DATE		26-fév-82	22-avr-82	19-jul-82	27-oct-82	16-fév-83	29-avr-83	14-jul-83
DEBIT	[l/mn]	4390	2840	3840	2710	1940	3420	2560
TEMP.	[°C]	10.8	10.9	11.1	11	11	11	11.1
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1360	1420	1370	1360	1350	1390	1400
pH		7.2	7.0	7.1	7.2	7.0	7.0	6.9
D.TOT.	[°F]	99.50	99.50	94.50	100.50	100.00	99.00	99.50
D.PASS.	[°F]	19.75	20.10	19.85	20.05	20.00	20.30	19.85
SO4	[mg/l]	708	760	782	759	756	749	800
Cl	[mg/l]	21.10	17.70	13.50	18.90	21.10	19.40	21.50
NO3	[mg/l]	3.90	3.60	3.05	2.60	2.70	2.60	3.05
HCO3	[mg/l]	251	252	248	250	249	253	248
Ca	[mg/l]	298	297	299	303	301	297	297
Mg	[mg/l]	59.4	59.1	46.8	58.9	58.8	58.6	59.7
Sr	[mg/l]	7.49	7.14	6.75	7.18	7.11	7.03	7.12
Li	[mg/l]	0.035	0.037	0.032	0.038	0.038	0.037	0.038
Na	[mg/l]	15.20	15.30	11.10	15.40	15.60	15.40	15.40
K	[mg/l]	1.44	1.41	1.00	1.46	1.44	1.44	1.44
F	[mg/l]	-	-	-	-	-	-	-
B	[mg/l]	-	-	-	-	-	-	-
Si	[mg/l]	3.59	3.79	3.59	3.69	3.54	3.59	3.49
TSD	[mg/l]	1367	1418	1415	1420	1416	1407	1456
CATIONS	[meq/l]	20.61	20.56	19.44	20.82	20.72	20.50	20.59
ANIONS	[meq/l]	19.31	20.40	20.68	20.39	20.38	20.24	21.28
CAT+ANI	[meq/l]	39.91	40.96	40.12	41.21	41.10	40.74	41.87

N° CODESOURCE		14	14	14	14	14	14	14
		NCC	NCC	NCC	NCC	NCC	NCC	NCC
DATE		11-oct-83	13-fév-84	11-avr-84	1-a00-84	16-oct-84	12-fév-85	16-avr-85
DEBIT	[l/mn]	1500	2380	1670	1115	1180	1410	2330
TEMP.	[°C]	11.1	11.1	11.1	11.1	11.0	11.0	11.0
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1380	1360	1380	1350	1270	1350	1360
pH		7.1	6.9	7.2	7.1	7.1	6.9	7.1
D.TOT.	[°F]	99.50	103.50	105.00	105.25	106.25	101.75	104.75
D.PASS.	[°F]	19.95	20.25	20.05	20.05	20.30	20.20	20.30
SO4	[mg/l]	765	692	721	810	731	735	734
Cl	[mg/l]	16.50	19.50	18.80	19.20	19.21	19.14	18.70
NO3	[mg/l]	3.50	3.30	3.30	2.50	2.90	3.00	2.90
HCO3	[mg/l]	248	252	250	250	253	251	253
Ca	[mg/l]	297	300	305	305	308	298	301
Mg	[mg/l]	59.8	68.6	69.0	69.0	69.7	65.3	70.0
Sr	[mg/l]	7.15	6.02	6.23	6.50	6.82	3.31	6.33
Li	[mg/l]	0.036	0.039	0.040	0.040	0.040	0.031	0.029
Na	[mg/l]	15.50	15.78	15.63	15.78	16.00	18.14	14.67
K	[mg/l]	1.43	1.60	1.59	1.65	1.62	1.42	1.39
F	[mg/l]	-	-	-	-	-	-	0.325
B	[mg/l]	-	-	-	-	-	-	-
Si	[mg/l]	3.39	3.12	3.07	3.24	3.59	3.54	3.49
TSD	[mg/l]	1417	1361	1391	1483	1412	1399	1406
CATIONS	[meq/l]	20.62	21.46	21.75	21.79	21.99	21.16	21.62
ANONS	[meq/l]	20.44	19.06	19.55	21.46	19.87	19.93	19.93
CAT+ANI	[meq/l]	41.06	40.52	41.30	43.25	41.85	41.09	41.55

N° CODESOURCE		14	14	14	14	14	14	14
		NCC	NCC	NCC	NCC	NCC	NCC	NCC
DATE		16-jul-85	9-oct-85	10-fév-86	22-avr-86	22-jul-86	29-oct-86	11-fév-87
DEBIT	[l/mn]	1955	1210	1200	1935	1515	1335	177
TEMP.	[°C]	11.1	11.1	10.9	11.0	11.1	11.1	10.9
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1290	1300	1320	1350	1350	1355	1345
pH		7.1	7.1	7.2	6.8	7.4	7.0	7.0
D.TOT.	[°F]	96.25	98.25	98.00	102.00	100.00	99.25	93.75
D.PASS.	[°F]	20.10	20.45	20.20	20.65	20.85	20.90	20.98
SO4	[mg/l]	707	756	655	732	743	748	759
Cl	[mg/l]	18.56	18.30	19.04	19.20	19.00	18.80	18.50
NO3	[mg/l]	3.50	2.40	3.20	3.70	3.10	3.30	3.80
HCO3	[mg/l]	250	249	246	252	254	253	253
Ca	[mg/l]	278	288	302	309	297	291	270
Mg	[mg/l]	63.8	62.3	53.4	58.5	61.6	63.1	62.0
Sr	[mg/l]	6.59	6.16	6.13	6.69	6.01	6.82	6.97
Li	[mg/l]	0.051	0.024	0.026	0.026	0.023	0.024	0.025
Na	[mg/l]	15.07	14.44	15.01	15.77	14.89	15.23	15.20
K	[mg/l]	1.44	1.32	1.54	1.48	1.32	1.38	1.48
F	[mg/l]	0.380	0.350	0.354	-	0.330	0.340	0.370
B	[mg/l]	-	-	-	-	-	-	-
Si	[mg/l]	3.79	3.74	3.69	3.89	3.69	3.74	3.21
TSD	[mg/l]	1348	1403	1336	1402	1404	1405	1394
CATIONS	[meq/l]	19.96	20.32	20.29	21.12	20.70	20.56	19.43
ANONS	[meq/l]	19.34	20.40	18.91	19.97	20.24	20.35	20.60
CAT+ANI	[meq/l]	39.30	40.72	39.20	41.09	40.94	40.92	40.03

N° CODESOURCE		14	14	14	14	14	14	23
		NCC	NCC	NCC	NCC	NCC	NCC	HLE
DATE		15-avr-87	15-jul-87	19-oct-87	10-fév-88	16-a00-88	1-nov-88	12-fév-87
DEBIT	[l/mn]	3400	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	10.9	11.1	11.1	10.9	11	11	8.3
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1380	1375	1370	1350	1380	1350	1950
pH		7.1	7.0	7.1	6.9	6.8	6.6	7.2
D.TOT.	[°F]	107.75	95.25	98.00	94.25	108.00	99.25	161.25
D.PASS.	[°F]	20.98	20.98	20.98	20.66	20.66	20.66	22.75
SO4	[mg/l]	742	780	771	770	740	730	1330
Cl	[mg/l]	17.80	18.80	17.80	18.80	18.30	16.33	10.20
NO3	[mg/l]	4.10	4.60	4.70	6.75	5.35	4.11	0.00
HCO3	[mg/l]	253	253	253	252	252	252	278
Ca	[mg/l]	314	279	286	279	329	302	550
Mg	[mg/l]	69.3	61.0	62.8	59.0	60.9	56.3	55.5
Sr	[mg/l]	6.98	5.09	6.30	3.84	7.28	6.28	10.20
Li	[mg/l]	0.023	0.024	0.026	0.024	0.024	0.022	0.044
Na	[mg/l]	14.30	13.80	15.20	14.10	13.65	15.29	6.93
K	[mg/l]	1.33	1.29	1.37	1.37	1.38	1.30	1.23
F	[mg/l]	0.360	0.320	0.340	0.270	0.320	0.280	0.039
B	[mg/l]	-	-	-	-	0.048	0.048	0.054
Si	[mg/l]	3.70	3.99	3.80	3.66	3.91	3.60	2.91
TSD	[mg/l]	1427	1421	1422	1409	1432	1388	2245
CATIONS	[meq/l]	22.19	19.69	20.28	19.51	22.24	20.56	32.64
ANONS	[meq/l]	20.23	21.06	20.84	20.81	20.16	19.87	32.53
CAT+ANI	[meq/l]	42.42	40.75	41.12	40.32	42.39	40.43	65.16

N°	CODESOURCE	23							
		H/E	H/E	H/E	H/E	H/E	H/E	H/E	H/E
DATE		10-mar-87	2-avr-87	7-mai-87	5-jui-87	25-jui-87	15-jul-87	21-jul-87	
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	8.3	8.3	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1800	1760	1770	1800	1740	1800	1820	
pH		-	7.2	-	-	-	-	-	
D.TOT.	[°F]	149.50	146.00	144.00	148.00	143.50	149.75	153.25	
D.PASS.	[°F]	21.50	22.00	22.75	23.70	23.50	23.50	23.75	
SO4	[mg/l]	1220	1180	1160	1190	1140	1200	1240	
Cl	[mg/l]	9.37	8.65	5.30	6.61	6.45	6.92	6.47	
NO3	[mg/l]	2.67	2.37	1.64	2.07	1.62	1.43	1.59	
HCO3	[mg/l]	262	268	278	289	287	287	290	
Ca	[mg/l]	510	502	495	508	487	513	523	
Mg	[mg/l]	51.1	47.9	47.0	49.0	50.7	50.1	52.4	
Sr	[mg/l]	10.50	9.49	9.36	9.56	9.34	9.48	9.51	
Li	[mg/l]	0.033	0.040	0.039	0.041	0.039	0.041	0.042	
Na	[mg/l]	6.36	6.64	5.29	5.67	5.59	5.54	5.63	
K	[mg/l]	1.02	1.23	1.16	1.11	1.11	1.13	1.12	
F	[mg/l]	0.017	0.03	0.038	0.040	0.040	0.040	-	
B	[mg/l]	0.044	0.042	0.044	0.047	0.044	-	0.049	
Si	[mg/l]	2.70	2.75	2.86	2.89	2.86	-	2.91	
TSD	[mg/l]	2076	2030	2005	2064	1991	2074	2132	
CATIONS	[meq/l]	30.24	29.57	29.09	29.93	29.01	30.21	30.95	
ANIONS	[meq/l]	30.01	29.25	28.88	29.74	28.64	29.90	30.77	
CAT+ANI	[meq/l]	60.25	58.82	57.97	59.66	57.65	60.11	61.73	

N°	CODESOURCE	23							
		H/E	H/E	H/E	H/E	H/E	H/E	H/E	H/E
DATE		10-a00-87	13-a00-87	7-sep-87	6-oct-87	26-oct-87	3-déc-87	29-jan-88	
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	8.2	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.4	
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1850	1850	1910	1950	1960	1950	1940	
pH		-	-	7.2	-	-	-	-	
D.TOT.	[°F]	153.50	153.25	156.75	159.00	160.50	160.00	161.00	
D.PASS.	[°F]	24.00	24.25	24.25	23.50	25.00	24.75	23.75	
SO4	[mg/l]	1240	1240	1280	1300	1300	1300	1310	
Cl	[mg/l]	6.44	6.63	7.69	6.09	8.16	7.38	6.55	
NO3	[mg/l]	1.59	1.42	1.74	0.00	1.72	0.00	1.76	
HCO3	[mg/l]	293	296	296	287	305	302	290	
Ca	[mg/l]	522	523	533	539	547	540	535	
Mg	[mg/l]	54.2	52.6	55.3	57.0	55.7	58.5	64.0	
Sr	[mg/l]	9.53	9.63	9.85	9.73	10.10	10.20	10.20	
Li	[mg/l]	0.042	0.042	0.043	0.043	0.045	0.044	0.045	
Na	[mg/l]	5.57	5.80	5.88	6.21	6.30	6.69	7.26	
K	[mg/l]	1.14	1.18	1.16	1.19	1.25	1.21	1.23	
F	[mg/l]	0.038	-	0.035	0.036	0.039	0.040	0.043	
B	[mg/l]	0.047	0.050	0.050	0.056	0.046	0.043	0.044	
Si	[mg/l]	2.92	2.85	2.91	2.95	2.99	2.88	2.91	
TSD	[mg/l]	2136	2139	2194	2209	2238	2229	2229	
CATIONS	[meq/l]	31.05	30.98	31.71	32.17	32.47	32.36	32.59	
ANIONS	[meq/l]	30.82	30.88	31.75	31.94	32.32	32.23	32.24	
CAT+ANI	[meq/l]	61.87	61.86	63.46	64.11	64.79	64.59	64.83	

N°	CODESOURCE	23							
		H/E	H/E	H/E	H/E	H/E	H/E	H/E	H/E
DATE		29-fév-88	23-mar-88	2-mai-88	2-jui-88	24-jui-88	22-jul-88	30-a00-88	
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	8.3	8.3	8.1	8.2	8.3	8.3	8.3	
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1850	1840	1740	1880	1880	1940	1960	
pH		-	-	-	-	-	-	-	
D.TOT.	[°F]	154.00	151.75	142.00	155.00	155.75	156.25	160.75	
D.PASS.	[°F]	22.75	23.25	24.25	25.00	25.00	24.50	23.75	
SO4	[mg/l]	1260	1230	1130	1250	1260	1270	1300	
Cl	[mg/l]	7.96	8.86	2.95	3.96	7.80	7.11	7.80	
NO3	[mg/l]	1.45	0.00	0.00	1.24	1.10	1.29	1.37	
HCO3	[mg/l]	278	284	296	305	305	299	290	
Ca	[mg/l]	511	512	476	518	521	521	535	
Mg	[mg/l]	61.6	55.9	54.1	60.1	60.0	61.2	63.6	
Sr	[mg/l]	9.97	9.44	9.37	9.84	10.20	10.50	10.50	
Li	[mg/l]	0.043	0.042	0.040	0.043	0.043	0.043	0.045	
Na	[mg/l]	7.27	6.71	5.06	5.63	5.64	6.04	6.27	
K	[mg/l]	1.20	1.13	1.01	1.43	1.44	1.46	1.52	
F	[mg/l]	0.041	0.040	0.038	0.040	0.034	0.034	0.034	
B	[mg/l]	0.040	0.037	0.032	0.049	0.040	0.041	0.044	
Si	[mg/l]	2.81	2.78	2.81	2.92	2.86	2.88	2.92	
TSD	[mg/l]	2141	2111	1977	2158	2175	2180	2219	
CATIONS	[meq/l]	31.19	30.73	28.70	31.35	31.49	31.62	32.53	
ANIONS	[meq/l]	31.03	30.51	28.46	31.16	31.47	31.56	32.06	
CAT+ANI	[meq/l]	62.22	61.23	57.16	62.51	62.96	63.18	64.59	

N°	CODESOURCE	51	51	51	51	51	51	51
		MLL	MLL	MLL	MLL	MLL	MLL	MLL
DATE		18-sep-86	20-oct-86	4-nov-86	12-fév-87	2-avr-87	8-avr-87	24-avr-87
DEBIT	[l/mn]	1240.0	740.0	684.0	582.0	503.0	551.0	522.0
TEMP.	[°C]	9.1	8.9	9.0	8.9	8.9	8.9	8.9
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1890	1950	1950	1880	1870	1870	1840
pH		7.1	-	-	7.2	7.2	-	7.0
D.TOT.	[°F]	152.50	152.50	151.25	157.00	150.75	148.50	154.75
D.PASS.	[°F]	17.50	17.75	17.75	17.75	17.90	17.70	18.70
SO4	[mg/l]	1300	1300	1280	1310	1270	1250	1280
Cl	[mg/l]	9.89	3.70	7.48	8.95	8.53	7.82	7.84
NO3	[mg/l]	0.00	1.88	0.00	5.96	2.60	3.37	2.21
HCO3	[mg/l]	214	217	217	217	218	216	228
Ca	[mg/l]	531	525	520	535	510	505	516
Mg	[mg/l]	46.6	50.0	50.3	54.7	55.1	52.6	61.2
Sr	[mg/l]	8.47	9.28	7.96	8.76	7.93	7.62	7.79
Li	[mg/l]	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.029	0.030
Na	[mg/l]	5.18	4.91	5.26	5.45	5.67	5.54	5.79
K	[mg/l]	2.85	2.83	2.90	2.75	2.78	2.71	2.76
F	[mg/l]	-	0.390	-	-	0.365	0.360	0.35
B	[mg/l]	-	-	-	-	0.017	0.017	0.019
Si	[mg/l]	-	3.07	-	-	3.08	3.13	3.15
TSD	[mg/l]	2118	2114	2090	2148	2084	2054	2115
CATIONS	[meq/l]	30.83	30.81	30.57	31.71	30.48	30.01	31.29
ANIONS	[meq/l]	30.84	30.77	30.41	31.17	30.32	29.86	30.66
CAT+ANI	[meq/l]	61.67	61.58	60.98	62.88	60.81	59.87	61.95

N°	CODESOURCE	51	51	51	51	51	51	51
		MLL	MLL	MLL	MLL	MLL	MLL	MLL
DATE		6-mai-87	20-mai-87	4-juil-87	19-juil-87	22-juil-87	22-juil-87	12-août-87
DEBIT	[l/mn]	552.0	565.0	734.0	-	-	-	1560.0
TEMP.	[°C]	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1850	1840	1870	1830	1850	1840	1860
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	154.75	152.00	152.50	151.50	150.50	149.50	150.00
D.PASS.	[°F]	17.70	17.95	18.25	18.20	18.75	17.55	18.00
SO4	[mg/l]	1290	1270	1280	1270	1270	1250	1250
Cl	[mg/l]	8.11	8.32	8.83	8.20	7.20	5.72	6.18
NO3	[mg/l]	2.38	2.39	1.18	2.13	0.06	0.00	0.73
HCO3	[mg/l]	216	219	223	222	229	214	220
Ca	[mg/l]	516	507	508	504	500	502	504
Mg	[mg/l]	60.7	59.8	60.4	60.1	60.0	56.4	56.8
Sr	[mg/l]	8.56	7.96	8.65	7.82	9.06	8.81	8.23
Li	[mg/l]	0.030	0.029	0.031	0.030	0.031	0.032	0.031
Na	[mg/l]	5.90	5.73	5.94	5.85	5.75	5.28	4.90
K	[mg/l]	2.81	2.72	2.86	2.90	2.85	2.81	2.85
F	[mg/l]	0.365	0.365	0.385	-	-	0.345	0.350
B	[mg/l]	0.020	0.017	0.020	-	-	0.024	0.025
Si	[mg/l]	3.15	3.15	3.15	-	-	3.12	3.12
TSD	[mg/l]	2114	2086	2102	2083	2084	2049	2057
CATIONS	[meq/l]	31.27	30.72	30.85	30.60	30.42	30.20	30.30
ANIONS	[meq/l]	30.68	30.32	30.59	30.35	30.39	29.71	29.83
CAT+ANI	[meq/l]	61.95	61.04	61.44	60.95	60.81	59.91	60.13

N°	CODESOURCE	51	51	51	51	51	51	51
		MLL	MLL	MLL	MLL	MLL	MLL	MLL
DATE		8-sep-87	8-oct-87	13-nov-87	17-déc-87	29-jan-88	29-fév-88	29-mar-88
DEBIT	[l/mn]	1580.0	948.0	798.0	646.0	595.0	542.0	650.0
TEMP.	[°C]	9.0	9.0	8.9	8.9	8.9	8.9	9.0
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1860	1860	1830	1850	1850	1850	1840
pH		7.2	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	152.00	154.25	161.00	163.00	161.00	154.00	163.00
D.PASS.	[°F]	18.00	18.00	17.75	18.00	17.00	17.00	17.75
SO4	[mg/l]	1240	1290	1280	1290	1290	1300	1300
Cl	[mg/l]	5.70	5.16	3.97	5.46	4.91	5.36	6.98
NO3	[mg/l]	0.00	0.41	0.00	3.26	0.72	1.48	0.00
HCO3	[mg/l]	220	220	217	220	207	207	217
Ca	[mg/l]	512	520	508	514	506	515	515
Mg	[mg/l]	56.6	57.0	56.9	58.0	58.0	59.6	57.6
Sr	[mg/l]	8.76	8.45	8.51	8.26	8.82	8.25	7.56
Li	[mg/l]	0.032	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031
Na	[mg/l]	4.64	4.63	4.66	4.69	5.17	5.43	5.44
K	[mg/l]	2.84	2.79	2.82	2.81	2.84	2.79	2.77
F	[mg/l]	-	0.335	0.350	0.345	0.360	0.350	0.370
B	[mg/l]	-	0.022	0.021	0.019	0.021	0.020	0.019
Si	[mg/l]	-	3.05	3.06	3.05	3.11	3.12	3.15
TSD	[mg/l]	2050	2111	2085	2110	2087	2109	2115
CATIONS	[meq/l]	30.68	31.11	30.50	30.89	30.52	31.10	30.92
ANIONS	[meq/l]	29.58	30.63	30.33	30.68	30.43	30.66	30.83
CAT+ANI	[meq/l]	60.26	61.73	60.83	61.57	60.94	61.76	61.75

N°	CODESOURCE	51	51	51	51	51	60	60
		MLL	MLL	MLL	MLL	MLL	MAU	MAU
DATE		29-avr-88	31-mai-88	23-jui-88	22-jul-88	30-a00-88	23-jul-87	16-sep-87
DEBIT	[l/mn]	583.0	1130.0	1910.0	1540.0	-	-	-
TEMP	[°C]	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	4.2	4.5
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1860	1860	1860	1860	1890	1100	1310
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	153.00	152.00	150.50	153.00	153.00	84.00	100.75
D.PASS.	[°F]	17.75	17.75	17.00	17.50	17.00	17.25	14.00
SO4	[mg/l]	1300	1290	1290	1280	1280	644	832
Cl	[mg/l]	6.95	7.06	6.35	6.16	6.05	0.45	0.97
NO3	[mg/l]	0.50	0.00	1.71	2.44	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	217	217	207	214	207	210	171
Ca	[mg/l]	515	510	506	513	513	311	371
Mg	[mg/l]	57.6	57.9	56.9	58.8	58.3	14.6	18.6
Sr	[mg/l]	7.97	8.14	8.32	8.35	8.51	3.64	4.95
Li	[mg/l]	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.016	0.020
Na	[mg/l]	5.96	5.75	5.38	5.11	4.73	1.98	2.55
K	[mg/l]	2.73	2.74	2.86	2.77	2.75	0.45	0.48
F	[mg/l]	0.375	0.385	0.350	0.360	0.345	0.068	0.073
B	[mg/l]	0.019	0.020	0.019	0.019	0.014	0.019	0.020
Si	[mg/l]	3.12	3.25	3.08	3.15	3.00	1.78	1.89
TSD	[mg/l]	2117	2102	2088	2094	2084	1188	1403
CATIONS	[meq/l]	30.95	30.72	30.43	30.92	30.87	16.92	20.30
ANIONS	[meq/l]	30.84	30.63	30.48	30.38	30.24	16.87	20.16
CAT+ANI	[meq/l]	61.79	61.35	60.91	61.30	61.11	33.80	40.45

N°	CODESOURCE	60	60	60	60	60	60	60
		MAU	MAU	MAU	MAU	MAU	MAU	MAU
DATE		15-oct-87	23-oct-87	4-déc-87	1-fév-88	22-fév-88	9-avr-88	2-mai-88
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	326	258	1052
TEMP	[°C]	4.4	4.3	4.2	4.2	4.2	4.2	4.0
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1130	1120	1330	1430	1440	1560	920
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	88.00	86.00	102.25	112.25	114.50	125.00	69.00
D.PASS.	[°F]	19.25	18.50	19.25	18.50	17.75	17.50	17.25
SO4	[mg/l]	661	651	806	907	925	1039	503
Cl	[mg/l]	0.58	0.00	2.75	0.00	0.00	0.00	0.00
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	235	226	235	226	217	214	210
Ca	[mg/l]	323	315	377	405	411	451	242
Mg	[mg/l]	16.7	16.8	18.5	25.4	27.5	28.7	20.2
Sr	[mg/l]	4.47	4.57	5.20	5.71	6.30	6.21	3.50
Li	[mg/l]	0.019	0.019	0.021	0.020	0.022	0.023	0.014
Na	[mg/l]	2.36	2.39	2.62	2.91	3.18	3.16	2.00
K	[mg/l]	0.44	0.44	0.49	0.46	0.47	0.50	0.38
F	[mg/l]	0.069	0.071	0.072	0.077	0.081	0.085	0.072
B	[mg/l]	0.020	0.023	0.021	0.027	0.023	0.029	0.022
Si	[mg/l]	1.83	1.86	1.96	1.92	1.95	1.95	1.43
TSD	[mg/l]	1245	1218	1449	1574	1592	1744	983
CATIONS	[meq/l]	17.73	17.35	20.60	22.60	23.09	25.19	13.94
ANIONS	[meq/l]	17.63	17.26	20.71	22.59	22.81	25.14	13.93
CAT+ANI	[meq/l]	35.36	34.60	41.31	45.18	45.90	50.33	27.86

N°	CODESOURCE	60	60	60	61	61	61	61
		MAU	MAU	MAU	EAR	EAR	EAR	EAR
DATE		2-jui-88	7-jul-88	30-a00-88	10-mar-87	2-avr-87	7-mai-87	5-jui-87
DEBIT	[l/mn]	1125	1399	326	-	-	-	-
TEMP	[°C]	4.0	4.2	4.5	6.4	6.4	6.4	6.4
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	910	1060	1430	1950	1900	1940	1920
pH		-	-	-	-	7.0	-	-
D.TOT.	[°F]	67.75	78.00	110.00	159.75	156.50	159.75	158.75
D.PASS.	[°F]	18.50	17.50	18.00	16.25	16.25	16.00	16.25
SO4	[mg/l]	491	548	858	1380	1350	1380	1380
Cl	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.93	1.29	1.73	1.31
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	226	214	220	198	198	195	198
Ca	[mg/l]	241	285	405	539	525	540	534
Mg	[mg/l]	17.5	15.9	20.3	58.9	59.6	68.4	69.7
Sr	[mg/l]	2.67	3.15	5.38	8.66	8.53	8.58	8.42
Li	[mg/l]	0.012	0.014	0.020	0.029	0.035	0.035	0.035
Na	[mg/l]	1.42	1.55	2.32	4.05	4.19	4.17	4.02
K	[mg/l]	0.32	0.40	0.50	1.05	1.23	1.19	1.14
F	[mg/l]	0.062	0.058	0.071	0.052	0.042	0.051	0.050
B	[mg/l]	0.018	0.023	0.014	0.037	0.034	0.034	0.033
Si	[mg/l]	1.62	1.76	1.90	4.38	4.42	4.50	4.38
TSD	[mg/l]	981	1069	1513	2195	2153	2194	2191
CATIONS	[meq/l]	13.62	15.70	22.13	32.15	31.51	32.16	31.96
ANIONS	[meq/l]	13.92	14.91	21.47	32.01	31.39	31.98	32.02
CAT+ANI	[meq/l]	27.54	30.62	43.60	64.16	62.91	64.15	63.98

N° CODESOURCE		61	61	61	61	61	61	61
		EAR	EAR	EAR	EAR	EAR	EAR	EAR
DATE		25-jul-87	12-jul-87	10-aoû-87	7-sep-87	6-oct-87	15-oct-87	19-nov-87
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.3	6.3
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1910	1900	1900	1890	1910	1870	1880
pH		-	-	-	7.0	-	-	-
D.TOT.	[°F]	157.00	156.50	156.75	156.50	157.00	154.25	155.25
D.PASS.	[°F]	16.00	16.25	16.50	16.50	16.25	16.50	17.50
SO4	[mg/l]	1360	1360	1360	1360	1370	1340	1340
Cl	[mg/l]	1.92	1.32	1.58	1.58	0.38	1.67	0.33
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	195	198	201	201	198	201	214
Ca	[mg/l]	529	526	527	526	528	517	520
Mg	[mg/l]	58.8	58.9	58.9	59.4	59.1	59.0	59.7
Sr	[mg/l]	8.19	8.32	8.30	8.39	8.38	8.39	8.43
Li	[mg/l]	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.036	0.036
Na	[mg/l]	3.99	4.14	4.07	3.94	3.98	3.92	4.00
K	[mg/l]	1.18	1.26	1.24	1.16	1.15	1.15	1.16
F	[mg/l]	0.049	0.048	0.048	0.055	0.049	0.049	0.048
B	[mg/l]	0.035	0.034	0.032	0.033	0.033	0.037	0.035
Si	[mg/l]	4.41	4.42	4.20	4.30	4.23	4.51	4.09
TSD	[mg/l]	2163	2163	2167	2166	2174	2137	2151
CATIONS	[meq/l]	31.63	31.50	31.55	31.53	31.61	31.05	31.26
ANIONS	[meq/l]	31.57	31.60	31.66	31.66	31.79	31.25	31.41
CAT+ANI	[meq/l]	63.20	63.11	63.21	63.19	63.39	62.30	62.67

N° CODESOURCE		61	61	61	61	61	64	64
		EAR	EAR	EAR	EAR	EAR	BLE	BLE
DATE		1-fév-88	2-mai-88	2-jul-88	7-jul-88	30-aoû-88	23-avr-92	20-jul-92
DEBIT	[l/mn]	600.0	600.0	600.0	600.0	600.0	146	146
TEMP.	[°C]	6.2	6.4	6.4	6.3	6.3	24.2	24.3
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1920	1860	1960	1900	1920	1080	1060
pH		-	-	-	-	-	7.0	7.1
D.TOT.	[°F]	156.75	155.60	162.25	158.00	156.00	70.00	75.00
D.PASS.	[°F]	17.25	16.50	16.75	17.00	17.50	15.20	13.50
SO4	[mg/l]	1370	1350	1410	1380	1340	616	614
Cl	[mg/l]	0.45	0.39	0.39	0.36	0.90	4.80	2.20
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.27
HCO3	[mg/l]	210	201	204	207	214	184	163
Ca	[mg/l]	523	510	535	537	528	215	233
Mg	[mg/l]	66.1	66.2	67.6	56.0	56.6	43.4	43.8
Sr	[mg/l]	8.85	8.43	8.38	8.59	8.65	2.99	3.23
Li	[mg/l]	0.030	0.030	0.030	0.027	0.028	0.065	0.066
Na	[mg/l]	4.23	3.91	3.97	3.49	3.56	9.34	8.72
K	[mg/l]	1.17	1.10	1.09	1.10	1.13	0.74	0.74
F	[mg/l]	0.049	0.045	0.051	0.050	0.048	-	-
B	[mg/l]	0.035	0.031	0.037	0.031	0.032	-	-
Si	[mg/l]	4.40	4.28	4.27	4.18	4.35	-	6.09
TSD	[mg/l]	2189	2146	2235	2198	2157	1076	1069
CATIONS	[meq/l]	31.96	31.29	32.65	31.78	31.39	14.80	15.71
ANIONS	[meq/l]	31.99	31.42	32.72	32.14	31.43	15.98	15.53
CAT+ANI	[meq/l]	63.94	62.71	65.37	63.93	62.82	30.78	31.24

N° CODESOURCE		64	64	64	64	64	64	64
		BLE	BLE	BLE	BLE	BLE	BLE	BLE
DATE		28-oct-82	10-fév-83	28-avr-83	15-jul-83	13-oct-83	7-fév-84	12-avr-84
DEBIT	[l/mn]	158	121	150	181	165	119	116
TEMP.	[°C]	24.3	23.9	24.4	24.6	24.6	24.0	23.9
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1090	1020	1060	1090	1070	1050	1000
pH		7.3	7.0	7.2	6.9	7.3	6.9	7.2
D.TOT.	[°F]	78.50	67.00	69.50	73.50	70.10	68.90	68.80
D.PASS.	[°F]	14.10	14.50	14.50	13.30	13.90	14.50	15.20
SO4	[mg/l]	535	536	556	684	589	488	498
Cl	[mg/l]	2.60	3.90	4.20	2.40	2.40	3.20	3.80
NO3	[mg/l]	0.06	0.19	0.19	0.20	0.60	0.00	0.40
HCO3	[mg/l]	171	175	175	161	168	175	184
Ca	[mg/l]	226	218	216	232	217	218	218
Mg	[mg/l]	43.1	42.6	41.7	41.3	41.4	47.1	47.8
Sr	[mg/l]	3.09	2.99	2.92	3.16	3.01	2.85	2.86
Li	[mg/l]	0.065	0.065	0.065	0.065	0.066	0.085	0.085
Na	[mg/l]	8.73	9.38	8.86	8.69	8.85	9.12	10.60
K	[mg/l]	0.73	0.74	0.73	0.71	0.71	0.89	0.89
F	[mg/l]	-	-	-	-	-	-	-
B	[mg/l]	-	-	-	-	-	-	-
Si	[mg/l]	6.18	5.77	5.98	6.09	5.89	5.60	5.51
TSD	[mg/l]	990	989	1006	1133	1031	945	966
CATIONS	[meq/l]	15.30	14.89	14.69	15.45	14.71	15.25	16.37
ANIONS	[meq/l]	14.01	14.15	14.57	16.95	15.10	13.13	13.50
CAT+ANI	[meq/l]	29.31	29.03	29.26	32.40	29.81	28.37	28.87

N°	CODE SOURCE	64	64	64	64	64	64	64
		BLE	BLE	BLE	BLE	BLE	BLE	BLE
DATE		1-aoû-84	24-oct-84	6-fév-85	26-avr-85	24-jul-85	9-oct-85	17-fév-86
DEBIT	[l/mn]	215	145	98	122	202	116	96
TEMP.	[°C]	24.3	24.2	23.9	24.3	24.5	24.6	23.9
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1020	1020	1020	1030	1100	1040	1010
pH		6.9	7.1	7.2	7.1	7.0	7.3	7.2
D.TOT.	[°F]	73.90	68.40	67.90	66.80	74.80	69.70	68.20
D.PASS.	[°F]	13.60	13.90	14.60	14.40	13.80	14.40	14.90
SO4	[mg/l]	652	533	512	517	575	539	465
Cl	[mg/l]	2.10	2.67	3.42	3.40	2.17	2.97	3.65
NO3	[mg/l]	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
HCO3	[mg/l]	166	168	177	174	167	174	180
Ca	[mg/l]	236	218	209	215	221	210	210
Mg	[mg/l]	48.0	46.2	40.9	46.8	43.1	39.9	34.8
Sr	[mg/l]	3.19	3.03	1.38	2.88	2.94	2.88	3.10
Li	[mg/l]	0.085	0.085	0.062	0.063	0.099	0.048	0.049
Na	[mg/l]	9.01	8.79	11.60	8.64	8.53	8.19	8.88
K	[mg/l]	0.86	0.86	0.79	0.70	0.72	0.67	0.67
F	[mg/l]	-	-	-	1.50	1.70	1.60	1.61
B	[mg/l]	-	-	-	-	-	-	-
Si	[mg/l]	5.77	6.18	6.09	5.89	6.30	6.24	5.42
TSD	[mg/l]	1116	981	956	969	1021	978	906
CATIONS	[meq/l]	16.22	15.16	14.36	15.05	15.04	14.21	13.82
ANIONS	[meq/l]	16.33	13.93	13.65	13.72	14.77	14.16	12.74
CAT+ANI	[meq/l]	32.56	29.09	28.01	28.76	29.81	28.37	26.56

N°	CODE SOURCE	64	64	64	64	64	64	64
		BLE	BLE	BLE	BLE	BLE	BLE	BLE
DATE		29-avr-86	29-jul-86	22-oct-86	17-fév-87	6-avr-87	21-jul-87	20-oct-87
DEBIT	[l/mn]	115	205	116	104	101	224	163
TEMP.	[°C]	24.4	24.6	24.5	24.3	25.1	24.5	24.7
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1010	1120	1040	1030	1000	1080	1060
pH		7.3	7.2	7.1	7.2	7.2	7.2	7.3
D.TOT.	[°F]	67.80	77.40	72.20	70.50	69.30	76.00	70.20
D.PASS.	[°F]	15.00	13.90	14.70	15.20	14.90	14.00	14.00
SO4	[mg/l]	426	588	561	529	528	616	591
Cl	[mg/l]	3.51	2.10	3.00	3.10	3.06	2.15	2.63
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	182	168	178	184	180	169	169
Ca	[mg/l]	197	241	218	189	233	219	211
Mg	[mg/l]	37.6	42.6	42.7	40.2	44.3	40.8	41.6
Sr	[mg/l]	2.95	3.13	2.96	2.94	3.25	3.27	3.55
Li	[mg/l]	0.050	0.053	0.052	0.049	0.050	0.050	0.053
Na	[mg/l]	9.29	8.46	8.86	8.54	8.39	7.11	8.50
K	[mg/l]	0.73	0.68	0.70	0.73	0.66	0.71	0.67
F	[mg/l]	-	1.55	1.20	1.70	1.10	1.50	1.50
B	[mg/l]	-	-	-	-	-	-	-
Si	[mg/l]	6.10	6.25	6.15	6.40	6.08	6.13	6.20
TSD	[mg/l]	859	1056	1016	959	1002	1060	1030
CATIONS	[meq/l]	13.42	15.99	14.87	13.20	15.73	14.69	14.43
ANIONS	[meq/l]	11.94	15.06	14.68	14.12	14.03	15.66	15.16
CAT+ANI	[meq/l]	25.36	31.05	29.55	27.32	29.77	30.35	29.58

N°	CODE SOURCE	64	64	64	64
		BLE	BLE	BLE	BLE
DATE		10-fév-88	16-mai-88	15-aoû-88	31-oct-88
DEBIT	[l/mn]	107	-	218	169
TEMP.	[°C]	23.5	23.8	24.2	24.7
COND.	[µS/cm à 20 ° C]	1020	980	1090	1040
pH		6.8	6.6	6.8	6.6
D.TOT.	[°F]	69.00	72.10	70.50	71.50
D.PASS.	[°F]	14.50	14.00	14.00	14.40
SO4	[mg/l]	555	545	590	551
Cl	[mg/l]	3.99	2.50	1.90	1.69
NO3	[mg/l]	0.70	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	175	169	169	174
Ca	[mg/l]	202	219	231	233
Mg	[mg/l]	39.0	38.6	40.5	39.5
Sr	[mg/l]	1.81	2.27	3.98	3.06
Li	[mg/l]	0.049	0.050	0.049	0.050
Na	[mg/l]	8.31	7.60	7.93	9.07
K	[mg/l]	0.71	0.67	0.72	0.72
F	[mg/l]	1.50	1.40	1.40	1.20
B	[mg/l]	-	0.055	0.040	0.044
Si	[mg/l]	6.23	6.05	6.75	6.00
TSD	[mg/l]	988	986	1047	1014
CATIONS	[meq/l]	13.72	14.51	15.32	15.37
ANIONS	[meq/l]	14.55	14.19	15.11	14.39
CAT+ANI	[meq/l]	28.27	28.70	30.43	29.74

Données des variations temporelles-Réseau II et III

NP	CODESOURCE	1	2	3	3	5	6	6
		SEF	SEC	SES	SES	SEA	LB	LB
DATE		14-déc-87	14-déc-87	14-déc-87	14-oct-88	14-déc-87	5-juil-87	25-juil-87
DEBIT	[l/mn]	41.0	-	79.0	114.0	-	171.0	163.0
TEMP	[°C]	9.5	9.2	9.7	9.9	9.7	10.0	10.4
COND.	[µS/cm à 20° C]	1480	1460	1570	1510	1550	1450	1370
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	115.00	112.00	120.00	111.00	119.00	117.50	111.75
D.PASS.	[°F]	20.50	20.50	23.00	20.00	20.50	16.50	15.00
SO4	[mg/l]	908	880	931	868	949	880	800
Cl	[mg/l]	2.77	3.01	1.63	3.21	1.45	1.93	2.00
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.81	0.41
HCO3	[mg/l]	250	250	281	244	250	201	183
Ca	[mg/l]	355	346	374	340	372	386	367
Mg	[mg/l]	59.3	57.7	60.1	58.9	59.5	48.5	45.9
Sr	[mg/l]	17.60	17.50	16.4	16.40	17.00	10.20	10.80
Li	[mg/l]	0.051	0.050	0.050	0.044	0.050	0.034	0.033
Na	[mg/l]	4.83	4.85	4.93	4.81	5.11	4.89	4.15
K	[mg/l]	1.55	1.56	1.54	1.12	1.47	0.95	0.89
F	[mg/l]	0.190	0.190	0.210	0.190	0.200	-	-
B	[mg/l]	-	-	-	0.090	-	-	-
Si	[mg/l]	-	-	-	3.83	-	-	-
TSD	[mg/l]	1599	1561	1670	1541	1656	1535	1414
CATIONS	[meq/l]	23.25	22.67	24.24	22.45	24.11	23.72	22.54
ANIONS	[meq/l]	23.09	22.52	24.04	22.17	23.91	21.69	19.72
CAT-ANI	[meq/l]	46.34	45.18	48.28	44.62	48.02	45.41	42.26

NP	CODESOURCE	6	6	6	6	6	7	7
		LB	LB	LB	LB	LB	LB3	LB3
DATE		10-août-87	7-sep-87	14-déc-87	14-oct-88	22-mar-88	7-mai-87	14-déc-87
DEBIT	[l/mn]	157.0	150.0	-	145.0	-	-	-
TEMP	[°C]	10.3	10.3	7.0	9.7	8.4	8.6	8.0
COND.	[µS/cm à 20° C]	1480	1470	1480	1450	1350	1460	1530
pH		-	7.0	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	117.75	115.25	116.75	105.75	101.50	112.50	120.00
D.PASS.	[°F]	17.00	17.00	18.00	16.00	17.50	16.00	17.00
SO4	[mg/l]	977	982	900	839	726	925	990
Cl	[mg/l]	1.21	1.10	1.08	3.34	0.49	1.38	1.71
NO3	[mg/l]	0.80	0.93	0.00	0.37	0.00	0.96	0.00
HCO3	[mg/l]	207	207	220	195	214	195	207
Ca	[mg/l]	391	384	380	345	322	388	396
Mg	[mg/l]	46.3	44.6	50.8	45.0	48.7	35.1	48.9
Sr	[mg/l]	10.20	10.10	9.79	9.99	9.17	11.10	10.30
Li	[mg/l]	0.036	0.035	0.037	0.029	0.030	0.032	0.034
Na	[mg/l]	4.76	4.86	5.35	4.58	4.58	4.84	5.44
K	[mg/l]	0.91	0.93	0.97	0.95	0.90	1.02	0.97
F	[mg/l]	-	-	-	-	-	0.180	0.210
B	[mg/l]	-	-	-	-	-	0.076	0.081
Si	[mg/l]	-	-	-	-	-	3.22	3.31
TSD	[mg/l]	1640	1636	1568	1443	1325	1566	1664
CATIONS	[meq/l]	23.79	23.29	23.63	21.37	20.51	22.82	24.36
ANIONS	[meq/l]	23.79	23.89	22.37	20.77	18.63	22.52	24.07
CAT-ANI	[meq/l]	47.57	47.18	45.99	42.14	39.14	45.34	48.43

NP	CODESOURCE	7	7	8	8	9	9	9
		LB3	LB3	LB3	LB3	LE3	LE3	LE3
DATE		22-mar-88	28-juil-88	7-mai-87	14-déc-87	8-jan-87	10-juin-87	10-mar-87
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-
TEMP	[°C]	8.4	10.1	8.9	8.6	8.8	8.6	8.4
COND.	[µS/cm à 20° C]	1390	1510	1480	1540	1940	1940	1880
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	103.50	118.00	111.75	122.00	151.75	151.25	153.25
D.PASS.	[°F]	17.25	17.50	16.25	17.00	17.25	16.25	15.50
SO4	[mg/l]	828	984	908	927	1300	1300	1330
Cl	[mg/l]	0.53	1.62	2.20	1.29	0.96	1.69	1.23
NO3	[mg/l]	0.78	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	210	214	198	207	210	198	189
Ca	[mg/l]	329	389	387	400	530	529	537
Mg	[mg/l]	49.3	47.9	34.2	51.0	44.6	43.1	43.3
Sr	[mg/l]	9.29	10.80	10.30	10.10	11.10	13.10	12.20
Li	[mg/l]	0.030	0.030	0.035	0.030	0.039	0.042	0.043
Na	[mg/l]	4.47	4.77	4.86	5.28	5.79	6.92	6.11
K	[mg/l]	0.89	0.86	1.04	0.97	0.85	1.20	1.12
F	[mg/l]	0.170	0.180	-	-	0.235	0.230	0.230
B	[mg/l]	0.076	0.079	-	-	0.115	0.105	0.095
Si	[mg/l]	3.14	3.37	-	-	3.31	3.41	3.18
TSD	[mg/l]	1436	1656	1546	1603	2107	2097	2124
CATIONS	[meq/l]	20.98	23.91	22.60	24.64	30.76	30.68	31.03
ANIONS	[meq/l]	20.72	24.04	22.22	22.74	30.55	30.38	30.84
CAT-ANI	[meq/l]	41.71	47.95	44.82	47.38	61.32	61.06	61.87

N°	CODESOURCE	9	9	9	9	9	9	9
		LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED
DATE		2-avr-87	7-mai-87	5-jui-87	25-jui-87	10-aoû-87	7-sep-87	6-oct-87
DEBIT	[l/mn]	-	140.0	125.0	168.0	130.0	123.0	98.0
TEMP.	[°C]	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.7
COND.	[µS/cm à 20° C]	1820	1830	1840	1780	1860	1870	1880
pH		7.0	-	-	-	-	7.0	-
D.TOT.	[°F]	144.25	143.00	147.75	148.50	150.00	152.25	155.00
D.PASS.	[°F]	15.75	15.00	15.50	15.00	16.00	16.00	16.50
SO4	[mg/l]	1250	1230	1280	1290	1300	1320	1350
Cl	[mg/l]	1.13	0.91	1.50	1.58	1.22	0.95	0.00
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	192	183	189	183	195	195	201
Ca	[mg/l]	502	496	527	523	528	629	540
Mg	[mg/l]	42.9	43.5	36.8	40.7	41.4	46.1	45.8
Sr	[mg/l]	12.20	12.20	10.50	11.40	12.20	12.40	12.20
Li	[mg/l]	0.041	0.042	0.037	0.041	0.043	0.045	0.046
Na	[mg/l]	5.06	5.16	5.49	4.52	5.62	6.06	6.37
K	[mg/l]	0.96	0.91	0.85	0.85	0.95	0.94	1.03
F	[mg/l]	0.235	0.225	0.230	0.225	0.230	0.225	0.240
B	[mg/l]	0.086	0.080	0.085	0.074	0.082	0.084	0.100
Si	[mg/l]	3.10	3.11	3.10	2.98	3.12	3.23	3.30
TSD	[mg/l]	2010	1975	2055	2058	2088	2114	2160
CATIONS	[meq/l]	29.19	28.94	29.91	30.00	30.39	30.86	31.40
ANIONS	[meq/l]	29.22	28.65	29.80	29.91	30.31	30.72	31.42
CAT+ANI	[meq/l]	58.41	57.59	59.72	59.92	60.70	61.58	62.82

N°	CODESOURCE	9	9	9	9	9	10	10
		LED	LED	LED	LED	LED	BAP	BAP
DATE		14-déc-87	22-mar-88	23-jul-88	26-jul-88	14-oct-88	21-jul-87	16-sep-87
DEBIT	[l/mn]	79.0	265.0	112.0	112.0	194.0	-	-
TEMP.	[°C]	9.1	8.5	9.1	9.2	9.4	5.1	5.2
COND.	[µS/cm à 20° C]	1890	1540	1900	1920	1600	1410	1530
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	154.50	116.00	156.25	161.00	121.00	108.75	116.00
D.PASS.	[°F]	16.50	17.00	17.50	17.50	16.00	15.75	14.00
SO4	[mg/l]	1340	963	1290	1360	1000	877	985
Cl	[mg/l]	0.39	1.07	1.77	1.70	1.39	0.66	0.00
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	201	207	214	214	195	192	171
Ca	[mg/l]	537	388	536	553	413	399	428
Mg	[mg/l]	46.8	44.1	51.1	52.4	40.4	16.2	21.4
Sr	[mg/l]	12.10	9.78	12.90	12.90	12.40	3.71	4.64
Li	[mg/l]	0.046	0.031	0.031	0.032	0.028	0.014	0.020
Na	[mg/l]	6.56	4.36	5.63	5.81	4.25	1.34	1.97
K	[mg/l]	1.10	0.86	0.97	0.98	0.87	1.38	1.74
F	[mg/l]	0.240	0.215	0.225	0.230	0.220	0.066	0.068
B	[mg/l]	0.105	0.075	0.094	0.096	0.068	0.038	0.056
Si	[mg/l]	3.34	2.86	3.12	3.28	2.87	1.60	1.66
TSD	[mg/l]	2149	1622	2115	2204	1671	1493	1615
CATIONS	[meq/l]	31.35	23.50	31.61	32.58	24.49	21.42	23.36
ANIONS	[meq/l]	31.22	23.49	30.42	31.87	24.07	21.43	23.31
CAT+ANI	[meq/l]	62.57	46.99	62.03	64.45	48.56	42.85	46.67

N°	CODESOURCE	10	10	10	11	12	13	13
		BAP	BAP	BAP	PAR	NAV	RAE	RAE
DATE		14-oct-88	22-mar-88	7-jul-88	7-jul-88	7-jul-88	23-mar-88	28-jui-88
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	5.6	5.4	5.1	6.3	9.7	9.3	9.8
COND.	[µS/cm à 20° C]	1390	1200	1290	1110	1280	1200	1250
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	107.00	86.50	97.00	80.50	96.00	90.00	91.25
D.PASS.	[°F]	17.00	15.00	16.50	16.50	18.50	17.00	16.50
SO4	[mg/l]	834	690	751	613	694	660	675
Cl	[mg/l]	0.72	0.80	0.00	0.00	1.84	0.00	1.32
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	207	183	201	201	226	207	201
Ca	[mg/l]	390	313	360	275	274	267	266
Mg	[mg/l]	22.4	19.4	16.6	28.4	65.1	55.4	57.5
Sr	[mg/l]	3.58	2.67	3.12	2.65	7.06	6.00	6.29
Li	[mg/l]	0.015	0.014	0.015	0.015	0.020	0.020	0.019
Na	[mg/l]	1.35	1.24	0.81	1.02	4.16	3.26	2.91
K	[mg/l]	1.52	1.31	1.32	1.76	1.66	0.83	0.83
F	[mg/l]	0.071	0.068	0.056	0.100	0.120	0.180	0.180
B	[mg/l]	0.048	0.050	0.035	0.045	0.038	0.045	0.044
Si	[mg/l]	1.78	1.56	1.52	1.91	3.28	2.98	2.94
TSD	[mg/l]	1463	1213	1336	1125	1278	1203	1216
CATIONS	[meq/l]	21.48	17.36	19.47	16.21	19.41	18.23	18.44
ANIONS	[meq/l]	20.79	17.39	18.94	16.07	18.23	17.15	17.40
CAT+ANI	[meq/l]	42.27	34.76	38.41	32.28	37.64	35.38	35.84

N°	CODESOURCE	15	15	15	16	16	17	17
		SOH	SOH	SOH	BCN	BCN	BAN	BAN
DATE		21-jul-87	3-déc-87	28-jui-88	3-déc-87	24-jui-88	21-jul-87	3-déc-87
DEBIT	[l/mn]	-	3.0	2.0	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	11.8	7.6	12.7	3.0	13.4	9.7	6.5
COND.	[μ S/cm à 20° C]	2000	2080	2030	1200	1160	1770	1660
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	170.00	174.00	168.00	85.00	82.00	149.50	128.00
D.PASS.	[°F]	18.50	18.75	20.50	20.50	18.50	26.75	27.50
SO4	[mg/l]	1410	1450	1390	625	619	1160	959
Cl	[mg/l]	15.20	16.30	13.70	7.83	7.96	25.40	22.70
NO3	[mg/l]	49.90	39.80	35.50	1.02	1.18	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	226	229	250	250	226	326	336
Ca	[mg/l]	579	581	560	282	270	525	428
Mg	[mg/l]	59.6	68.2	66.3	34.3	34.5	43.0	50.0
Sr	[mg/l]	8.85	9.25	9.16	4.66	4.78	7.79	6.54
Li	[mg/l]	0.035	0.037	0.032	0.028	0.022	0.035	0.030
Na	[mg/l]	4.1	5.27	4.15	7.51	7.27	10.10	9.84
K	[mg/l]	1.32	1.55	1.19	1.47	1.44	1.97	1.85
F	[mg/l]	0.079	0.075	0.072	0.068	0.069	0.038	0.070
B	[mg/l]	0.036	0.042	0.036	0.031	0.071	0.068	0.053
Si	[mg/l]	4.10	4.30	4.23	3.24	3.55	4.01	3.71
TSD	[mg/l]	2359	2405	2334	1217	1176	2104	1817
CATIONS	[meq/l]	34.24	35.09	33.82	17.37	16.78	30.41	26.10
ANIONS	[meq/l]	34.29	35.04	34.00	17.35	16.83	30.22	26.11
CAT+ANI	[meq/l]	68.53	70.13	67.82	34.72	33.61	60.62	52.21

N°	CODESOURCE	17	18	18	19	19	20	21
		BAN	SAI	SAI	MCD	MCD	MCE	PAU
DATE		24-jui-88	3-déc-87	24-jui-88	3-déc-87	24-jui-88	3-déc-87	3-déc-87
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	8.3	0.1	11.8	10.6	10.7	6.3	9.8
COND.	[μ S/cm à 20° C]	1850	980	931	1490	1740	1830	2060
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	147.50	66.00	62.70	112.00	140.50	149.00	172.00
D.PASS.	[°F]	28.00	20.00	19.00	26.25	26.50	22.00	24.50
SO4	[mg/l]	1050	398	378.10	819	1080	1220	1400
Cl	[mg/l]	23.60	79.90	76.91	16.10	17.10	13.70	13.90
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	2.83	2.23	2.85	3.35
HCO3	[mg/l]	342	244	231.80	320	323	268	299
Ca	[mg/l]	506	210	199.50	356	447	487	573
Mg	[mg/l]	49.5	32.1	30.50	54.0	67.9	63.6	67.0
Sr	[mg/l]	7.88	4.17	3.96	8.23	10.10	10.70	12.30
Li	[mg/l]	0.033	0.010	0.01	0.032	0.030	0.041	0.049
Na	[mg/l]	10.50	30.70	29.17	8.38	6.24	7.15	7.37
K	[mg/l]	1.96	0.98	0.93	3.88	4.07	5.01	5.21
F	[mg/l]	0.031	0.047	0.04	0.041	0.040	0.047	0.045
B	[mg/l]	0.060	0.032	0.03	0.055	0.044	0.069	0.060
Si	[mg/l]	3.94	2.41	2.29	3.90	3.54	3.54	3.68
TSD	[mg/l]	1995	1002	952.23	1593	1964	2082	2385
CATIONS	[meq/l]	30.01	14.58	13.85	22.86	28.59	30.22	34.84
ANIONS	[meq/l]	28.13	14.54	13.81	22.80	28.30	30.23	34.50
CAT+ANI	[meq/l]	58.14	29.12	27.66	45.66	56.89	60.46	69.34

N°	CODESOURCE	21	21	22	24	24	24	25
		PAU	PAU	PAA	SLB	SLB	SLB	VAU
DATE		23-mar-88	24-jui-88	24-jui-88	23-mar-88	28-jui-88	27-oct-88	21-jul-87
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	9.8	10.6	10.1	9.3	9.4	9.3	9.1
COND.	[μ S/cm à 20° C]	2030	2070	2060	1880	1890	1850	1850
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	168.00	171.50	167.00	156.25	157.50	154.75	144.50
D.PASS.	[°F]	24.50	24.50	24.50	21.25	22.50	22.50	25.00
SO4	[mg/l]	1370	1370	1350	1210	1280	1180	1150
Cl	[mg/l]	15.50	15.50	13.30	3.42	3.38	4.84	13.30
NO3	[mg/l]	4.07	3.98	2.67	1.18	0.00	1.22	1.98
HCO3	[mg/l]	299	299	299	259	275	275	305
Ca	[mg/l]	546	561	558	520	522	513	480
Mg	[mg/l]	74.3	73.1	64.4	61.4	62.9	61.9	58.4
Sr	[mg/l]	11.30	12.10	12.20	11.00	11.50	11.70	7.48
Li	[mg/l]	0.039	0.034	0.034	0.033	0.032	0.032	0.039
Na	[mg/l]	7.37	7.39	6.55	5.52	4.14	4.22	17.70
K	[mg/l]	5.11	5.19	5.21	2.07	1.91	1.84	1.57
F	[mg/l]	0.046	0.041	0.040	0.240	0.230	0.235	0.084
B	[mg/l]	0.061	0.057	0.057	0.040	0.037	0.033	0.084
Si	[mg/l]	3.73	3.63	3.67	2.98	2.94	2.93	3.50
TSD	[mg/l]	2336	2351	2315	2077	2144	2056	2039
CATIONS	[meq/l]	34.07	34.74	33.84	31.59	31.75	31.22	29.74
ANIONS	[meq/l]	33.93	33.93	33.43	29.57	30.84	29.24	29.34
CAT+ANI	[meq/l]	68.00	68.67	67.27	61.16	62.59	60.46	59.08

N°	CODE SOURCE	25	25	25	26	27	27	28
		VAU	VAU	VAU	LAN	FOU	FOU	RAS
DATE		3-déc-87	23-mar-88	24-jul-88	24-jul-88	29-jul-87	28-jul-88	24-jul-88
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	9.2	8.8	9.2	7.5	12.7	11.7	5.7
COND.	[µS/cm à 20° C]	1990	1750	1990	2120	1200	1320	1640
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	163.00	130.00	160.75	171.50	90.75	94.50	124.75
D.PASS.	[°F]	25.75	24.75	25.50	18.50	20.50	21.75	19.00
SO4	[mg/l]	1350	1040	1350	1440	610	700	1000
Cl	[mg/l]	14.60	12.40	13.30	18.30	2.00	1.86	0.00
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	1.97	0.00	0.00	1.96	0.00
HCO3	[mg/l]	314	302	311	226	250	265	232
Ca	[mg/l]	538	432	532	545	317	323	444
Mg	[mg/l]	67.9	52.5	66.0	83.2	26.9	32.0	31.8
Sr	[mg/l]	7.93	6.01	7.64	8.95	4.61	5.52	8.45
Li	[mg/l]	0.00	0.038	0.038	0.029	0.014	0.016	0.017
Na	[mg/l]	26.60	18.50	18.00	16.30	3.26	2.93	1.91
K	[mg/l]	2.10	2.42	1.59	4.77	0.83	0.88	0.73
F	[mg/l]	0.132	0.133	0.091	0.115	0.120	0.093	0.150
B	[mg/l]	0.121	0.086	0.091	0.062	0.007	0.019	0.019
Si	[mg/l]	4.00	3.48	3.65	2.01	2.28	2.19	2.02
TSD	[mg/l]	2326	1870	2305	2344	1217	1336	1721
CATIONS	[meq/l]	33.84	26.88	32.98	35.08	18.31	19.05	25.07
ANIONS	[meq/l]	33.67	26.96	33.62	34.20	16.86	19.01	24.63
CAT+ANI	[meq/l]	67.52	53.84	66.60	69.28	35.17	38.06	49.69

N°	CODE SOURCE	28	29	29	30	31	32	32
		RAS	EFN	EFN	CHU	CHD	JOE	JOE
DATE		27-oct-88	29-jul-87	28-jul-88	29-jul-87	28-jul-88	29-jul-87	28-jul-88
DEBIT	[l/mn]	-	-	26.0	-	150.0	-	-
TEMP.	[°C]	5.7	6.7	6.3	9.1	10.0	7.3	6.9
COND.	[µS/cm à 20° C]	1650	1320	1400	1070	1620	957	961
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	128.50	95.50	101.00	77.50	130.25	70.00	73.75
D.PASS.	[°F]	19.00	20.50	22.00	21.00	20.50	20.00	19.50
SO4	[mg/l]	1060	744	766	536	1010	469	462
Cl	[mg/l]	1.20	1.52	1.32	1.63	1.05	3.11	1.15
NO3	[mg/l]	0.64	0.42	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	232	250	268	266	250	244	238
Ca	[mg/l]	450	346	362	281	471	247	257
Mg	[mg/l]	37.4	20.5	24.0	16.6	28.8	19.2	22.5
Sr	[mg/l]	8.32	6.34	6.25	3.99	8.24	3.78	3.84
Li	[mg/l]	0.018	0.016	0.018	0.012	0.021	0.013	0.015
Na	[mg/l]	2.43	2.96	2.54	2.23	2.63	4.00	3.67
K	[mg/l]	0.83	0.64	0.54	0.37	0.60	0.82	0.80
F	[mg/l]	0.160	0.170	0.160	0.160	0.180	0.130	0.125
B	[mg/l]	0.020	0.026	0.017	0.029	0.030	0.030	0.023
Si	[mg/l]	2.06	2.25	2.22	1.95	2.13	3.32	3.32
TSD	[mg/l]	1795	1375	1435	1100	1775	994	992
CATIONS	[meq/l]	25.85	19.27	20.32	15.62	26.22	14.22	14.97
ANIONS	[meq/l]	25.92	19.65	20.41	15.41	25.17	13.86	13.56
CAT+ANI	[meq/l]	51.77	38.92	40.74	31.03	51.39	28.08	28.52

N°	CODE SOURCE	33	34	35	36	37	38	39
		ABE	BOD	LE	MEJ	SHD	SHA	JOR
DATE		28-jul-88	24-jul-88	24-jul-88	24-jul-88	24-jul-88	24-jul-88	24-jul-88
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	10.7	8.9	6.5	7.7	6.1	5.4	8.6
COND.	[µS/cm à 20° C]	1110	1730	1620	1820	1570	1020	1840
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	79.25	135.75	130.00	151.50	126.25	-	157.50
D.PASS.	[°F]	18.00	17.50	20.00	17.00	19.50	-	17.50
SO4	[mg/l]	594	1080	989	1240	904	-	1160
Cl	[mg/l]	1.22	6.12	2.42	6.17	1.90	-	5.00
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	2.18	0.84	0.00	-	2.27
HCO3	[mg/l]	220	214	244	207	238	-	214
Ca	[mg/l]	261	462	452	520	441	-	476
Mg	[mg/l]	33.0	47.1	39.3	50.0	37.4	-	92.3
Sr	[mg/l]	5.49	9.05	8.93	9.66	8.33	-	7.31
Li	[mg/l]	0.013	0.019	0.018	0.019	0.017	-	0.017
Na	[mg/l]	2.97	6.16	1.73	6.03	1.65	-	3.85
K	[mg/l]	0.97	1.53	1.59	1.34	0.69	-	1.21
F	[mg/l]	0.160	0.150	0.093	0.150	0.100	-	0.165
B	[mg/l]	0.021	0.018	0.009	0.034	0.031	-	0.025
Si	[mg/l]	4.04	1.97	1.99	1.88	1.56	-	1.68
TSD	[mg/l]	1122	1828	1743	2044	1635	-	1963
CATIONS	[meq/l]	16.04	27.46	26.12	30.61	25.39	-	31.74
ANIONS	[meq/l]	16.01	26.17	24.70	29.41	22.78	-	27.84
CAT+ANI	[meq/l]	32.05	53.63	50.82	60.03	48.17	-	59.57

NP CODESOURCE		40	41	42	43	44	44	44
		TOU	TOR	LUJ	GOD	MON	MON	MON
DATE		14-jul-88	14-jul-88	14-jul-88	14-jul-88	15-déc-86	25-mar-88	14-jul-88
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	100.0	100.0	100.0
TEMP	[°C]	5.5	5.2	5.3	5.9	10.1	10.1	10.2
COND.	[µS/cm à 20° C]	1820	1940	1910	1870	1680	1660	1700
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	144.00	148.00	152.00	150.00	131.75	127.25	133.50
D.PASS.	[°F]	20.00	16.75	15.00	17.50	25.25	25.25	26.25
SO4	[mg/l]	1140	1240	1300	1190	980	854	1020
Cl	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	5.77	5.65	8.48
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.44	2.52
HCO3	[mg/l]	244	204	183	214	308	308	320
Ca	[mg/l]	504	522	537	515	439	426	441
Mg	[mg/l]	41.7	40.0	40.9	49.9	51.3	48.2	54.0
Sr	[mg/l]	9.25	10.60	9.80	9.34	9.59	9.14	10.30
Li	[mg/l]	0.033	0.027	0.032	0.035	0.027	0.030	0.030
Na	[mg/l]	2.51	1.93	3.43	3.25	8.50	9.13	7.77
K	[mg/l]	0.92	0.83	0.71	0.71	1.59	1.56	1.61
F	[mg/l]	0.260	0.175	0.460	0.330	0.000	0.190	0.185
B	[mg/l]	0.030	0.028	0.031	0.044	0.000	0.000	0.007
Si	[mg/l]	1.86	1.63	1.60	2.08	0.00	2.54	2.71
TSD	[mg/l]	1945	2022	2077	1984	1804	1666	1869
CATIONS	[meq/l]	28.96	29.72	30.59	30.22	26.76	25.87	27.07
ANIONS	[meq/l]	27.75	29.18	30.09	28.29	25.62	23.02	26.77
CAT+ANI	[meq/l]	56.71	56.89	60.68	58.52	52.37	48.89	53.85

NP CODESOURCE		45	46	46	47	47	48	48
		CBE	MAR	MAR	LAT	LAT	LOC	LOC
DATE		15-déc-86	25-mar-88	14-jul-88	9-avr-87	14-jul-88	25-mar-88	14-jul-88
DEBIT	[l/mn]	5.0	-	-	-	-	-	-
TEMP	[°C]	9.1	6.8	7.6	8.3	8.6	5.3	13.6
COND.	[µS/cm à 20° C]	1210	1820	1970	1980	2020	2280	2420
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	71.75	141.00	158.00	159.50	163.50	192.25	207.75
D.PASS.	[°F]	18.00	30.00	30.00	16.50	18.75	22.50	24.50
SO4	[mg/l]	237	957	1110	1360	1360	1400	1580
Cl	[mg/l]	62.20	9.51	13.40	2.49	2.64	10.90	13.30
NO3	[mg/l]	154.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	220	366	366	201	229	275	299
Ca	[mg/l]	194	507	572	440	445	489	542
Mg	[mg/l]	56.2	33.1	34.5	118.0	124.0	168.0	173.0
Sr	[mg/l]	1.71	7.19	8.74	11.00	12.10	10.20	12.10
Li	[mg/l]	0.046	0.024	0.023	0.025	0.024	0.068	0.071
Na	[mg/l]	13.50	6.03	5.59	2.69	2.37	13.80	15.50
K	[mg/l]	6.73	1.53	1.58	4.66	4.46	5.38	5.16
F	[mg/l]	0.000	0.086	0.093	0.405	0.415	0.360	0.260
B	[mg/l]	0.000	0.074	0.072	0.015	0.017	0.055	0.059
Si	[mg/l]	0.00	3.10	2.99	3.10	3.02	3.12	3.62
TSD	[mg/l]	945	1891	2115	2144	2183	2375	2644
CATIONS	[meq/l]	15.11	28.56	31.94	32.17	32.92	39.25	42.42
ANIONS	[meq/l]	12.77	26.20	29.49	31.71	32.16	33.97	38.18
CAT+ANI	[meq/l]	27.88	54.76	61.43	63.87	65.08	73.23	80.61

NP CODESOURCE		49	50	50	50	50	50	50
		BCU	CBE	CBE	CBE	CBE	CBE	CBE
DATE		14-jul-88	12-fév-87	10-mar-87	2-avr-87	8-avr-87	24-avr-87	6-mai-87
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-
TEMP	[°C]	10.6	8.2	8.2	8.3	8.3	8.3	8.3
COND.	[µS/cm à 20° C]	2020	1910	1870	1880	1840	1860	1850
pH		-	-	7.0	7.0	-	-	-
D.TOT.	[°F]	209.50	158.25	156.00	154.75	151.50	153.50	152.00
D.PASS.	[°F]	22.00	14.00	13.50	13.75	13.45	13.90	13.75
SO4	[mg/l]	1440	1380	1360	1340	1320	1340	1320
Cl	[mg/l]	3.28	0.80	0.87	0.85	0.90	0.00	1.11
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	268	171	165	168	164	170	166
Ca	[mg/l]	542	483	475	472	459	468	461
Mg	[mg/l]	177.0	89.0	88.0	87.0	87.1	86.2	86.9
Sr	[mg/l]	14.50	10.50	10.50	10.60	9.98	9.95	9.98
Li	[mg/l]	0.030	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031
Na	[mg/l]	9.71	1.86	1.80	1.61	1.53	1.59	1.62
K	[mg/l]	38.60	0.58	0.58	0.60	0.59	0.55	0.57
F	[mg/l]	0.450	0.350	0.352	0.350	0.342	0.356	0.355
B	[mg/l]	0.015	0.015	0.015	0.010	0.013	0.010	0.017
Si	[mg/l]	2.67	2.47	2.47	2.46	2.40	2.50	2.49
TSD	[mg/l]	2497	2139	2104	2083	2046	2079	2052
CATIONS	[meq/l]	43.36	31.760625	31.276704	31.039321	30.380912	30.757114	30.46754
ANIONS	[meq/l]	34.50	31.57	31.06	30.69	30.22	30.70	30.28
CAT+ANI	[meq/l]	77.86	63.33	62.33	61.79	60.60	61.45	60.75

N° CODESOURCE		50	60	50	50	50	50	50
		OBE	OBE	OBE	OBE	OBE	OBE	OBE
DATE		20-mai-87	4-jui-87	12-aou-87	8-sep-87	8-oct-87	13-nov-87	17-déc-87
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	8.3	8.3	8.5	8.4	8.4	8.4	8.3
COND.	[µS/cm à 20° C]	1850	1830	1870	1920	1890	1890	1890
pH		-	-	-	7.0	-	-	-
D.TOT.	[°F]	152.00	151.00	153.00	157.25	156.00	155.00	155.00
D.PASS.	[°F]	13.90	13.90	14.50	14.50	14.00	14.00	15.00
SO4	[mg/l]	1320	1310	1330	1370	1360	1350	1340
Cl	[mg/l]	0.76	1.37	1.10	0.80	0.00	0.00	0.00
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	170	170	177	177	171	171	183
Ca	[mg/l]	462	459	465	481	477	471	472
Mg	[mg/l]	86.3	85.8	87.1	87.7	87.0	88.4	87.7
Sr	[mg/l]	10.10	10.10	10.00	10.50	10.30	10.50	10.20
Li	[mg/l]	0.031	0.031	0.030	0.030	0.031	0.032	0.031
Na	[mg/l]	1.67	1.67	1.53	1.50	1.48	1.56	1.51
K	[mg/l]	0.57	0.57	0.57	0.60	0.56	0.61	0.57
F	[mg/l]	0.352	0.355	0.350	0.343	0.346	0.346	0.346
B	[mg/l]	0.019	0.020	0.019	0.016	0.017	0.022	0.015
Si	[mg/l]	2.47	2.49	2.46	2.41	2.43	2.43	2.43
TSD	[mg/l]	2054	2041	2076	2132	2110	2096	2098
CATIONS	[meq/l]	30.47326	30.28244	30.68	31.53875	31.2762	31.10055	31.08259
ANIONS	[meq/l]	30.30	30.11	30.64	31.46	31.13	30.92	30.92
CAT+ANI	[meq/l]	60.78	60.39	61.32	63.00	62.41	62.03	62.00

N° CODESOURCE		50	50	50	50	50	50	50
		OBE	OBE	OBE	OBE	OBE	OBE	OBE
DATE		29-jan-88	29-fév-88	29-mar-88	29-avr-88	31-mai-88	23-jui-88	22-jul-88
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	8.3	8.3	8.3	8.3	8.4	8.4	8.4
COND.	[µS/cm à 20° C]	1870	1890	1850	1870	1870	1860	1840
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	153.00	150.00	147.50	148.00	148.00	148.00	147.75
D.PASS.	[°F]	13.50	14.50	14.50	14.75	14.00	14.75	14.75
SO4	[mg/l]	1340	1300	1270	1280	1280	1260	1250
Cl	[mg/l]	0.00	0.00	0.52	0.00	0.00	1.37	1.09
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	165	177	177	180	171	180	180
Ca	[mg/l]	463	453	447	447	448	442	443
Mg	[mg/l]	88.2	87.2	84.8	85.5	85.0	88.6	87.2
Sr	[mg/l]	10.80	10.60	9.92	10.50	10.40	11.20	11.10
Li	[mg/l]	0.031	0.031	0.031	0.032	0.032	0.033	0.034
Na	[mg/l]	1.54	1.52	1.51	1.58	1.64	1.63	1.56
K	[mg/l]	0.61	0.58	0.56	0.54	0.58	0.59	0.60
F	[mg/l]	0.348	0.342	0.343	0.350	0.352	0.352	0.352
B	[mg/l]	0.017	0.019	0.022	0.021	0.021	0.020	0.013
Si	[mg/l]	2.44	2.40	2.41	2.46	2.47	2.47	2.47
TSD	[mg/l]	2072	2033	1994	2008	1999	1988	1977
CATIONS	[meq/l]	30.69061	30.10321	29.58989	29.66346	29.67359	29.68847	29.61831
ANIONS	[meq/l]	30.62	29.98	29.37	29.62	29.47	29.24	29.02
CAT+ANI	[meq/l]	61.31	60.09	58.96	59.28	59.14	58.93	58.64

N°	CODESOURCE	52	52	53	53	54	55	55
		BLE	BLE	BE	BE	BAJ	TER	TER
DATE		13-nov-87	28-jul-88	22-sep-87	28-jul-88	28-jul-88	8-avr-87	6-mai-87
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	700.0
TEMP.	[°C]	6.0	6.1	8.8	8.7	12.0	9.6	9.7
COND.	[µS/cm à 20° C]	1730	1680	1780	1790	1430	1950	1970
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	143.00	133.50	136.50	139.75	116.00	157.50	161.00
D.PASS.	[°F]	18.50	20.00	19.00	20.00	13.00	23.25	23.00
SO4	[mg/l]	1130	929	1240	1140	957	1230	1240
Cl	[mg/l]	4.18	7.77	4.70	5.45	1.34	2.69	2.76
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	226	244	232	244	159	284	281
Ca	[mg/l]	405	373	414	407	372	560	565
Mg	[mg/l]	99.9	96.1	78.5	90.7	54.7	60.3	60.5
Sr	[mg/l]	8.64	8.59	7.81	8.40	6.49	10.70	10.80
Li	[mg/l]	0.021	0.019	0.078	0.072	0.019	0.025	0.026
Na	[mg/l]	4.33	3.66	21.50	18.60	1.94	2.45	2.38
K	[mg/l]	8.81	8.46	4.93	4.44	3.09	3.31	3.17
F	[mg/l]	0.074	0.071	0.120	0.110	0.051	0.021	0.020
B	[mg/l]	0.016	0.013	0.093	0.085	0.022	0.019	0.000
S	[mg/l]	2.21	2.24	4.39	4.08	2.94	2.97	3.00
TSD	[mg/l]	1889	1673	2008	1923	1558	2156	2166
CATIONS	[meq/l]	29.06	27.10	28.46	28.98	23.40	33.36	33.60
ANONS	[meq/l]	27.35	23.56	29.75	27.89	22.56	30.33	30.49
CAT+ANI	[meq/l]	56.40	50.67	58.21	56.87	45.96	63.70	64.10

N°	CODESOURCE	56	57	58	59	59	62	62
		M3	M2	M1	PE	PE	CHA	CHA
DATE		28-jul-88	28-jul-88	28-jul-88	23-oct-87	7-jul-88	16-sep-87	23-oct-87
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	10.0	-	54.0
TEMP.	[°C]	11.5	11.3	11.0	5.3	5.4	5.8	5.7
COND.	[µS/cm à 20° C]	2080	2130	2190	1650	1590	1410	1410
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	-	188.25	190.25	129.00	123.50	106.00	105.00
D.PASS.	[°F]	-	20.50	20.50	17.50	17.50	15.00	18.50
SO4	[mg/l]	-	1530	1620	1070	1030	887	846
Cl	[mg/l]	-	3.51	1.81	0.00	1.04	0.87	0.00
NO3	[mg/l]	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	-	250	250	214	214	183	226
Ca	[mg/l]	-	529	536	450	442	371	370
Mg	[mg/l]	-	134.0	134.0	32.4	30.0	30.9	29.0
Sr	[mg/l]	-	10.10	12.00	7.99	7.82	6.98	7.06
Li	[mg/l]	-	0.022	0.028	0.021	0.021	0.034	0.035
Na	[mg/l]	-	1.66	1.92	2.05	1.63	7.10	7.13
K	[mg/l]	-	2.03	2.43	0.60	0.57	0.79	0.75
F	[mg/l]	-	0.015	0.018	0.200	0.190	0.056	0.057
B	[mg/l]	-	0.006	0.009	0.024	0.023	0.042	0.045
S	[mg/l]	-	3.95	3.35	1.77	1.64	3.80	3.70
TSD	[mg/l]	-	2464	2562	1789	1728	1492	1489
CATIONS	[meq/l]	-	37.78	38.20	25.91	24.79	21.55	21.34
ANONS	[meq/l]	-	36.05	37.88	25.79	24.98	21.49	21.32
CAT+ANI	[meq/l]	-	73.83	76.08	51.70	49.77	43.04	42.66

N°	CODESOURCE	62	62	63	63	65	66	66
		CHA	CHA	VAT	VAT	RAO	BS	BS
DATE		2-jul-88	7-jul-88	2-mai-88	7-jul-88	29-jul-88	24-mar-88	29-jul-88
DEBIT	[l/mn]	60.0	58.0	-	-	12.0	1.0	7.2
TEMP.	[°C]	5.7	5.7	28.7	28.8	7.5	5.5	7.8
COND.	[µS/cm à 20° C]	1430	1420	1620	1620	816	1720	1700
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	113.25	108.00	135.00	132.50	-	131.00	129.00
D.PASS.	[°F]	17.50	17.75	11.25	12.00	-	25.50	26.00
SO4	[mg/l]	928	874	1220	1220	-	936	933
Cl	[mg/l]	1.23	0.00	5.11	3.56	-	30.10	29.80
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	5.01
HCO3	[mg/l]	214	217	137	146	-	311	317
Ca	[mg/l]	393	379	374	365	-	433	425
Mg	[mg/l]	34.7	30.7	99.0	68.6	-	53.5	53.5
Sr	[mg/l]	7.03	6.93	8.47	8.59	-	7.82	8.38
Li	[mg/l]	0.032	0.030	0.130	0.130	-	0.026	0.027
Na	[mg/l]	7.62	6.45	22.8	20.4	-	5.79	4.78
K	[mg/l]	0.72	0.71	1.64	1.61	-	1.98	1.84
F	[mg/l]	0.055	0.051	1.540	1.540	-	0.022	0.022
B	[mg/l]	0.041	0.040	0.111	0.119	-	0.015	0.009
S	[mg/l]	3.60	3.60	6.44	6.38	-	3.59	3.56
TSD	[mg/l]	1590	1518	1876	1872	-	1783	1782
CATIONS	[meq/l]	22.98	21.90	28.05	27.47	-	26.51	26.07
ANONS	[meq/l]	22.86	21.75	27.88	27.98	-	25.44	25.55
CAT+ANI	[meq/l]	45.84	43.65	55.93	55.45	-	51.94	51.61

N°	CODE SOURCE	67	68	69	69	70	71	71
		TZE	HER	UNE	UNE	OFE	ETO	ETO
DATE		11-ao0-88	29-jui-88	30-sep-87	11-ao0-88	29-jui-88	30-oct-86	30-mar-88
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	2.0	-	-
TEMP.	[°C]	9.1	6.2	8.7	9.3	8.0	9.2	6.8
COND.	[µS/cm à 20° C]	835	900	2380	2330	1600	2010	1890
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	62.25	-	198.00	194.25	125.50	168.75	160.00
D.PASS.	[°F]	44.00	-	46.00	50.00	14.50	45.25	41.50
SO4	[mg/l]	165	-	1550	1450	1040	1180	1140
Cl	[mg/l]	3.56	-	3.65	5.23	1.83	4.42	4.08
NO3	[mg/l]	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	537	-	561	610	177	552	506
Ca	[mg/l]	129	-	376	419	426	535	484
Mg	[mg/l]	73.0	-	251.0	216.0	45.4	83.9	93.9
Sr	[mg/l]	1.00	-	7.73	8.32	5.70	7.43	4.96
Li	[mg/l]	0.01	-	0.122	0.109	0.020	0.025	0.027
Na	[mg/l]	10.10	-	33.10	29.40	3.35	7.71	7.13
K	[mg/l]	2.08	-	22.60	15.30	1.23	2.15	1.84
F	[mg/l]	0.020	-	0.002	0.001	0.022	0.018	0.036
B	[mg/l]	0.010	-	0.054	0.045	0.006	0.026	0.010
Si	[mg/l]	9.40	-	7.87	7.85	2.96	6.33	6.32
TSD	[mg/l]	930	-	2813	2761	1703	2379	2249
CATIONS	[meq/l]	12.96	-	41.62	40.55	25.31	34.16	32.35
ANIONS	[meq/l]	12.33	-	41.57	40.33	24.60	33.74	32.15
CAT+ANI	[meq/l]	25.29	-	83.19	80.88	49.91	67.90	64.50

N°	CODE SOURCE	71	71	72	72	73	73	74
		ETO	ETO	OPS	OPS	FEY	FEY	COT
DATE		11-ao0-88	23-nov-88	30-mar-88	29-jui-88	30-sep-87	11-ao0-88	11-ao0-88
DEBIT	[l/mn]	-	14.0	-	30.0	-	-	24.0
TEMP.	[°C]	9.5	7.3	6.2	6.4	8.1	8.5	10.5
COND.	[µS/cm à 20° C]	1900	2030	1660	1670	783	762	750
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	161.00	169.25	130.00	131.50	52.00	48.25	56.00
D.PASS.	[°F]	43.00	45.00	18.50	18.00	35.00	31.00	24.00
SO4	[mg/l]	1150	1170	997	1040	170	165	280
Cl	[mg/l]	3.73	3.15	1.48	2.13	10.60	12.90	1.42
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	525	549	226	220	427	378	293
Ca	[mg/l]	482	514	446	456	115	114	190
Mg	[mg/l]	97.6	98.4	42.2	41.4	56.5	47.9	20.2
Sr	[mg/l]	5.99	5.73	5.76	6.01	1.02	1.01	1.52
Li	[mg/l]	0.026	0.025	0.021	0.021	0.017	0.015	0.009
Na	[mg/l]	7.07	6.75	4.65	4.33	7.87	5.88	3.87
K	[mg/l]	1.93	1.96	1.37	1.22	3.83	2.87	1.63
F	[mg/l]	0.009	0.038	0.032	0.032	0.061	0.061	0.071
B	[mg/l]	0.000	0.015	0.005	0.009	0.016	0.000	0.003
Si	[mg/l]	6.40	6.50	2.63	2.61	4.04	5.77	2.04
TSD	[mg/l]	2279	2356	1727	1773	796	734	794
CATIONS	[meq/l]	32.58	34.22	26.10	26.53	10.85	9.98	11.39
ANIONS	[meq/l]	32.65	33.45	24.50	25.31	10.84	10.00	10.67
CAT+ANI	[meq/l]	65.22	67.67	50.60	51.84	21.69	19.98	22.06

N°	CODE SOURCE	75	75	75	75	75	76	76
		PER	PER	PER	PER	PER	DRA	DRA
DATE		30-sep-87	9-oct-87	13-nov-87	21-fév-88	11-ao0-88	30-oct-86	11-ao0-88
DEBIT	[l/mn]	-	112.0	109.0	103.0	145.0	-	-
TEMP.	[°C]	5.5	5.5	5.5	5.2	5.6	8.2	8.3
COND.	[µS/cm à 20° C]	2070	2070	2060	2060	2010	1600	1580
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	169.25	168.50	166.75	167.75	163.75	125.00	123.00
D.PASS.	[°F]	33.00	32.50	34.00	31.00	32.50	17.50	18.00
SO4	[mg/l]	1320	1320	1290	1320	1260	1040	1020
Cl	[mg/l]	3.74	3.46	3.45	3.84	5.54	0.00	0.47
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	403	397	415	378	397	214	220
Ca	[mg/l]	502	501	494	481	480	392	387
Mg	[mg/l]	105.0	104.0	104.0	114.0	105.0	64.0	61.9
Sr	[mg/l]	7.39	7.27	7.31	7.56	7.15	8.41	8.31
Li	[mg/l]	0.025	0.025	0.026	0.028	0.024	0.019	0.019
Na	[mg/l]	7.69	7.73	7.76	7.82	7.36	2.69	2.27
K	[mg/l]	3.72	3.52	3.44	3.54	3.64	2.30	2.34
F	[mg/l]	0.048	0.026	0.055	0.058	0.028	-	0.088
B	[mg/l]	0.016	0.021	0.024	0.020	0.013	-	0.000
Si	[mg/l]	6.71	6.81	6.85	6.47	6.32	-	2.99
TSD	[mg/l]	2359	2350	2332	2323	2272	1723	1705
CATIONS	[meq/l]	34.29	34.15	33.80	33.98	33.17	25.19	24.75
ANIONS	[meq/l]	34.19	34.08	33.76	33.79	32.89	25.15	24.85
CAT+ANI	[meq/l]	68.48	68.23	67.56	67.78	66.06	50.35	49.61

NP	CODESOURCE	77	77	78	78	79	79	80
		DFB	DFB	BCS	BCS	COY	COY	ROL
DATE		30-oct-86	11-a00-88	30-mar-88	11-a00-88	2-jui-87	11-a00-88	2-jui-87
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	142.0	125.0	37.8
TEMP.	[°C]	7.8	7.8	4.3	4.2	7.6	10.7	9.1
COND.	[µS/cm @ 20° C]	1050	1040	1240	1260	1850	1680	1580
pH		-	-	-	-	7.4	-	7.6
D.TOT.	[°F]	85.25	81.50	92.00	94.00	141.00	128.00	113.00
D.PASS.	[°F]	11.75	12.50	13.50	13.75	21.50	19.50	13.25
SO4	[mg/l]	685	675	744	761	1140	1040.00	961
Cl	[mg/l]	0.66	1.81	1.30	1.60	9.70	6.81	10.60
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	1.18	5.10
HCO3	[mg/l]	143	153	165	168	262	238.00	162
Ca	[mg/l]	277	267	275	280	495	450.00	340
Mg	[mg/l]	37.7	34.7	55.0	57.1	40.8	37.10	69.1
Sr	[mg/l]	5.03	4.93	6.89	6.88	5.19	4.71	5.88
Li	[mg/l]	0.013	0.013	0.015	0.015	0.031	0.03	0.036
Na	[mg/l]	3.92	3.38	1.14	1.00	6.33	5.75	9.83
K	[mg/l]	2.29	2.19	2.11	2.12	2.00	1.82	2.01
F	[mg/l]	-	0.068	0.064	0.065	-	-	-
B	[mg/l]	-	0.005	0.006	0.001	-	-	-
S	[mg/l]	-	3.57	2.27	2.26	3.95	3.59	4.95
TSD	[mg/l]	1155	1145	1252	1280	1963	1782.28	1565
CATIONS	[meq/l]	17.27	16.49	18.51	18.92	28.51	25.92	23.27
ANIONS	[meq/l]	16.63	16.61	18.23	18.64	28.33	25.82	23.04
CAT+ANI	[meq/l]	33.90	33.10	36.74	37.57	56.83	51.74	46.31

NP	CODESOURCE	80	81	81	82	82	83	83
		POL	ML	ML	ANC	ANC	CLE	CLE
DATE		11-a00-88	2-jui-87	11-a00-88	2-jui-87	11-a00-88	2-jui-87	11-sep-87
DEBIT	[l/mn]	42.0	29.6	41.0	36.9	57.0	33.1	-
TEMP.	[°C]	9.3	9.2	8.9	9	8.9	9.1	10.6
COND.	[µS/cm @ 20° C]	1400	1830	1860	1900	1720	2240	2100
pH		-	7.4	-	7.3	-	7.5	-
D.TOT.	[°F]	99.50	136.00	123.35	145.00	131.25	173.00	176.00
D.PASS.	[°F]	11.75	11.50	10.45	13.25	12.00	20.00	22.25
SO4	[mg/l]	846.00	1200	1090.00	1260	1140.00	1460	1500
Cl	[mg/l]	9.33	8.80	7.98	11.20	10.14	4.60	5.32
NO3	[mg/l]	4.49	2.00	1.81	2.60	2.35	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	143.25	140	127.25	162	146.40	244	271
Ca	[mg/l]	299.00	414	400.00	440	398.00	545	535
Mg	[mg/l]	60.80	77.9	70.70	81.0	73.32	86.7	101.0
Sr	[mg/l]	5.17	5.56	5.04	6.34	5.74	7.41	8.34
Li	[mg/l]	0.03	0.042	0.04	0.045	0.04	0.045	0.033
Na	[mg/l]	8.65	10.10	9.16	10.10	9.14	8.75	9.20
K	[mg/l]	1.77	1.95	1.77	2.08	1.88	1.97	2.08
F	[mg/l]	-	-	-	-	-	-	0.057
B	[mg/l]	-	-	-	-	-	-	0.035
S	[mg/l]	4.36	4.45	4.04	4.60	4.16	4.60	4.71
TSD	[mg/l]	1377.38	1861	1687.61	1975	1787.78	2358	2437
CATIONS	[meq/l]	20.47	27.69	25.09	29.26	26.47	34.93	35.65
ANIONS	[meq/l]	20.27	27.56	25.03	29.24	26.46	34.53	35.83
CAT+ANI	[meq/l]	40.75	55.25	50.13	58.50	52.93	69.46	71.48

NP	CODESOURCE	83	83	83	84	84	85	85
		CLE	CLE	CLE	CHB	CHB	BET	BET
DATE		30-mar-88	11-a00-88	23-nov-88	2-jui-87	11-a00-88	30-mar-88	11-a00-88
DEBIT	[l/mn]	37.0	33.0	33.0	2.9	2.0	-	-
TEMP.	[°C]	6.5	10.5	8.4	9.4	13.6	6.1	6.5
COND.	[µS/cm @ 20° C]	2060	2070	2190	2370	2130	1280	1250
pH		-	-	-	7.4	-	-	-
D.TOT.	[°F]	174.00	174.50	174.75	187.00	188.00	96.00	92.50
D.PASS.	[°F]	19.50	21.50	22.00	28.80	26.00	19.25	19.00
SO4	[mg/l]	1490	1490	1480	1550	1390.00	729	701
Cl	[mg/l]	3.64	4.22	5.48	5.40	4.85	2.72	5.05
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71
HCO3	[mg/l]	238	262	268	351	317.20	235	232
Ca	[mg/l]	534	535	525	590	630.00	260	255
Mg	[mg/l]	97.0	97.4	104.0	93.00	83.60	74.0	68.9
Sr	[mg/l]	7.75	8.19	8.05	10.10	9.08	5.68	5.49
Li	[mg/l]	0.032	0.030	0.030	0.048	0.04	0.014	0.013
Na	[mg/l]	8.35	8.39	8.01	9.39	8.44	2.34	2.11
K	[mg/l]	2.04	2.01	2.13	2.04	1.83	2.20	2.19
F	[mg/l]	0.064	0.051	0.064	-	-	0.039	0.037
B	[mg/l]	0.029	0.027	0.028	-	-	0.008	0.009
S	[mg/l]	4.35	4.77	4.52	5.00	4.49	3.17	2.97
TSD	[mg/l]	2385	2412	2406	2611	2346.81	1314	1275
CATIONS	[meq/l]	35.22	35.31	35.34	37.79	33.95	19.35	18.87
ANIONS	[meq/l]	35.03	35.44	35.37	38.18	34.28	19.11	18.55
CAT+ANI	[meq/l]	70.25	70.76	70.71	75.97	68.22	38.45	37.22

N°	CODE SOURCE	85	86	87	87	88	89	90
		BET	UEA	APR	APR	FRJ	FFC	BEJ
DATE		11-sep-87	11-ao0-88	11-sep-87	11-ao0-88	11-ao0-88	11-ao0-88	11-ao0-88
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	6.6	13.8	11.5	11.6	9.8	8.3	10.4
COND.	[µS/cm à 20° C]	1270	1150	2320	2280	2040	978	1980
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	94.25	77.00	195.00	185.25	167.75	-	169.50
D.PASS.	[°F]	19.50	24.00	33.50	32.00	24.50	-	19.25
SO4	[mg/l]	712	430	1550	1490	1330	-	1410
Cl	[mg/l]	4.44	78.10	23.30	22.90	23.30	-	10.70
NO3	[mg/l]	0.68	16.20	0.00	0.00	17.90	-	2.13
HCO3	[mg/l]	238	293	409	390	299	-	235
Ca	[mg/l]	256	251	526	509	542	-	492
Mg	[mg/l]	71.0	34.0	153.0	139.0	77.0	-	111.0
Sr	[mg/l]	5.52	2.46	8.08	8.81	7.80	-	9.27
Li	[mg/l]	0.012	0.016	0.048	0.046	0.026	-	0.022
Na	[mg/l]	2.47	17.60	16.70	16.20	9.33	-	2.69
K	[mg/l]	2.20	2.61	3.55	3.24	7.33	-	4.62
F	[mg/l]	0.041	0.080	0.073	0.055	0.064	-	0.077
B	[mg/l]	0.009	0.085	0.035	0.033	0.021	-	0.018
Si	[mg/l]	3.30	4.20	5.92	5.61	4.44	-	2.15
TSD	[mg/l]	1298	1129	2695	2585	2318	-	2280
CATIONS	[meq/l]	19.00	16.21	39.84	37.83	34.15	-	34.13
ANIONS	[meq/l]	18.86	16.22	39.63	38.07	33.54	-	33.55
CAT+ANI	[meq/l]	37.87	32.43	79.47	75.89	67.69	-	67.67

N°	CODE SOURCE	91	91	92	92	93	94	95
		SAZ	SAZ	SAL	SAL	AFS	ARE	ART
DATE		25-mar-88	30-juil-88	25-mar-88	30-juil-88	30-juil-88	30-juil-88	25-mar-88
DEBIT	[l/mn]	71.0	71.0	-	150.0	-	10.0	-
TEMP.	[°C]	10.5	10.7	6.8	7.0	8.0	6.5	2.8
COND.	[µS/cm à 20° C]	2290	2300	1720	1800	1160	1480	1600
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	195.75	196.50	141.00	147.50	83.25	120.25	127.75
D.PASS.	[°F]	25.50	25.00	23.25	24.00	10.50	11.00	8.50
SO4	[mg/l]	1590	1600	945	1110	685	1000	1120
Cl	[mg/l]	8.75	8.97	5.05	5.82	1.56	3.24	1.53
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	1.22	2.06	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	311	305	284	293	128	134	104
Ca	[mg/l]	541	560	368	412	263	383	406
Mg	[mg/l]	145.0	135.0	117.0	106.0	41.9	58.4	62.3
Sr	[mg/l]	10.30	11.00	6.32	9.22	4.37	6.30	6.54
Li	[mg/l]	0.055	0.048	0.036	0.035	0.014	0.016	0.017
Na	[mg/l]	11.90	10.70	5.78	5.25	1.31	1.80	2.18
K	[mg/l]	6.80	6.92	4.90	5.03	0.77	0.71	0.94
F	[mg/l]	0.940	0.880	0.098	0.085	0.014	0.012	0.014
B	[mg/l]	0.021	0.013	0.018	0.009	0.006	0.009	0.010
Si	[mg/l]	4.61	4.60	3.94	3.96	2.29	2.67	2.31
TSD	[mg/l]	2630	2643	1743	1952	1128	1590	1706
CATIONS	[meq/l]	39.88	39.96	28.57	29.86	16.75	24.17	25.66
ANIONS	[meq/l]	38.50	38.61	24.49	28.11	16.41	23.11	25.06
CAT+ANI	[meq/l]	78.37	78.57	53.07	57.97	33.16	47.28	50.73

N°	CODE SOURCE	95	96	97	97	98	98	99
		ART	LIC	COG	COG	COF	COF	FOJ
DATE		30-juil-88	30-juil-88	5-déc-86	30-juil-88	5-déc-86	30-juil-88	23-juil-88
DEBIT	[l/mn]	-	100.0	-	-	-	182.0	-
TEMP.	[°C]	8.4	6.3	26.6	26.8	27.4	28.7	9.3
COND.	[µS/cm à 20° C]	1570	1180	3900	3540	5600	5130	1960
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	126.25	89.50	203.50	191.00	231.50	223.75	166.75
D.PASS.	[°F]	9.50	23.00	20.00	21.00	24.50	23.50	17.00
SO4	[mg/l]	1060	553	1980	1610	2470	2320	1430
Cl	[mg/l]	1.75	0.00	450.00	365.00	852.00	744.00	1.95
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	116	281	244	256	299	287	207
Ca	[mg/l]	401	263	583	572	601	599	464
Mg	[mg/l]	61.8	56.4	137.0	114.0	194.0	177.0	121
Sr	[mg/l]	6.82	5.12	15.30	11.50	16.80	12.60	11.20
Li	[mg/l]	0.018	0.021	0.600	0.590	1.150	1.140	0.024
Na	[mg/l]	1.81	1.21	415.00	237.00	770.00	672.00	2.26
K	[mg/l]	0.85	1.27	29.30	28.90	39.30	35.90	3.17
F	[mg/l]	0.013	0.002	1.210	1.330	1.930	1.850	0.530
B	[mg/l]	0.010	0.006	0.670	0.740	1.510	1.470	0.025
Si	[mg/l]	2.30	2.55	7.71	8.50	12.60	12.70	2.55
TSD	[mg/l]	1652	1163	3864	3206	5259	4864	2244
CATIONS	[meq/l]	25.36	17.97	60.26	50.05	82.50	76.52	33.542838
ANIONS	[meq/l]	24.02	16.11	57.98	48.09	80.46	74.09	33.25
CAT+ANI	[meq/l]	49.38	34.09	118.25	98.14	162.96	150.60	66.80

N° CODE SOURCE		99	99	99	99	99	99	99
		FOU	FOU	FOU	FOU	FOU	FOU	FOU
DATE		6-mai-87	12-a00-87	29-sep-87	8-oct-87	13-nov-87	17-déc-87	29-jan-88
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	9.2	9.2	9.2	9.2	9.1	9.1	9.1
COND.	[µS/cm à 20° C]	1950	1960	1930	1950	1950	1920	1950
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	163.50	164.75	162.50	164.00	164.00	162.25	165.00
D.PASS.	[°F]	16.00	15.50	16.50	16.50	16.50	16.50	15.50
SO4	[mg/l]	1410	1430	1400	1410	1410	1400	1420
Cl	[mg/l]	0.85	2.20	1.09	0.97	0.95	1.09	0.62
NO3	[mg/l]	0.00	1.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	195	189	201	201	201	201	189
Ca	[mg/l]	467	448	445	450	453	448	459
Mg	[mg/l]	111	126	122	123	121	120	120
Sr	[mg/l]	10.60	10.60	10.60	10.50	10.90	10.90	10.90
Li	[mg/l]	0.027	0.027	0.027	0.027	0.028	0.028	0.026
Na	[mg/l]	2.20	2.64	2.62	2.59	2.60	2.56	2.73
K	[mg/l]	3.42	3.37	3.28	3.21	3.29	3.19	3.20
F	[mg/l]	0.550	0.550	0.530	0.530	0.660	0.510	0.530
B	[mg/l]	0.026	0.021	0.022	0.022	0.027	0.024	0.024
Si	[mg/l]	2.78	2.80	2.73	2.73	2.74	2.79	2.69
TSD	[mg/l]	2204	2217	2169	2205	2206	2190	2209
CATIONS	[meq/l]	32.860689	33.163998	32.686744	33.008539	33.005521	32.669486	33.22575
ANIONS	[meq/l]	32.61	32.99	32.51	32.71	32.72	32.50	32.71
CAT+ANI	[meq/l]	65.47	66.15	65.19	65.72	65.72	65.17	65.93

N° CODE SOURCE		99	99	99	99	99	100	100
		FOU	FOU	FOU	FOU	FOU	POP	POP
DATE		29-1év-88	29-mar-88	29-avr-88	31-mai-88	22-jul-88	6-mai-87	12-a00-87
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	9.1	9.1	9.1	9.2	9.2	8.6	11.4
COND.	[µS/cm à 20° C]	1980	1940	2000	1990	1930	1960	1990
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	165.25	163.00	166.75	166.50	160.00	164.75	168.25
D.PASS.	[°F]	17.50	16.00	17.50	16.00	16.50	17.00	17.50
SO4	[mg/l]	1420	1410	1430	1440	1400	1390	1440
Cl	[mg/l]	0.83	2.10	1.53	1.37	2.57	20.60	8.78
NO3	[mg/l]	1.27	0.00	0.00	1.02	1.11	10.50	7.68
HCO3	[mg/l]	214	195	214	165	201	207	214
Ca	[mg/l]	463	459	464	463	438	463	473
Mg	[mg/l]	118	115	121	121	120	117	119
Sr	[mg/l]	11.10	10.30	10.90	10.70	11.10	10.10	11.10
Li	[mg/l]	0.027	0.026	0.027	0.027	0.025	0.028	0.029
Na	[mg/l]	2.61	2.65	2.68	2.56	2.31	12.00	5.22
K	[mg/l]	3.20	3.11	3.23	3.24	3.22	4.15	4.60
F	[mg/l]	0.530	0.530	0.540	0.550	0.530	0.530	0.520
B	[mg/l]	0.027	0.025	0.024	0.020	0.018	-	0.025
Si	[mg/l]	2.64	2.69	2.69	2.79	2.76	-	3.12
TSD	[mg/l]	2237	2201	2250	2241	2183	2235	2287
CATIONS	[meq/l]	33.260367	32.795089	33.556224	33.496795	32.16451	33.59	34.00
ANIONS	[meq/l]	33.14	32.64	33.34	33.26	32.57	33.12	33.88
CAT+ANI	[meq/l]	66.40	65.44	66.90	66.76	64.73	66.71	67.88

N° CODE SOURCE		100	100	100	100	100	100	100
		POP	POP	POP	POP	POP	POP	POP
DATE		29-sep-87	8-oct-87	13-nov-87	17-déc-87	29-jan-88	29-1év-88	29-mar-88
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	11.5	11.3	10.2	8.3	7.4	7.1	7.1
COND.	[µS/cm à 20° C]	1990	2000	1960	1890	1960	1980	1940
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	167.25	166.75	162.00	153.00	161.50	166.00	159.25
D.PASS.	[°F]	16.00	17.00	17.75	18.00	16.50	17.75	17.75
SO4	[mg/l]	1450	1440	1380	1290	1330	1400	1280
Cl	[mg/l]	5.46	5.70	10.00	13.60	44.90	22.80	60.10
NO3	[mg/l]	2.47	1.88	0.71	0.81	3.04	5.61	14.30
HCO3	[mg/l]	195	207	217	220	201	217	217
Ca	[mg/l]	469	470	443	412	448	459	450
Mg	[mg/l]	119	117	122	119	118	122	111
Sr	[mg/l]	10.60	11.10	10.90	10.40	11.10	11.30	11.00
Li	[mg/l]	0.028	0.029	0.028	0.027	0.027	0.027	0.027
Na	[mg/l]	4.76	4.53	7.64	10.20	16.50	15.70	18.20
K	[mg/l]	4.41	4.28	3.96	3.78	3.80	3.88	3.97
F	[mg/l]	0.540	0.530	0.530	0.510	0.500	0.500	0.510
B	[mg/l]	0.016	0.021	0.023	0.020	0.021	0.018	0.020
Si	[mg/l]	3.05	3.05	3.00	2.80	2.80	2.87	2.88
TSD	[mg/l]	2265	2266	2198	2083	2180	2260	2169
CATIONS	[meq/l]	33.755201	33.638856	32.825117	31.126693	33.131385	33.981048	32.731638
ANIONS	[meq/l]	33.61	33.60	32.60	30.88	32.33	33.46	32.15
CAT+ANI	[meq/l]	67.37	67.24	65.43	62.01	65.46	67.44	64.88

N°	CODESOURCE	100	100	100	100	101	102	102
		POP	POP	POP	POP	BER	DAP	DAP
DATE		29-avr-88	31-mai-88	23-jui-88	22-jul-88	29-jul-88	10-mar-87	2-avr-87
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	2.0
TEMP.	[°C]	8.4	9.9	10.5	11.4	5.4	3.6	3.5
COND.	[µS/cm à 20° C]	1990	2000	2000	2000	1830	2160	2140
pH		-	-	-	-	-	-	7.0
D.TOT.	[°F]	167.25	168.50	168.00	164.00	158.00	182.25	180.00
D.PASS.	[°F]	17.00	16.75	17.50	17.00	24.50	34.00	34.00
SO4	[mg/l]	1420	1450	1450	1380	1140	1420	1400
Cl	[mg/l]	14.40	7.39	7.20	6.78	0.00	1.34	1.64
NO3	[mg/l]	8.28	9.94	8.29	8.05	0.00	1.09	1.15
HCO3	[mg/l]	207	204	214	207	299	415	415
Ca	[mg/l]	461	468	465	454	534	516	519
Mg	[mg/l]	124	123	123	120	56.8	127.0	120.0
Sr	[mg/l]	11.10	11.10	11.40	11.50	11.60	10.80	10.70
Li	[mg/l]	0.028	0.028	0.029	0.029	0.027	0.050	0.055
Na	[mg/l]	10.6	5.95	4.15	3.66	0.91	3.96	4.02
K	[mg/l]	4.20	4.60	4.40	4.51	1.04	1.05	1.13
F	[mg/l]	0.530	0.560	0.520	0.530	0.017	0.035	0.051
B	[mg/l]	0.023	0.024	0.021	0.018	0.016	0.028	0.024
Si	[mg/l]	2.82	2.88	2.86	2.96	2.31	2.96	2.90
TSD	[mg/l]	2265	2288	2290	2199	2046	2499	2475
CATIONS	[meq/l]	34.035949	34.102282	33.876163	33.064333	31.67	36.67	36.25
ANIONS	[meq/l]	33.53	33.94	34.05	32.48	28.63	36.42	36.01
CAT+ANI	[meq/l]	67.57	68.04	67.93	65.54	60.30	73.09	72.26

N°	CODESOURCE	102	102	102	102	102	102	102
		DAP	DAP	DAP	DAP	DAP	DAP	DAP
DATE		20-mai-87	12-aoû-87	25-sep-87	3-nov-87	3-déc-87	24-mar-88	29-avr-88
DEBIT	[l/mn]	2.1	2.1	1.9	2.2	2.0	8.0	2.2
TEMP.	[°C]	6.4	9.3	10.1	8.5	5.6	3.6	6.3
COND.	[µS/cm à 20° C]	2170	2190	2180	2160	2150	1430	2100
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	182.50	183.75	183.25	182.00	181.00	110.00	178.00
D.PASS.	[°F]	36.00	35.00	34.00	32.50	34.50	24.50	34.00
SO4	[mg/l]	1400	1420	1430	1420	1410	821	1380
Cl	[mg/l]	2.18	2.33	2.25	1.94	0.77	0.33	0.00
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.60	0.00
HCO3	[mg/l]	439	427	415	397	421	299	415
Ca	[mg/l]	519	527	528	527	519	322	495
Mg	[mg/l]	126.0	124.0	122.0	120.0	122.0	70.6	130.0
Sr	[mg/l]	10.40	10.70	10.90	10.90	10.80	6.49	10.70
Li	[mg/l]	0.055	0.057	0.055	0.056	0.054	0.034	0.053
Na	[mg/l]	4.11	4.24	4.10	4.00	4.10	2.54	3.96
K	[mg/l]	1.19	1.22	1.27	1.17	1.15	0.91	1.23
F	[mg/l]	0.041	0.040	0.042	0.038	0.033	0.072	0.061
B	[mg/l]	0.027	0.026	0.027	0.025	0.020	0.021	0.025
Si	[mg/l]	3.00	2.49	3.11	3.10	3.06	2.44	2.71
TSD	[mg/l]	2505	2519	2517	2485	2492	1530	2439
CATIONS	[meq/l]	36.74	36.99	36.87	36.65	36.41	22.18	35.87
ANIONS	[meq/l]	36.41	36.63	36.64	36.12	36.28	22.08	35.53
CAT+ANI	[meq/l]	73.15	73.62	73.51	72.77	72.69	44.26	71.40

N°	CODESOURCE	102	102	102	103	103	103	103
		DAP	DAP	DAP	DAG	DAG	DAG	DAG
DATE		31-mai-88	23-jui-88	22-jul-88	10-mar-87	2-avr-87	20-mai-87	12-aoû-87
DEBIT	[l/mn]	-	2.5	3.5	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	8.1	9.0	9.9	7.1	7.2	7.6	8.0
COND.	[µS/cm à 20° C]	2100	2090	2050	1970	2020	2040	2030
pH		-	-	-	7.0	7.0	-	-
D.TOT.	[°F]	178.50	178.25	176.25	165.50	168.25	170.25	168.00
D.PASS.	[°F]	34.00	32.50	32.00	25.00	25.00	24.50	24.50
SO4	[mg/l]	1380	1380	1350	1360	1380	1410	1390
Cl	[mg/l]	0.00	0.00	1.89	0.40	3.33	3.76	3.59
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	415	397	390	305	305	299	299
Ca	[mg/l]	498	507	500	563	576	574	582
Mg	[mg/l]	129.0	123.0	122.0	57.4	56.5	62.7	52.3
Sr	[mg/l]	10.50	10.30	10.50	11.10	11.10	10.90	10.90
Li	[mg/l]	0.052	0.048	0.047	0.045	0.045	0.044	0.042
Na	[mg/l]	4.14	3.26	3.26	5.90	6.21	6.14	5.63
K	[mg/l]	1.24	1.14	1.11	1.14	1.14	1.04	0.94
F	[mg/l]	0.050	0.033	0.037	0.043	0.040	0.041	0.041
B	[mg/l]	0.029	0.024	0.027	0.021	0.019	0.017	0.019
Si	[mg/l]	2.97	2.98	3.03	2.67	2.68	2.68	2.64
TSD	[mg/l]	2441	2424	2382	2307	2342	2370	2347
CATIONS	[meq/l]	35.95	35.85	35.43	33.38	33.97	34.36	33.89
ANIONS	[meq/l]	35.53	35.23	34.56	33.33	33.83	34.36	33.94
CAT+ANI	[meq/l]	71.48	71.08	69.99	66.71	67.79	68.73	67.83

CODESOURCE		103	103	103	103	103	103	103
		DAG	DAG	DAG	DAG	DAG	DAG	DAG
DATE		25-sep-87	3-nov-87	3-déc-87	24-mar-88	29-avr-88	31-mai-88	23-jui-88
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	-	-	-	-
TEMP.	[°C]	7.9	7.5	7.4	7.4	7.5	7.5	7.6
COND.	[µS/cm à 20° C]	1970	1960	1980	1980	2020	2020	2010
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	166.00	164.50	166.00	166.00	168.00	167.50	166.50
D.PASS.	[°F]	24.50	25.00	25.50	25.25	24.25	24.00	25.25
SO4	[mg/l]	1370	1350	1360	1360	1390	1390	1370
Cl	[mg/l]	2.82	2.44	2.34	2.12	2.24	2.84	3.47
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	[mg/l]	299	305	311	308	296	293	308
Ca	[mg/l]	573	568	575	575	575	574	577
Mg	[mg/l]	52.9	52.0	51.8	51.9	56.9	56.2	52.2
Sr	[mg/l]	11.00	11.40	11.30	11.10	10.90	11.00	10.70
Li	[mg/l]	0.043	0.043	0.044	0.040	0.040	0.039	0.038
Na	[mg/l]	5.90	5.91	5.86	6.13	5.95	5.71	5.12
K	[mg/l]	0.95	0.88	0.86	0.95	0.91	0.93	0.94
F	[mg/l]	0.037	0.045	0.039	0.035	0.041	0.046	0.033
B	[mg/l]	0.023	0.021	0.014	0.021	0.022	0.019	0.022
S	[mg/l]	2.64	2.62	2.67	2.67	2.63	2.62	2.64
TSD	[mg/l]	2318	2298	2321	2318	2340	2336	2330
CATIONS	[meq/l]	33.50	33.19	33.51	33.53	33.93	33.81	33.60
ANIONS	[meq/l]	33.50	33.18	33.48	33.43	33.85	33.82	33.67
CAT+ANI	[meq/l]	67.01	66.36	66.99	66.96	67.78	67.63	67.28

CODESOURCE	NP	103	104	104	105	106	107	108
		DAG	SON	SON	SX	CHT	LAA	GAN
DATE		22-juil-88	10-sep-87	29-juil-88	29-juil-88	29-juil-88	30-juil-88	14-juil-88
DEBIT	[l/mn]	-	-	-	1500.0	-	212.0	1500.0
TEMP.	[°C]	7.6	12.0	10.7	4.2	16.4	7.8	6.7
COND.	[µS/cm à 20° C]	2010	1130	1130	1810	920	1490	1040
pH		-	-	-	-	-	-	-
D.TOT.	[°F]	162.00	84.00	85.00	146.75	67.50	119.00	72.00
D.PASS.	[°F]	26.00	12.75	12.00	17.00	10.00	17.50	6.25
SO4	[mg/l]	1310	638	622	1180	511	962	610
Cl	[mg/l]	3.66	3.72	3.56	3.92	1.88	1.85	1.62
NO3	[mg/l]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55
HCO3	[mg/l]	317	156	146	207	122	214	68
Ca	[mg/l]	568	260	267	488	177	351	230
Mg	[mg/l]	46.1	45.1	43.9	58.6	55.5	74.1	29.4
Sr	[mg/l]	10.60	4.23	3.88	7.11	5.37	7.76	4.62
Li	[mg/l]	0.037	0.009	0.008	0.019	0.027	0.022	0.000
Na	[mg/l]	5.46	3.82	3.22	3.15	11.70	1.45	1.03
K	[mg/l]	0.98	0.92	0.94	1.15	2.72	1.80	2.53
F	[mg/l]	0.028	0.073	0.071	0.062	0.295	0.015	-
B	[mg/l]	0.021	0.007	0.002	0.004	0.027	0.008	-
S	[mg/l]	2.57	2.92	2.74	2.77	6.42	4.04	-
TSD	[mg/l]	2265	1114	1094	1952	894	1618	965
CATIONS	[meq/l]	32.67	16.98	17.19	29.51	14.13	23.91	14.11
ANIONS	[meq/l]	32.58	15.94	15.45	28.08	12.71	23.58	14.15
CAT+ANI	[meq/l]	65.24	32.92	32.64	57.59	26.84	47.49	28.26

Annexe 3.2

Variations spatiales des paramètres physico-chimiques: 23 juin au 18 août 1988

N° source	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Code	SEF	SEC	SES	SEM	SEA	LEI	LEG	IJB	LED	BAP	PAR	NAV	RAE	NOC	SCH	BON
Date	28.6.88	28.6.88	28.6.88	28.6.88	28.6.88	28.6.88	28.6.88	28.6.88	23.6.88	7.7.88	7.7.88	7.7.88	28.6.88	16.8.88	28.6.88	24.6.88
Débit	40	-	98	344	-	-	-	-	112	-	-	-	-	-	2	-
Temp.	10.5	10.4	9.9	10	10	10.9	10.1	9.2	9.1	5.1	6.3	9.7	9.8	11	12.7	13.4
Conductivité	1480	1450	1550	1540	1540	1480	1510	1540	1900	1290	1110	1280	1250	1420	2030	1160
pH	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-
Rh	-	-	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	189	-	-
Dureté totale	-	-	-	120.25	-	-	118	-	156.25	97	80.5	96	91.25	108	168	82
Dureté pass.	-	-	-	21	-	-	17.5	-	17.5	16.5	16.5	18.5	16.5	20.66	20.5	18.5
SO ₄	-	-	-	972	-	-	984	-	1290	751	613	694	675	740	1390	619
Cl	-	-	-	2.76	-	-	1.62	-	1.77	0	0	1.84	1.32	18.3	13.7	7.96
NO ₃	-	-	-	0	-	-	0	-	0	0	0	1.3	0	5.35	35.5	1.18
HCO ₃	-	-	-	256.2	-	-	213.5	-	213.5	201.3	201.3	225.7	201.3	252	250.1	225.7
Ca	-	-	-	370	-	-	389	-	536	360	275	274	268	329	560	270
Mg	-	-	-	63.1	-	-	47.9	-	51.1	16.6	28.4	65.1	57.5	60.9	66.3	34.5
Sr	-	-	-	16.4	-	-	10.8	-	12.9	3.12	2.65	7.06	6.29	7.28	9.16	4.78
Li	-	-	-	0.04	-	-	0.03	-	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02
Na	-	-	-	5.12	-	-	4.77	-	5.63	0.81	1.02	4.16	2.91	13.65	4.15	7.27
K	-	-	-	1.28	-	-	0.86	-	0.97	1.32	1.76	1.66	0.83	1.38	1.19	1.44
F	-	-	-	0.2	-	-	0.18	-	0.23	0.06	0.1	0.12	0.18	0.32	0.07	0.07
B	-	-	-	0.09	-	-	0.08	-	0.09	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.07
Si	-	-	-	3.6	-	-	3.37	-	3.12	1.52	1.91	3.28	2.94	3.91	4.23	3.55
TSD	-	-	-	1690.79	-	-	1656.11	-	2115.34	1335.78	1125.2	1278.28	1216.33	1432.16	2334.47	1175.54
Al	-	-	-	30.3	-	-	12.1	-	14.1	93.8	0	1.9	19.7	-	17.4	15.8
Se	-	-	-	5.7	-	-	2.6	-	3.6	2.3	2.3	3	2.8	-	3.3	2.5
V	-	-	-	0.6	-	-	0.3	-	0.2	0.4	0.5	0.6	0.4	-	0.3	0.5
Cr	-	-	-	0.5	-	-	0	-	0	0.9	0	0.1	0.3	-	0	0.6
Mn	-	-	-	28.7	-	-	7.9	-	23.5	3.8	15.6	1.4	6.9	0.5	17.7	12.3
Ni	-	-	-	5.6	-	-	2.3	-	4.7	5.9	2.8	35.7	2.1	-	3.9	2.5
Cu	-	-	-	3.5	-	-	1.5	-	3.9	14.4	2.4	3.9	2.6	3	3.1	3
Zn	-	-	-	2.7	-	-	0	-	0	22.5	2.1	8.3	0.8	3	0.6	5.4
Ge	-	-	-	0	-	-	0	-	0.1	0.4	0.6	0.8	0.8	-	0	0.7
As	-	-	-	1	-	-	0.2	-	0.3	1	0.2	0	0	-	0.1	0.6
Br	-	-	-	27.7	-	-	9.8	-	5.8	13.8	1.8	3.8	6.4	-	37.8	24.1
Rb	-	-	-	53.3	-	-	20.9	-	28.4	10.9	8.2	13.7	14.2	-	19	11.7
Y	-	-	-	2.4	-	-	0.7	-	1.5	0.4	0.5	0.6	0.4	-	0.6	0.3
Cd	-	-	-	0.5	-	-	0	-	0.3	0.3	0.3	0.8	0.4	0.4	0	0.5
I	-	-	-	17	-	-	4.6	-	3.1	147.7	2.5	3.2	3.1	-	2.5	12.9
Ba	-	-	-	16.7	-	-	12.1	-	6.3	27	21.6	24.2	18.8	10	11.7	16.2
U	-	-	-	2.5	-	-	1.2	-	1.7	0.7	0.6	2.2	1.6	-	2	1
Rn	-	-	-	6	-	-	-	-	9	4	-	-	7	-	3	-

N° source		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Code		BAN	SAI	MOD	MOE	PAU	PAA	HUE	SUB	VAU	LAN	FOU	RAS	ERN	CHU	CHD	JOE
Date		24.6.88	24.6.88	24.6.88	24.6.88	24.6.88	24.6.88	24.6.88	28.6.88	24.6.88	24.6.88	28.6.88	24.6.88	24.6.88	28.6.88	28.6.88	28.6.88
Débit	[l/min]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	-	150	-
Temp.	[°C]	8.3	11.8	10.7	13.1	10.6	10.1	8.3	9.4	9.2	7.5	11.7	5.7	6.3	-	10	6.9
Conductivité	[µS/cm à 20°C]	1850	931	1740	1910	2070	2060	1880	1890	1990	2120	1320	1640	1400	-	1620	961
pH		-	7	-	-	-	-	7.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rh	[mV]	-	200	-	-	-	-	201	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dureté totale	[°F]	147.5	62.7	140.5	-	171.5	167	155.75	157.5	160.75	171.5	94.5	124.75	101	-	130.25	73.75
Dureté pass.	[°F]	28	19	26.5	-	24.5	24.5	25	22.5	25.5	18.5	21.75	19	22	-	20.5	19.5
SO ₄	[mg/l]	1050	378.1	1080	-	1370	1350	1260	1260	1350	1440	700	1000	766	-	1010	462
Cl	[mg/l]	23.6	75.91	17.1	-	15.5	13.3	7.8	3.38	13.3	18.3	1.86	0	1.32	-	1.05	1.15
NO ₃	[mg/l]	0	0	2.23	-	3.98	2.67	1.1	0	1.97	0	1.96	0	1.35	-	0	0
HCO ₃	[mg/l]	341.6	231.8	323.3	-	298.9	298.9	305	274.5	311.1	225.7	265.35	231.8	268.4	-	250.1	237.9
Ca	[mg/l]	506	199.5	447	-	561	558	521	522	532	545	323	444	362	-	471	257
Mg	[mg/l]	49.5	30.5	67.9	-	73.1	64.4	60	62.9	66	83.2	32	31.8	24	-	28.8	22.5
Sr	[mg/l]	7.88	3.96	10.1	-	12.1	12.2	10.2	11.5	7.64	8.95	5.52	8.45	6.25	-	8.24	3.84
Li	[mg/l]	0.03	0.01	0.03	-	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	-	0.02	0.02
Na	[mg/l]	10.5	29.17	8.24	-	7.39	6.55	5.64	4.14	18	16.3	2.93	1.91	2.54	-	2.63	3.67
K	[mg/l]	1.96	0.93	4.07	-	5.19	5.21	1.44	1.91	1.59	4.77	0.88	0.73	0.54	-	0.6	0.8
F	[mg/l]	0.03	0.04	0.04	-	0.04	0.04	0.03	0.23	0.09	0.12	0.09	0.15	0.16	-	0.18	0.13
B	[mg/l]	0.06	0.03	0.04	-	0.06	0.06	0.04	0.04	0.09	0.06	0.02	0.02	0.02	-	0.03	0.02
Si	[mg/l]	3.94	2.29	3.54	-	3.63	3.67	2.86	2.94	3.65	2.01	2.19	2.02	2.22	-	2.13	3.32
TSD	[mg/l]	1995.1	952.23	1963.59	-	2350.92	2315.03	2175.16	2143.57	2305.47	2344.44	1335.82	1720.9	1434.8*	-	1774.78	992.35
Al	[µg/l]	18.2	10.7	17.1	19.3	11	-	12.8	18.7	14.7	3.7	13.2	19.1	17.7	-	0	46.2
Sc	[µg/l]	3.2	1.5	2.7	3.9	2.9	-	3.1	2.9	3.3	2.1	2	2.4	3	-	2.7	5.1
V	[µg/l]	0.9	1.3	0.6	1	0.4	-	0.4	0.3	0.4	0.6	0.1	0.4	0.4	-	0.2	0.4
Cr	[µg/l]	0.7	0.8	0.7	1.5	0	-	0	0.1	0	0	0.2	0.9	0.4	-	0.3	0.8
Mn	[µg/l]	22.1	8.2	17	26.6	18	-	22.7	16.4	14.9	15.2	8	20.1	12.5	-	16.8	13.4
Ni	[µg/l]	4.8	2.2	3.8	7	3.9	-	4.4	4.8	2.1	3.9	2.3	4.5	4.2	-	3.4	5.5
Cu	[µg/l]	3.6	1.6	2.5	5	3	-	4.8	4.5	1.8	2.9	2.7	3.7	3.5	-	1	3.2
Zn	[µg/l]	3.5	4.7	4.7	4.6	0	-	2	1.7	0	0	153.4	4.6	3.5	-	0	5.4
Ge	[µg/l]	1.3	1	0.1	0.4	1.9	-	1.5	0	0	0	0.7	0.9	0.3	-	4	0.5
As	[µg/l]	0.6	0.6	0.3	1.4	0	-	0	0	0	0.3	0.8	0.7	0	-	1.6	2.7
Br	[µg/l]	21.7	24.8	30.1	24.2	17	-	9.8	2.1	12.6	5.3	4.4	9.2	7.9	-	0	12.3
Rb	[µg/l]	17.3	4.3	19.4	24.2	26.5	-	20.8	20.6	18.1	16.7	11.5	18.1	14.6	-	10	17.4
Y	[µg/l]	0.8	0.2	0.7	1.4	1	-	0.6	0.7	0.8	0.7	0.3	0.7	0.4	-	0	0.5
Cd	[µg/l]	0.2	0.6	0.5	0.6	0	-	0.3	0	0	0	0	0.1	0.2	-	0.1	0.7
I	[µg/l]	7.3	9.8	11	13.3	9.2	-	7.6	9.6	43.8	4.2	2.5	9.7	4.7	-	0	14.7
Ba	[µg/l]	15.6	38.3	20.3	10.4	6.6	-	11.1	7.2	15.1	11.5	15.1	12.2	15.1	-	10.7	28.1
U	[µg/l]	0.5	0.2	1.4	1.9	2.4	-	1.5	3.3	1.6	2	1.7	1.9	2	-	1.1	1.9
Rn	[Bq/l]	-	-	-	-	6	-	8	10	0	-	-	-	2	-	-	-

N° source	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Code	ABE	BOD	ILE	MEU	SHD	SHA	JOR	TOU	TOR	LUI	GOD	MON	CBE	MAR	LAT	LOC
Date	28.6.88	24.6.88	24.6.88	24.6.88	24.6.88	24.6.88	24.6.88	14.7.88	14.7.88	14.7.88	14.7.88	14.7.88	14.7.88	14.7.88	14.7.88	14.7.88
Débit	10.7	8.9	6.5	7.7	6.1	-	8.6	5.5	5.2	5.3	5.9	10.2	9.1	7.6	-	-
Temp.	1110	1730	1620	1820	1570	-	1840	1820	1940	1910	1870	1700	1210	1970	2020	2420
Conductivité																
pH																
Rh																
Dureté totale	79.25	135.75	130	151.5	126.25	-	157.5	144	148	152	150	133.5	71.75	158	163.5	207.75
Dureté pass.	18	17.5	20	17	19.5	-	17.5	20	16.75	15	17.5	26.25	18	30	18.75	24.5
SO4	594	1080	989	1240	904	-	1160	1140	1240	1300	1190	1020	237	1110	1360	1580
Cl	1.22	6.12	2.42	6.17	1.9	-	5	0	0	0	0	8.48	62.2	13.4	2.64	13.3
NO3	0	0	2.18	0.84	0	-	2.27	0	0	0	0	2.52	154	0	0	0
HCO3	219.6	213.5	244	207.4	237.9	-	213.5	244	204.35	183	213.5	320.25	219.6	366	228.75	298.9
Ca	261	462	452	520	441	-	476	504	522	537	515	441	194	572	445	542
Mg	33	47.1	39.3	50	37.4	-	92.3	41.7	40	40.9	49.9	54	56.2	34.5	124	173
Sr	5.49	9.05	8.93	9.66	8.33	-	7.31	9.25	10.6	9.8	9.34	10.3	1.71	8.74	12.1	12.1
Li	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	-	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.05	0.02	0.02	0.07
Na	2.97	6.16	1.73	6.03	1.65	-	3.85	2.51	1.93	3.43	3.25	7.77	13.5	5.99	2.37	15.5
K	0.97	1.53	1.59	1.34	0.69	-	1.21	0.92	0.83	0.71	0.71	1.61	6.73	1.58	4.46	5.16
F	0.16	0.15	0.09	0.15	0.1	-	0.17	0.26	0.18	0.46	0.33	0.19	0	0.09	0.42	0.26
B	0.02	0.02	0.01	0.03	0.03	-	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.01	0	0.07	0.02	0.06
Si	4.04	1.97	1.99	1.88	1.56	-	1.58	1.86	1.63	1.6	2.08	2.71	0	2.99	3.02	3.62
TSD	1122.49	1827.61	1743.26	2043.53	1634.58	-	1963.23	1944.56	2021.57	2076.97	1984.19	1868.86	944.99	2114.99	2182.8	2643.97
Al	26	21.1	10.6	1	0	-	0	0.2	0	9	0	4.9	-	17.6	23	27.7
Sc	4	1.2	2.5	1.8	2.1	-	1.6	1.4	1.9	2	1.5	1.5	-	2.8	2.9	4.3
V	0.3	0.2	0.4	0.5	0.2	-	0.5	0.2	0.2	0.3	0.5	0.4	-	0.6	0.5	1.3
Cr	0.6	0.9	0.5	0.1	0	-	0	0	0	0.2	0	0	-	0	0.1	0.2
Mn	11.2	7.9	13.8	16.2	9	-	16.6	1.4	16	13.6	13.9	10.5	-	0.2	14.1	27.3
Ni	2.7	2	3.6	2.7	2.7	-	3.3	1.9	3.1	4.6	2	0.6	-	4.8	3.2	3.6
Cu	5.2	1.3	3.8	0.3	3.9	-	10	0.1	1.3	4	0.5	0	-	3.4	4.6	1.4
Zn	0	0.3	0.6	2.7	0	-	58	2.7	2.6	0.8	6.4	3.7	-	2.3	1.9	0
Ce	0	0	0	0	0	-	0.6	0	0	0	0.2	0.6	-	0	0	0
As	0.7	0	0.6	0	0.6	-	0	0	0.6	0	0.1	0	-	0.5	0	0.6
Br	8.8	7.7	3.6	3	1.5	-	0	0	0	1.9	0	3.1	-	11.5	0	56.4
Rb	16.2	7.3	17.4	17.1	15.9	-	12.2	18.1	17.3	18	15.5	17.5	-	18.5	29	33.1
Y	0.6	0.4	0.7	0.7	0.7	-	0.3	0.6	0.5	0.7	0.5	0.4	-	0.4	0.7	1.3
Cd	0	0.5	0.6	0.4	0.4	-	0.2	0	0.2	0.3	0	0	-	0.2	0	0.1
I	570.6	4.9	6	9.6	0	-	10.5	6.3	5.9	12.1	11.2	10.5	-	7.2	6.6	27.4
Ba	23	6.5	14.8	8.8	12.9	-	15.3	9.4	5	8.5	4.4	6	-	10	6.7	9.3
U	0	1.1	2.4	2.3	1.9	-	1	2.1	2.8	2.3	2.1	5.4	-	1.2	20.8	10.4
Rn	-	-	16	-	-	-	-	-	13	12	-	16	-	-	-	-

N° source		49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
Code		BOU	OBE	MUL	BUE	BEI	BAJ	TER	M3	M2	M1	PTE	MAU	EAR	CHA	VAT	BLE
Date		14.7.88	23.6.88	23.6.88	28.7.88	28.7.88	28.7.88	28.7.88	28.7.88	28.7.88	28.7.88	juil 7' 88	7.7.88	7.7.88	7.7.88	7.7.88	15.8.88
Débit	[l/mn]	-	-	1910	-	-	-	700	-	-	-	10	1398.55	600	58	-	218
Temp.	[°C]	10.6	8.4	9	6.1	8.7	12	9.7	11.5	11.3	11	5.4	4.2	6.3	5.7	28.8	24.2
Conductivité	[µS/cm à 20°C]	2020	1860	1860	1680	1790	1430	1970	2080	2130	2190	1590	1060	1900	1420	1620	1090
pH		-	7	7.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	6.9	6.8
Rh	[mV]	-	200	220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	202	-	70	60
Dureté totale	[°F]	209.5	148	150.5	133.5	139.75	116	161	-	188.25	190.25	123.5	78	158	108	132.5	70.5
Dureté pass.	[°F]	22	14.75	17	20	20	13	23	-	20.5	20.5	17.5	17.5	17	17.75	12	14
SO4	[mg/l]	1440	1260	1290	929	1140	957	1240	-	1530	1620	1030	548	1380	874	1220	590
Cl	[mg/l]	3.28	1.37	6.35	7.77	5.45	1.34	2.76	-	3.51	1.81	1.04	0	0.36	0	3.56	1.9
NO3	[mg/l]	0	0	1.71	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
HCO3	[mg/l]	268.4	179.95	207.4	244	244	158.6	280.6	-	250.1	250.1	213.5	213.5	207.4	216.55	146.4	169
Ca	[mg/l]	520	442	506	373	407	372	565	-	529	536	442	285	537	379	365	231
Mg	[mg/l]	167	88.6	56.9	96.1	90.7	54.7	60.5	-	134	134	30	15.9	56	30.7	98.6	40.5
Sr	[mg/l]	14.5	11.2	8.32	8.59	8.4	6.49	10.8	-	10.1	12	7.82	3.15	8.59	6.93	8.59	3.98
Li	[mg/l]	0.03	0.03	0.03	0.02	0.07	0.02	0.03	-	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03	0.03	0.13	0.05
Na	[mg/l]	9.71	1.63	5.38	3.66	18.6	1.94	2.38	-	1.66	1.92	1.63	1.55	3.49	6.45	20.4	7.93
K	[mg/l]	38.6	0.59	2.86	8.46	4.44	3.09	3.17	-	2.03	2.43	0.57	0.4	1.1	0.71	1.61	0.72
F	[mg/l]	0.45	0.35	0.35	0.07	0.11	0.05	0.02	-	0.02	0.02	0.19	0.06	0.05	0.05	1.54	1.4
B	[mg/l]	0.02	0.02	0.02	0.01	0.09	0.02	0	-	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.12	0.04
Si	[mg/l]	2.67	2.47	3.08	2.24	4.08	2.94	3	-	3.95	3.35	1.64	1.76	4.18	3.6	6.38	6.75
TSD	[mg/l]	2465	1988.21	2088.4	1672.93	1922.94	1558.19	2168.26	-	2464.39	2561.67	1728.43	1069.36	2198.23	1518.06	1872.33	1047
Al	[µg/l]	10.1	4.7	11	0	14	20.5	18.3	-	24	25.2	5.2	1.4	15.5	17.2	47.5	-
Sc	[µg/l]	2.7	2.3	3.1	1.3	2.7	3.3	2.8	-	3	3.9	2.1	2.3	3.9	2.9	4.2	-
V	[µg/l]	0.7	0.3	0.2	0.6	0.2	0.3	0.2	-	0.4	0.6	0.4	0.1	0	0.4	0.7	-
Cr	[µg/l]	0.4	0	0	0.1	0	0.4	0.1	-	0.1	0.3	0.7	0	0	0.4	1	-
Mn	[µg/l]	13	6.8	16.1	0.5	12.7	12.4	14.3	-	16.4	24.8	18.8	14	0	18.1	3.7	34.7
Ni	[µg/l]	3	2.5	3.4	1.3	1.1	3.8	4.7	-	6.2	5.4	4.4	3.3	2.8	4	4.5	-
Cu	[µg/l]	3.3	1.5	7.3	1.4	0.3	3.4	3.2	-	4.2	8.1	3	2.5	2.9	3.1	11.6	7.1
Zn	[µg/l]	0.4	0	1	44.1	2.2	1.2	2.2	-	3.1	5	5.1	0.5	0	3.8	26.7	49
Ge	[µg/l]	0	1.3	0	0.2	0.2	0.8	0	-	0.2	0	0.9	1.2	0	0.7	0.7	-
As	[µg/l]	0.2	0.5	0	0	0	0.2	0	-	0.4	0.7	0.8	0	0.1	0.5	0.7	-
Br	[µg/l]	19.3	2.5	4.6	0	12	11.5	0	-	1.5	9.9	28.6	0	0.6	19.2	54.6	-
Rb	[µg/l]	38.1	22.3	18.1	29.2	21.1	18.5	26.3	-	25	30.5	17.7	13	17.3	6.6	13.3	-
Y	[µg/l]	0.9	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.7	-	0.6	1.2	0.5	0.3	0.6	0.5	0.7	-
Cd	[µg/l]	0	0.2	0.1	1.6	0	0	0.2	-	0.2	0.7	0.3	0	0.3	0.6	0	1.1
I	[µg/l]	3.3	156.9	50.6	10.2	9.9	9.1	21.3	-	1.5	3.1	21.8	6.5	92.4	17.2	1583.5	-
Ba	[µg/l]	3.6	3.5	8.4	6.4	7.6	11.6	6.6	-	3	1.3	10.3	13.7	6	6.7	15.4	14.8
U	[µg/l]	18.8	6.6	12.9	10.1	14.7	19.4	7.6	-	10.2	11	2.1	1	0.4	0	0	-
Rn	[Bq/l]	-	36	21	-	-	-	-	-	-	-	18	10	0	2	-	-

N° source	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
Code	MIL	ANC	QUE	CHB	BET	UEA	APR	PRI	PRC	BEU	SAZ	SAL	ARS	ARE	ART	LJC
Date	11.8.88	11.8.88	11.8.88	11.8.88	11.8.88	11.8.88	11.8.88	11.8.88	11.8.88	11.8.88	30.6.88	30.6.88	30.6.88	30.6.88	30.6.88	30.6.88
Débit	41	57	33	2	-	-	-	-	-	-	71	150	-	10	-	100
Temp.	8.9	8.9	10.5	13.6	6.5	13.8	11.6	9.8	8.3	10.4	10.7	7	8	6.5	8.4	6.3
Conductivité à 20°C	1660	1720	2070	2130	1250	1150	2280	2040	978	1980	2300	1800	1160	1480	1570	1180
pH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dureté totale	123.35	131.25	174.5	168	92.5	77	185.25	167.75	-	169.5	196.5	147.5	83.25	120.25	126.25	89.5
Dureté pass.	10.45	12	21.5	26	19	24	32	24.5	-	19.25	25	24	10.5	11	9.5	23
SO ₄	1090	1140	1490	1390	701	430	1490	1330	-	1410	1600	1110	685	1000	1060	553
Cl	7.98	10.14	4.22	4.85	5.05	78.1	22.9	23.3	-	10.7	8.97	5.82	1.56	3.24	1.75	0
NO ₃	1.81	2.35	0	0	0.71	16.2	0	17.9	-	2.13	0	2.06	0	0	0	0
HCO ₃	127.25	146.4	262.3	317.2	231.8	292.8	390.4	298.9	-	234.85	305	292.8	128.1	134.2	115.9	280.6
Ca	400	398	535	530	255	251	509	542	-	492	560	412	263	383	401	263
Mg	70.7	73.32	97.4	83.6	68.9	34	139	77	-	111	135	106	41.9	58.4	61.8	56.4
Sr	5.04	5.74	8.19	9.08	5.49	2.46	8.81	7.8	-	9.27	11	9.22	4.37	6.3	6.82	5.12
Li	0.04	0.04	0.03	0.04	0.01	0.02	0.05	0.03	-	0.02	0.05	0.04	0.01	0.02	0.02	0.02
Na	9.16	9.14	8.39	8.44	2.11	17.6	16.2	9.33	-	2.69	10.7	5.25	1.31	1.8	1.81	1.21
K	1.77	1.88	2.01	1.83	2.19	2.61	3.24	7.33	-	4.62	6.92	5.03	0.77	0.71	0.85	1.27
F	-	-	0.05	-	0.04	0.08	0.06	0.06	-	0.08	0.88	0.09	0.01	0.01	0.01	0
B	-	-	0.03	-	0.01	0.09	0.03	0.02	-	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Si	4.04	4.16	4.77	4.49	2.97	4.2	5.61	4.44	-	2.15	4.6	3.96	2.29	2.67	2.3	2.55
TSD	1687.61	1787.78	2412.39	2346.81	1275.28	1129.15	2585.29	2318.11	-	2279.53	2643.13	1952.27	1128.34	1590.36	1652.27	1163.18
Al	-	-	20.2	-	12.2	3.7	23.2	29.5	-	0	30	11.7	-	-	11.7	18.9
Sc	2.5	3.4	4.3	2.9	2.9	1.7	4.3	5.7	-	2.6	3.9	1.9	-	-	2.2	2.2
V	-	-	0.8	-	0.2	2.5	1.1	1	-	0.7	0.8	0.2	-	-	0.3	0.3
Cr	-	-	0	-	0	0.3	0	0.4	-	0	0.4	0	-	-	0.1	0.3
Mn	-	-	21.5	-	10.8	11.8	4.7	31.2	-	24.1	0	8.4	-	-	11.1	5.1
Ni	1.7	1.1	3.9	2.2	1.1	0	3.5	5	-	5.1	7.1	0.2	-	-	2.5	2.7
Cu	5.1	4.9	4.8	7.4	2.2	0	3.9	2.4	-	4.5	5.9	0.4	-	-	3.2	2.8
Zn	156.2	4.2	0.6	4.1	8	0	8.1	1.7	-	5.5	2.5	2.4	-	-	0	1.8
Ge	-	-	0.8	-	0.7	0	1	0	-	0.3	0	0	-	-	0	0
As	-	-	0.5	-	0	0	0	0	-	0	3.7	0	-	-	4	0.4
Br	-	-	7.1	-	2.4	41.9	8.2	57.9	-	1	11.1	0	-	-	7.7	7.2
Rb	13.7	4.1	22.5	5.8	18	7.7	21.5	25.6	-	34.7	22.8	11.5	-	-	12.6	13.3
Y	-	-	0.7	-	0.2	0.1	0.4	0.4	-	0.6	1	0.3	-	-	0.5	0.5
Cd	-	-	0.2	-	0	0.9	0.3	0.8	-	0.1	0.1	0.1	-	-	0.4	0
I	1.6	1.8	3.6	2	3.8	4.7	1.8	2.7	-	1.1	12.1	7.1	-	-	0.3	1.1
Ba	4.2	5.4	10.4	4.8	7	30.9	7	11.1	-	12.4	3.9	9	-	-	9.7	9.1
U	29.2	38.2	45.3	53.6	6.6	17.3	67	25.7	-	6.7	40.4	12.9	-	-	4.7	9
Rn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	68	-	-	0	-

N° source	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
Code	COG	COF	POU	POP	BER	DAP	DAG	SON	SIX	CHT	LAA	GAN
Date	30.6.88	30.6.88	23.6.88	23.6.88	29.6.88	23.6.88	23.6.88	29.6.88	29.6.88	29.6.88	30.6.88	14.7.88
Débit	[l/mn]	182	-	-	-	2.5	-	-	1500	-	212	1500
Temp.	[°C]	26.8	9.3	10.5	5.4	9	7.6	10.7	4.2	16.4	7.8	6.7
Conductivité	[µS/cm à 20°C]	3540	5130	2000	1830	2090	2010	1130	1810	920	1490	1040
pH		-	6.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rh	[mV]	-	66	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dureté totale	[°F]	191	223.75	166.75	158	178.25	166.5	85	146.75	67.5	119	72
Dureté pass.	[°F]	21	23.5	17	24.5	32.5	25.25	12	17	10	17.5	6.25
SO4	[mg/l]	1610	2320	1430	1140	1380	1370	622	1180	511	962	610
Cl	[mg/l]	365	744	1.95	0	0	3.47	3.58	3.92	1.88	1.85	1.62
NO3	[mg/l]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.55
HCO3	[mg/l]	256.2	286.7	207.4	213.5	396.5	308.05	146.4	207.4	122	21.5	85
Ca	[mg/l]	572	599	464	465	507	577	267	488	177	351	230
Mg	[mg/l]	114	177	121	123	123	52.2	43.9	58.6	55.5	74.1	29.4
Sr	[mg/l]	11.5	12.6	11.2	11.4	10.3	10.7	3.88	7.11	5.37	7.76	4.62
Li	[mg/l]	0.59	1.14	0.02	0.03	0.05	0.04	0.01	0.02	0.03	0.02	0
Na	[mg/l]	237	672	2.26	4.15	3.26	5.12	3.22	3.15	11.7	1.45	1.03
K	[mg/l]	28.9	35.9	3.17	4.4	1.14	0.94	0.94	1.15	2.72	1.8	2.53
F	[mg/l]	1.33	1.85	0.53	0.52	0.02	0.03	0.07	0.06	0.3	0.02	-
B	[mg/l]	0.74	1.47	0.03	0.02	0.02	0.02	0	0	0.03	0.01	-
Si	[mg/l]	8.5	12.7	2.55	2.88	2.98	2.64	2.74	2.77	6.42	4.04	-
TSD	[mg/l]	3205.76	4864.36	2244.11	2290.39	2424.29	2330.21	1093.74	1952.18	893.94	1617.55	965
Al	[µg/l]	69.4	116.6	7	9.7	8.2	4.9	25.8	3.8	31.6	13.2	0
Sc	[µg/l]	7	13.2	2.6	2.6	2.4	2.4	3	1.4	4	2.4	1.9
V	[µg/l]	9.6	23.5	0.4	0.8	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2	0.4
Cr	[µg/l]	0.7	1.4	0	0	0	0	0.6	0	0.4	0.2	0.2
Mn	[µg/l]	21.5	32.4	9	13.2	7.2	10	3.3	0.7	3	7.3	4.9
Ni	[µg/l]	2.6	5.5	3	2.8	2.5	3.5	2.4	1	0.4	2.4	1.9
Cu	[µg/l]	1.4	3.6	2.9	2.2	1.7	2.7	3	0	1.2	2.3	1.4
Zn	[µg/l]	0	0	0	0	0	0	0.7	2.2	0	0.8	2.9
Ge	[µg/l]	3.3	7.2	0	0.7	0.4	0	0	0	0	0.2	0
As	[µg/l]	8.1	14.7	0.7	0.9	0.6	0.3	0.7	0	16.5	0.3	0.8
Br	[µg/l]	1966.5	4956.5	9.3	4.9	3	4.4	15.2	3.8	7.9	1.7	7.4
Rb	[µg/l]	104.4	259.3	27.1	25.4	21.9	22.5	11.3	14.5	9.3	16.3	13.9
Y	[µg/l]	0.6	1	0.7	0.6	0.4	0.7	0	0.4	0.5	0.4	0.5
Cd	[µg/l]	0	0.7	0.2	0.3	0	0.1	0	0	0	0.3	0.1
I	[µg/l]	1846.6	10120	0	0	3.7	3.8	8.6	7.4	0	0	0
Ba	[µg/l]	12.1	8	4.1	11.2	3	2.7	11.1	7.9	12.3	11	12.3
U	[µg/l]	9.8	2.5	13.3	12.5	10.1	6.2	3.3	4.9	9.1	6.5	6.9
Rn	[Bq/l]	218	5	-	42	-	25	-	14	18	-	-

Annexe 4

Analyses chimiques effectuées sur les neiges

		Gryon - 23 mars 1988	Morgins - 31 janvier 1988
HCO ₃	[ug/l]	7120.0	7420.0
SO ₄	[ug/l]	1230.0	6890.0
Ca	[ug/l]	668.5	3950.7
K	[ug/l]	184.6	103.3
Na	[ug/l]	138.6	245.2
Mg	[ug/l]	56.3	355.2
Zn	[ug/l]	27.1	7.1
Si	[ug/l]	21.0	9.0
Sr	[ug/l]	17.1	33.8
Br	[ug/l]	7.4	4.9
I	[ug/l]	5.2	7.4
Cu	[ug/l]	3.2	0.0
Ni	[ug/l]	2.0	0.0
Ba	[ug/l]	1.9	0.3
Ge	[ug/l]	0.9	0.7
As	[ug/l]	0.6	0.5
Cd	[ug/l]	0.4	0.2
Rb	[ug/l]	0.2	0.2
Sc	[ug/l]	0.1	0.0
V	[ug/l]	0.1	0.1
Li	[ug/l]	0.1	0.1
Y	[ug/l]	0.1	0.1
U	[ug/l]	0.0	0.0
Al	[ug/l]	0.0	0.0
Mn	[ug/l]	0.0	0.0
Cr	[ug/l]	0.0	0.0
Cl	[ug/l]	0.0	270.0
TSD	[mg/l]	9.49	19.30

260

Annexe 5

Analyses chimiques des gypes effectuées par Gyps-Union S.A. et essai de barbotage au CO₂

Résultats à HCl et fusion alcaline

N°:	3	7	7	9	9	10	10	11	11	15	16	16	19	19	20
Echantillon de gypse:	GRY	TOU	TOU	CRE	CRE	ETO1	ETO1	ETO2	ETO2	GRA1	GRA2	GRA2	TER 11	TER 11	TER 12
Méthode d'analyse:	n	n	f	n	f	n	f	n	f	n	n	f	n	f	n
Na [%]	0.01	0	0.04	0.01	0.31	0.02	0.3	0.02	0.21	0	0.02	0.04	0.01	0.04	0
K [%]	0.07	0.07	0.22	0.1	0.22	0.02	0.12	0.06	0.23	0.04	0.04	0.18	0.04	0.31	0.06
Mg [%]	0.11	2.2	2.55	0.83	2.06	1.42	1.71	0.66	2	0.39	1	1.19	1.49	1.96	0.3
Ca [%]	22.6	21.41	21.18	18.71	18.95	20.59	19.98	18.7	19.36	21.44	20.83	21.19	19.08	18.8	21.37
Sr [%]	0.24	0.36	0.41	0.25	0.26	0.45	0.47	0.27	0.28	0.36	0.29	0.25	0.5	0.5	0.16
Si [%]	0.02	0.02	2.32	0.04	3.54	0.02	2.36	0.02	3.33	0.02	0.02	1.13	0.02	4.1	0.02
SO ₄ [%]	53.28	41.99	41.3	46.68	46.73	46.19	46.59	46.42	47.58	54.94	50.42	50.52	42.12	42.53	52.8
P [ppm]	189	198	237	253	77	184	457	171	274	109	171	18	172	147	86
Al [ppm]	312	304	4300	449	7800	312	6500	106	7400	312	32	2800	24	11400	312
Fe [ppm]	98	950	2200	834	3800	764	4800	506	3700	84	489	1200	2000	5500	268
Ti [ppm]	21	21	252	23	386	15	326	16	354	23	21	179	16	563	9
Cu [ppm]	11	13	21	10	21	5	21	5	21	10	8	21	21	21	21
Ba [%]	11	27	9	9	3	5	3	4	4	9	7	3	3	96	3
Zn [%]	4	9	21	1	19	24	53	1	21	2	8	21	4	5	21
Mn [%]	10	17	25	7	51	338	369	6	62	10	10	3	82	91	10
Part d'insoluble [%]	0.11	4.64	-	10.04	-	5.14	-	9.78	-	0.07	3.02	-	10.01	-	0.5
2H ₂ O [%]	24.84	19.8	-	21.32	-	21.6	-	21.24	-	24.12	23.76	-	21.6	-	24.12

n = gypse attaqué à HCl

f = gypse soumis à la fusion alcaline (métaborate de lithium)

Résultats du barbotage au CO₂

échantillon gypse GRA1:	Cl	(mg/l)	0
	SO ₄	(mg/l)	463
	Li	(mg/l)	0.006
	Na	(mg/l)	1.26
	K	(mg/l)	0.28
	Ca	(mg/l)	352
	Mg	(mg/l)	3.3

262

Annexe 6

Analyses chimiques des roches obtenues par lixiviation

- 6.1 Résultats bruts (en $\mu\text{g/l}$) provenant des lixiviats**
- 6.2 Résultats en ppm de la roche totale**
- 6.3 Présentation des résultats en ppm sur fond géologique simplifié**
- 6.4 Caractéristiques statistiques descriptives des composants chimiques de 19 gypses rhodaniens et comparaison avec les gypses nord-américains (GYP-A et GYP-D)**
- 6.5 Caractéristiques statistiques descriptives des composants chimiques de cinq anhydrites penniques**

6.1 Résultats bruts (en µg/l) provenant des lixiviats

N° éch.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	
Code	BAP1	BEX1	GRY	SUB1	PRA1	CR1	TOU	BIS1	CRE	ET01	ET02	N5	BD4A4	NAX1	GRA1	GRA2	LOC1	MUL2	TER12	
	gypse	gypse	gypse	gypse	gypse	gypse	gypse	gypse	gypse	gypse	gypse	gypse	gypse	gypse	gypse	gypse	gypse	gypse	gypse	gypse
Li [µg/l]	0.3	0.9	0.2	0.1	0.2	0.2	0.8	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.3	0.1	0.7	0.4	
Sc [µg/l]	1.3	1.6	0.8	1.2	1.4	0.6	1.9	2.1	1	1	1.3	2.2	0.9	1	1	1.2	0.5	1.2	0.6	
Cu [µg/l]	7.1	13.1	8.6	12.2	16.2	8.7	16.6	17.9	11.1	12.2	13.7	16.6	8.3	15.6	10.9	11.3	8.2	13.9	9.4	
Rb [µg/l]	2.8	4.8	2.4	3.4	5.8	1	6.1	5.5	6.2	6.4	5.5	7.7	3	5.1	4.2	5	1.1	7.9	1.8	
Ba [µg/l]	12.1	11.4	2.7	3.2	3.8	3.1	32.8	4	7.3	11.3	12.4	4.5	3.5	1.7	1.9	1.4	1.2	109.7	4.1	
Na [µg/l]	0	0	128.1	0	0	235.2	252.2	0	168	100.8	163.5	0	177.7	146.6	125.6	133.7	202.3	15.3	90.5	
Zn [µg/l]	0	0.4	0.1	0	2.4	0.7	8.1	8.7	2.7	4.6	8.7	2.7	1.8	7.2	4.2	7.5	0	10.6	1.6	
Sr [µg/l]	4226.9	6800.1	3851.3	5341	6967.9	1531.8	9470.8	8261.2	5302.6	9830	6103.9	8130.6	4465.9	6906.3	6502.9	6177.9	2276.7	4302.6	3087.1	
U [µg/l]	0.1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.4	0.5	0.3	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	
Mg [µg/l]	761	1605.8	1063.7	974.8	1408	576.9	2265.9	1128.2	1486.9	1431.1	2145.3	3305.3	1728.6	1283.6	911.9	1637.7	508.9	2185.4	712.4	
V [µg/l]	0.3	0.6	0.3	0.3	0.5	0.2	0.6	0.8	0.3	0.4	0.9	0.5	0.3	0.6	0.5	0.5	0.2	0.4	0.5	
Ge [µg/l]	0.1	0	0	0	0	0	1.1	0	0	0	0	0.7	0.2	0	1.5	0	0	0.1	0	
Y [µg/l]	0.7	0.9	0.1	0.4	0.3	0.2	0.7	0.7	0.6	0.8	0.3	0.5	0.2	0.6	0.4	0.4	0.1	1	0.3	
Al [µg/l]	1.4	2.8	0	1.4	2.7	0	2	2.9	0	0	0.3	3.4	0.3	0	0	0.3	0	4.8	0	
Cr [µg/l]	0.2	0.4	0	0.2	0.2	0	0	0.6	0	0.1	0	0.7	0	0	0	0.2	0	0.7	0	
As [µg/l]	0.7	0.6	0	0.2	1	0	0	0.9	0	0.4	0	0.7	0	0.8	0.1	0.4	0	1.1	0.2	
Cd [µg/l]	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0.6	0.5	1.1	0	0	0	0	0	0.7	
K [µg/l]	833.3	1049.4	722.1	749.1	1177	471.2	1117.9	1489.3	1470.3	851.4	1571.5	2172.3	754	1098.2	823	1209.8	405.9	3055.2	732	
Mn [µg/l]	5.2	1.6	1.7	1	1.1	1	2.1	2.4	2.8	22.6	4.7	10.1	4.2	1.8	1.4	1.7	1.1	5	2.3	
Ca [µg/l]	408386	490514	399110	385024	549950	291127	514269	644565	418004	433687	469497	603968	396603	482518	414837	501353	272634	333632	371851	
Ni [µg/l]	2.8	3.28	1.66	2.4	3.9	1.3	3.88	6.24	3.1	2.88	3.24	4.2	2.42	3.22	3.26	3.2	0.94	3.18	2.44	
Br [µg/l]	0	4.16	6.72	2.36	1.3	4.08	11.16	20.96	11.74	14.06	11.78	10.36	11.08	4.1	1.38	13.08	2.82	3.2	3.56	
I [µg/l]	2.16	1.18	0	0.44	0	1.04	0	0.5	0.06	0	0.2	0.74	0	0	0.86	0.58	0.42	1.44	0	
SO4 [µg/l]	663000	665000	700000	680000	686000	687000	631000	691000	654000	652000	659000	672000	723000	762000	684000	682000	689000	542000	626000	
Cl [µg/l]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Si [µg/l]	107	201	29	174	201	201	85	174	177	66	140	214	85	11	11	85	201	415	48	
HCO3 [µg/l]	25067	25488	13635	24797	16385	12577	17572	16385	16627	15299	13697	18316	19947	14187	12369	17386	9591	21478	9977	
TSD [µg/l]	1.1	1.19	1.12	1.1	1.26	0.99	1.18	1.36	1.1	1.11	1.15	1.31	1.15	1.27	1.12	1.21	0.97	0.91	1.01	
Fraction soluble [%]	55.12	59.54	55.93	54.86	63.11	49.69	58.81	68.17	54.86	55.67	57.62	65.41	57.34	63.41	55.98	60.5	48.74	45.36	50.63	

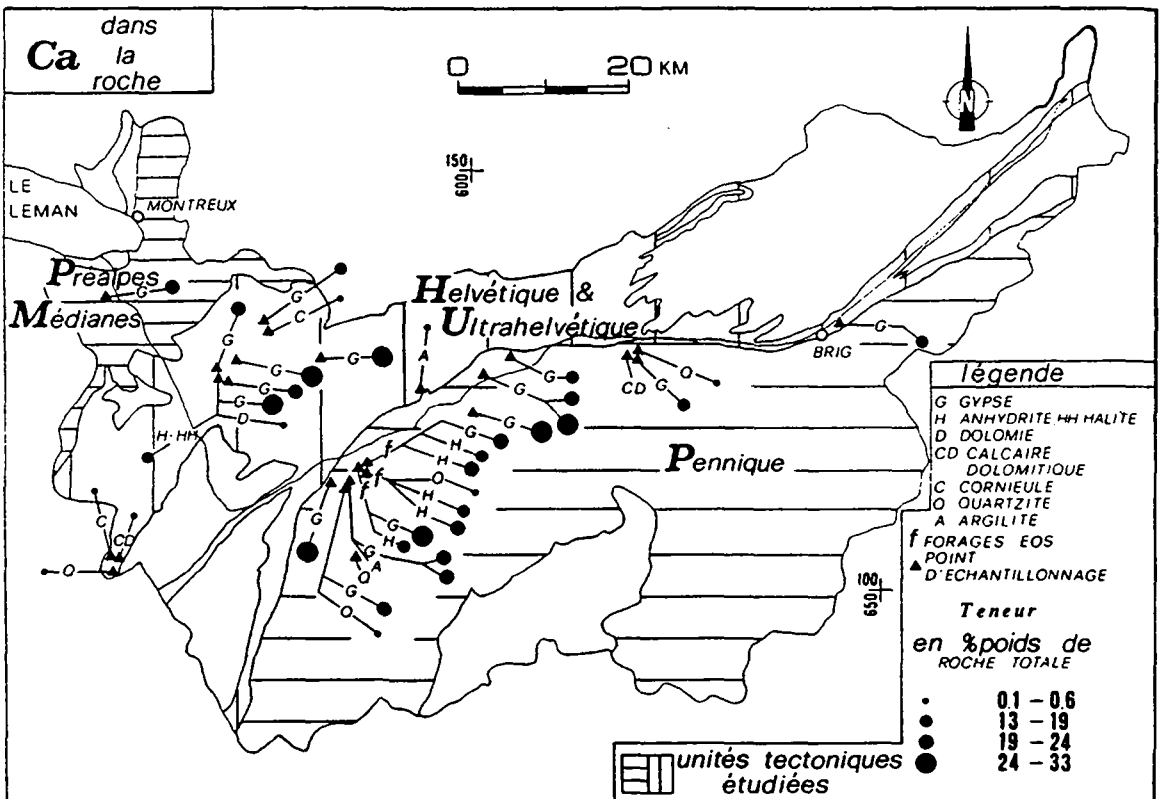
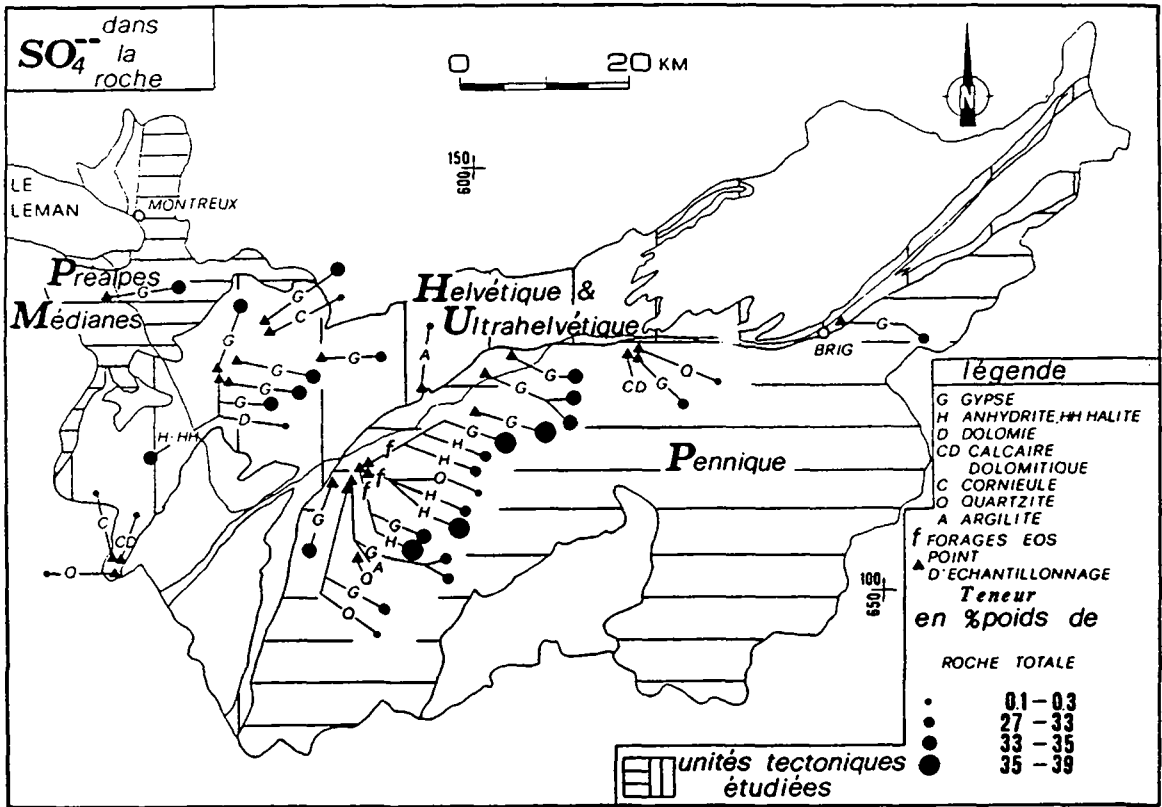
N° éch.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	32	33	34	36	38	39	40	41
Code	S1	N4	N2	N1	BD4A6	BD4A8	EMO1	EMO3	BEX2	CR2	EMO2	CRS1	N3	MUL3	GRI	GYP-A	GYP-D	BLS
	bèche +halite	anhydrite	anhydrite	anhydrite	anhydrite	anhydrite	cornieule	calcaire dolom.	dolomie	cornieule	quartzite	quartzite	quartzite	quartzite	argilite	gypse	gypse	cornieule
Li	[µg/l]	6.5	0.8	0.9	0.9	0.4	0.8	1.3	0.7	3.8	0.3	0.1	0.1	0.3	0.8	0.4	0.8	0.7
Sc	[µg/l]	1.1	0.8	0.9	1.1	1.3	0.1	0.3	0.1	1	0.9	0.3	0.7	0	0.7	1	1	0.3
Cu	[µg/l]	11.5	13.3	7.3	11	13.6	2.9	0.4	2.2	0	0	0	0	1.2	1.3	9.6	11.3	0
Rb	[µg/l]	3.2	4.5	5.1	6.6	6.1	0.1	0.1	0.2	0.5	0.9	0.1	0	0	0.6	1.1	2.3	0.1
Ba	[µg/l]	35.7	3	58.3	2.7	5.7	0.9	0.6	1.5	8.9	11	39	0.7	0.6	0.9	4.2	46.9	1
Na	[µg/l]	179825	141.9	525.4	674.8	208.5	233.1	0	629.7	0.1	0	0	543.9	135	81.9	141.3	348.8	0
Zn	[µg/l]	4.1	3.8	6.2	0	3.2	4	0	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sr	[µg/l]	5517.3	4783.5	4688.9	5744.4	5638	21.3	0	31.3	350.4	21.2	39.7	11.2	22.4	37.8	1960.3	2555.5	26.3
U	[µg/l]	0.2	0.1	0.2	0.5	0.2	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
Mg	[µg/l]	4056.4	1532.7	2155.5	1930.5	2309.7	1527	2683.3	3263.5	1989.3	444	425.2	296.3	1075.3	2439.5	712.6	2206.2	1964
V	[µg/l]	9.3	0.4	0.4	0.4	0.7	0.4	0.2	0.2	1.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.9	0.5	0.3	0.5
Ge	[µg/l]	0.3	0	0.2	0.4	0.9	0	0.2	0.8	0.9	0	0	0.5	0.5	0.1	0	0	0
Y	[µg/l]	0.4	0.4	0.5	0.7	0.4	0	0.1	0	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0.3	0
Al	[µg/l]	3.2	0	4.3	0.5	5.2	19.4	32.4	39.9	46.1	0.5	0.5	13	18.8	32.1	0	0	18
Cr	[µg/l]	0.2	0	0.2	0	0.2	0.2	0.3	0	0.3	0.1	0.1	0	0	0.2	0	0	0.2
As	[µg/l]	1.2	0.3	0.4	0.2	1	0.5	1.1	0.6	0.5	1.1	0.3	0	0	0.1	0.4	0	1
Cd	[µg/l]	0.4	0.1	0.3	0	0.1	0	0	0.2	0	0.3	0	0	0.1	0	0	0	0
K	[µg/l]	1278.1	1317.2	1504.2	1801.6	1570.1	208.4	154.1	272.6	644.8	740.4	60.9	0	10.1	589.1	749.7	899.1	127.2
Mn	[µg/l]	3.5	1.5	1.9	2	1.8	0.1	0.1	0.2	0.3	11	0.9	0.3	0	0.2	7	5.8	0.1
Ca	[µg/l]	366817	371048	278433	401142	394115	6357	6512	5999	10921	2759	2357	3686	5209	6136	411795	333164	5580
Ni	[µg/l]	2.36	2.42	1.56	2.48	3.54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.24	2.32	0
Br	[µg/l]	34.68	12.28	6.3	7.68	0.4	4.98	5.1	12.42	13.18	18.2	7.84	3.68	4.6	0	10.72	3.82	3
I	[µg/l]	0.42	0.04	0.2	0	0.04	0	0.58	1.16	2.22	0.5	0.42	0.14	0.4	1.9	0.88	0	0.18
SO4	[µg/l]	691000	731000	565000	703000	650000	3140	3540	4470	4770	2770	3120	4950	3860	3250	693000	643000	4120
Cl	[µg/l]	162000	0	0	0	0	140	190	740	260	130	130	150	160	190	0	0	420
Si	[µg/l]	660	66	401	140	375	446	401	288	1043	990	580	2580	29	923	85	233	455
HCO3	[µg/l]	21600	13362	19550	14328	20833	42007	37049	39672	37019	7549	24528	28738	31516	37858	16361	36055	38939
TSD	[µg/l]	1.43	1.12	0.87	1.13	1.08	0.05	0.05	0.06	0.06	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	1.12	1.02	0.05
Fraction soluble [%]		71.64	56.17	43.62	56.44	53.76	2.71	2.53	2.77	2.85	0.77	1.57	2.05	2.1	2.58	56.24	50.93	2.58

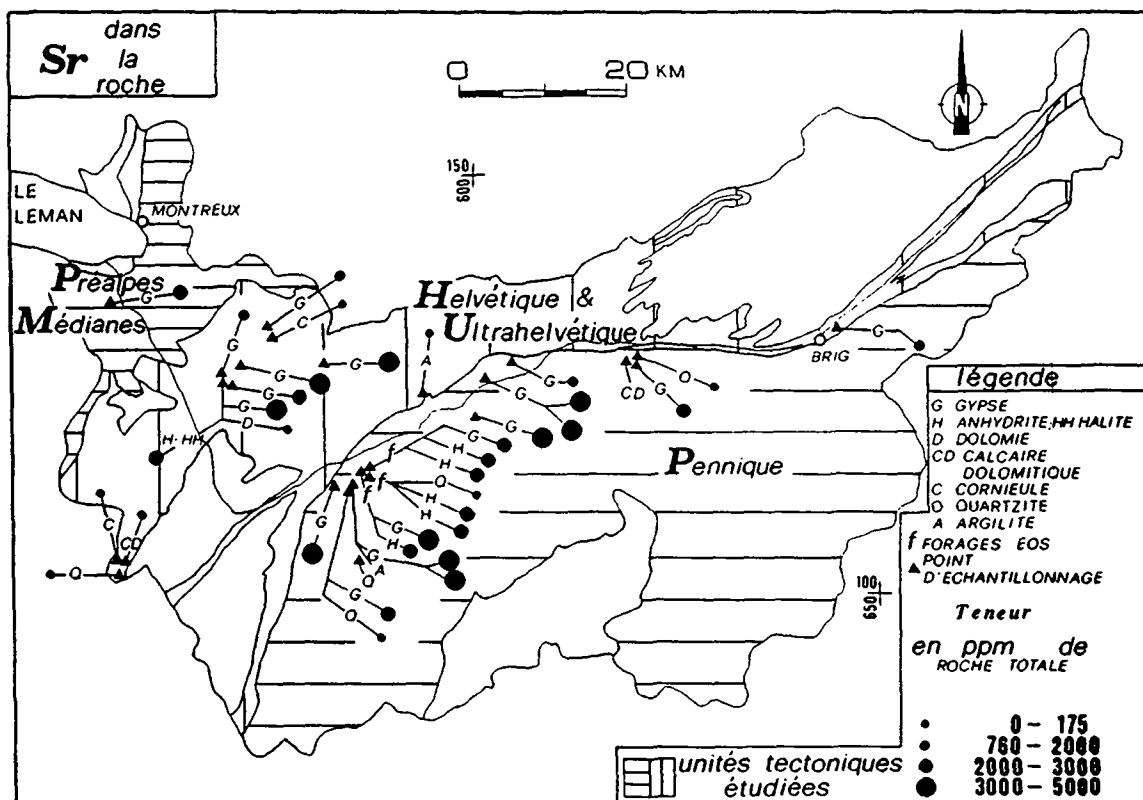
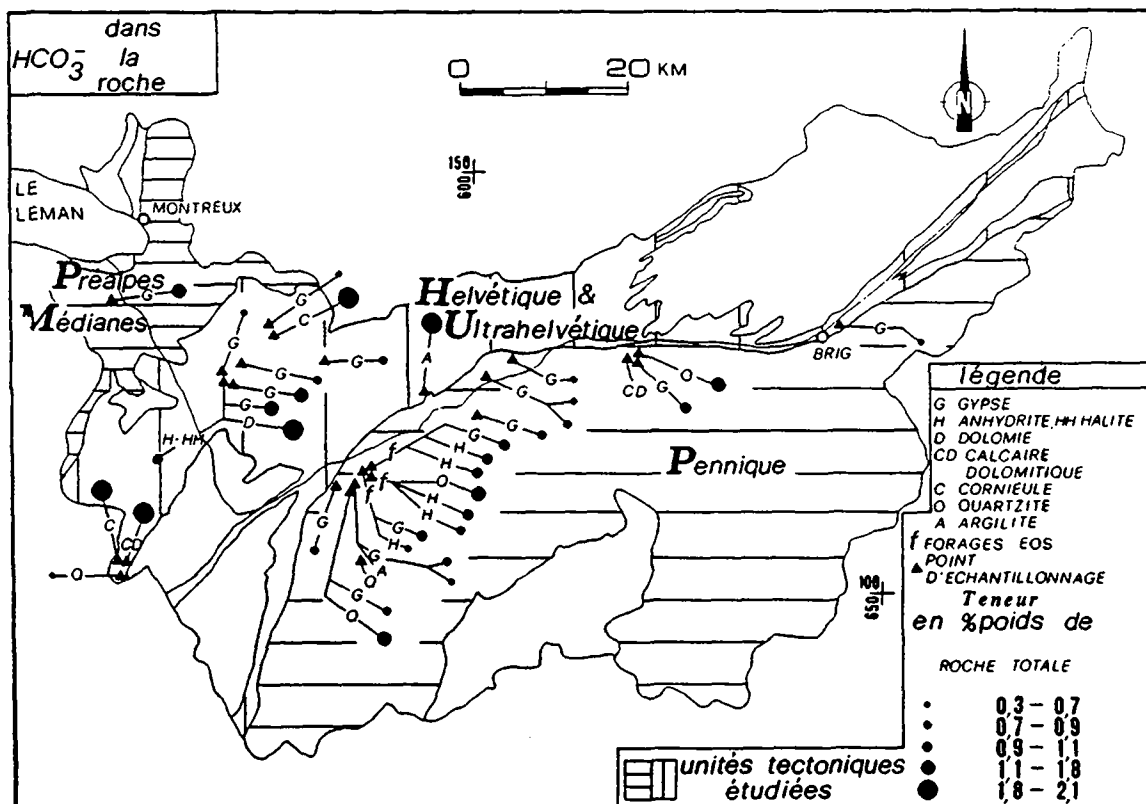
Annexe 6.2 Résultats en ppm de la roche totale

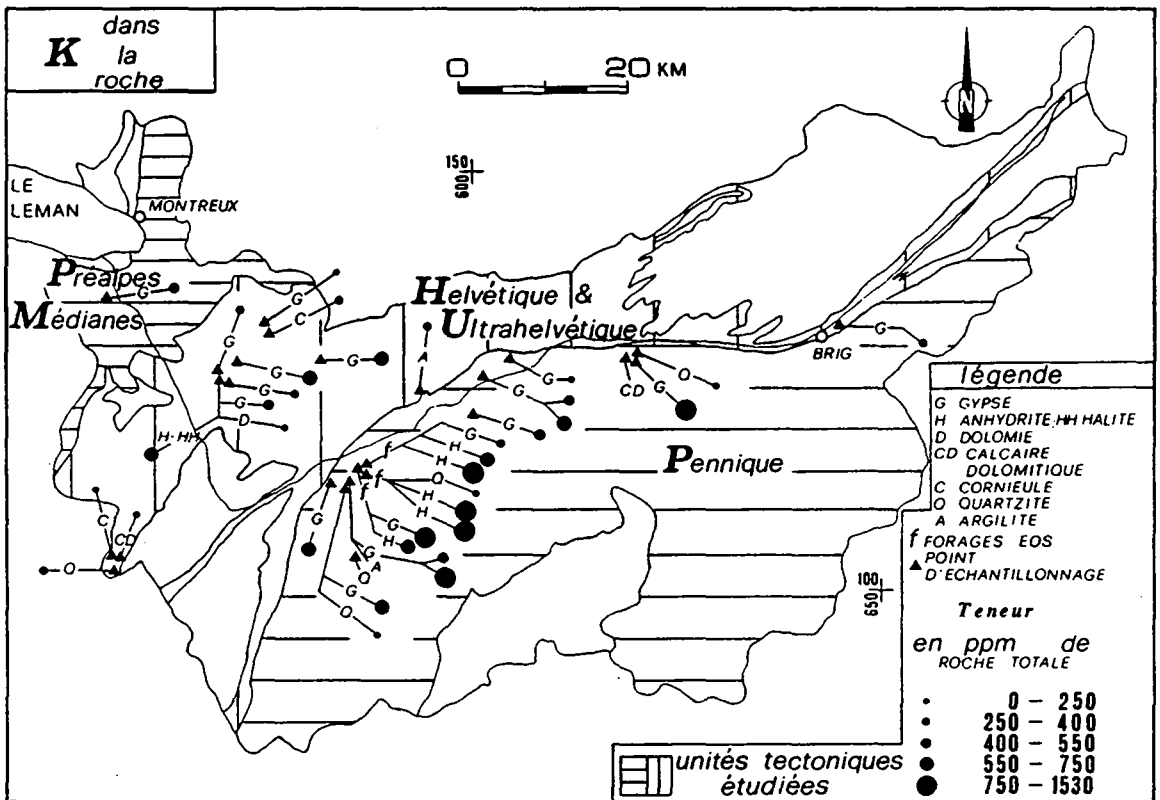
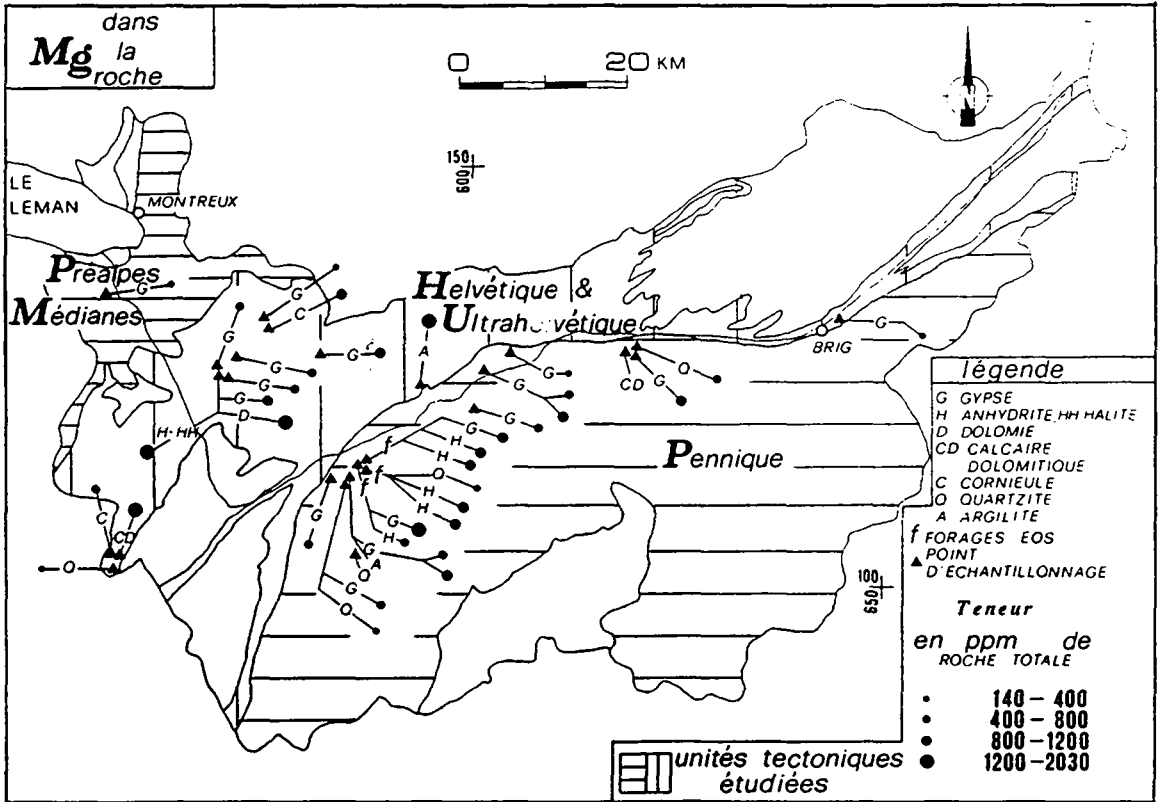
N°	Eoh.	Code	Li	Sc	Cu	Rb	Ba	Na	Zn	Sr	U	Mg	V	Ge	Y	Al	Cr	As	Cd	K	Mn	Ca	Ni	Br	I	SO ₄	Cl	Si	HCO ₃
20	BER12	gypse	0.2	0.6	3.6	1.4	6.1	0.0	0.0	2113.5	0.1	380.5	0.2	0.1	0.3	0.7	0.1	0.4	0.0	416.7	2.6	204193	1.4	0.0	1.1	331500	0.0	53.5	12533.5
21	TOU	gypse	0.2	0.3	4.7	0.9	2.1	45.3	0.8	1543.6	0.0	356.2	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.3	366.0	1.2	185926	1.2	1.8	0.0	313000	0.0	24.0	4988.5
7	TOU	gypse	0.4	1.0	8.3	3.0	16.4	126.1	4.1	4735.4	0.1	1133.0	0.3	0.6	0.4	1.0	0.0	0.0	0.0	559.0	1.1	257135	1.9	5.6	0.0	315500	0.0	42.5	8786.0
3	GRY	gypse	0.1	0.4	4.3	1.2	1.4	64.0	0.1	1925.7	0.0	531.8	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	361.1	0.9	199555	0.8	3.4	0.0	350000	0.0	14.5	6817.5
4	SUB1	gypse	0.1	0.6	6.1	1.7	1.6	0.0	0.0	2670.5	0.1	487.4	0.2	0.0	0.2	0.7	0.1	0.1	0.0	374.5	0.5	192512	1.2	1.2	0.2	340000	0.0	87.0	12398.5
6	CRI1	gypse	0.1	0.3	4.3	0.5	1.5	117.6	0.4	765.9	0.0	288.4	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	235.6	0.5	145563	0.7	2.0	0.5	343500	0.0	100.5	6288.5
5	PRA1	gypse	0.1	0.7	8.1	2.9	1.9	0.0	1.2	3483.9	0.1	704.0	0.3	0.0	0.2	1.4	0.1	0.5	0.0	588.5	0.6	274975	1.9	0.7	0.0	343000	0.0	100.5	8192.5
2	BEX1	gypse	0.4	0.8	6.6	2.4	5.7	0.0	0.2	3400.1	0.2	802.9	0.3	0.0	0.4	1.4	0.2	0.3	0.0	524.7	0.8	245257	1.6	2.1	0.6	332500	0.0	100.5	12744.0
18	MUI2	gypse	0.4	0.6	6.9	4.0	54.9	7.7	5.3	2151.3	0.1	1092.7	0.2	0.1	0.5	2.4	0.3	0.6	0.0	1527.6	2.5	166816	1.6	1.6	0.7	271000	0.0	207.5	10739.0
16	GRA2	gypse	0.2	0.6	5.6	2.5	0.7	66.9	3.7	3089.0	0.2	818.9	0.3	0.0	0.2	0.2	0.1	0.2	0.0	604.9	0.9	250677	1.6	6.5	0.3	341000	0.0	42.5	8693.0
8	BIS1	gypse	0.1	1.0	9.0	2.7	2.0	0.0	4.3	4130.6	0.2	564.1	0.4	0.0	0.3	1.5	0.3	0.5	0.5	744.7	1.2	322283	3.1	10.5	0.3	345500	0.0	87.0	8292.5
10	ETO1	gypse	0.1	0.5	6.1	3.2	5.7	50.4	2.3	4915.0	0.1	715.5	0.2	0.0	0.4	0.0	0.0	0.2	0.0	425.7	11.3	216844	1.4	7.0	0.0	326000	0.0	33.0	7649.5
14	NAX1	gypse	0.1	0.5	7.8	2.5	0.9	73.3	3.6	3453.2	0.1	641.8	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	549.1	0.9	241259	1.6	2.1	0.0	381000	0.0	5.5	7093.5
15	GRA1	gypse	0.1	0.5	5.4	2.1	1.0	62.8	2.1	3251.4	0.1	456.0	0.3	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	411.5	0.7	207419	1.6	0.7	0.4	342000	0.0	5.5	6184.5
12	N5	gypse	0.2	1.1	8.3	3.9	2.2	0.0	1.4	4065.3	0.3	1652.7	0.3	0.4	0.3	1.7	0.4	0.3	0.2	1086.1	5.0	301984	2.1	5.2	0.4	336000	0.0	107.0	9158.0
9	CRE	gypse	0.2	0.5	5.6	3.1	3.7	84.0	1.4	2651.3	0.2	743.5	0.2	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	735.2	1.4	209002	1.6	5.9	0.0	327000	0.0	88.5	8313.5
11	ETO2	gypse	0.1	0.7	6.8	2.8	6.2	81.8	4.4	3052.0	0.2	1072.6	0.5	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.3	785.8	2.4	234749	1.6	5.9	0.1	329500	0.0	70.0	6848.5
17	LOC1	gypse	0.0	0.3	4.1	0.5	0.6	101.2	0.0	1138.4	0.1	254.5	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	203.0	0.6	136317	0.5	1.4	0.2	344500	0.0	100.5	4795.5
13	BD4A4	gypse	0.1	0.5	4.1	1.5	1.8	88.8	0.9	2233.0	0.2	864.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.6	377.0	2.1	198302	1.2	5.5	0.0	361500	0.0	42.5	9973.5
40	GYP-D	gypse	0.4	0.5	5.6	1.2	23.5	174.4	0.0	1277.8	0.1	1103.1	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	449.6	2.9	166582	1.2	1.9	0.0	321500	0.0	116.5	18027.5
39	GYP-A	gypse	0.2	0.5	4.8	0.6	2.1	70.6	0.0	980.2	0.1	356.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	374.9	3.5	205898	1.1	5.4	0.4	346500	0.0	42.5	8180.5
21	S1	breche + halite	3.3	0.6	5.8	1.6	17.8	89912.5	2.0	2758.6	0.1	2028.2	4.7	0.2	0.2	1.6	0.1	0.6	0.2	639.1	1.7	183408	1.2	17.3	0.2	345500	81000.0	330.0	10800.0
26	BD4A8	anhydrite	0.2	0.7	6.8	3.1	2.9	104.3	1.6	2822.8	0.1	1154.8	0.3	0.5	0.2	2.6	0.1	0.5	0.1	785.1	0.9	197058	1.8	0.1	0.0	325000	0.0	180.5	10416.5
22	N4	anhydrite	0.3	0.4	6.6	2.3	1.5	71.0	1.9	2391.7	0.1	766.4	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	658.6	0.8	185524	1.2	6.1	0.0	365500	0.0	33.0	6681.0
25	BD4A6	anhydrite	0.5	0.6	5.2	2.6	3.3	226.7	0.0	2819.0	0.1	1002.5	0.2	0.0	0.3	1.6	0.0	0.5	0.0	673.0	0.8	186910	1.0	0.2	0.3	328500	0.0	187.5	9839.0
23	N2	anhydrite	0.4	0.4	3.7	2.6	29.1	262.7	3.1	2344.4	0.1	1077.8	0.2	0.1	0.2	2.2	0.1	0.2	0.2	752.1	0.9	139216	0.8	3.2	0.1	328500	0.0	200.5	9775.0
24	N1	anhydrite	0.5	0.5	5.5	3.3	1.4	337.4	0.0	2872.2	0.2	965.3	0.2	0.2	0.4	0.3	0.0	0.1	0.0	900.8	1.0	200571	1.2	3.8	0.0	351500	0.0	70.0	7164.0
41	BLS	comieule	0.4	0.1	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	13.2	0.0	982.0	0.3	0.0	0.0	9.0	0.1	0.5	0.0	63.6	0.0	2790	0.0	1.5	0.1	2060	210.0	227.5	19469.5
28	EMO3	calc.dol.	0.6	0.2	0.2	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	1341.7	0.1	0.1	0.0	16.2	0.1	0.6	0.0	77.1	0.1	3256	0.0	2.6	0.3	1770	95.0	200.5	18524.5	
27	EMO1	comieule	0.4	0.1	1.4	0.0	0.5	116.5	2.0	10.6	0.0	763.5	0.2	0.0	0.0	9.7	0.1	0.3	0.0	104.2	0.0	3179	0.0	2.5	0.0	1570	70.0	223.0	21003.5
30	CR2	comieule	1.9	0.5	0.0	0.3	4.5	0.0	0.0	175.2	0.1	994.6	0.6	0.5	0.1	23.1	0.1	0.3	0.0	322.4	0.2	5461	0.0	6.6	1.1	2385	130.0	521.5	18509.5
29	BEX2	dolomie	0.4	0.1	1.1	0.1	0.7	314.8	1.1	15.6	0.0	1631.8	0.1	0.4	0.0	19.9	0.0	0.3	0.1	136.3	0.1	3000	0.0	6.2	0.6	2235	370.0	144.0	19836.0
32	EMO2	quartzite	0.2	0.5	0.0	0.4	5.5	0.0	0.0	10.6	0.0	222.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.5	0.2	370.2	5.5	1380	0.0	9.1	0.3	1385	65.0	495.0	3774.5
33	CRS1	quartzite	0.1	0.2	0.0	0.1	19.5	0.0	0.0	19.9	0.0	212.6	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.0	30.4	0.5	1178	0.0	3.9	0.2	1560	65.0	290.0	12264.0
34	N3	quartzite	0.1	0.4	0.0	0.0	0.3	272.0	0.0	5.6	0.0	148.2	0.1	0.2	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1843	0.0	1.8	0.1	2475	75.0	1290.0	14369.0
36	MUI3	quartzite	0.2	0.0	0.6	0.0	0.3	67.5	0.0	11.2	0.1	537.7	0.1	0.3	0.0	9.4	0.0	0.0	0.1	5.0	0.0	2604	0.0	2.3	0.2	1930	80.0	14.5	15758.0
38	GRI	argilite	0.4	0.4	0.6	0.3	0.5	40.9	0.0	18.9	0.0	1219.8	0.5	0.0	0.0	16.1	0.1	0.1	0.0	294.5	0.1	3068	0.0	0.0	1.0	1625	95.0	461.5	18929.0

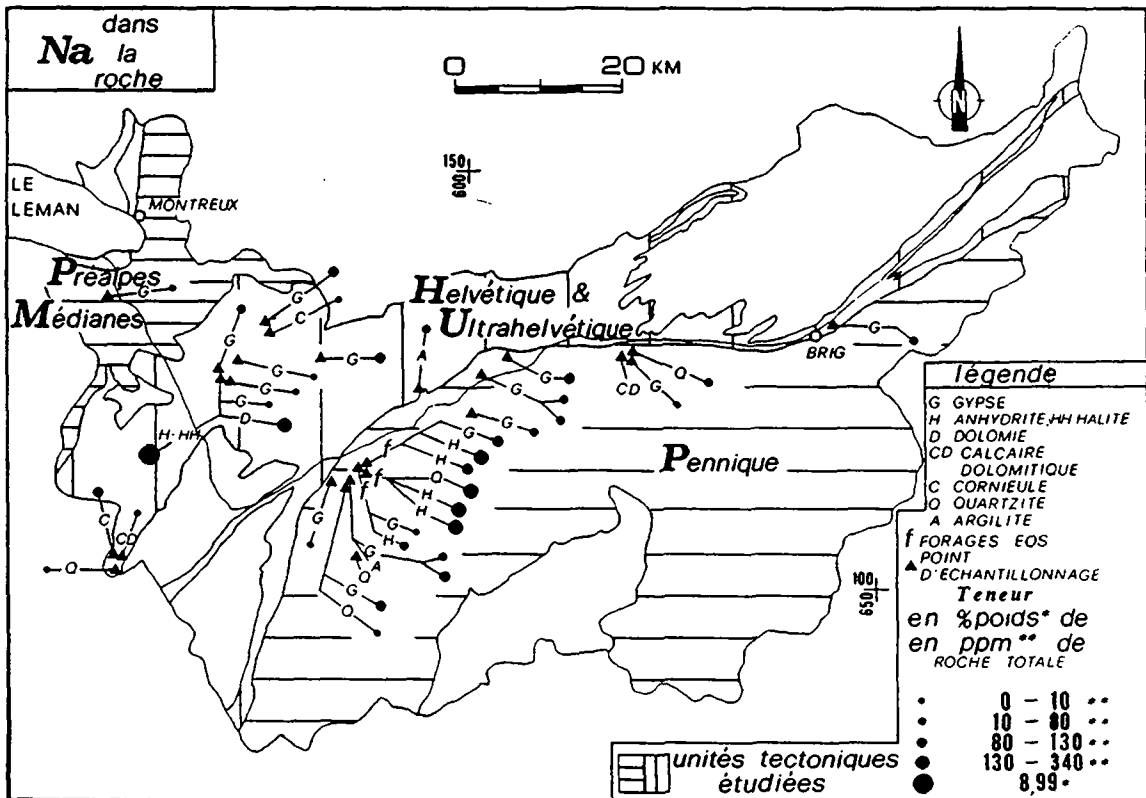
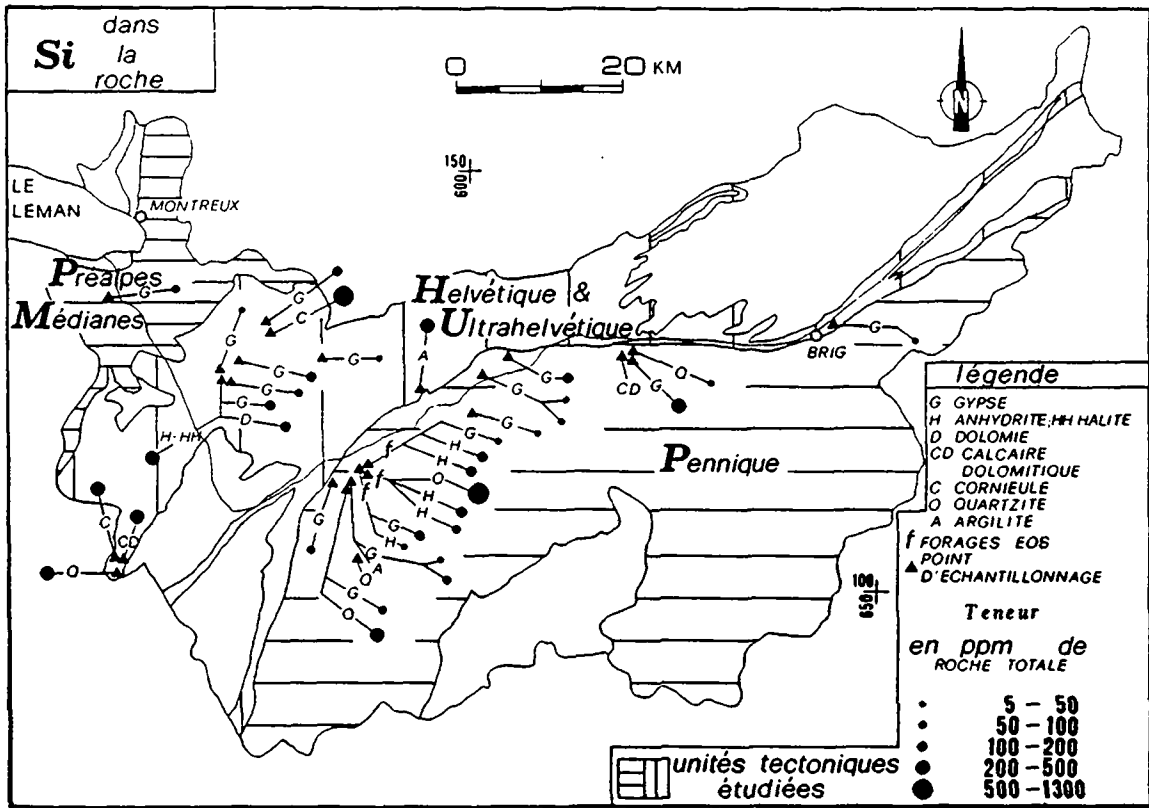
Annexe 6.3

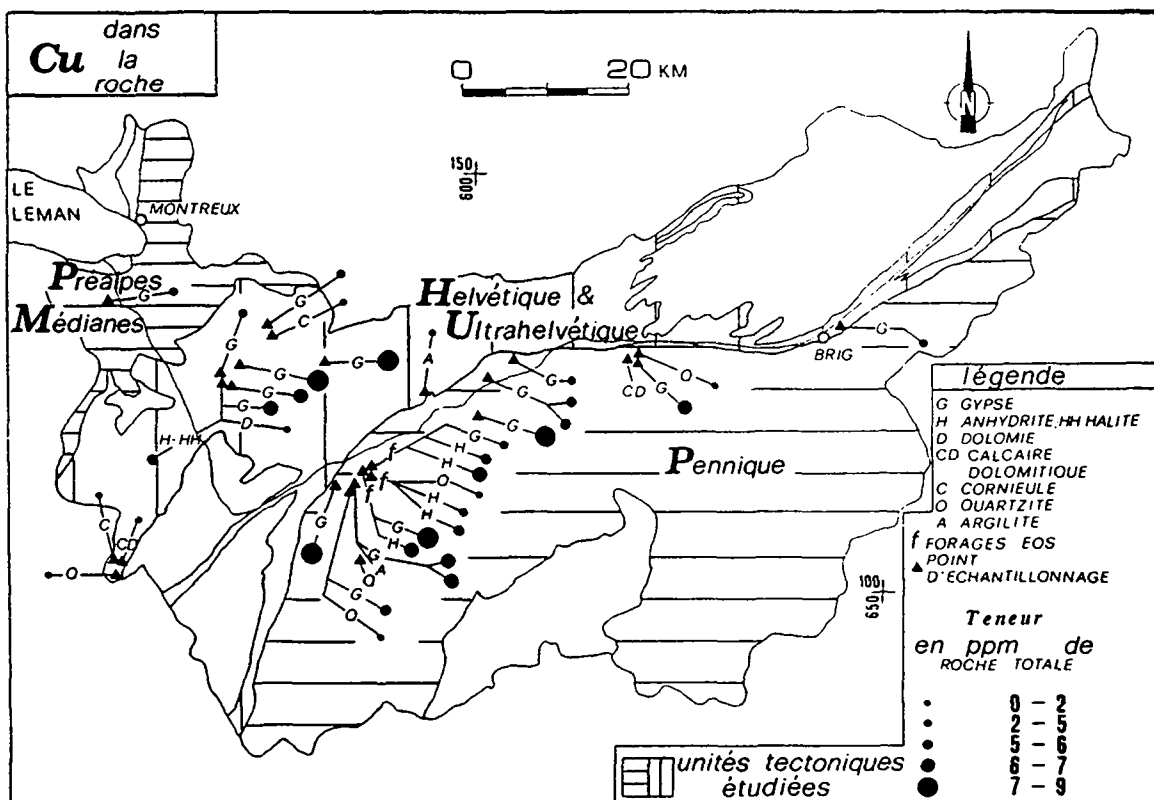
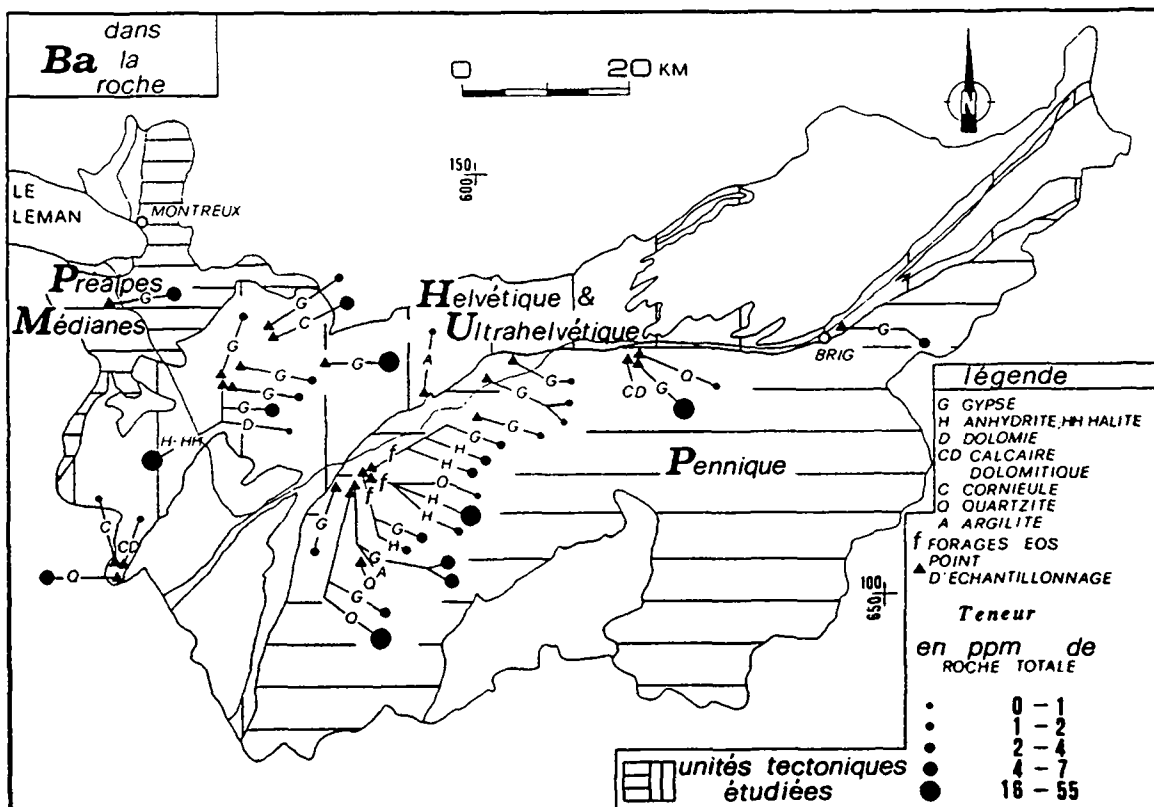
Présentation des résultats en ppm sur fond géologique simplifié

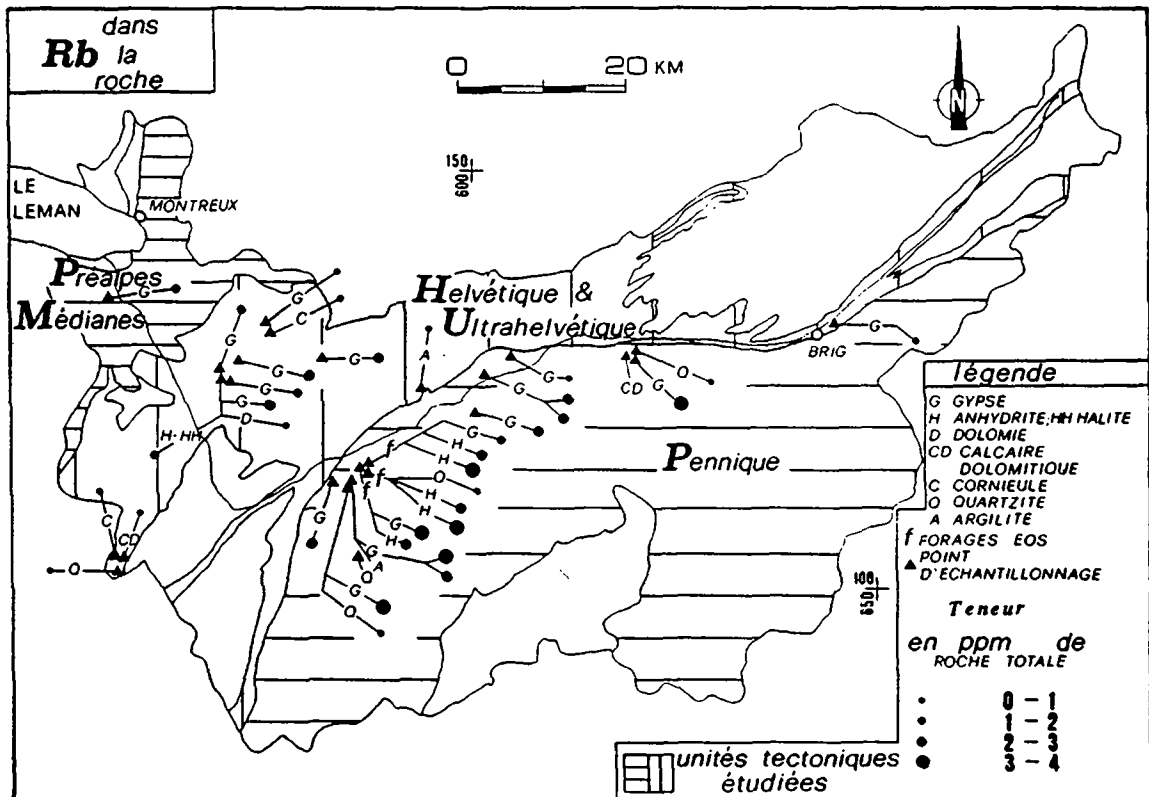
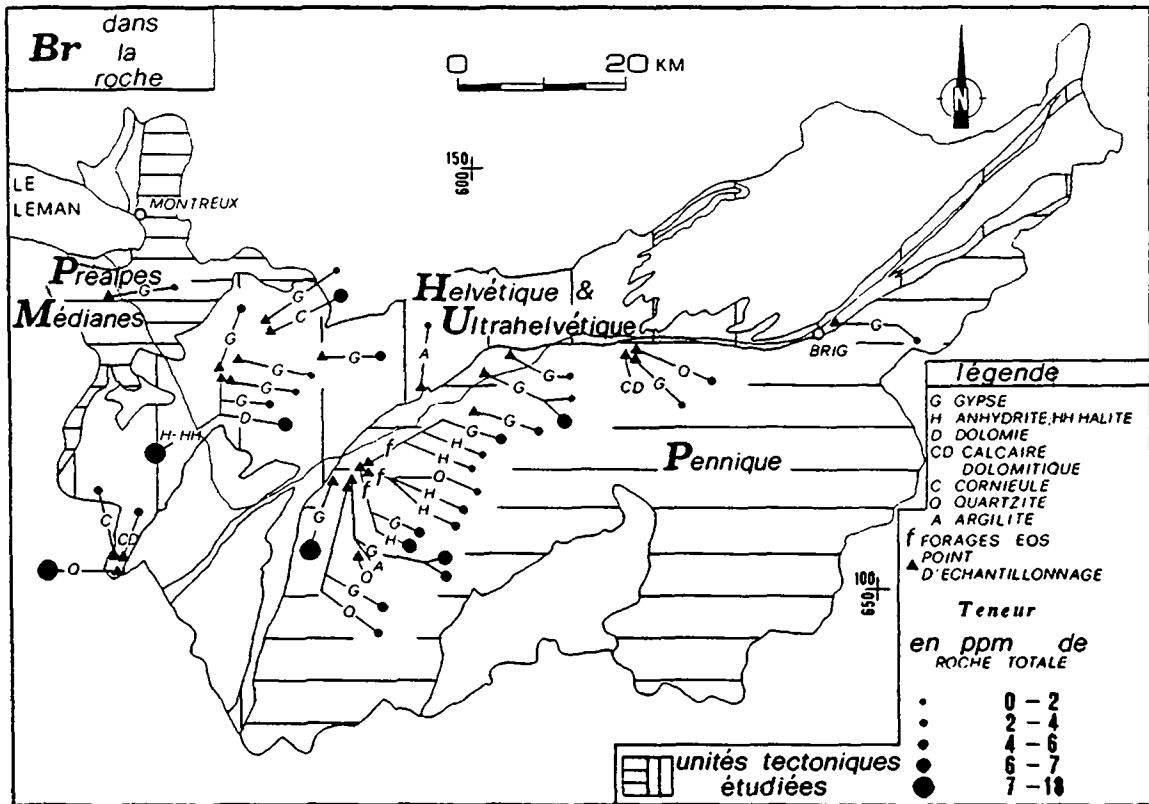


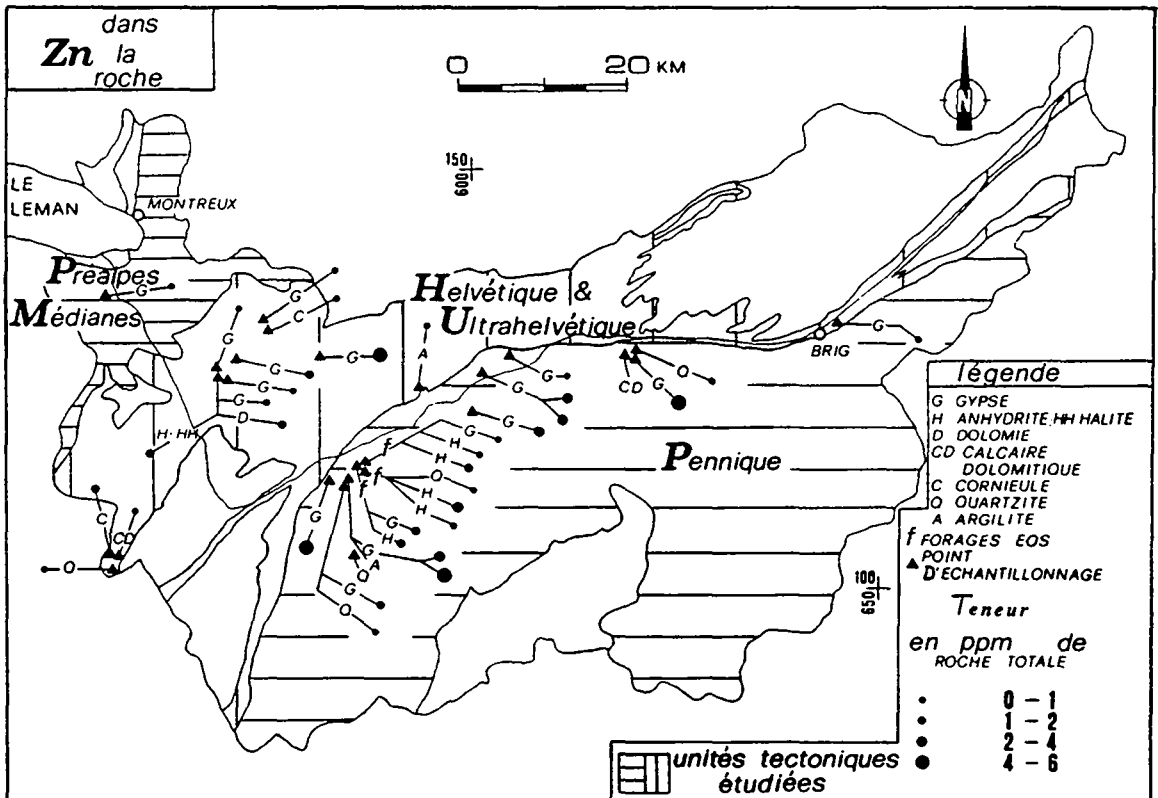
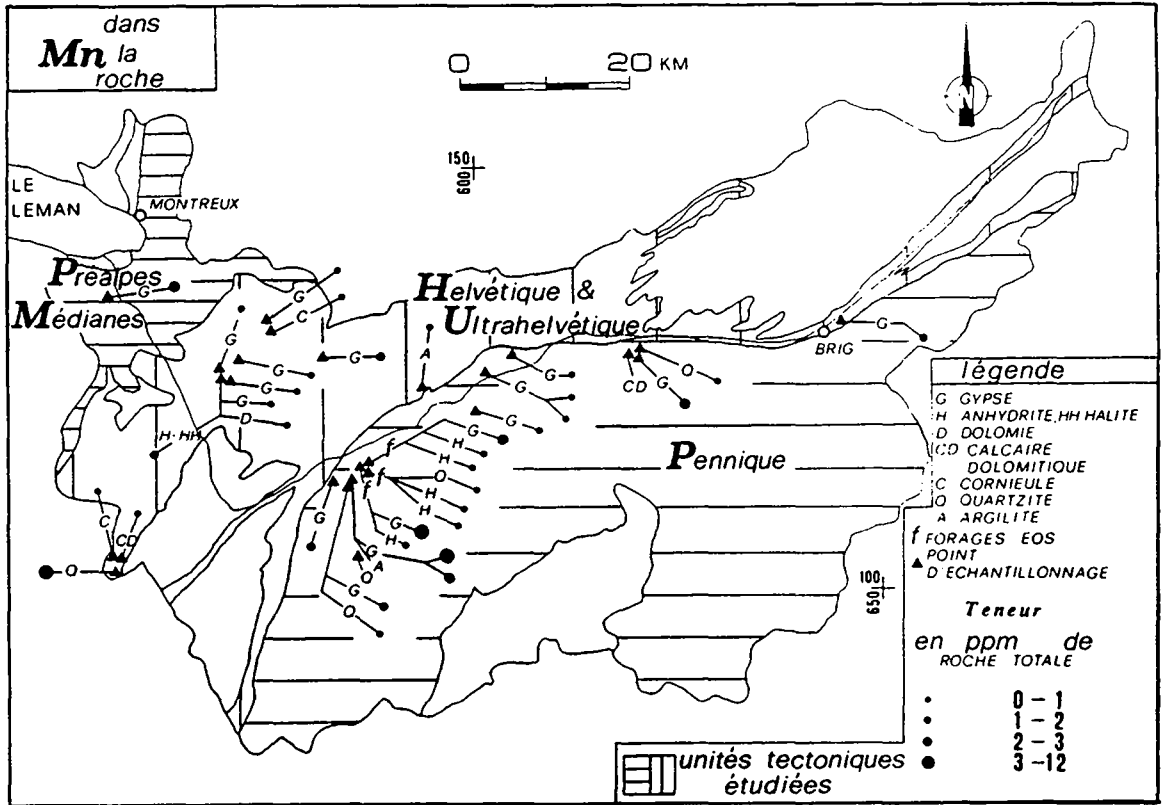


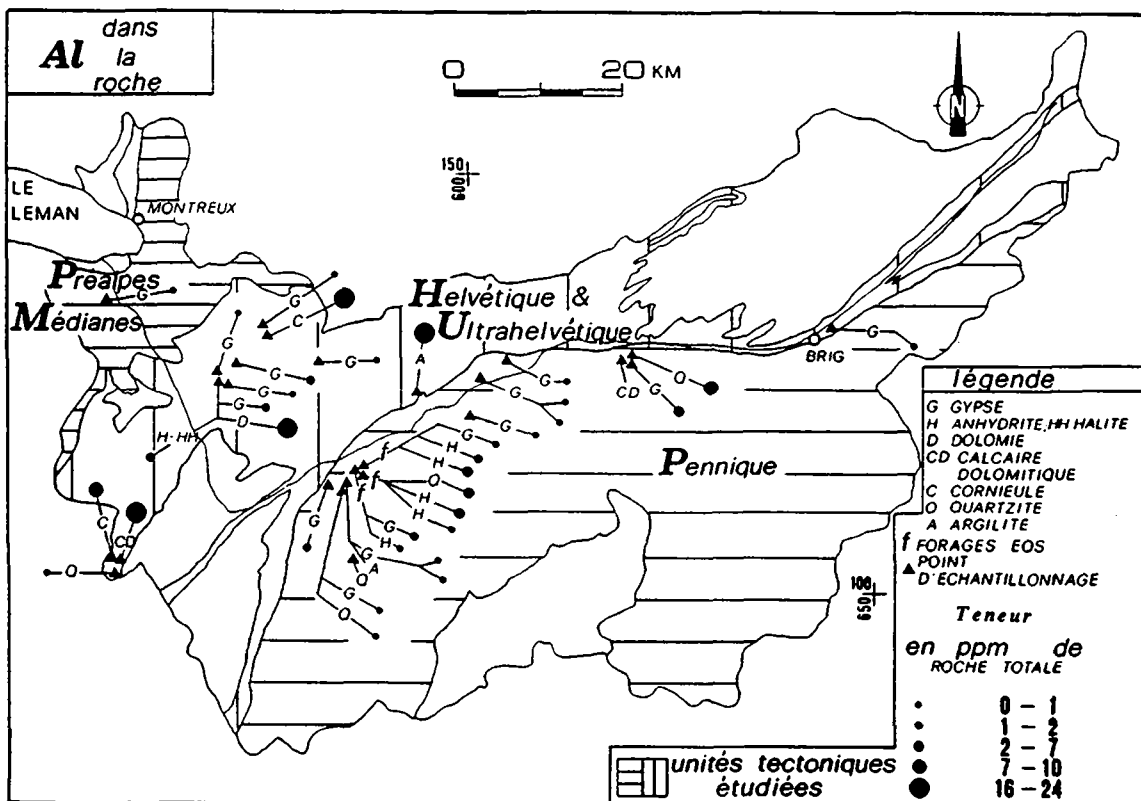
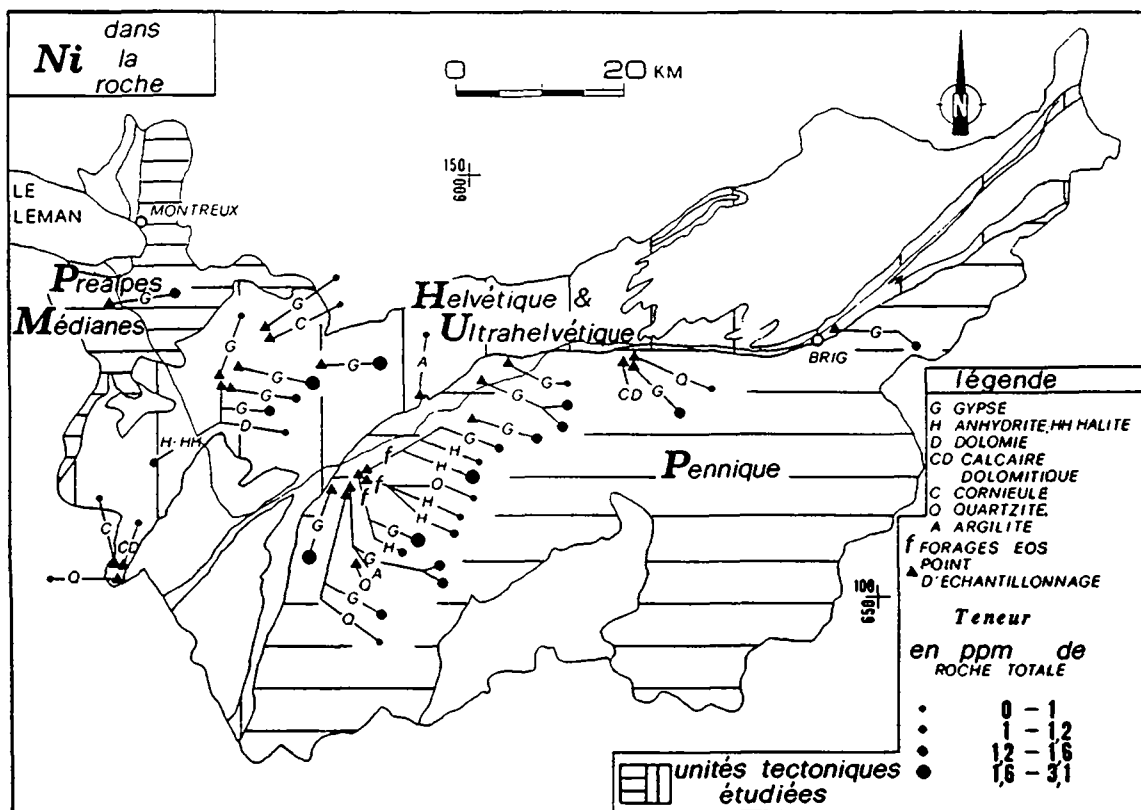


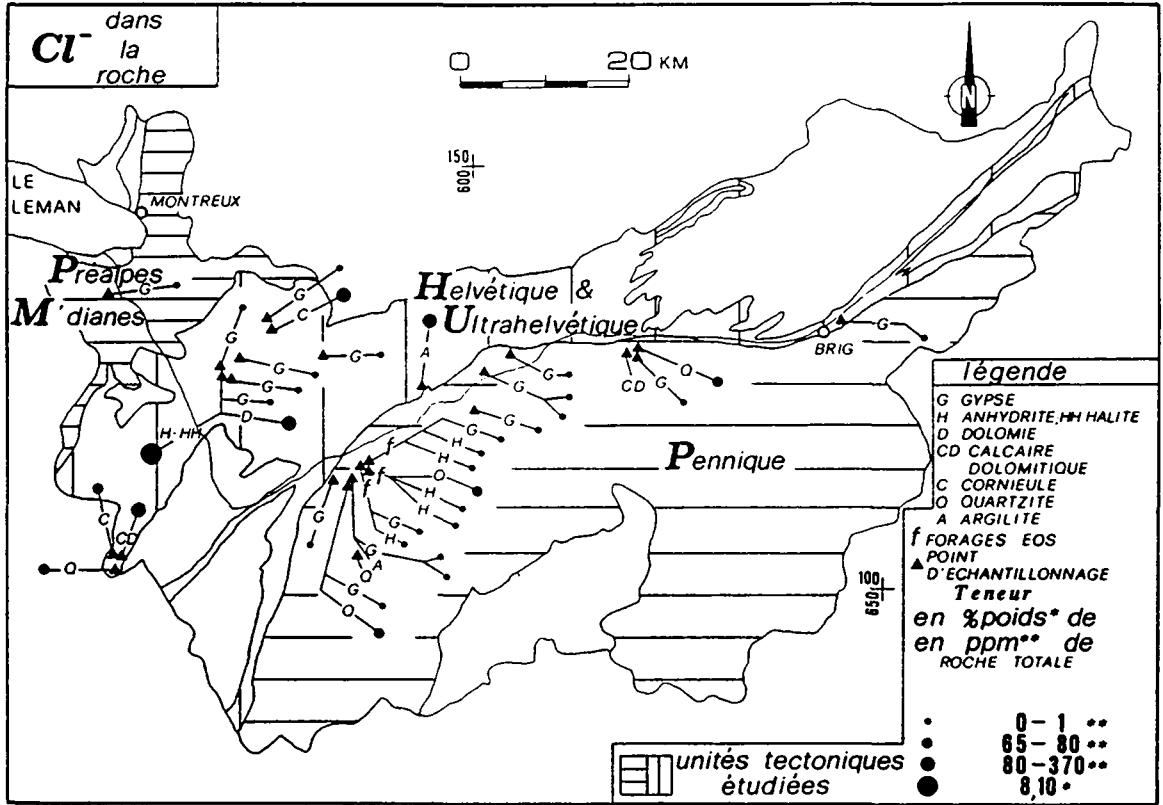












Annexe 6.4

**Caractéristiques statistiques descriptives des composants chimiques
de 19 gypses rhodaniens
Comparaison avec les gypses nord-américains**

Composés chimiques	Gypses rhodaniens					Gypses nord-américains	
	Moyenne [ppm]	Ecart-type [ppm]	Cv [%]	Maximum [ppm]	Minimum [ppm]	GYP-A [ppm]	GYP-D [ppm]
SO ₄	335473.7	21325.5	6.4	381000.0	271000.0	346500.0	321500.0
Ca	220566.6	47319.4	21.5	322282.6	136317.2	205897.6	166581.9
HCO ₃	8446.8	2315.9	27.4	12744.0	4795.5	8180.5	18027.5
Sr	2882.6	1113.6	38.6	4915.0	765.9	980.2	1277.8
Mg	713.7	338.8	47.5	1652.7	254.5	356.3	1103.1
K	572.4	305.1	53.3	1527.6	203.0	374.9	449.6
Si	69.1	47.2	68.3	207.5	5.5	42.5	116.5
Na	51.0	42.7	83.6	126.1	0.0	70.6	174.4
Ba	6.1	12.0	196.9	54.9	0.6	2.1	23.5
Cu	6.1	1.6	26.6	9.0	3.6	4.8	5.6
Br	3.6	2.7	75.8	10.5	0.0	5.4	1.9
Rb	2.3	1.0	44.8	4.0	0.5	0.6	1.2
Mn	1.9	2.5	126.1	11.3	0.5	3.5	2.9
Zn	1.9	1.7	91.6	5.3	0.0	0.0	0.0
Ni	1.5	0.6	37.0	3.1	0.5	1.1	1.2
Sc	0.6	0.2	39.8	1.1	0.3	0.5	0.5
Al	0.6	0.7	123.5	2.4	0.0	0.0	0.0
I	0.3	0.3	116.7	1.1	0.0	0.4	0.0
Y	0.2	0.1	51.6	0.5	0.1	0.0	0.2
V	0.2	0.1	38.6	0.5	0.1	0.2	0.2
As	0.2	0.2	103.3	0.6	0.0	0.2	0.0
Li	0.2	0.1	72.5	0.4	0.0	0.2	0.4
U	0.1	0.1	55.5	0.3	0.0	0.1	0.1
Cd	0.1	0.2	175.6	0.6	0.0	0.0	0.0
Ge	0.1	0.2	205.3	0.7	0.0	0.0	0.0
Cr	0.1	0.1	138.2	0.4	0.0	0.0	0.0
Cl	0.0	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0

Annexe 6.5

**Caractéristiques statistiques descriptives des composants chimiques
de cinq anhydrites penniques**

Éléments chimiques	Moyenne [ppm]	Ecart-type [ppm]	Cv [%]	Maximum [ppm]	Minimum [ppm]
SO ₄	330600.0	28299.1	8.6	365500.0	282500.0
Ca	181855.8	22083.8	12.1	200571.1	139216.4
HCO ₃	8775.1	1536.7	17.5	10416.5	6681.0
Sr	2650.0	231.5	8.7	2872.2	2344.4
Mg	993.3	130.8	13.2	1154.8	766.4
K	753.9	87.4	11.6	900.8	658.6
Na	200.4	99.3	49.6	337.4	71.0
Si	134.3	68.9	51.3	200.5	33.0
Ba	7.6	10.8	141.1	29.1	1.4
Cu	5.6	1.1	20.4	6.8	3.7
Rb	2.8	0.4	14.0	3.3	2.3
Br	2.7	2.3	85.9	6.1	0.1
Zn	1.3	1.2	89.7	3.1	0.0
Al	1.3	1.0	77.8	2.6	0.0
Ni	1.2	0.3	28.1	1.8	0.8
Mn	0.9	0.1	10.8	1.0	0.8
Sc	0.5	0.1	17.9	0.7	0.4
Li	0.4	0.1	31.6	0.5	0.2
As	0.3	0.2	58.1	0.5	0.1
Y	0.3	0.1	25.9	0.4	0.2
V	0.2	0.1	26.6	0.3	0.2
Ge	0.2	0.2	111.8	0.5	0.0
U	0.1	0.1	49.2	0.2	0.1
I	0.1	0.1	128.0	0.3	0.0
Cd	0.1	0.1	112.4	0.2	0.0
Cr	0.0	0.0	112.1	0.1	0.0
Cl	0.0	-	-	0.0	0.0

Annexe 7

Analyses chimiques des roches par fluorescence des rayons X

Analyses effectuées par le Centre d'Analyse Minérale de l'Université de Lausanne

Echantillons	N° 31 MUL1	N°35 DRO1	N° 37 ETO3
Types de roche	calcaire dolomitique	quartzite	argilite
Eléments majeurs			
SiO ₂ [%]	1.19	87.56	55.37
TiO ₂ [%]	0.02	0.07	0.75
Al ₂ O ₃ [%]	0.46	5.66	26.86
Fe ₂ O ₃ [%]	0.37	0.38	1.40
FeO [%]	0.00	0.00	0.00
MnO [%]	0.04	0.02	0.02
MgO [%]	7.81	0.08	0.13
CaO [%]	44.85	0.10	1.97
Na ₂ O [%]	0.39	0.19	1.25
K ₂ O [%]	0.18	2.81	6.11
P ₂ O ₅ [%]	0.16	0.02	0.56
P.F. [%]	3.67	0.57	4.43
CO ₂ [%]	40.36	0.17	0.37
Cr ₂ O ₃ [%]	0.00	0.00	0.00
NiO [%]	0.00	0.00	0.00
total [%]	99.50	97.63	99.22
Eléments traces			
Nb [ppm]	4	4	24
Zr [ppm]	19	96	192
Y [ppm]	18	6	58
Sr [ppm]	199	32	102
U [ppm]	0	0	8
Rb [ppm]	6	72	243
Th [ppm]	1	2	20
Pb [ppm]	2	2	2
Ga [ppm]	2	2	20
Zn [ppm]	48	0	0
Cu [ppm]	5	5	5
Ni [ppm]	10	5	5
Co [ppm]	33	25	0
Cr [ppm]	52	0	18
V [ppm]	0	4	119
Ce [ppm]	0	28	112
Nd [ppm]	0	16	37
Balb [ppm]	14	459	687
Bala [ppm]	11	473	718
La [ppm]	13	5	57
Sc [ppm]	0	1	30
S [ppm]	9	97	9317
total [ppm]	435	866	11072

280

Annexe 8

Analyses isotopiques des eaux des évaporites

effectuées au GEOLEP (sans enrichissement électrolytique)

N°	Code	Date	³ H [UT]	Ecart-type [UT]
1	MUL	8.10.87	50.2	6.1
2	MUL	29.1.88	53.8	9.0
3	EAR	19.11.87	78.0	6.9
4	EAR	1.2.88	82.9	1.3
5	OBE	20.5.87	52.9	2.9
6	OBE	29.1.88	48.2	11.0
7	MAU	15.10.87	39.6	3.2
8	MAU	22.2.88	52.7	4.9
9	HUE	2.5.88	48.8	1.8
10	HUE	2.6.88	51.6	5.3
11	SEM	6.10.87	59.3	9.2
12	SEM	28.6.88	61.3	6.3
13	LED	14.12.87	53.2	11.8
14	LED	29.3.88	62.9	3.4
15	BAP	16.9.87	54.8	10.3
16	BAP	22.3.88	45.9	4.4
17	MAR	25.3.88	55.7	2.2
18	MAR	14.7.88	42.5	2.5
19	LOC	25.3.88	36.6	4.3
20	LOC	14.7.88	54.8	9.2
21	PAU	3.12.87	60.2	5.8
22	PAU	23.3.88	66.6	5.3
23	VAU	21.7.87	43.4	1.5
24	VAU	23.3.88	61.3	6.0
25	VAT	2.5.88	61.3	3.7
26	VAT	7.7.88	67.9	4.6
27	ETO	30.3.88	46.4	7.2
28	ETO	11.8.88	58.9	3.6
29	TER	8.4.87	54.3	5.2
30	TER	6.5.87	50.9	7.4
31	DAG	2.4.87	58.4	6.6
32	DAG	29.4.87	71.6	3.4
33	COG	30.6.88	47.9	6.0
34	COF	30.6.88	28.8	5.5
35	MI	8.4.89	56.4	5.6
36	GAN	7.4.89	65.9	5.1

282

Annexe 9

**Résultats des tests de saturation de quelques minéraux obtenus à
l'aide du programme PHREEQE**

Degré de saturation des minéraux (Log IAP / KT)

Sources		MUL	SAI	FEY	VAT	MAR	COF
Hydrofaciès		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Magnésite	MAG	-1.14	-1.33	-0.96	-0.85	-1.24	-0.55
Dolomite	DOL	-0.45	-0.99	-0.64	-0.47	-0.36	0.10
Aragonite	ARA	0.00	-0.33	-0.37	-0.24	0.20	0.02
Calcite	CAL	0.21	-0.15	-0.16	-0.11	0.40	0.15
Strontianite	STR	-0.98	-1.31	-1.70	-1.18	-0.83	-0.97
Célestine	CEL	-0.24	-0.89	-1.78	-0.22	-0.30	-0.02
Anhydrite	ANH	-0.21	-0.86	-1.39	-0.19	-0.23	0.06
Gypse	GYP	-0.17	-0.51	-1.01	-0.02	0.17	0.23
SiO ₂	SIO	-1.09	-1.25	-0.82	-0.96	-1.09	-0.65
Calcédoine	CCE	-0.24	-0.41	0.03	-0.16	-0.24	0.15
Cristobalite	CRI	-0.14	-0.31	0.14	-0.10	-0.13	0.21
Quartz	QUA	0.31	0.14	0.59	0.31	0.33	0.62
Illite	ILL	-1.38	-2.06	0.69	1.82	-1.46	4.28
Montmorillonite	MON	-0.76	-1.06	1.41	2.70	-0.54	4.49
Halite	HAL	0.61	0.59	2.28	3.24	0.83	4.45
Alunite	ALU	-0.30	-1.09	0.68	0.09	0.22	2.89
Gibbsite	GIB	-0.14	0.00	0.42	1.01	-0.03	1.31
Boehmite	BOE	-0.17	0.01	0.39	1.25	-0.08	1.55
Barytine	BAR	0.36	0.64	0.12	0.28	0.38	0.03
Fluorine	FLU	-0.86	-2.09	-2.76	-0.04	-1.91	0.11

284

Annexe 10

Représentations graphiques des variations temporelles des paramètres physico-chimiques des sources des réseaux I et II

Légende pour la représentation graphique

Pm	précipitations mensuelles en mm
Tair	températures moyennes mensuelles de l'air
TSD	minéralisation totale = total des sels dissous en mg/l
Cond	conductivité électrique en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C
Dtot	dureté totale en $^\circ\text{F}$
HCO ₃ ⁻	hydrogénocarbonates en mg/l
SO ₄ ^{- -}	sulfates "
F ⁻	fluor "
Cl ⁻	chlorures "
Li ⁺	lithium "
Na ⁺	sodium "
K ⁺	potassium "
Mg ⁺⁺	magnésium "
Ca ⁺⁺	calcium "
Sr ⁺⁺	strontium "
B ³⁺	bore "
Si ⁴⁺	silicium "
—	mesures en continu
—●—●—	mesures discrètes

Variations temporelles des paramètres physico-chimiques des sources de:**Préalpes Médiannes:**

- Les Serves D (n° 4 du cadastre des sources)
- Vers Lavaux D (n° 9 du cadastre des sources)
- Bach Platraire (n° 10 du cadastre des sources)

Helvétique:

- Fontaine de St-Martin (n° 50 du cadastre des sources)
- Bains de Leytron (n° 64 du cadastre des sources)
- Fontaine du Day B (n° 103 du cadastre des sources)

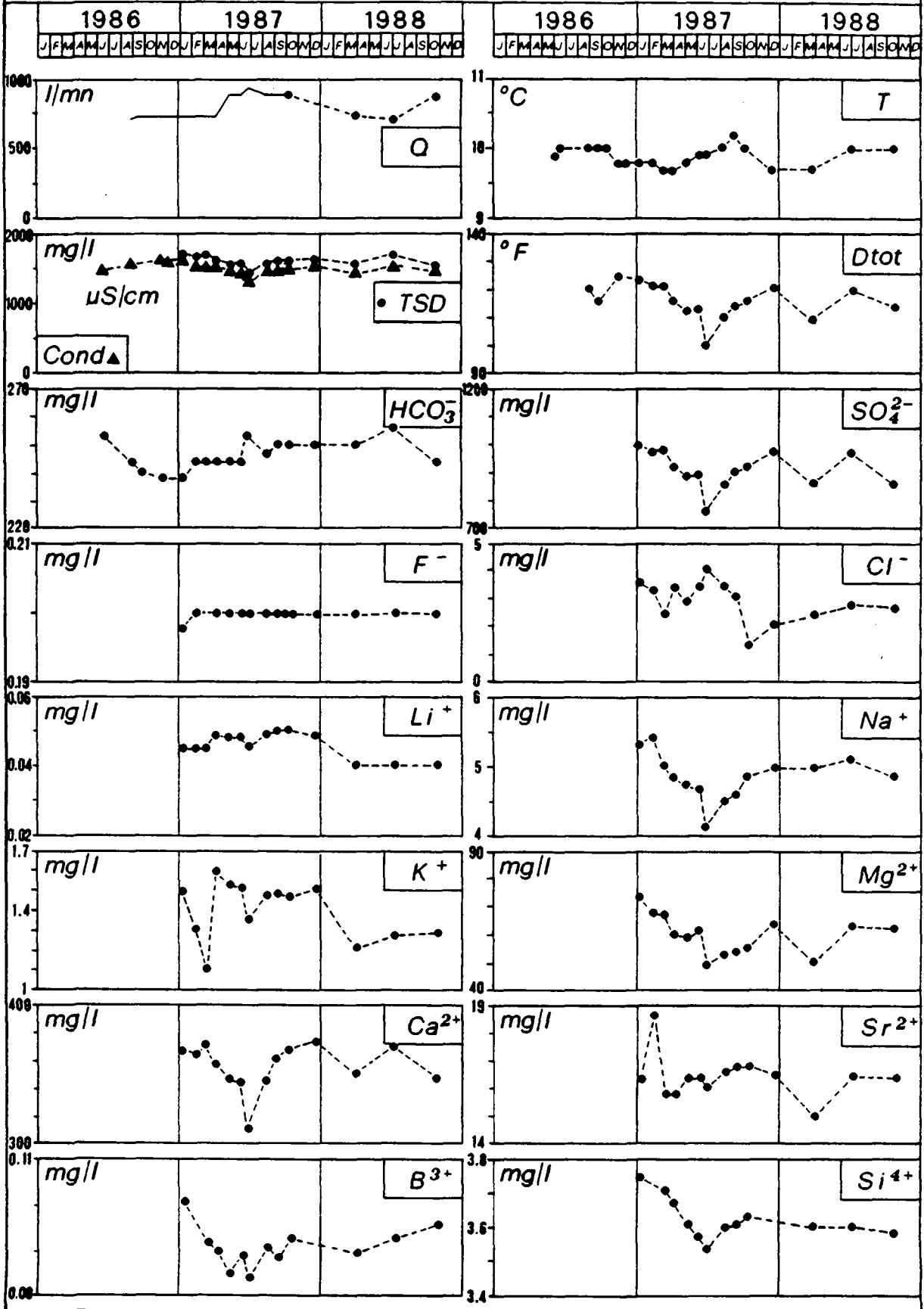
Ultrahelvétique:

- Noches (n° 14 du cadastre des sources)
- Huémoz (n° 23 du cadastre des sources)
- Maupas (n° 60 du cadastre des sources)
- Eau Rouge de Morgins (n° 61 du cadastre des sources)

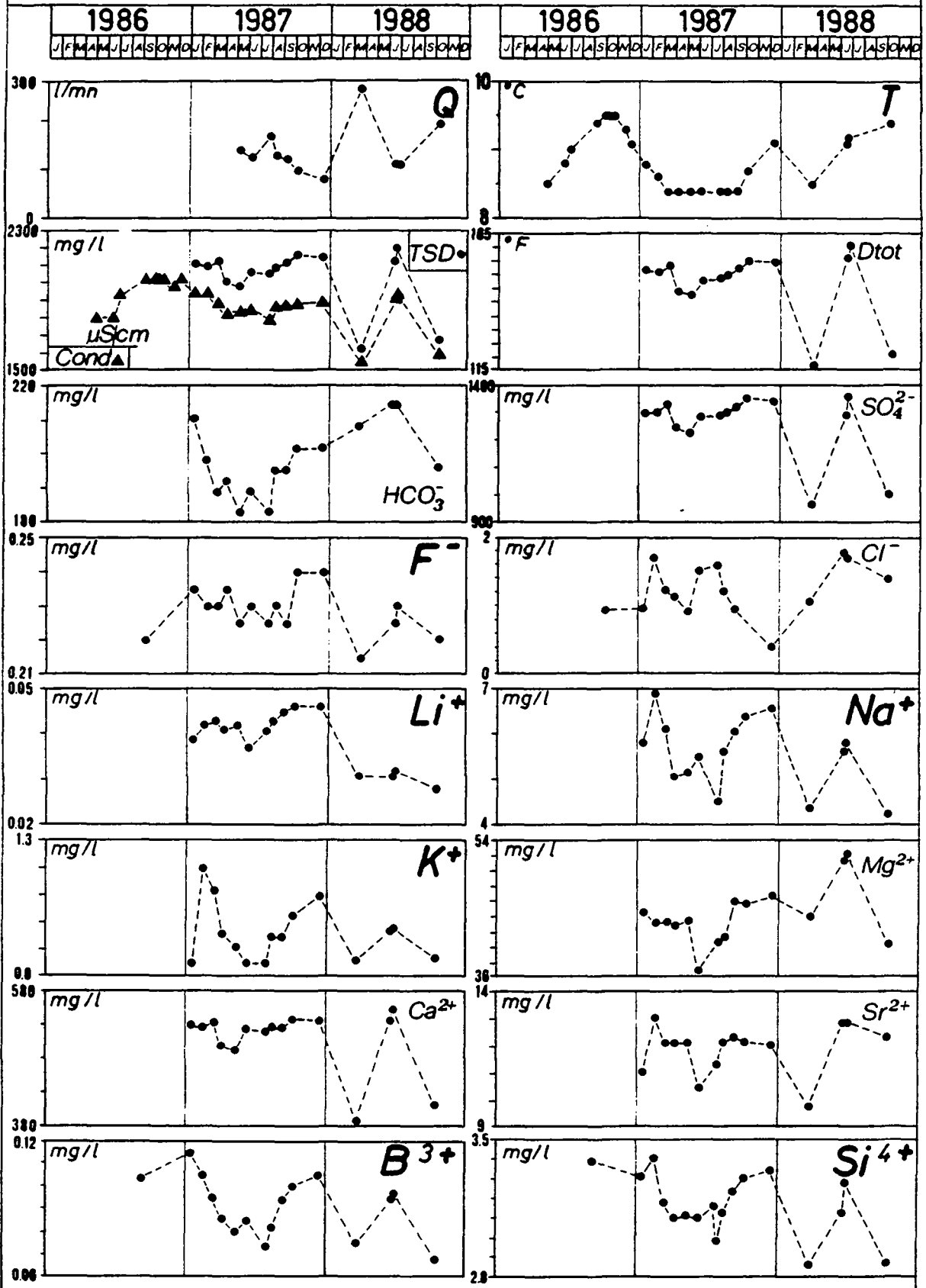
Pennique:

- Muellacheren (n° 51 du cadastre des sources)
- Poutafontana A (n° 99 du cadastre des sources)

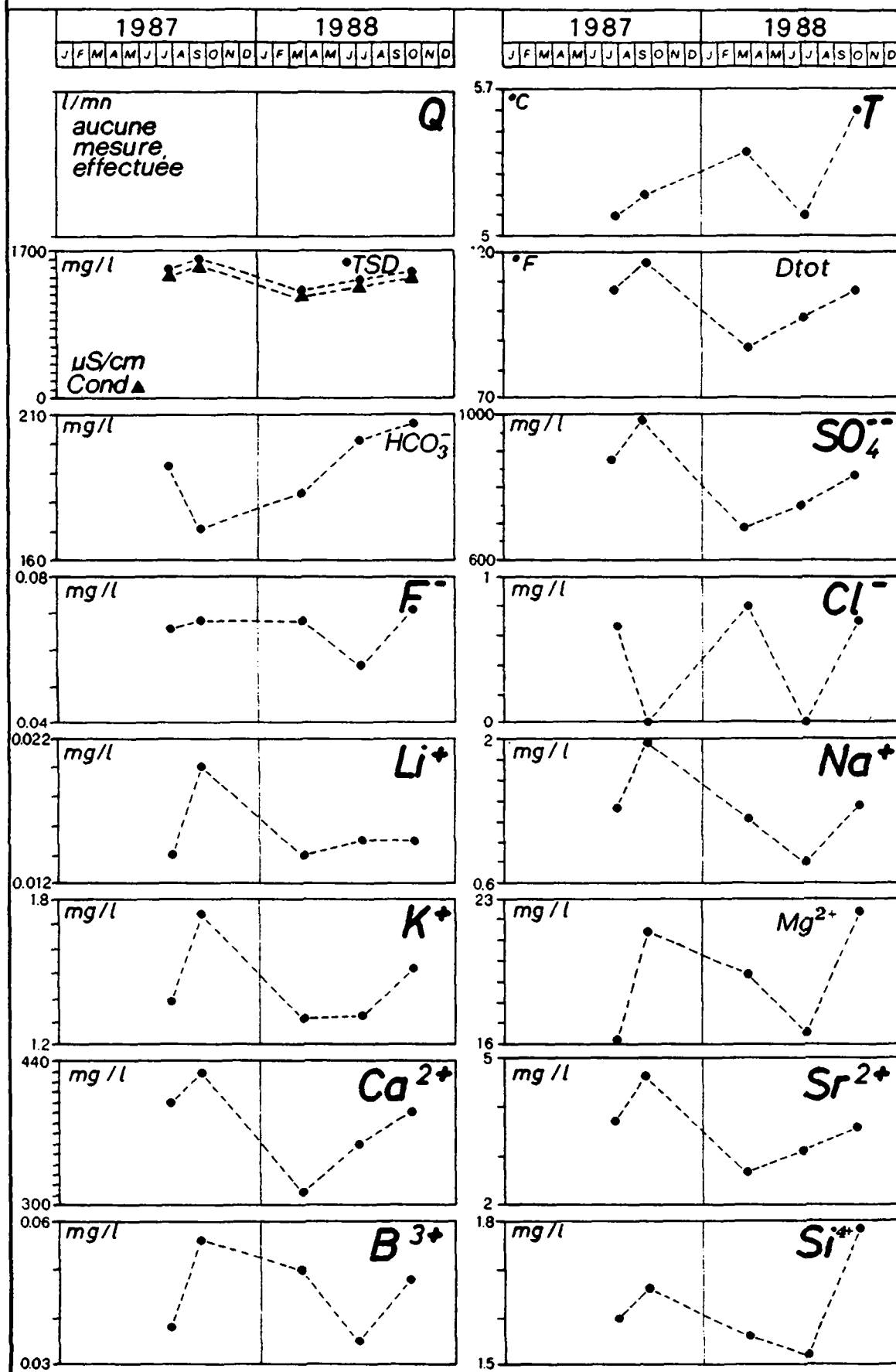
SOURCE LES SERVES D

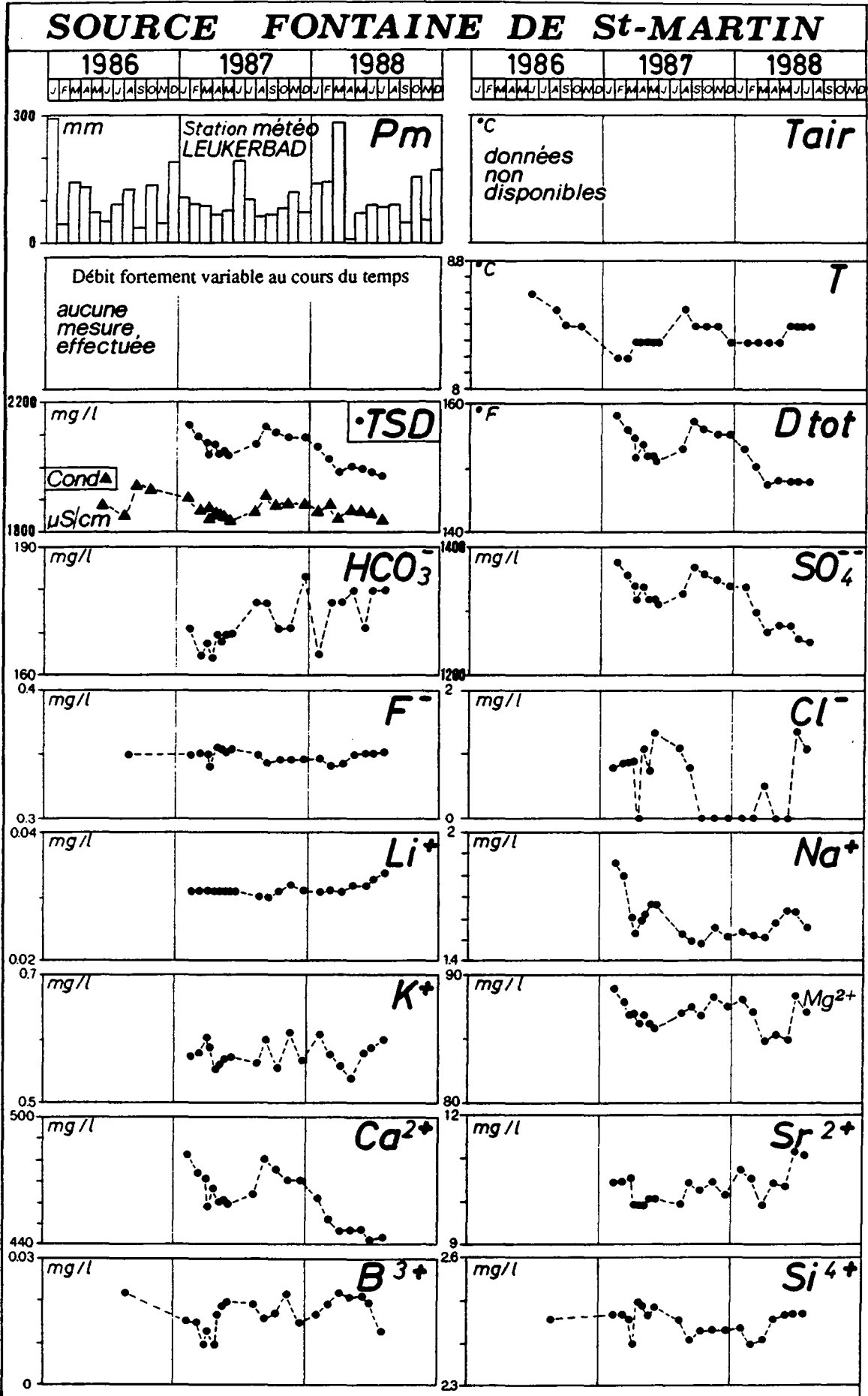


SOURCE VERS LAVAUX D

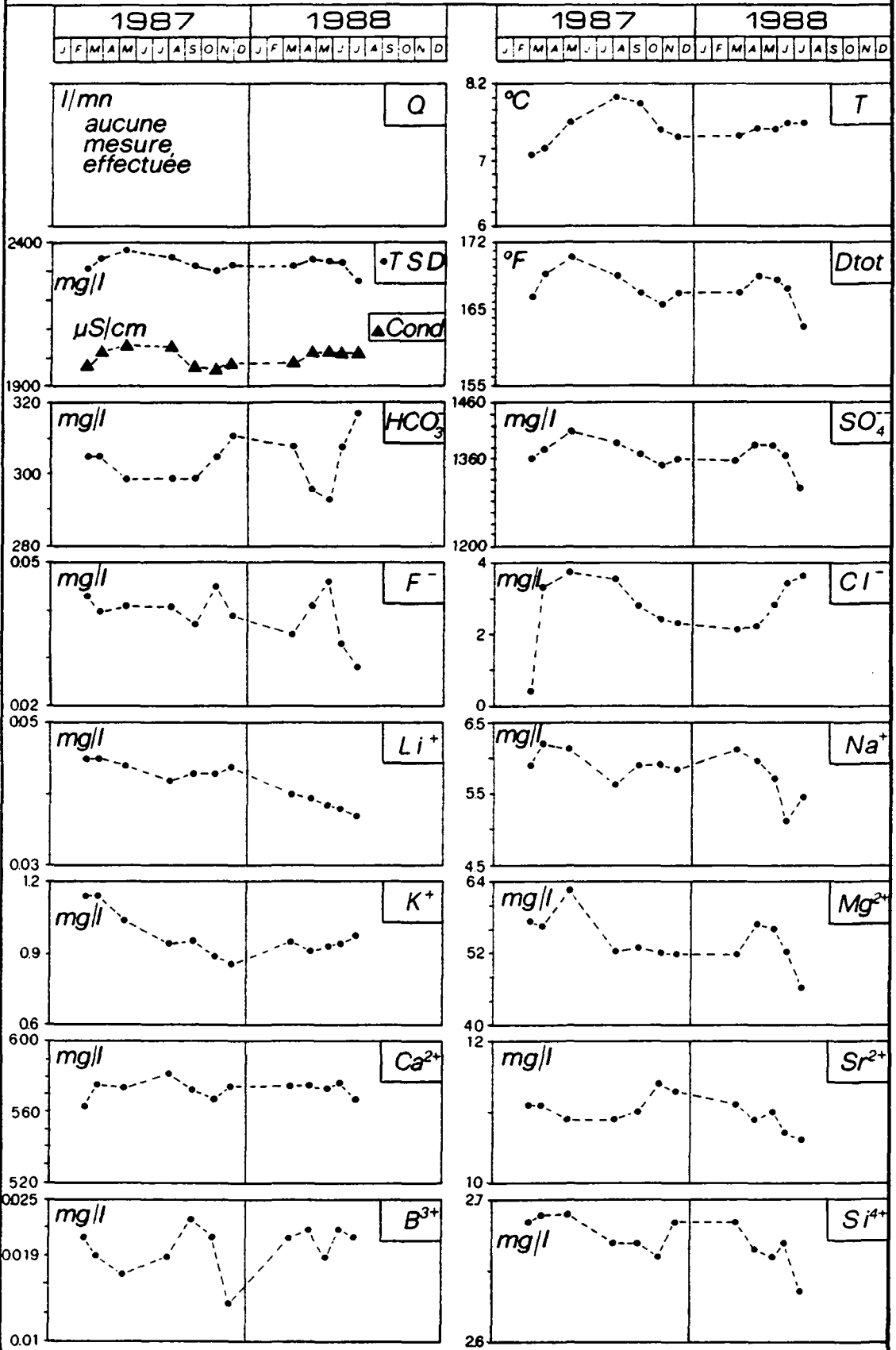


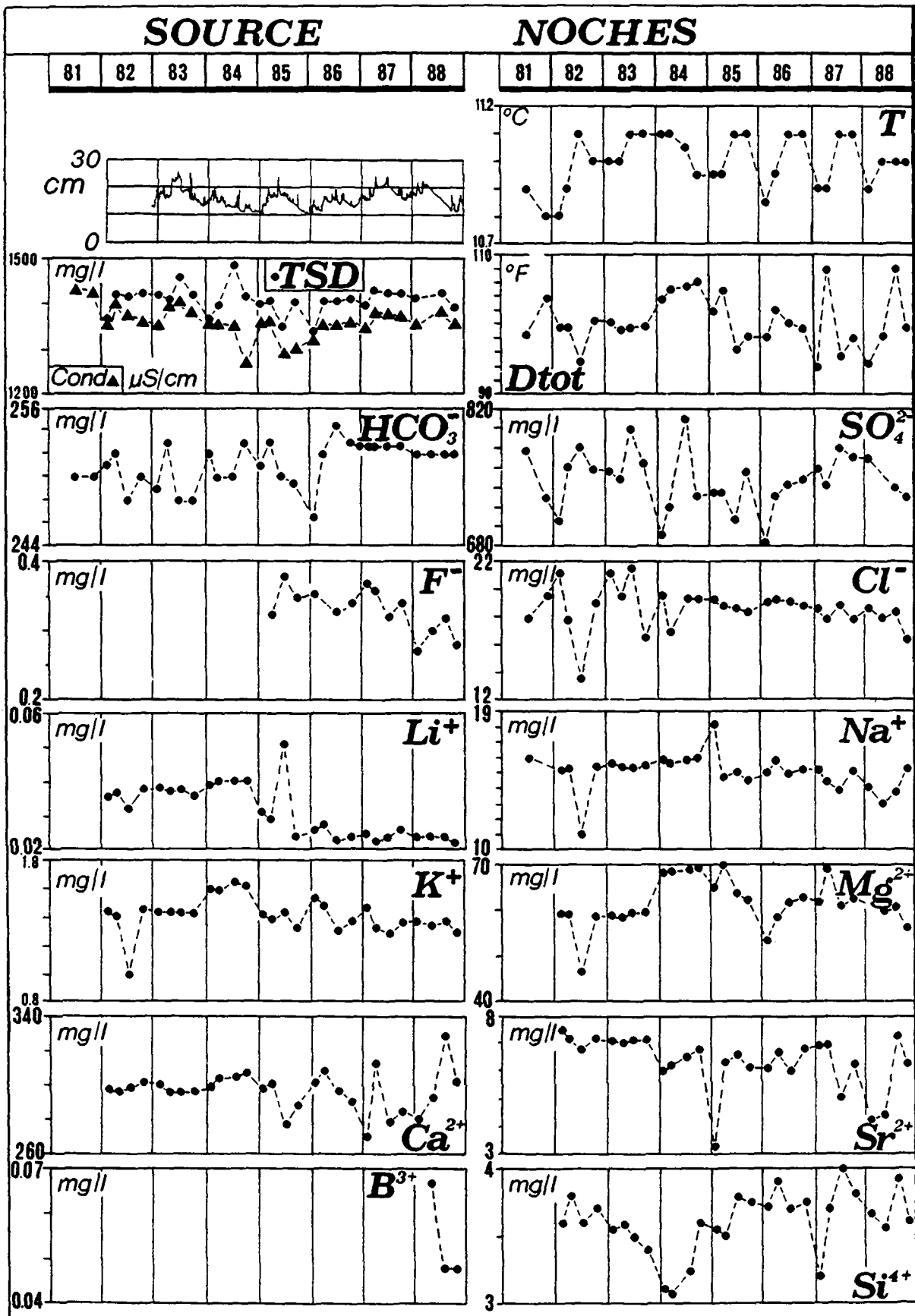
SOURCE BACH PLATRAIRE

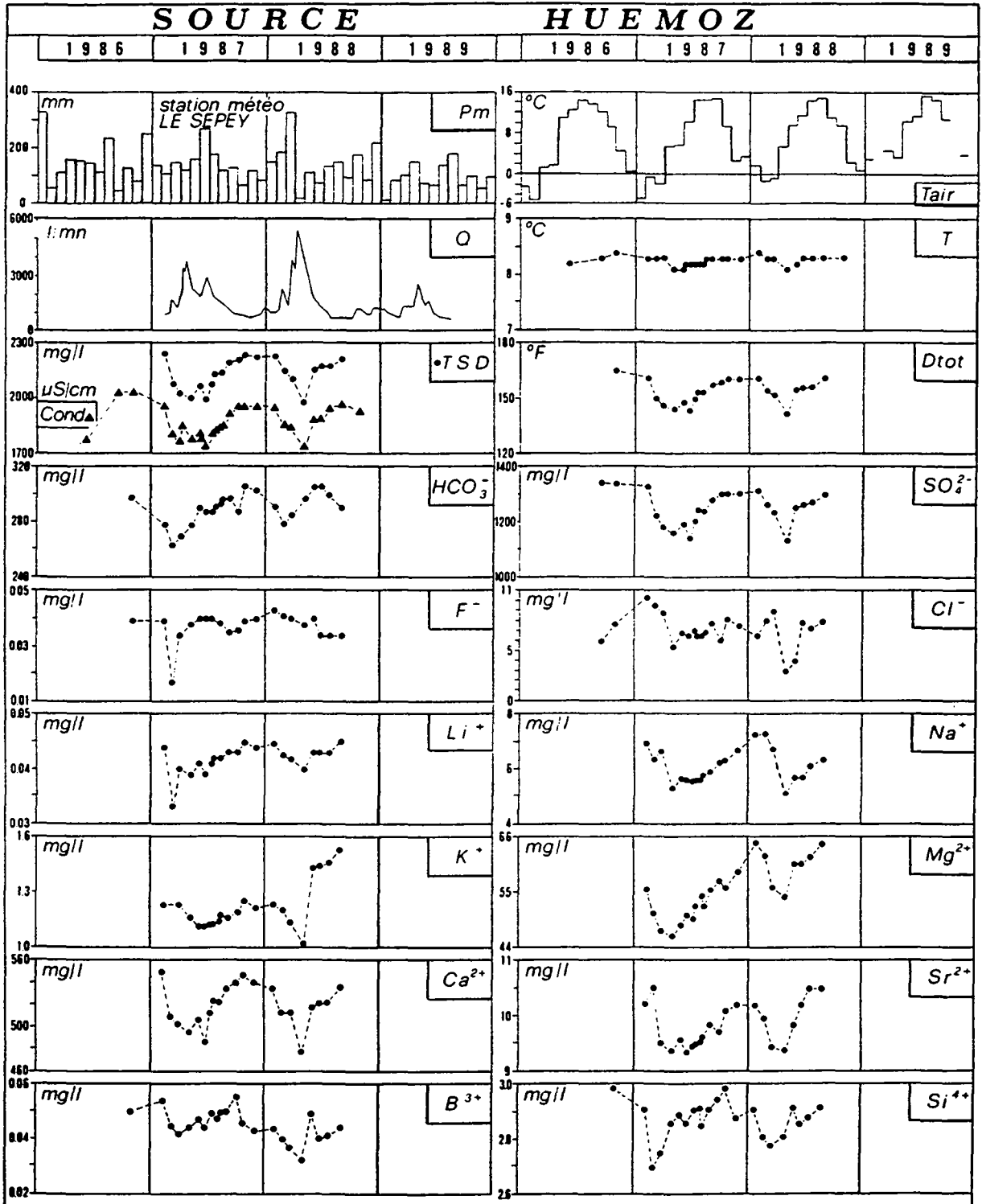


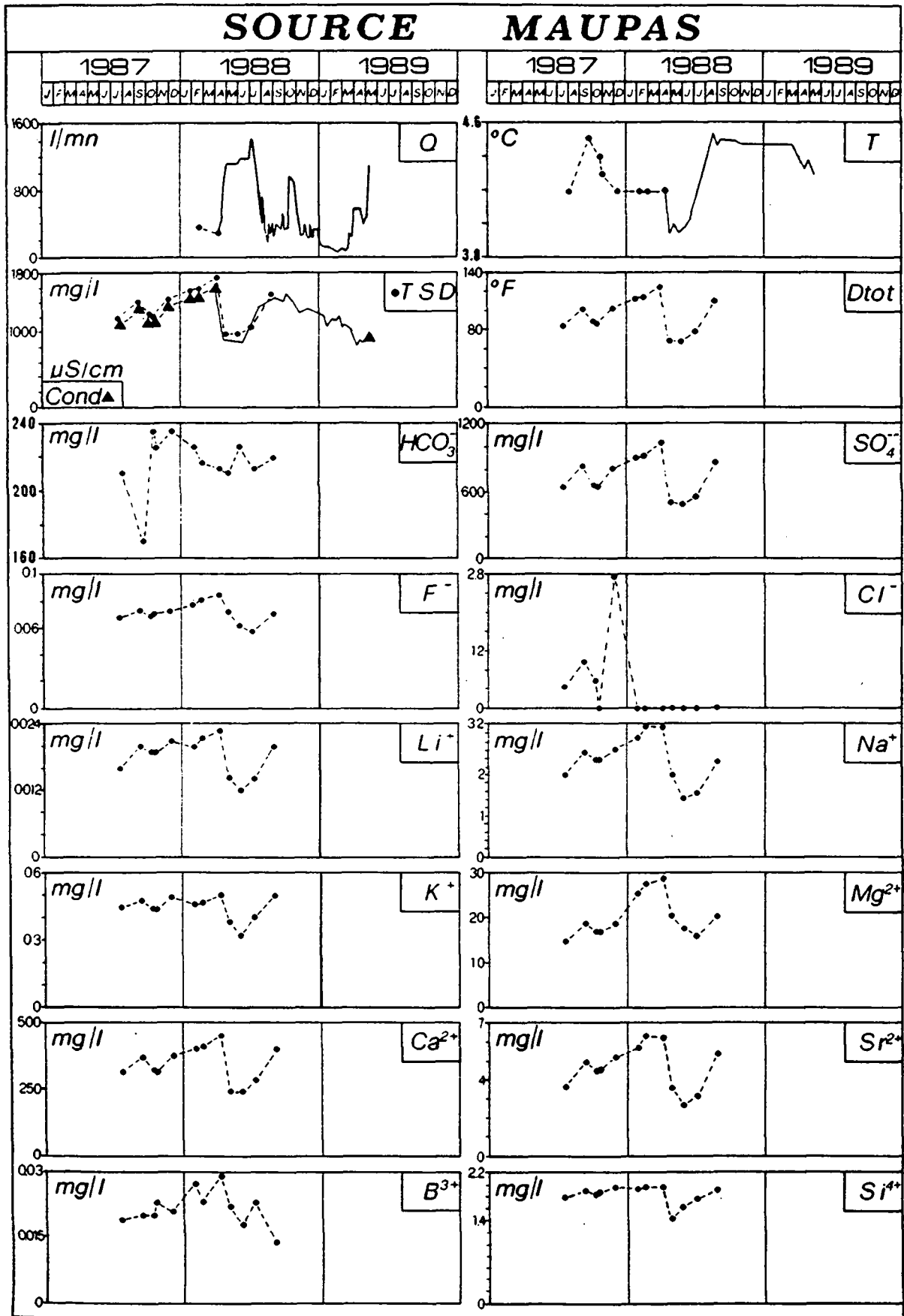


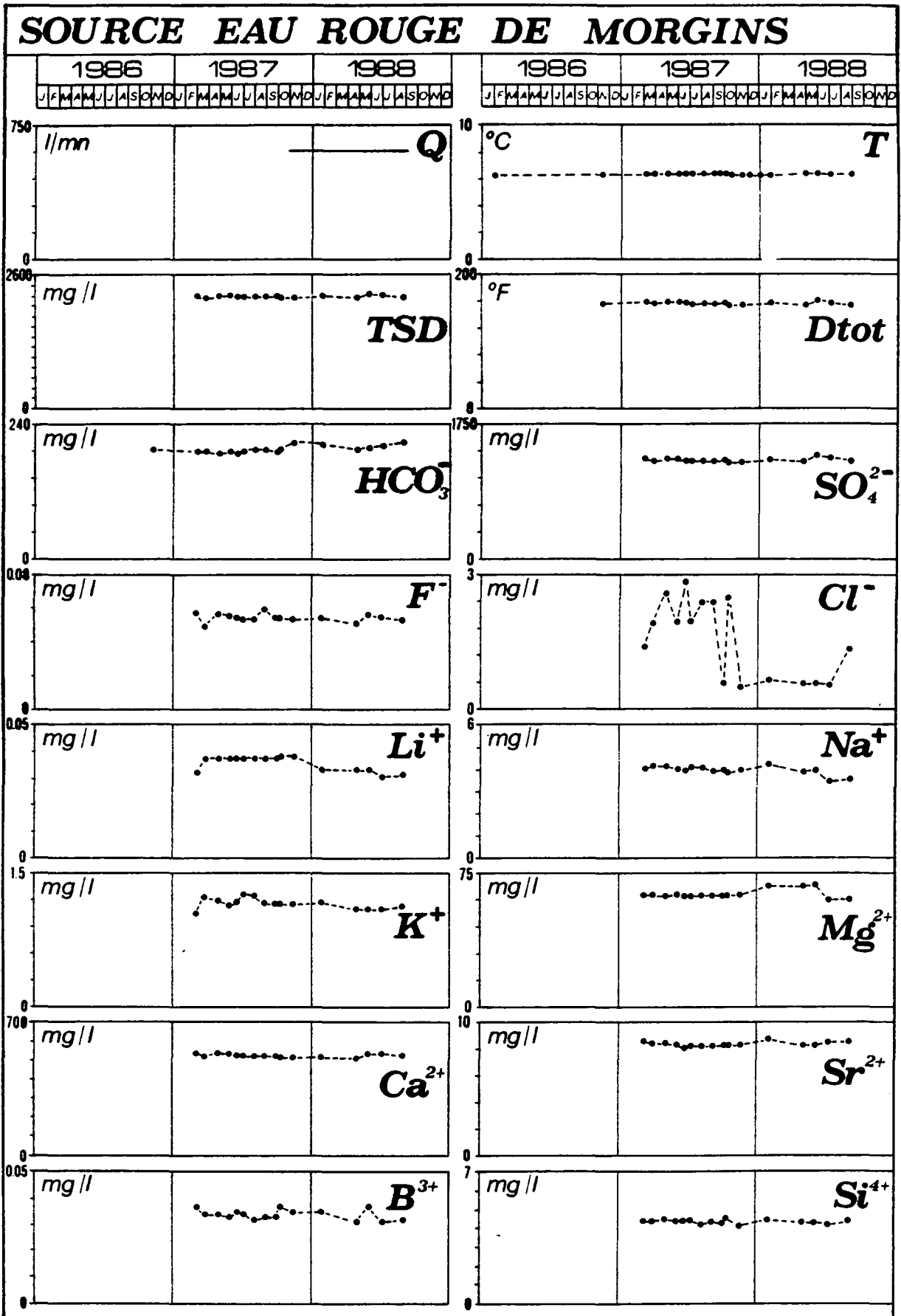
SOURCE FONTAINE DU DAY B



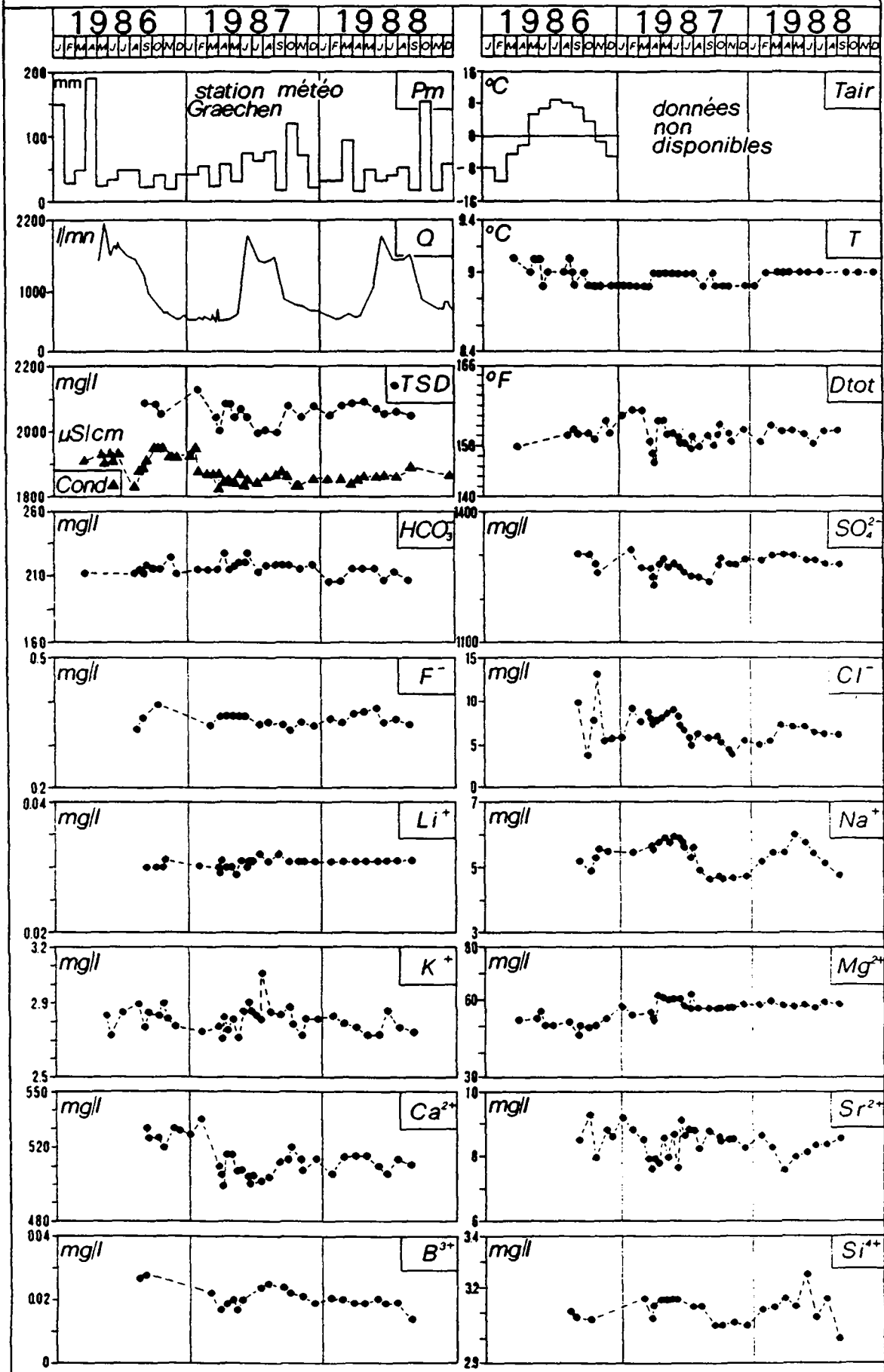


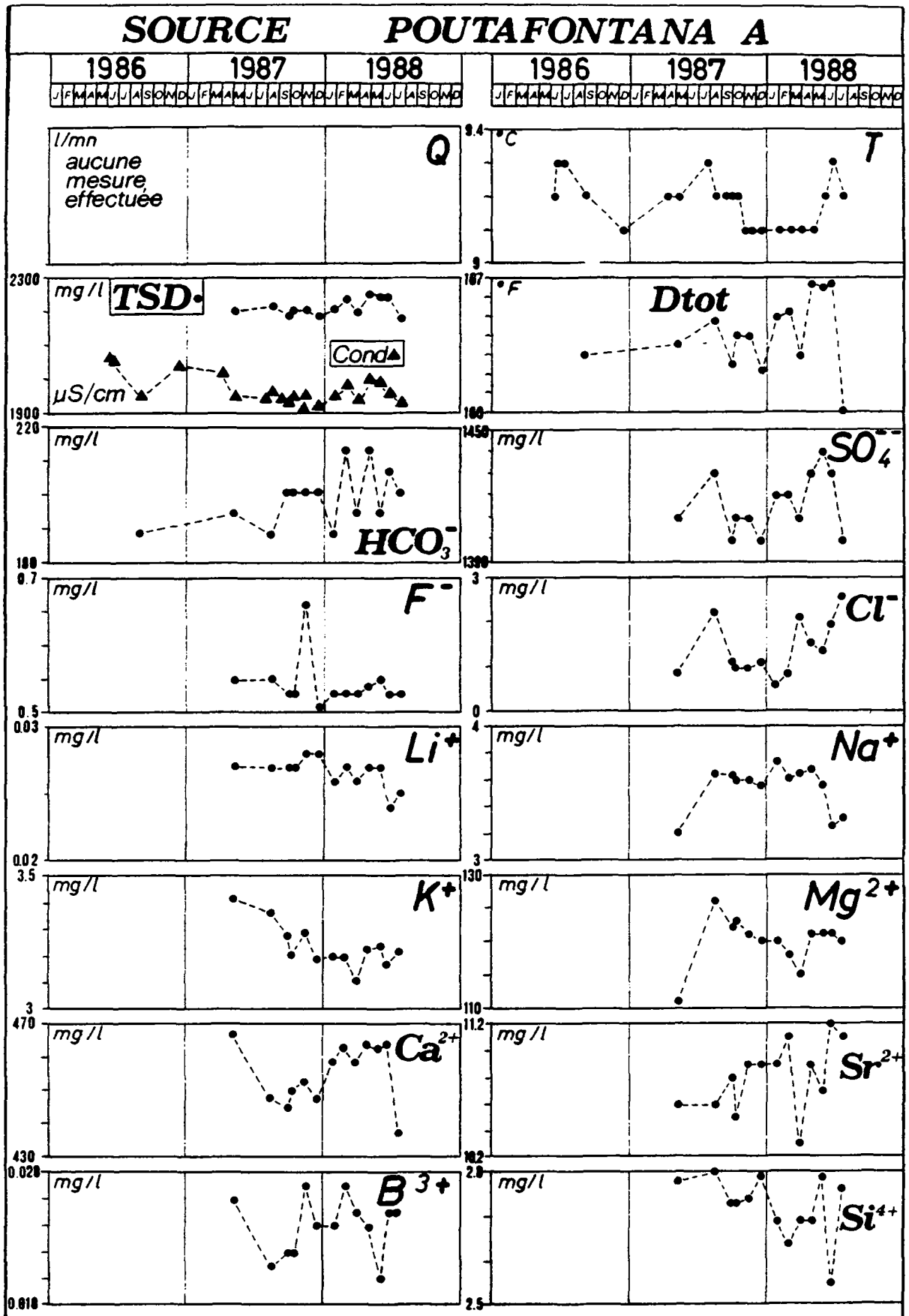






SOURCE MUELLACHEREN





Annexe 11

Essais de traçage dans le karst évaporitique

Liste des essais de traçage

Nom des essais		dates
A	Les Serves (PM)	10.10.1986
B	Huémoz (UH)	15.7.1987
C	La Rasse (UH)	2.11.1988
D	Val d'Illiez-Val de Morgins (UH)	16.10.1987
E	Poutafontana (PN)	29.9.1987
F	Muellacheren (PN)	22.6.1987

(...) = sous-type d'aquifère évaporitique

Légende de l'annexe

X	coordonnée X
Y	coordonnée Y
Z	altitude en msn
FN	feuille nationale au 1:25'000e
Id	Identificateur du point d'eau ou code
(12)	numéro des sources du Trias
●	localités
●	sources du Trias
◉	autres sources
◆	point d'injection du traceur
PEF	période d'échantillonnage des fluocapteurs
RF	fluocapteur de référence avant l'injection
I	présence du traceur non décelée
D	présence du traceur douteuse
D*	présence d'un traceur fluorescent avant l'injection
P	présence du traceur probable
S	présence du traceur sûre
O	fluocapteur manquant

Nom de l'essai:	LES SERVES	Annexe 11 A
		Page 1

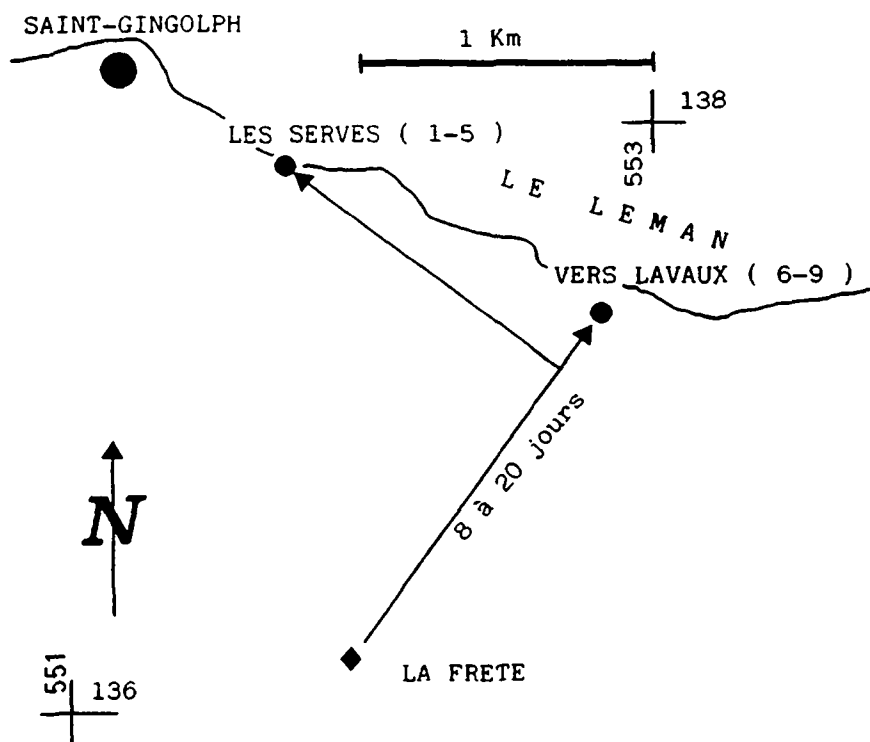
Données de l'essai

Traceur:	Fluorescéine
Quantité:	5 kg
Lieu d'injection:	La Frête
Commune – canton:	St - Gingolph - Valais
X:	551.92
Y:	136.20
Z:	1060
Feuille nationale:	Montreux N° 1264
Date / heure d'injection:	10 octobre 1986 à 14 h

Points d'eau contrôlés

N°	Sources du Trias	Id	X	Y	Z
1	Les Serves A	SEF	551.714	137.858	385
2	Les Serves B	SEC	551.728	137.885	375
3	Les Serves C	SES	551.787	137.859	385
4	Les Serves D	SEM	551.795	137.873	375
5	Les Serves E	SEA	551.805	137.872	375
6	Vers Lavaux A	LEI	552.68	137.43	385
7	Vers Lavaux B	LEG	552.74	137.40	385
8	Vers Lavaux C	LEB	552.76	137.39	385
9	Vers Lavaux D	LED	552.82	137.35	400

Carte de situation



Nom de l'essai:	LES SERVES	Annexe 11 A
		Page 2

Résultats

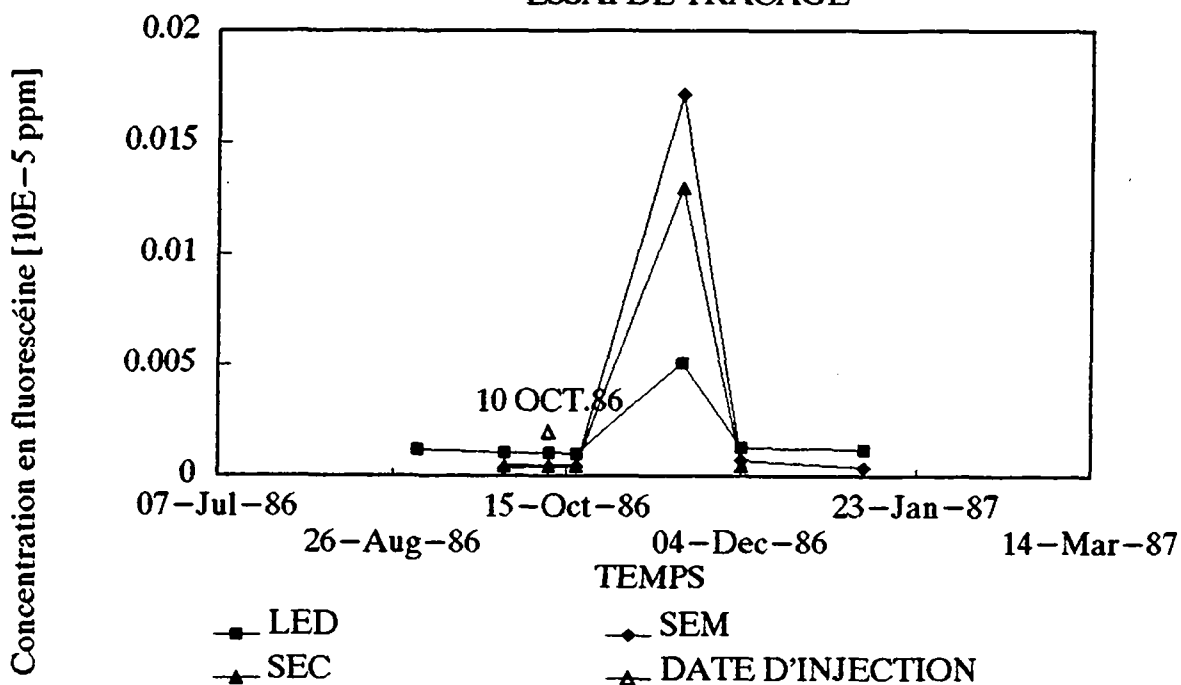
1. Analyses sur fluocapteurs

PEF	Sources du Trias								
	Les Serves					Vers Lavaux			
	SEM	SEA	SES	SEC	SEF	LEI	LEG	LEB	LED
27.09.86-10.10.86 (RF)	I	D*	D*	D*	I	I	I	D*	D*
Injection le 10.10.86									
10.10 - 18.10.86	I	D	D	I	O	I	I	D	D
18.10 - 30.10.86	D	P	P	S	D	P	P	O	S
30.10 - 17.11.86	I	D	I	P	I	S	S	S	S
17.11 - 04.12.86	I	D	P	I	D	P	P	P	S
04.12.86 - 08.01.87	D	D	D	I	D	S	S	S	S

2. Analyses sur eaux

LES SERVES

ESSAI DE TRACAGE



3. Commentaires

- FLUOCAPTEURS:** L'analyse des fluocapteurs a montré que la fluorescéine est parvenue à toutes les émergences. Cependant elle n'a été décelée de manière plus évidente qu'au groupe des sources de Vers Lavaux. L'arrivée du traceur se situa entre 8 et 20 jours.
- EAUX:** L'analyse sur les eaux a montré que l'échantillon du 18.10.86 est encore négatif, alors que l'échantillon du 17.11.86 est positif: la concentration en fluorescéine atteignant $1,7 \cdot 10^{-5}$ ppm.

Nom de l'essai:	HUEMOZ	Annexe 11 B
		Page 1

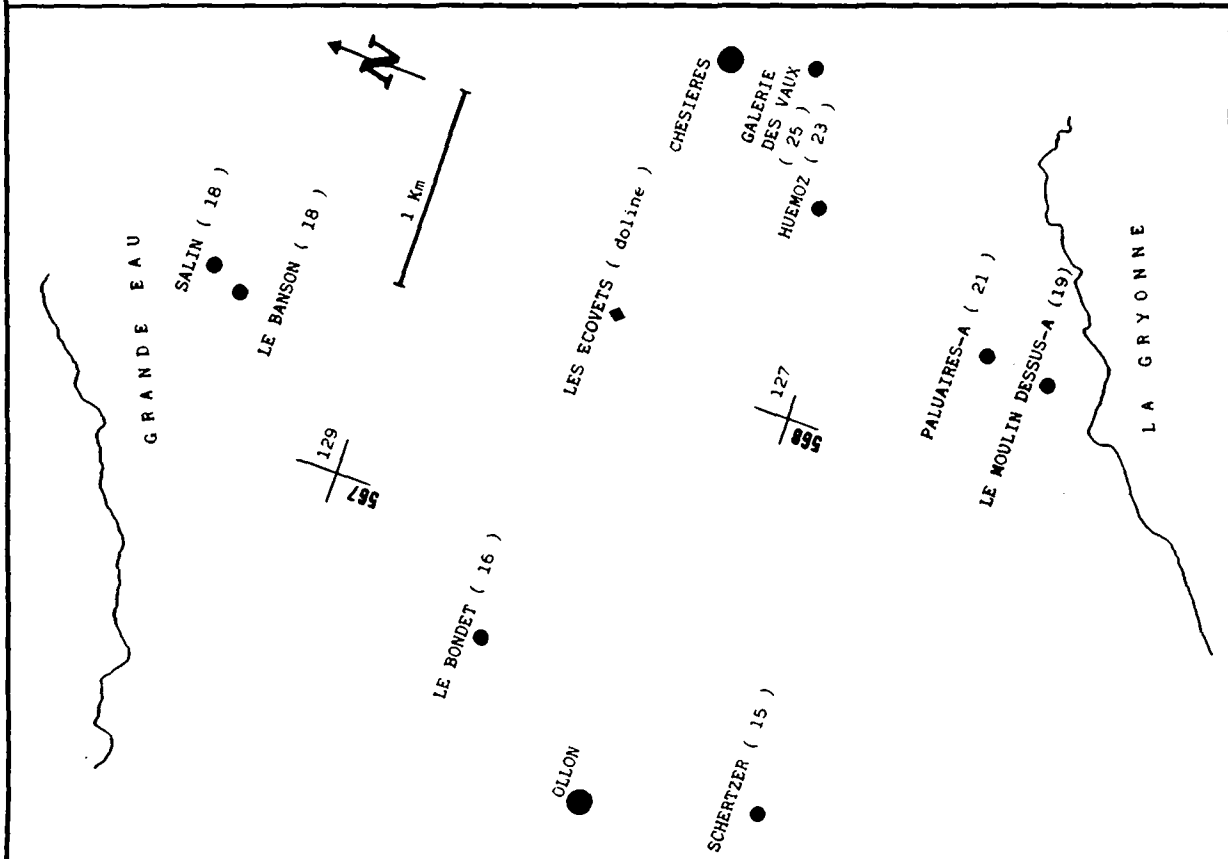
Données de l'essai

Traceur:	Fluorescéine
Quantité:	2 Kg
Lieu d'injection:	Les Ecovets
Commune - canton:	Ollon-Vaud
X:	568.20
Y:	127.96
Z:	1300
Feuille nationale:	Les Diablerets N° 1285
Date / heure d'injection:	15 Juillet 1987 à 10 h

Points d'eau contrôlés

N°	Sources du Trias	Id	X	Y	Z
15	Schertzer	SCH	566.13	126.52	440
16	Le Bondet	BON	566.48	128.06	610
17	Le Banson	BAN	567.70	129.74	950
18	Salin	SAI	567.80	129.90	1120
19	Le Moulin Dessus A	MOD	568.45	125.85	720
21	Paluaires A	PAU	568.60	126.16	770
23	Huémоз	HUE	569.00	127.20	1090
25	Galerie des Vaux	VAU	569.64	127.10	1080

Carte de situation



Nom de l'essai:	HUEMOZ	Annexe 11 B
		Page 2

Résultats

1. Analyses sur fluocapteurs

PEF	Sources du Trias							
	BON	SCH	SAI	BAN	MOD	PAU	HUE	VAU
07.05.87-15.07.87 (RF)	D*	D*	D*	I	D*	I	D*	I
Injection le 15.07.87								
15.07 - 21.07.87	I	I	I	I	I	I	I	I
21.07 - 10.08.87	I	I	I	I	I	I	I	I
10.08 - 07.09.87	I	I	I	I	I	I	I	I
07.09 - 06.10.87	I	I	I	I	I	I	I	I
06.10 - 26.10.87	I	I	I	I	I	I	I	I
26.10 - 03.12.87	I	I	I	I	I	I	I	I

2. Analyses sur eaux

PEF	Source de l'Huémoz
15.07.87 (RF)	I
Injection le 15.07.87	
15.07.87 - 29.02.88 : 62 échantillons	I

3. Commentaires

- FLUOCAPTEURS:** Pendant une période de plus de 4 1/2 mois aucune trace de la fluorescéine n'a été détectée dans les fluocapteurs des différents points d'eau contrôlés.
- EAUX:** La source du cimetière de l'Huémoz a fait l'objet d'une surveillance de plus de 7 mois par des prélèvements réguliers d'eau. Les 62 échantillons récoltés ne révélèrent aucune présence du traceur.

Nom de l'essai:	LA RASSE	Annexe 11 C
		Page 1

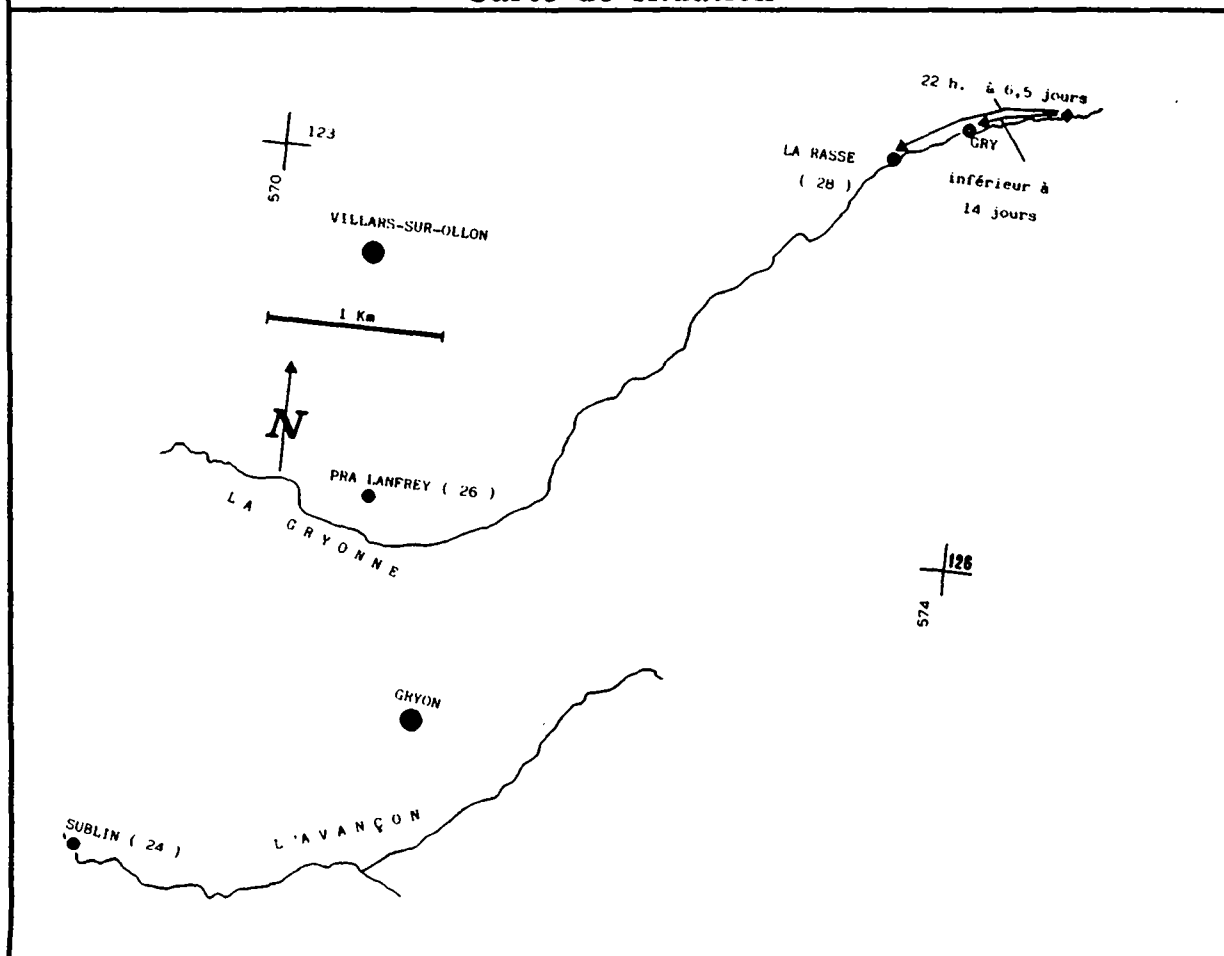
Données de l'essai

Traceur:	Fluorescéine
Quantité:	1 Kg
Lieu d'injection:	La Gryonne
Commune - canton:	Ollon-Vaud
X:	574.44
Y:	128.64
Z:	1430
Feuille nationale:	Les Diablerets N° 1285
Date / heure d'injection:	2 novembre 1988 à 14 h

Points d'eau contrôlés

N°	Sources du Trias	Id	X	Y	Z
24	Sublin	SUB	569.20	123.88	540
26	Pra Lanfrey	LAN	570.67	126.05	1020
28	La Rasse	RAS	573.45	128.30	1380
-	Autre Source La Gryonne	GRY	573.86	128.50	1400

Carte de situation



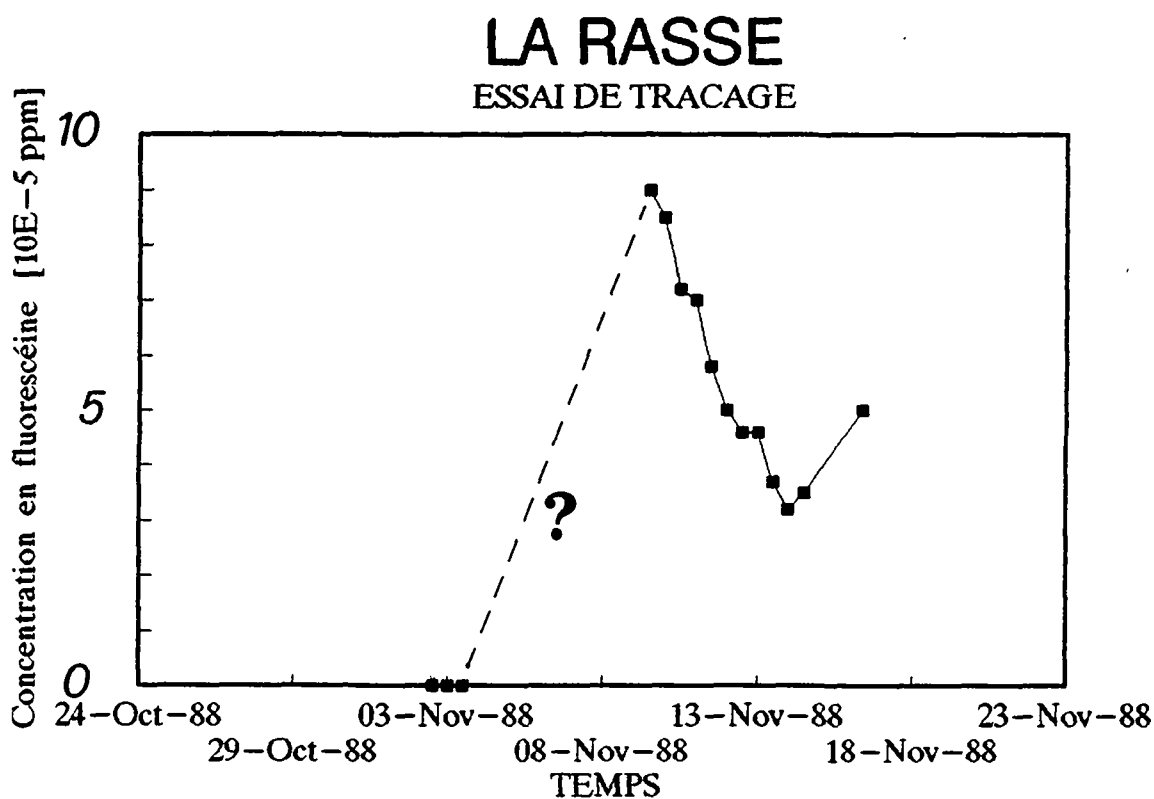
Nom de l'essai:	LA RASSE	Annexe 11 C
		Page 2

Résultats

1. Analyses sur fluocapteurs

PEF	Sources du Trias			Autre Source
	RAS	LAN	SUB	GRY
27.10.88 - 02.11.88 (RF)	I	I	I	I
Injection le 02.11.88				
02.11 - 16.11.88	S	I	I	P
16.11.88 - 20.06.89	P	I	I	P

2. Analyses sur eaux



3. Commentaires

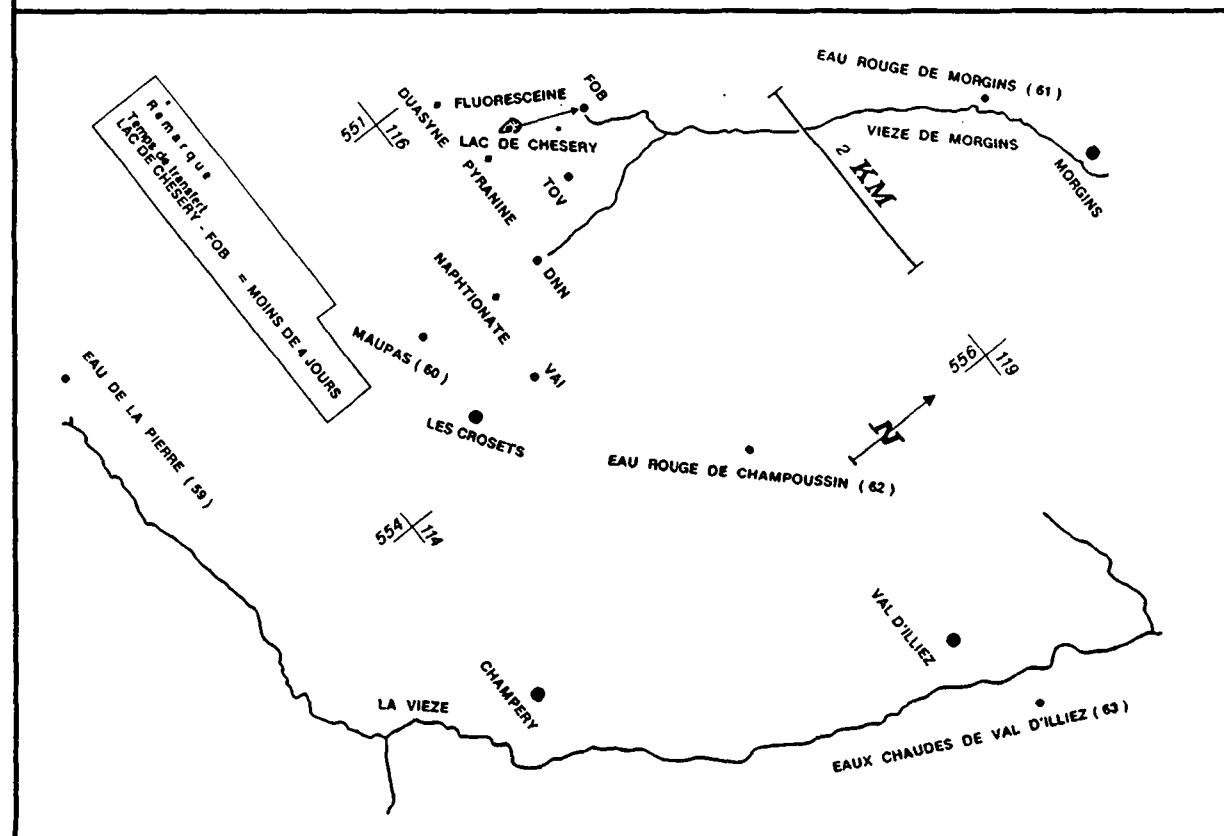
- FLUOCAPTEURS:** L'analyse des fluocapteurs a révélé que le traceur a atteint de façon sûre la source de La Rasse et probablement le point d'eau GRY en moins de **14 jours**. La fluorescéine n'a cependant jamais atteint les sources de Pra Lanfrey et Sublin pendant la période de contrôle de **6 1/2 mois**.
- EAUX:** L'analyse des eaux de La Rasse a montré que le traceur est parvenu à l'émergence dans un laps de temps compris entre **22 heures** et **6 1/2 jours**.

Nom de l'essai:		VAL D'ILLIEZ		Annexe 11 D	
		VAL DE MORGINS		Page 1	
Données de l'essai					
Traceurs (4):	1: Naphtionate	2. Fluorescéine	3. Duasyne	4. Pyranine	
Quantité:	5 kg	5 kg	2 kg	5 kg	
Lieu d'injection:	Portes-du-Soleil	Lac de Chésery	Col de Chésery	Montagnes de l'Hiver	
Commune/canton:	Val d'Illiez/VS		Troistorrents/VS		
X :	552.86	551.75	551.20	551.69	
Y :	115.88	116.95	116.53	116.75	
Z :	1990	1890	2030	1910	
Feuille nationale:	Val d'Illiez No. 1304				
Date d'injection:	16 octobre 1987				
Heure d'injection:	9 h	10 h	11 h	12 h	

Points d'eau contrôlés

N°	Sources du Trias	Id	X	Y	Z
59	Eau de la Pierre	PIE	551.03	112.35	1605
60	Maupas	MAU	552.74	115.15	1810
61	Eau Rouge de Morgins	EAR	554.20	120.42	1360
62	Eau Rouge de Champoussin	CHA	555.35	116.79	1640
63	Eau chaudes de Val d'Illiez A	VAT	558.40	117.45	790
Autres sources					
-	Vaillime	VAI	553.64	115.67	1820
-	La Tovassière	TOV	552.40	117.05	1690
-	Dronnaire	DNN	552.85	116.37	1860
-	Fontaine Blanche	FOB	552.05	117.53	1610

Carte de situation



Nom de l'essai:						Annexe 11 D				
VAL D'ILLIEZ						Page 2				
VAL DE MORGINS										
Résultats										
1. Analyses sur fluocapteurs										
Traceurs:	1: Naphtionate					2: Fluorescéine				
PEF	Sources du Trias									
	VAT	CHA	MAU	EAR	PIE	VAT	CHA	MAU	EAR	PIE
16.9-15.10.87(RF)	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Injection le 15.10.87										
15.10-23.10.87	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
23.10-4.12.87	I	I	I	I	O	I	I	I	I	O
4.12.87-1.2.88	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
1.2-22.2.88	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
22.2-9.4.88	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
9.4-2.5.88	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
2.5-2.6.88	I	I	I	O	I	I	I	I	O	I
2.6-7.7.88	I	O	I	O	I	I	O	I	O	I
PEF	Autres sources									
	VAI	TOV	DNN	FOB	VAI	TOV	DNN	FOB	VAI	FOB
16.9-15.10.87(RF)	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Injection le 15.10.87										
15.10-23.10.87	I	I	I	I	I	I	I	S	I	S
23.10-4.12.87	I	I	O	I	I	I	O	S	I	S
4.12.87-7.7.88	O	I	O	O	O	O	I	O	O	O
Traceurs:	3: Duasyne					4: Pyranine				
PEF	Sources du Trias									
	VAT	CHA	MAU	EAR	PIE	VAT	CHA	MAU	EAR	PIE
16.9-15.10.87(RF)	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Injection le 15.10.87										
15.10-23.10.87	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
23.10-4.12.87	I	I	I	I	O	I	I	I	I	O
4.12.87-1.2.88	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
1.2-22.2.88	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
22.2-9.4.88	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
9.4-2.5.88	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
2.5-2.6.88	I	I	I	O	I	I	I	I	O	I
2.6-7.7.88	I	O	I	O	I	I	O	I	O	I
PEF	Autres sources									
	VAI	TOV	DNN	FOB	VAI	TOV	DNN	FOB	VAI	FOB
16.9-15.10.87(RF)	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Injection le 15.10.87										
15.10-23.10.87	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
23.10-4.12.87	I	I	O	I	I	I	O	I	I	I
4.12.87-7.7.88	O	I	O	O	O	O	I	O	O	O

Nom de l'essai:	VAL D'ILLIEZ	Annexe 11 D
	VAL DE MORGINS	Page 3

2. Analyses sur eaux

P E F	Source du Maupas (MAU)	Source de l'Eau Rouge (EAR)
15.10.87 (RF)	I	I
<u>Injection le 15.10.87</u>		
15.10.87-21.03.88 37 échantillons/source	I	I

3. Commentaires

- a) **FLUOCAPTEURS:** Pendant une période de près de **9 mois**, aucun des fluocapteurs installés aux sources triasiques n'a révélé la présence des 4 traceurs. Les deux premiers fluocapteurs de FOB ont révélé la présence de la fluorescéine. Son temps d'arrivée a été inférieur à **8 jours**.

Tous les autres capteurs des émergences non triasiques ont été négatifs. Pour TOV, aucun des traceurs n'est apparu sur une période de **9 mois**.

- b) **EAUX:** Pendant **5 mois** un échantillonnage régulier des sources du Maupas et de l'Eau Rouge de Morgins a été effectué. Aucun des traceurs injectés n'a été retrouvé dans ces eaux.

Un appel téléphonique de la Commune de Troistorrens nous avait communiqué que la Vièze de Morgins était verte le 19.10.1987. L'eau de couleur verte, caractéristique de la fluorescéine, provenait de la cascade de Fontaine Blanche. Le temps de transfert du traceur du Lac de Chésery à la cascade de Fontaine Blanche (FOB) a été inférieur à 4 jours. Cette observation est venue compléter le résultat obtenu par l'analyse des fluocapteurs de FOB.

Nom de l'essai: POUTAFONTANA		Annexe 11 E			
		Page 1			
Données de l'essai					
Traceurs (2):	1: Naphtionate	2: Duasyne			
Quantité:	1 kg	1 kg			
Lieu d'injection:	Plans Pras	Nax			
Commune - canton:	Nax - Valais				
X:	599.70	599.13			
Y:	120.15	119.78			
Z:	1190	1260			
Feuille nationale:	Sion N° 1306				
Date d'injection:	29 septembre 1987				
Heure d'injection:	12 h	14 h			
Points d'eau contrôlés					
N°	Sources du Trias	Id	X	Y	Z
99	Poutafontana A	POU	599.35	121.36	500
100	Poutafontana B	POP	599.52	121.49	500
-	Poutafontana C	LAC	599.20	121.30	500
Carte de situation					
<p>The map shows the Le Rhône river flowing from the top left towards the bottom right. To the right of the river is the village of Pramagnon, marked with a black dot. Below Pramagnon are three monitoring points: POUTAFONTANA-B (100), POUTAFONTANA-A (99), and POUTAFONTANA-C, each marked with a black dot. Further south and west are the injection points: DUASYNE (marked with a black diamond) and NAX (marked with a black dot). A line connects NAX to POUTAFONTANA-C, labeled '4 mois'. A scale bar indicates 1 Km. A north arrow is located to the right of the monitoring points. Grid coordinates 122, 599, 120, and 601 are marked on the map.</p>					

Nom de l'essai:	POUTAFONTANA	Annexe 11 E
		Page 2

Résultats

1. Analyses sur fluocapteurs

Traceurs	1. Naphtionate			2. Duasyne		
	Sources du Trias					
PEF	POU	POP	LAC	POU	POP	LAC
06.05.87-29.09.87 (RF)	I	I	I	I	I	I
Injection le 29.09.87						
29.09 - 08.10.87	I	I	I	I	I	I
08.10 - 05.11.87	I	I	I	I	I	D
05.11.- 17.12.87	I	I	I	D	I	I
17.12.87 - 29.01.88	I	I	I	S	I	I
29.01.88 - 29.02.88	I	I	I	I	I	I
29.02 - 29.03.88	I	I	I	S	I	I

2. Analyses sur eaux

PEF	Sources de POUTAFONTANA (A et B)	
	A	B
29.09.87 (RF)	I	I
Injection le 29.09.87		
29.09 87 - 29.03.88 - 45 échantillons/source	I	I

3. Commentaires

- a) **FLUOCAPTEURS:** L'analyse des fluocapteurs a révélé que seule la duasyne est parvenue aux émergences de Poutafontana. Cependant elle n'a été détectée qu'à la source A (POU) environ 4 mois après l'injection.
- b) **EAUX:** Sur les eaux, aucun des deux traceurs n'a pu être identifié pendant 4 mois de contrôle.

Nom de l'essai:	MUELLACHEREN	Annexe 11 F
		Page 1

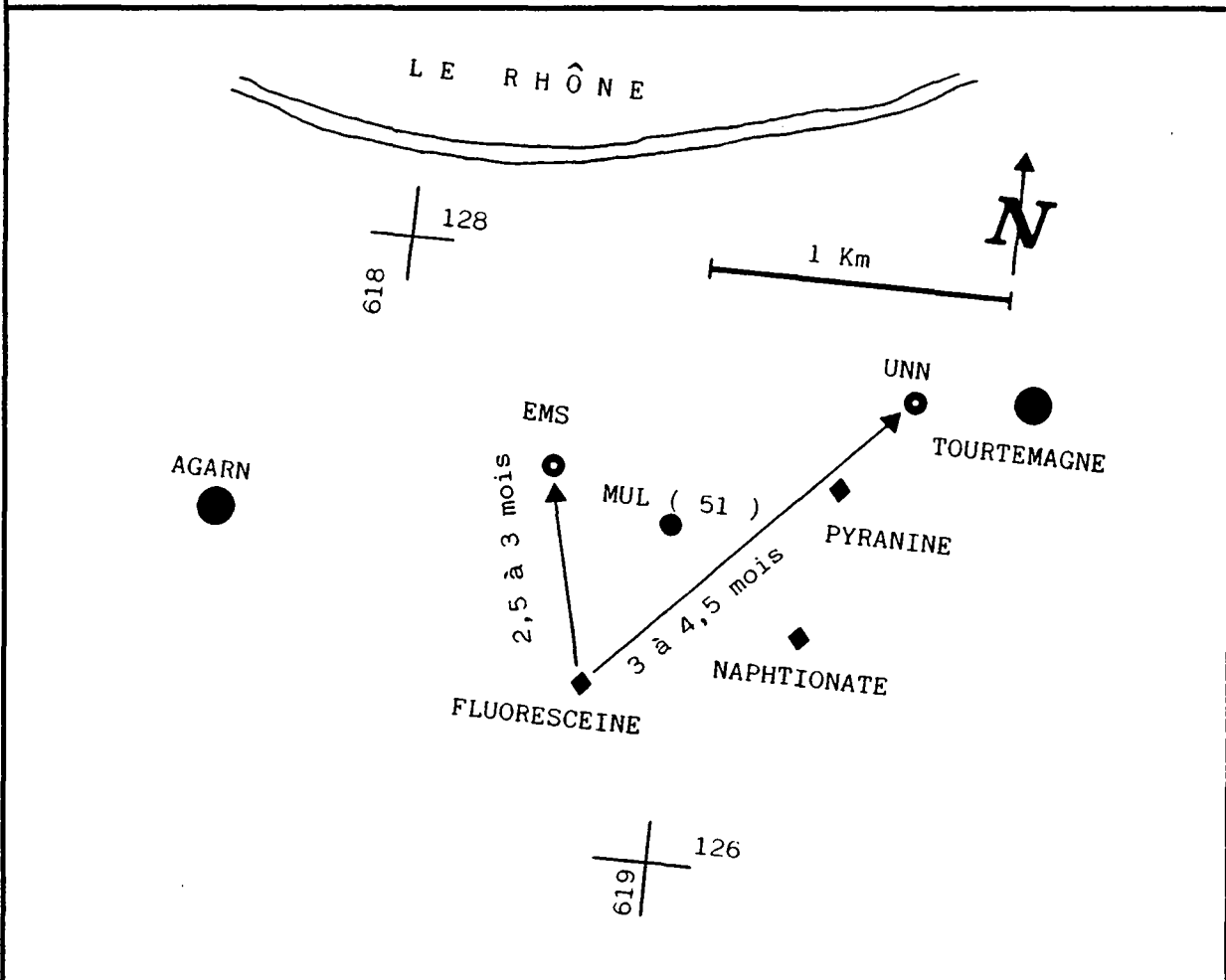
Données de l'essai

Traceurs (3)	1: Pyranine	2: Fluorescéine	3: Naphtionate
	Quantité 3 kg	5 kg	5 kg
Lieu d'injection	Kastleren	Hostatt	Unner Halde
Commune - canton	TOURTEMAGNE - VALAIS		
X	619.50	618.70	619.42
Y	127.31	126.56	126.80
Z	710	920	940
Feuille nationale	SIERRE N° 1287		
Date d'injection	22 Juin 1987		
Heure d'injection	15 H	17 H	18 H

Points d'eau contrôlés

N°	Sources du Trias	Id	X	Y	Z
51	Muellacheren	MUL	618.97	127.15	630
Autres Sources					
-	Unnerfaeld	UNN	619.71	127.61	630
-	Emsbach	EMS	618.56	127.27	620

Carte de situation



Nom de l'essai:	MUELLACHEREN	Annexe 11 F
		Page 2

Résultats

1. Analyses sur fluocapteurs

Traceurs	1: Pyranine		2: Fluorescéine		3: Naphtionate	
PEF	Source du TRIAS: MUELLACHEREN (MUL)					
18.09.86-22.06.87 (RF)	I		I		I	
Injection le 22.06.87						
22.06-22.07.87	I		I		I	
22.07-12.08.87	I		I		I	
12.08-08.09.87	I		I		I	
08.09-22.09.87	I		I		I	
22.09-08.10.87	I		I		I	
08.10-05.11.87	I		I		I	
PEF	Autres sources					
	EMS	UNN	EMS	UNN	EMS	UNN
18.06.87-22.06.87(RF)	I	I	I	I	I	I
Injection le 22.06.87						
22.06-22.07.87	I	I	I	I	I	I
22.07-12.08.87	I	I	I	I	I	I
12.08-08.09.87	I	I	I	I	I	I
08.09-22.09.87	I	I	I	P	I	I
22.09-08.10.87	I	I	P	I	I	I
08.10-05.11.87	I	I	S	I	I	I

2. Analyses sur eaux

PEF	Source de Muellacheren
22.06.87 (RF)	I
Injection le 22.06.87	
22.06-13.11.87. 86 échantillons	I

3. Commentaires

- a) **FLUOCAPTEURS:** Pendant une période de plus de 4 1/2 mois, aucun signal des trois traceurs n'a été détecté dans les fluocapteurs installés à la source de Muellacheren. Cependant, la fluorescéine a été identifiée aux émergences non triasiques de Unnerfaeld et Emsbach. Le traceur semble avoir atteint ces points d'eau entre 2 1/2 à 3 mois pour Unnerfaeld et 3 à 4 1/2 mois pour Emsbach. En ces points, ni la pyranine ni le naphtionate n'ont été détectés.
- b) **EAUX:** Pendant une période de près de 5 mois, l'analyse de 86 échantillons d'eau prélevés à la source de Muellacheren n'a pas révélé la présence des trois traceurs.

314

Annexe 12

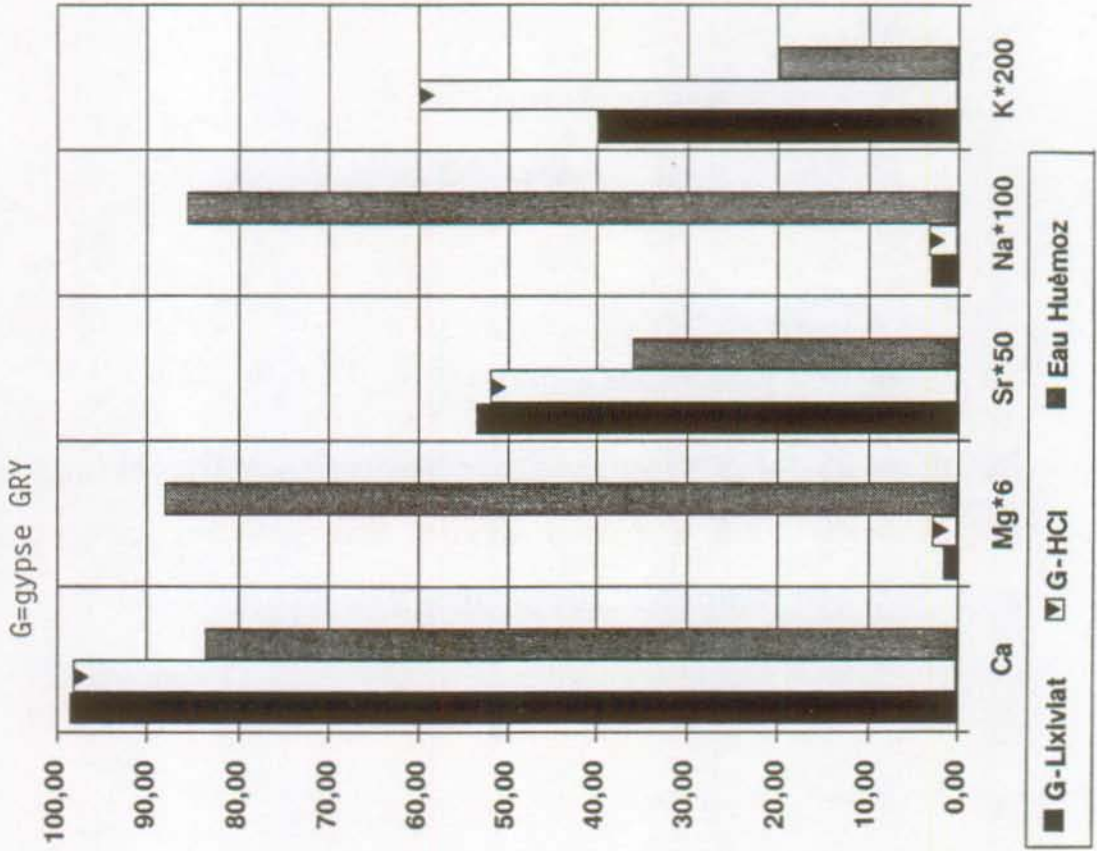
Origine du Ca, Mg, Sr, Na et K dans les eaux:

**Résultats chimiques obtenus par les tests de lixiviation,
à l'attaque à HCl et à la fusion alcaline effectués sur les gypses,
et comparés aux analyses de l'eau**

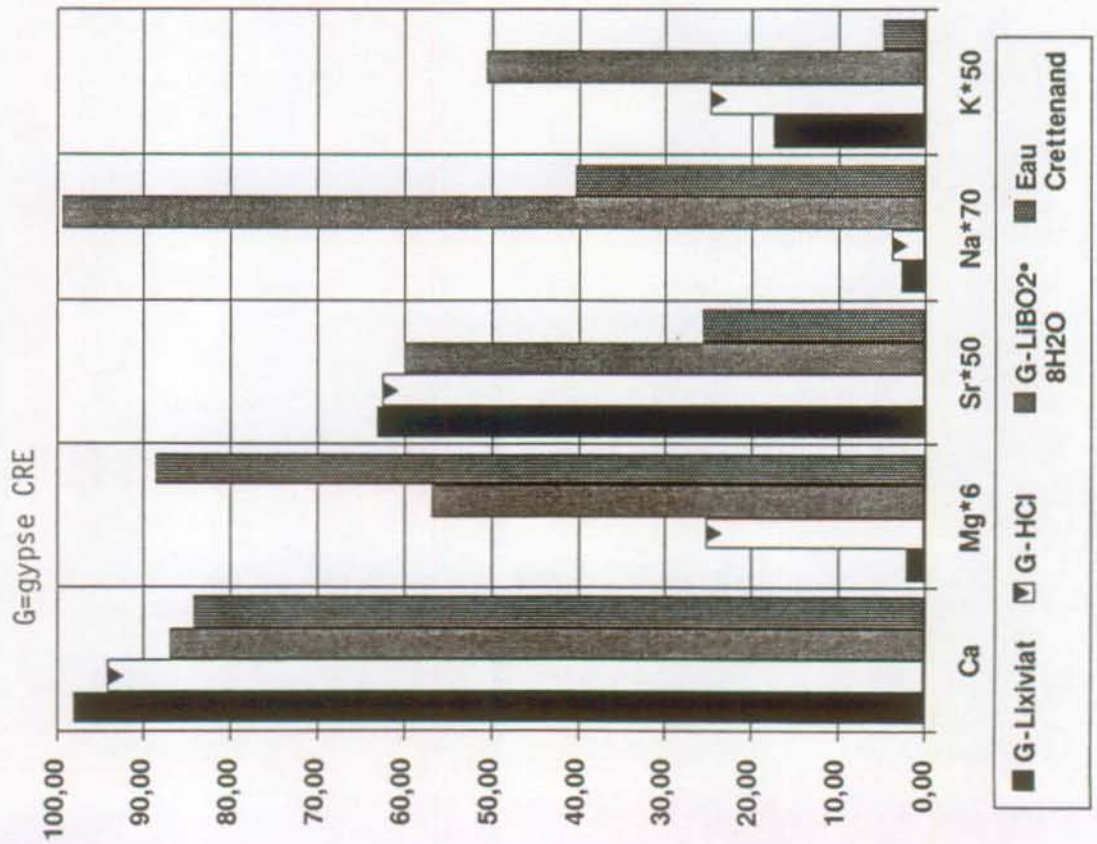
Légende:

G	Gypse
G-Lixiviat	Lixiviat de gypse
G-HCl	gypse attaqué à HCl
G-LiBO ₂	gypse soumis à la fusion alcaline (métaborate de lithium)
Eau...	Eau séléniteuse pour la comparaison chimique avec les gypses prélevés sur le site d'émergence Exemple: Comparaison gypse des Etoveys avec eau Les Etoveys

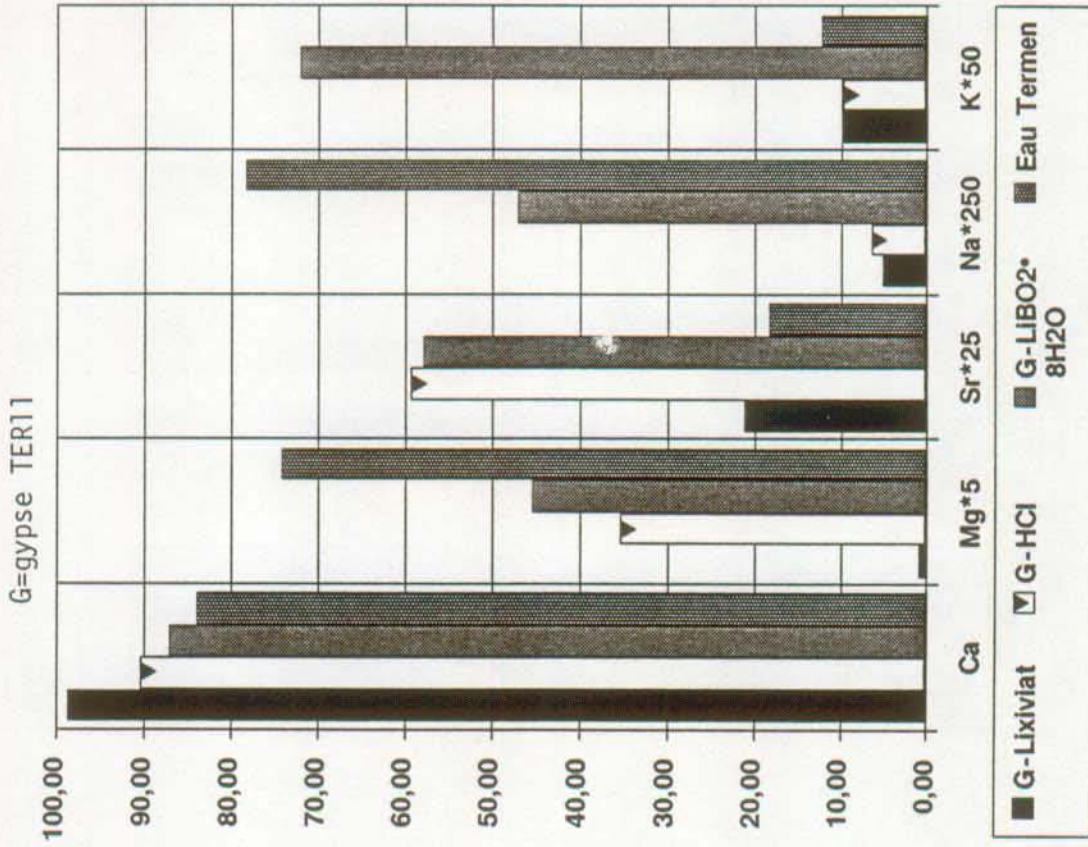
LA GRAYONNE - HUEMOZ
% sur 100% (Ca+Mg+Sr+Na+K)



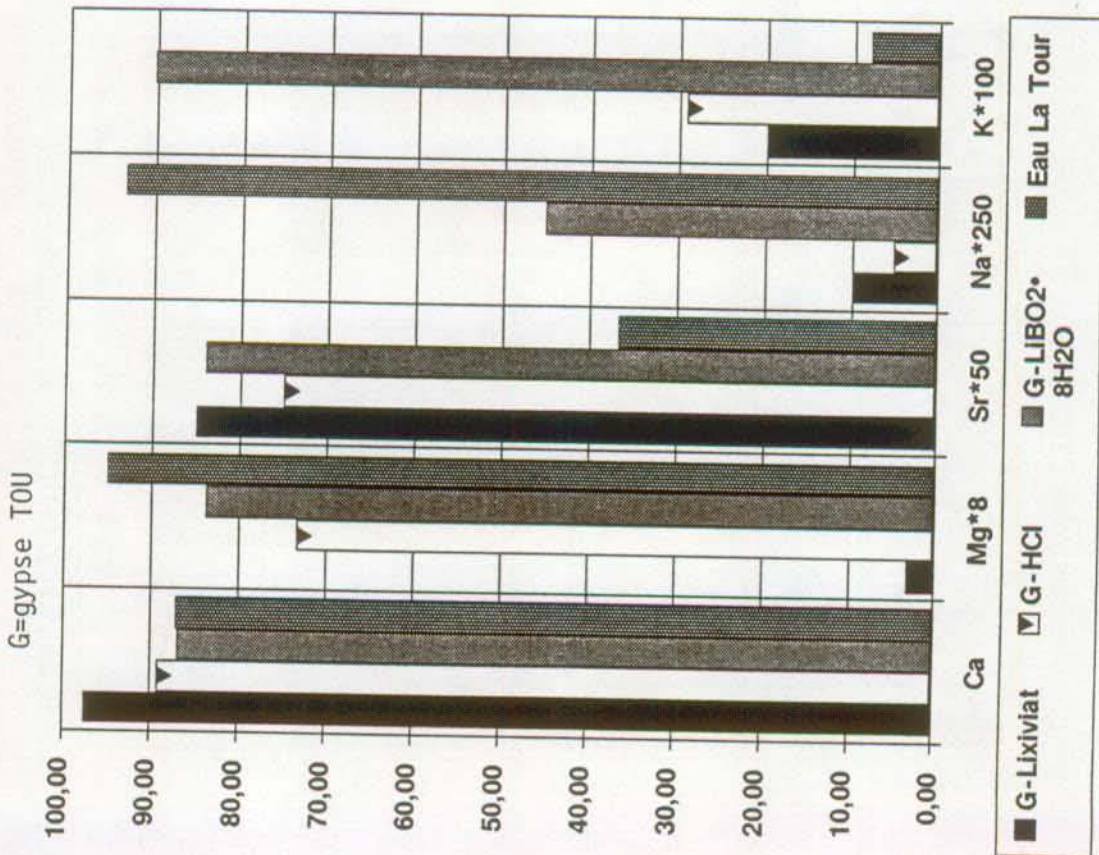
CRETENAND
% sur 100% (Ca+Mg+Sr+Na+K)



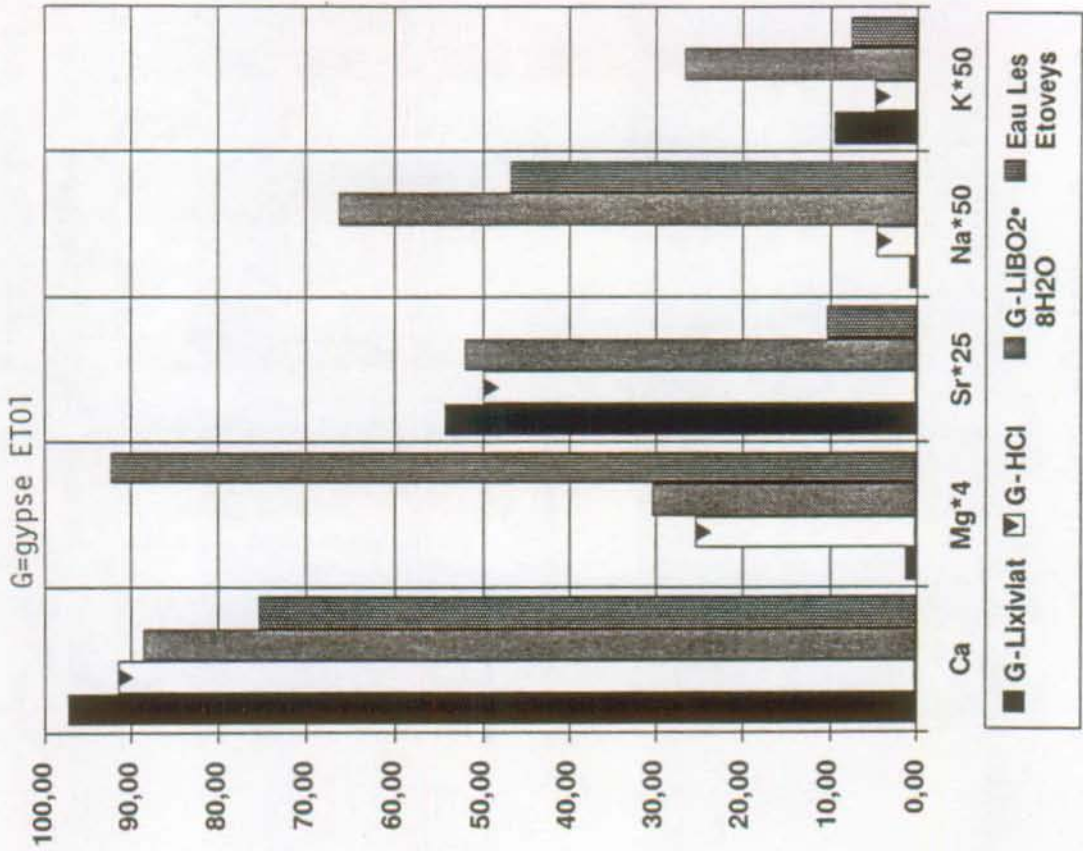
TERMEN
% sur 100% (Ca+Mg+Sr+Na+K)



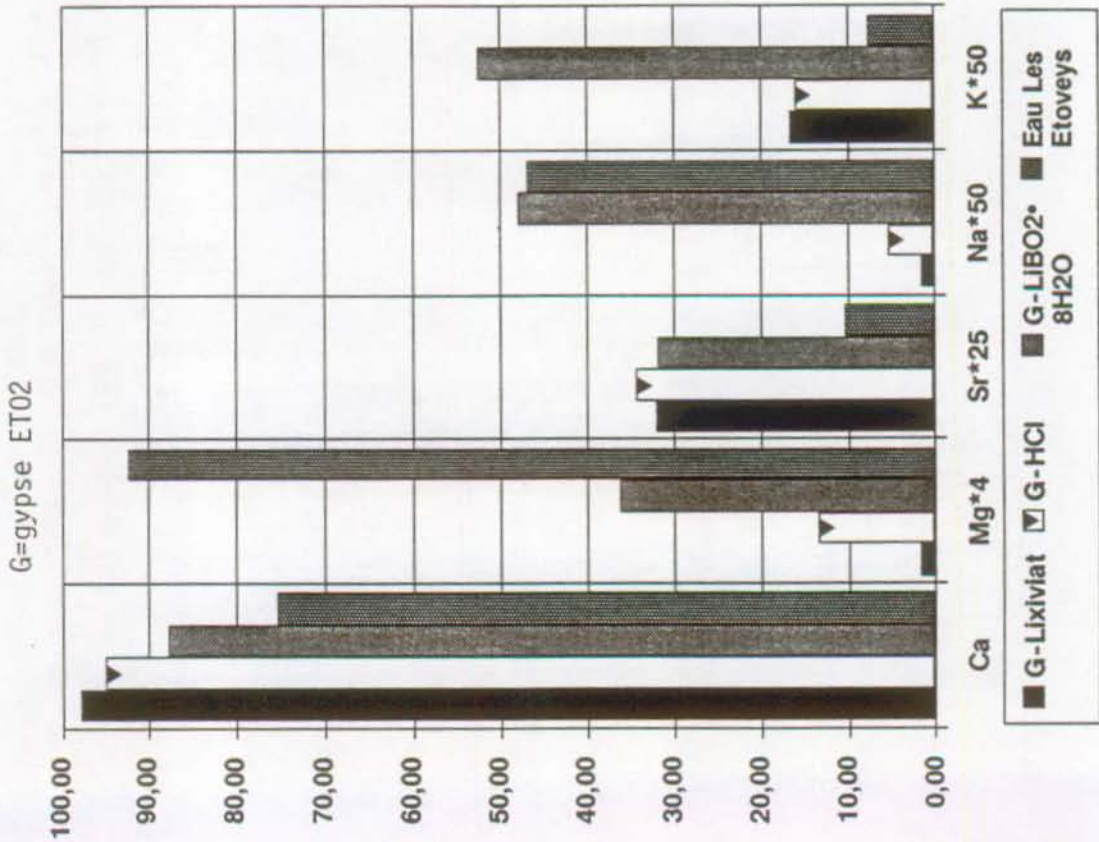
LA TOUR
% sur 100% (Ca+Mg+Sr+Na+K)



LES ETOVEYS 1
% sur 100% (Ca+Mg+Sr+Na+K)



LES ETOVEYS 2
% sur 100% (Ca+Mg+Sr+Na+K)



Annexe 13

**Caractéristiques statistiques descriptives des paramètres
physico-chimiques des eaux**

Eaux froides des évaporites
 Résultats des variations spatiales: quatre unités réunies
 Paramètres classés par ordre croissant du Cv spatial

Paramètres	Moyenne	Ecart-type	Maximum	Minimum	Cv [%]	n
Conductivité [μ S/cm]	1625.80	403.15	2420.00	573.00	25	101
Ca [mg/l]	418.95	114.56	577.00	114.00	27	89
TSD [mg/l]	1806.62	494.52	2761.26	733.61	27	89
Dureté totale [°F]	132.83	37.37	209.50	48.25	28	89
SO ₄ [mg/l]	1040.50	341.24	1620.00	165.00	33	89
HCO ₃ [mg/l]	251.34	84.77	610.00	85.00	34	89
Sr [mg/l]	7.90	3.00	16.40	1.00	38	89
Sc [μ g/l]	3.0	1.2	7.6	1.2	39	85
Si [mg/l]	3.19	1.37	9.40	0.00	43	88
Rb [μ g/l]	18.3	8.4	53.3	2.3	46	85
Li [μ g/l]	27.1	14.6	109.0	1.0	54	89
Mg [mg/l]	66.63	37.04	216.00	15.90	56	89
V [μ g/l]	0.5	0.3	1.3	0.0	57	80
Y [μ g/l]	0.6	0.3	2.4	0.0	58	80
Mn [μ g/l]	12.3	7.4	31.2	0.0	60	81
Ba [μ g/l]	10.6	6.4	38.3	1.3	60	86
Cu [μ g/l]	3.1	2.2	14.4	0.0	72	86
B [μ g/l]	27.6	23.1	94.0	0.0	84	83
Al [μ g/l]	16.4	14.9	93.8	0.0	91	80
Na [mg/l]	5.80	5.39	29.40	0.81	93	89
Rn [Bq/l]	16.1	16.9	68.0	0.0	105	28
Cd [μ g/l]	0.2	0.3	1.6	0.0	109	81
F [μ g/l]	129.4	148.0	880.0	0.0	114	83
Br [μ g/l]	10.6	12.3	57.9	0.0	115	80
Ni [μ g/l]	3.8	4.7	35.7	0.0	123	85
Cr [μ g/l]	0.3	0.3	1.5	0.0	124	80
U [μ g/l]	9.8	12.8	67.0	0.0	130	85
Cl [mg/l]	7.00	11.33	75.91	0.00	162	89
K [mg/l]	2.71	4.40	38.60	0.40	162	89
Ge [μ g/l]	0.4	0.6	4.0	0.0	162	80
As [μ g/l]	0.6	1.0	4.3	0.0	170	80
Débit [l/mn]	280.04	502.51	1910.00	2.00	179	35
Zn [μ g/l]	7.1	24.2	156.2	0.0	341	86
I [μ g/l]	18.2	65.3	570.6	0.0	359	85
NO ₃ [mg/l]	3.02	16.66	154.00	0.00	552	89
Température [°C]	8.69	2.23	13.60	4.20	*	101

* indéterminable

Eaux froides des évaporites
 Résultats des variations spatiales: Préalpes Médiannes
 Paramètres classés par ordre croissant du Cv spatial

Paramètres	moyenne	écart-type	maximum	minimum	Cv [%]	n
HCO ₃ [mg/l]	216.11	18.4	256.2	201.3	9	7
Conductivité [uS/cm]	1455.38	186.45	1900	1110	13	13
Dureté totale [°F]	108.46	23.54	156.25	80.5	22	7
TSD [mg/l]	1488.26	324.15	2115.34	1125.2	22	7
Ca [mg/l]	353.14	88.38	536	268	25	7
Si [mg/l]	2.82	0.73	3.6	1.52	26	7
SO ₄ [mg/l]	854.14	222.73	1290	613	26	7
Rn [Bq/l]	6.5	1.8	9	4	28	4
K [mg/l]	1.24	0.35	1.76	0.83	28	7
Sc [µg/l]	3.2	1.1	5.7	2.3	35	7
V [µg/l]	0.4	0.2	0.6	0.2	35	7
Mg [mg/l]	47.1	16.84	65.1	16.6	36	7
Li [µg/l]	24.3	8.8	40	15	36	7
Ba [µg/l]	18.1	6.6	27	6.3	37	7
F [µg/l]	151.6	56.2	225	56	37	7
B [µg/l]	61.1	24.5	94	35	40	7
U [µg/l]	1.5	0.7	2.5	0.6	44	7
Na [mg/l]	3.49	1.81	5.63	0.81	52	7
Sr [mg/l]	8.46	4.74	16.4	2.65	56	7
Cd [µg/l]	0.4	0.2	0.8	0	59	7
Rb [µg/l]	21.4	14.4	53.3	8.2	68	7
Cl [mg/l]	1.33	0.94	2.76	0	70	7
Y [µg/l]	0.9	0.7	2.4	0.4	76	7
Mn [µg/l]	12.5	9.6	28.7	1.4	76	7
Débit [l/mn]	148.5	116.05	344	40	78	4
Br [µg/l]	9.9	8.1	27.7	1.8	82	7
Ge [µg/l]	0.4	0.3	0.8	0	86	7
Cu [µg/l]	4.6	4.1	14.4	1.5	88	7
As [µg/l]	0.4	0.4	1	0	105	7
Al [µg/l]	24.6	29.8	93.8	0	122	7
Cr [µg/l]	0.3	0.3	0.9	0	123	7
Ni [µg/l]	8.4	11.2	35.7	2.1	133	7
Zn [µg/l]	5.2	7.6	22.5	0	145	7
I [µg/l]	25.9	50	147.7	2.5	193	7
NO ₃ [mg/l]	0.19	0.45	1.3	0	245	7
Température [°C]	9.31	1.62	10.9	5.1	*	13

* indéterminable

Eaux froides des évaporites
Résultats des variations spatiales: Helvétique
Paramètres classés par ordre croissant du Cv spatial

Paramètres	Moyenne	Ecart-type	Maximum	Minimum	Cv [%]	n
Sr [mg/l]	10.96	0.63	12.00	10.10	6	7
Conductivité [μ S/cm]	2020.00	119.27	2190.00	1830.00	6	8
Ca [mg/l]	527.14	40.89	577.00	442.00	8	7
Dureté totale [°F]	170.04	14.80	190.25	148.00	9	7
TSD [mg/l]	2283.24	203.25	2561.67	1988.21	9	7
SO ₄ [mg/l]	1362.86	155.72	1620.00	1140.00	11	7
Rb [μ g/l]	24.5	2.9	30.5	21.9	12	7
Si [mg/l]	2.96	0.52	3.95	2.31	18	7
Sc [μ g/l]	2.8	0.5	3.9	2.3	19	7
HCO ₃ [mg/l]	280.60	61.54	396.50	179.95	22	7
Li [μ g/l]	31.7	8.2	48.0	22.0	26	7
Y [μ g/l]	0.7	0.2	1.2	0.4	31	7
U [μ g/l]	7.9	2.4	11.0	3.7	31	7
Ni [μ g/l]	4.1	1.3	6.2	2.5	32	7
V [μ g/l]	0.4	0.1	0.6	0.2	35	7
Mg [mg/l]	92.73	34.46	134.00	52.20	37	7
Mn [μ g/l]	13.61	5.84	24.82	6.82	43	7
Na [mg/l]	2.41	1.29	5.12	0.91	54	7
K [mg/l]	1.62	0.87	3.17	0.59	54	7
Cu [μ g/l]	3.6	2.0	8.1	1.5	57	7
Ba [μ g/l]	4.1	2.3	8.5	1.3	57	7
Al [μ g/l]	13.7	8.1	25.2	4.7	59	7
B [μ g/l]	13.9	8.4	24.0	0.0	60	7
As [μ g/l]	0.4	0.2	0.7	0.0	69	7
Cl [mg/l]	1.85	1.38	3.51	0.00	75	7
Br [μ g/l]	3.6	2.9	9.9	0.0	81	7
Cd [μ g/l]	0.2	0.2	0.7	0.0	94	7
Zn [μ g/l]	2.0	1.9	5.0	0.0	95	7
Débit [l/mn]	351.25	348.75	700.00	2.50	99	2
Cr [μ g/l]	0.2	0.2	0.6	0.0	121	7
Ge [μ g/l]	0.3	0.5	1.3	0.0	164	7
F [μ g/l]	69.7	115.4	351.8	15.0	166	7
I [μ g/l]	28.3	52.9	156.9	1.5	187	7
Rn [ba/l]	-	-	36.0	25.0	-	2
NO ₃ ⁻ [mg/l]	0.0	0.0	0.0	0.0	-	7
Température [°C]	9.24	1.96	11.50	5.40	*	8

* indéterminable

Eaux froides des évaporites
 Résultats des variations spatiales: Ultrahelvétique
 Paramètres classés par ordre croissant du Cv spatial

Paramètres		Moyenne	Ecart-type	Maximum	Minimum	Cv [%]	n
HCO ₃	[mg/l]	251.82	44.68	366.00	183.00	18	33
Conductivité	[uS/cm]	1672.41	328.23	2120.00	931.00	20	34
TSD	[mg/l]	1806.25	412.63	2350.92	952.23	23	33
Ca	[mg/l]	447.08	103.37	572.00	199.50	23	33
Dureté totale	[°F]	131.82	30.94	171.50	62.70	23	33
Sr	[mg/l]	8.22	2.25	12.20	3.15	27	33
SO ₄	[mg/l]	1031.03	287.03	1440.00	378.10	28	33
Rb	[ug/l]	16.11	4.63	26.54	4.28	29	32
Li	[ug/l]	24.9	8.2	43.0	9.5	33	33
Si	[mg/l]	2.70	0.90	4.23	1.56	33	33
Sc	[ug/l]	2.6	0.9	5.1	1.2	35	32
Ni	[ug/l]	3.5	1.3	7.0	0.6	36	32
Mg	[mg/l]	47.00	18.07	92.30	15.90	38	33
Y	[ug/l]	0.6	0.3	1.4	0.0	44	32
Mn	[ug/l]	13.4	6.3	26.6	0.0	47	33
B	[ug/l]	36.6	19.0	91.0	7.0	52	33
Ba	[ug/l]	12.6	6.8	38.3	4.4	54	33
U	[ug/l]	1.7	1.0	5.4	0.0	60	33
Cu	[ug/l]	3.0	1.8	10.0	0.0	62	33
V	[ug/l]	0.4	0.3	1.3	0.0	65	32
Rn	[Bq/l]	8.4	5.9	18.0	0.0	71	14
F	[ug/l]	136.5	96.6	460.0	31.0	71	33
Al	[ug/l]	12.0	9.8	46.2	0.0	82	32
K	[mg/l]	1.55	1.29	5.21	0.40	83	33
Cd	[ug/l]	0.2	0.2	0.7	0.0	90	33
Na	[mg/l]	6.20	5.71	29.17	1.55	92	33
Br	[ug/l]	10.4	10.5	37.8	0.0	101	32
Cr	[ug/l]	0.3	0.4	1.5	0.0	116	32
As	[ug/l]	0.4	0.6	2.7	0.0	130	32
Ge	[ug/l]	0.5	0.8	4.0	0.0	147	32
Debit	[l/mn]	293.07	456.27	1398.55	2.00	156	8
Cl	[mg/l]	8.47	13.71	75.91	0.00	162	33
NO ₃	[mg/l]	1.97	6.07	35.50	0.00	308	33
Zn	[ug/l]	8.7	27.4	153.4	0.0	315	33
I	[ug/l]	29.9	98.5	570.6	0.0	330	32
Température	[°C]	8.43	2.53	13.40	4.20	*	34

* indéterminable

Eaux froides des évaporites
 Résultats des variations spatiales: Pennique
 Paramètres classés par ordre croissant du Cv spatial

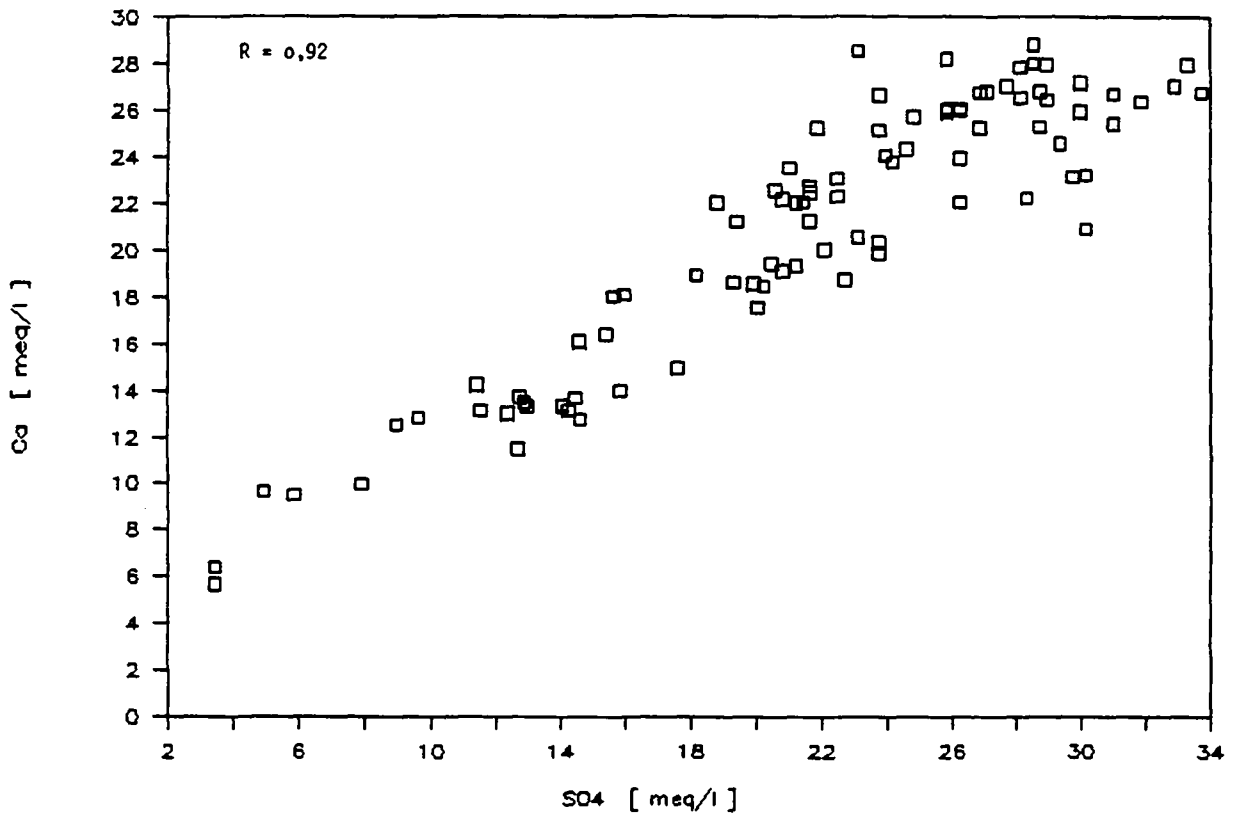
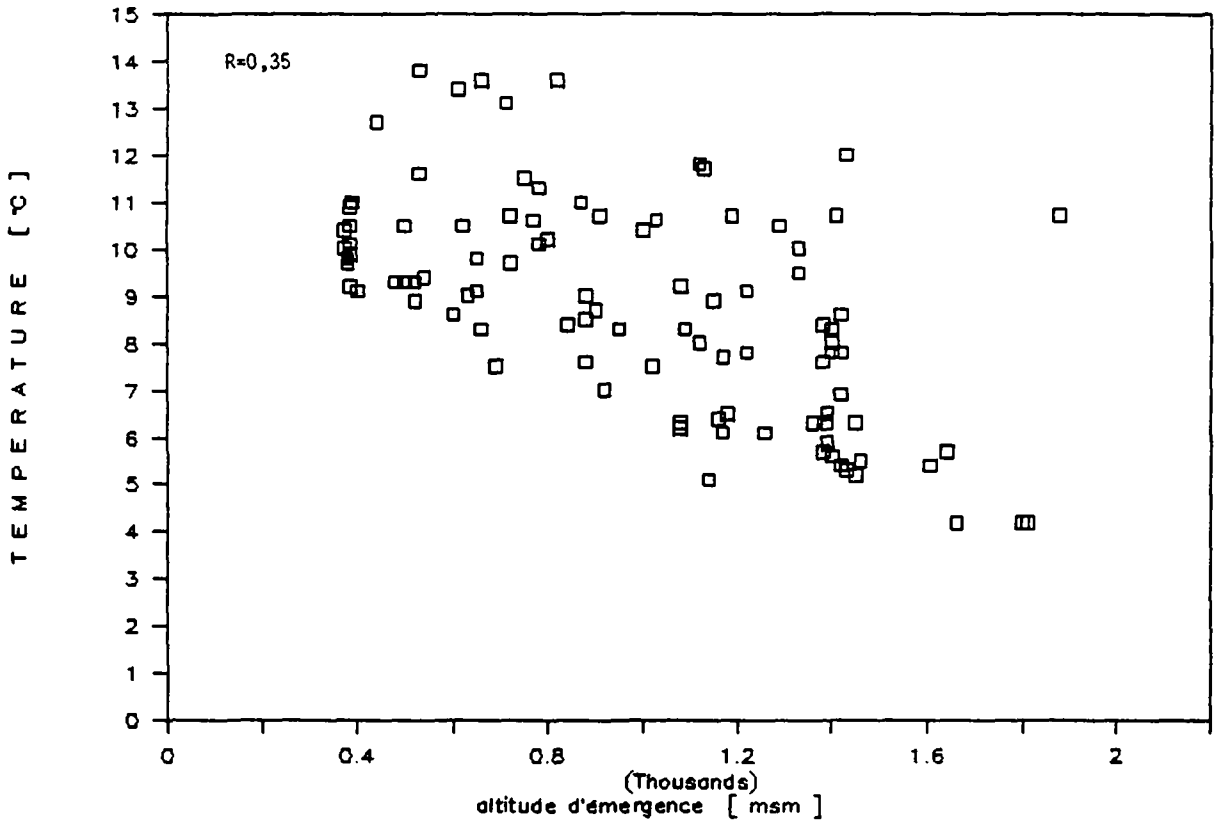
Paramètres	moyenne	écart-type	maximum	minimum	Cv [%]	n
Ca [mg/l]	389.79	117	560	114	30	42
Conductivité [uS/cm]	1570.96	474.43	2420	573	30	46
TSD [mg/l]	1780.53	551.92	2761.26	733.61	31	42
Dureté totale [°F]	131.49	41.78	209.5	48.25	32	42
SO ₄ [mg/l]	1025.26	382.49	1600	165	37	42
Sc [µg/l]	3.3	1.3	7.6	1.3	40	39
Sr [mg/l]	7.04	2.98	14.5	1	42	42
HCO ₃ [mg/l]	251.96	112.35	610	85	45	42
Si [mg/l]	3.69	1.67	9.4	0	45	41
Ba [µg/l]	8.8	4.3	20	2.2	48	39
Rb [µg/l]	18.4	9.3	39.3	2.3	50	39
Mg [mg/l]	80.97	41.47	216	20.2	51	42
V [µg/l]	0.5	0.3	1.3	0.1	52	34
Y [µg/l]	0.5	0.3	1.3	0	55	34
Li [µg/l]	28.6	19.2	109	1	67	42
Cu [µg/l]	2.9	2	7.4	0	69	39
Al [µg/l]	19.3	13.9	68.2	0	72	34
Mn [µg/l]	10.8	7.8	31.2	0	72	34
Rn [Bq/l]	31	22.43	68	0	72	8
U [µg/l]	18.4	14.6	67	0.2	80	39
Na [mg/l]	6.44	5.64	29.4	1	88	42
B [µg/l]	15.1	17.3	85	0	115	35
Br [µg/l]	12.4	14.9	57.9	0	120	34
Cr [µg/l]	0.2	0.3	1.1	0	123	34
Ni [µg/l]	3.2	4.4	28.5	0	137	39
Cl [mg/l]	7.64	10.57	62.2	0	138	42
Cd [µg/l]	0.2	0.3	1.6	0	142	34
K [mg/l]	4.05	6.01	38.6	0.71	148	42
F [µg/l]	130.1	194.6	880	0	150	36
I [µg/l]	5.4	8.8	50.6	0	164	39
Ge [µg/l]	0.2	0.4	1.6	0	166	34
As [µg/l]	0.8	1.3	4.3	0	173	34
Débit [l/mn]	284.68	559.55	1910	2	197	21
Zn [µg/l]	7	25.2	156.2	0	362	39
NO ₃ [mg/l]	4.81	23.5	154	0	488	42
Température [°C]	8.61	2.12	13.6	4.2	*	46

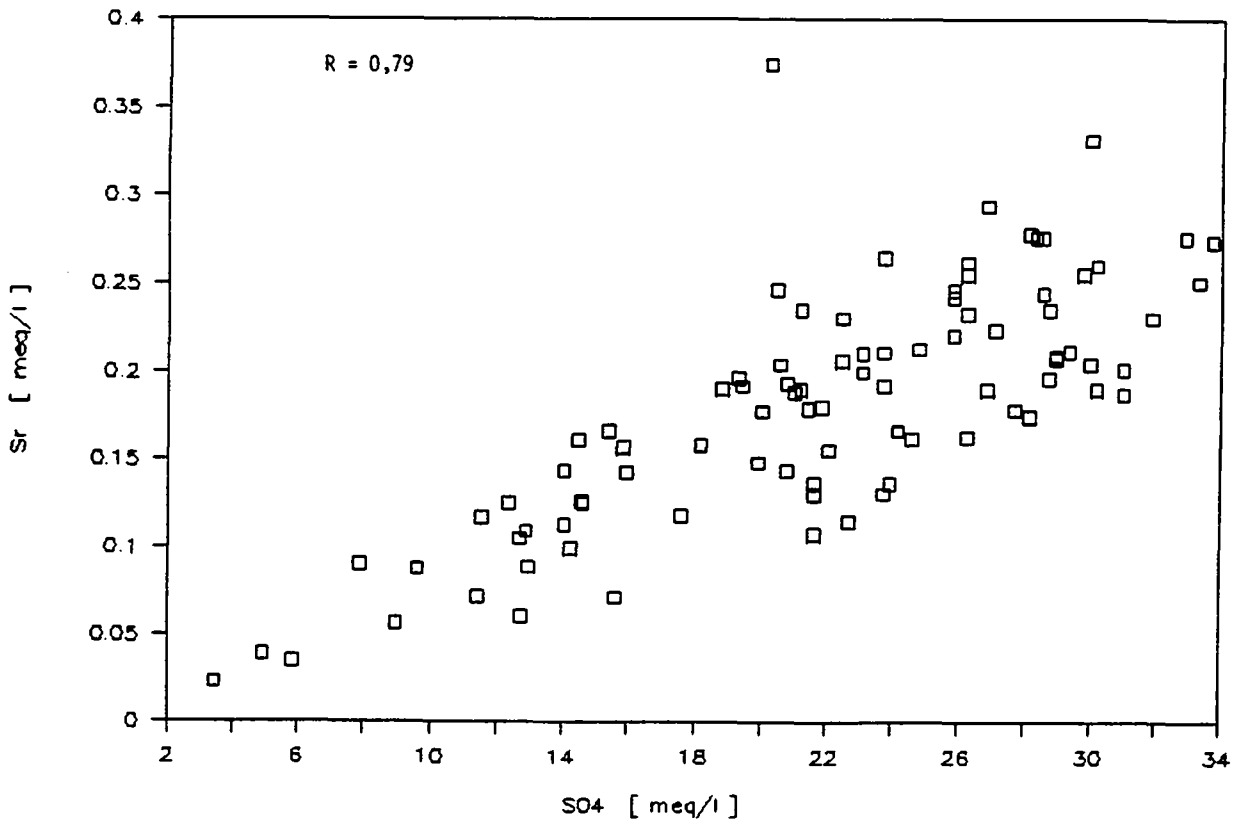
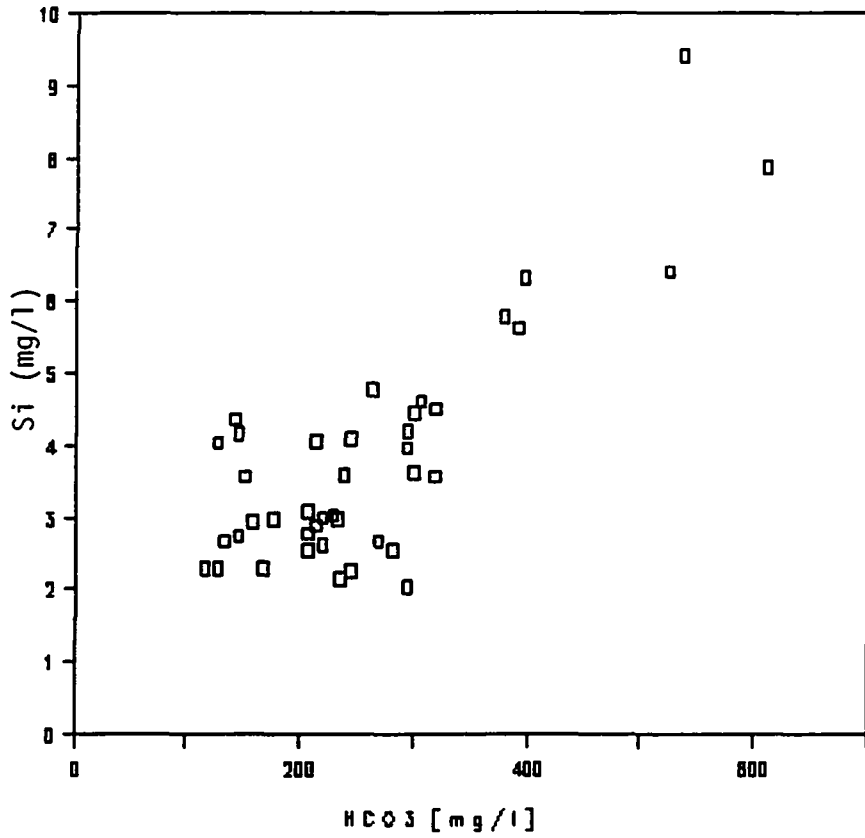
* indéterminable

Annexe 14**Matrice de corrélation partielle (tableau)
et corrélations interparamètres (représentations graphiques)****Liste des corrélations présentées**

Relations entre:

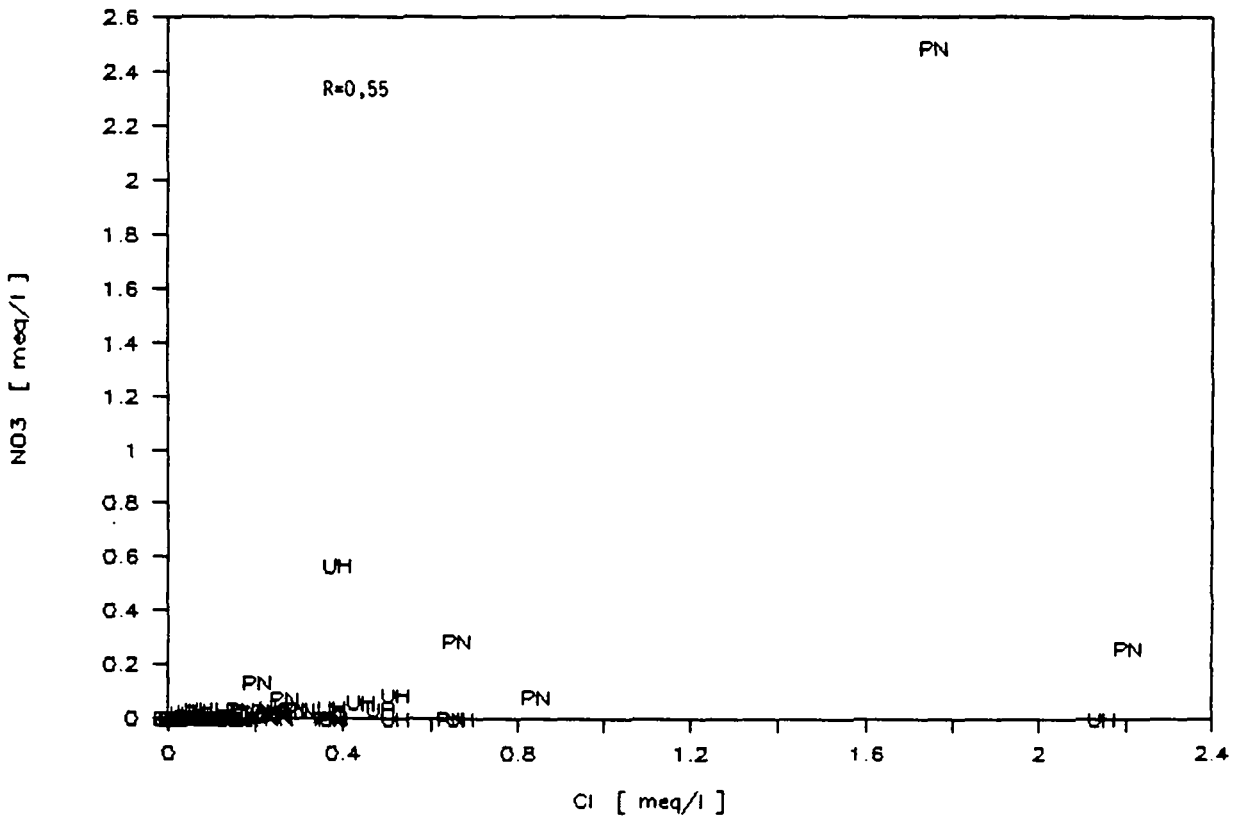
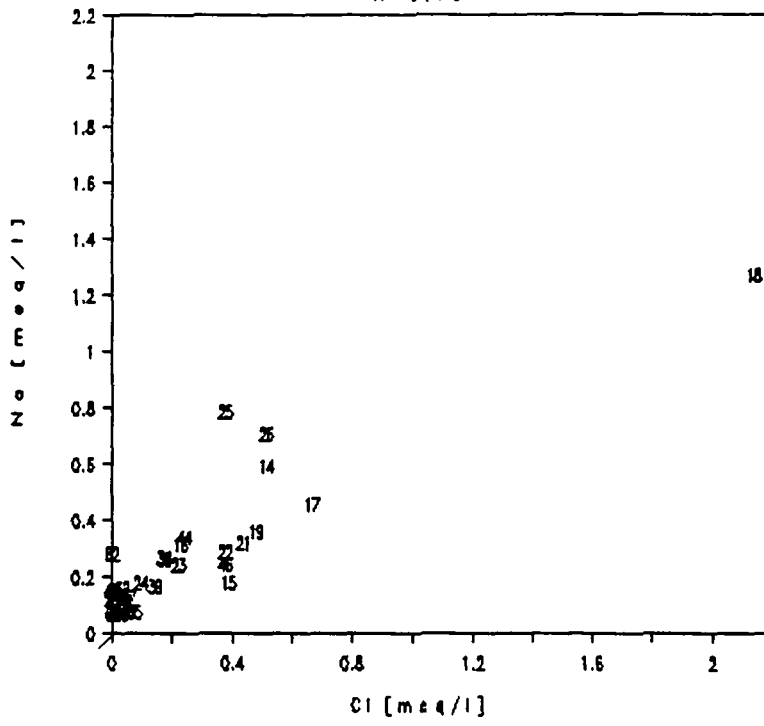
- Température-altitude d'émergence
- Ca-SO₄
- Si-HCO₃
- Sr-SO₄
- Na-Cl (Ultrahelvétique seulement)
- NO₃-Cl
- Al-Si
- K-Mg
- Rn-U
- Sc-Al
- Sc-Si

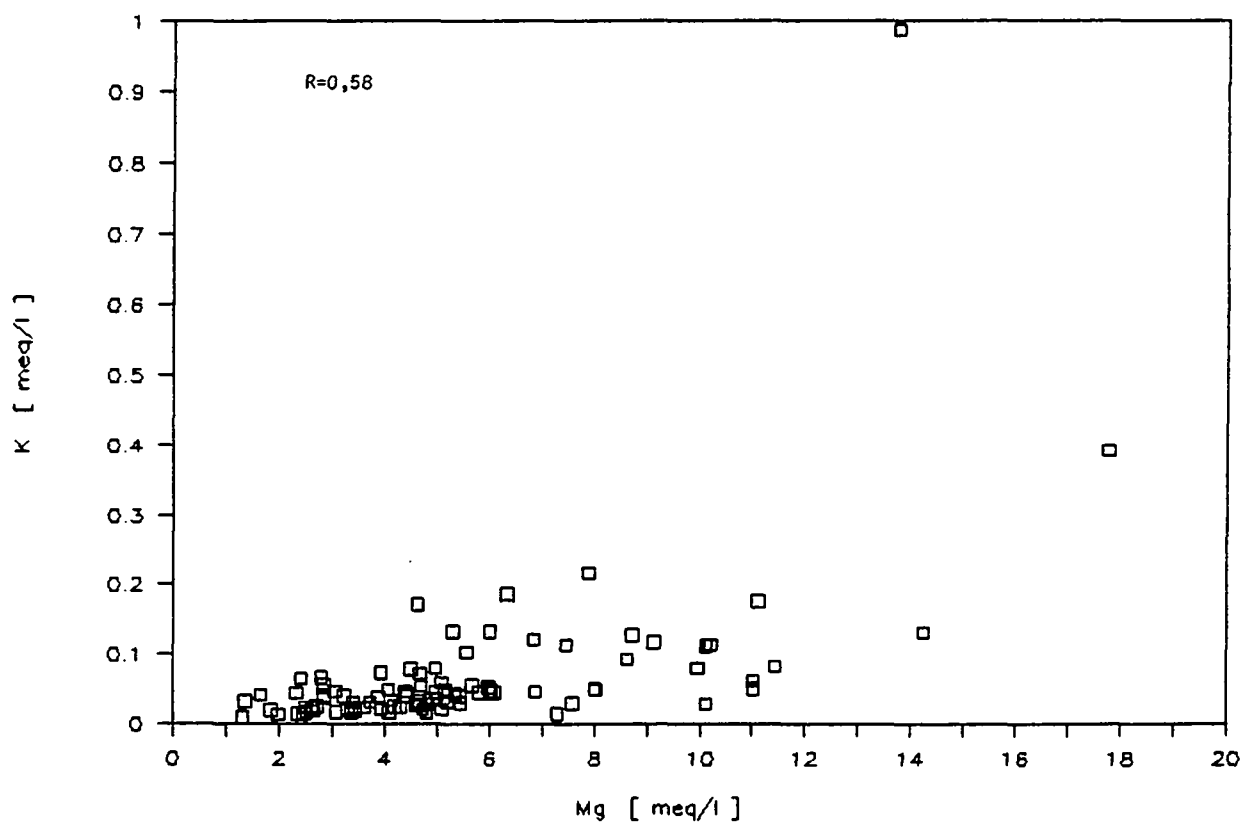
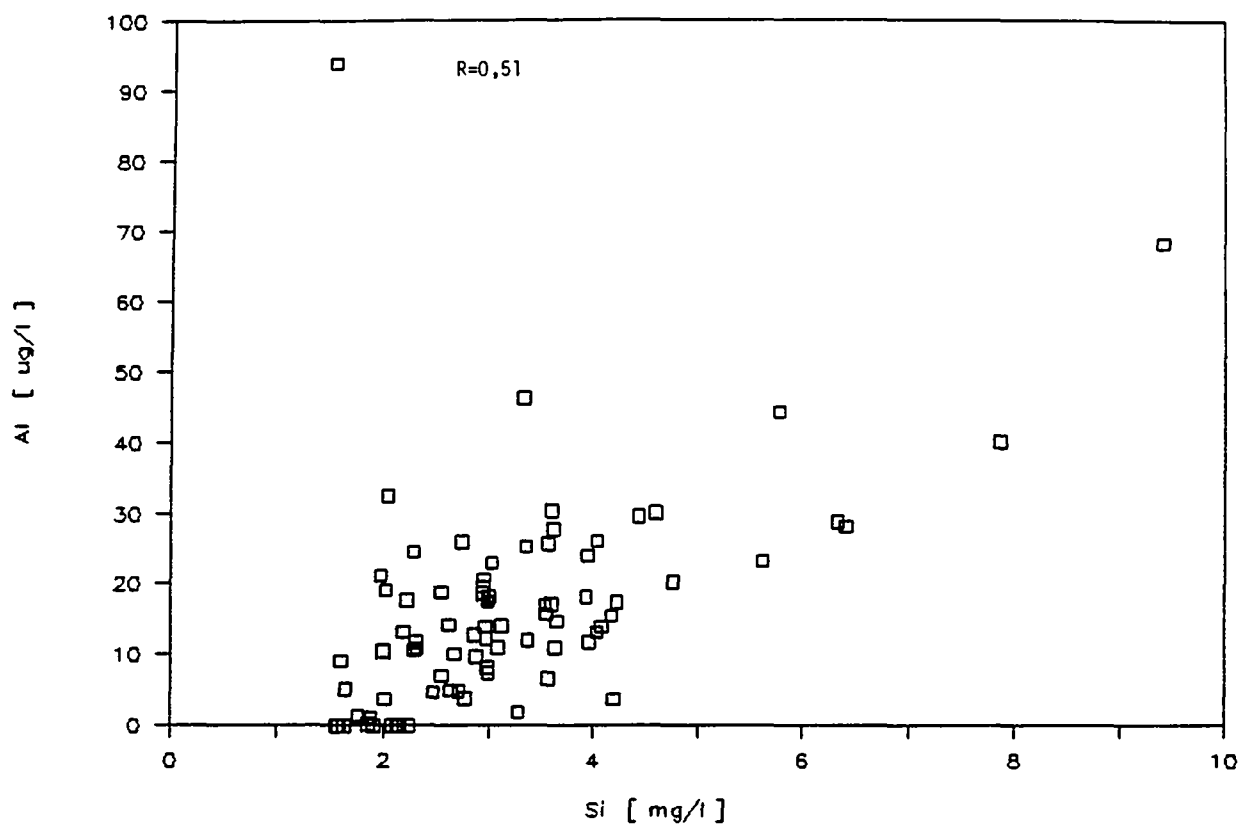


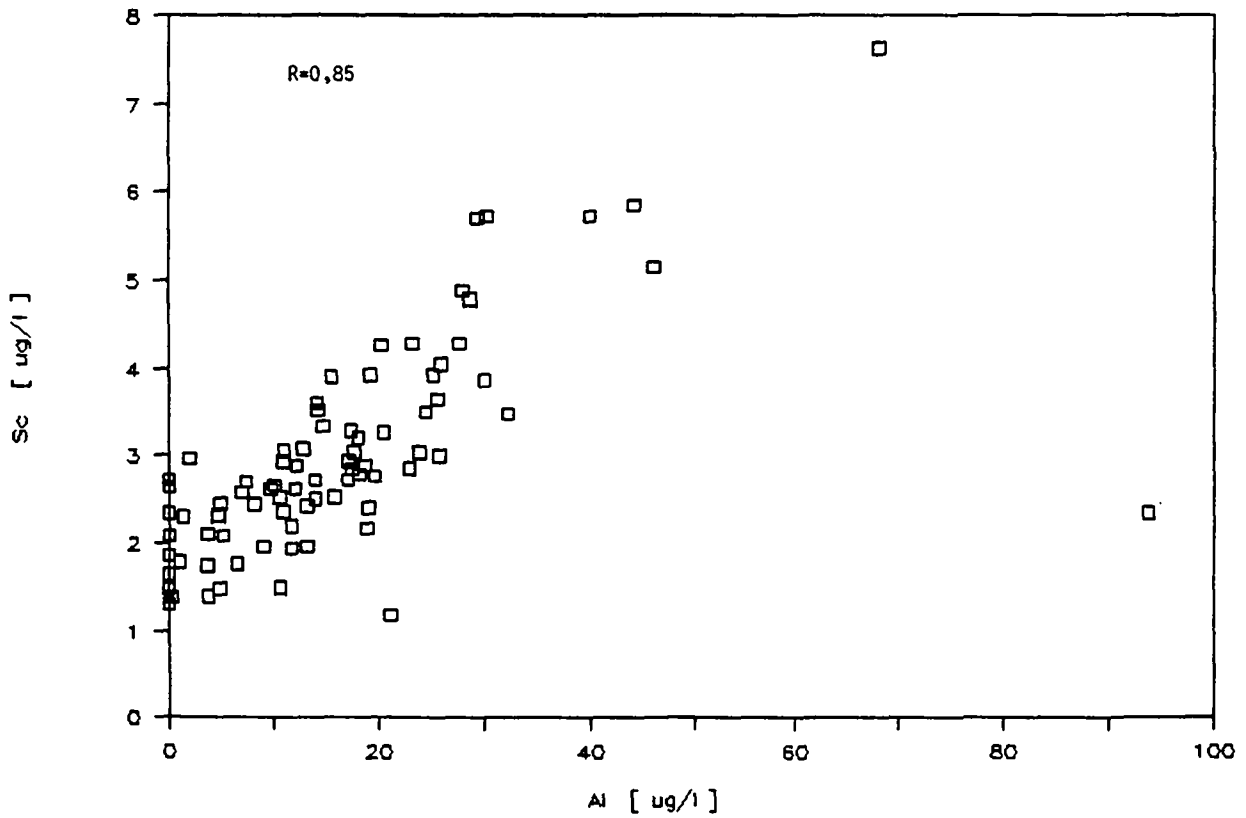
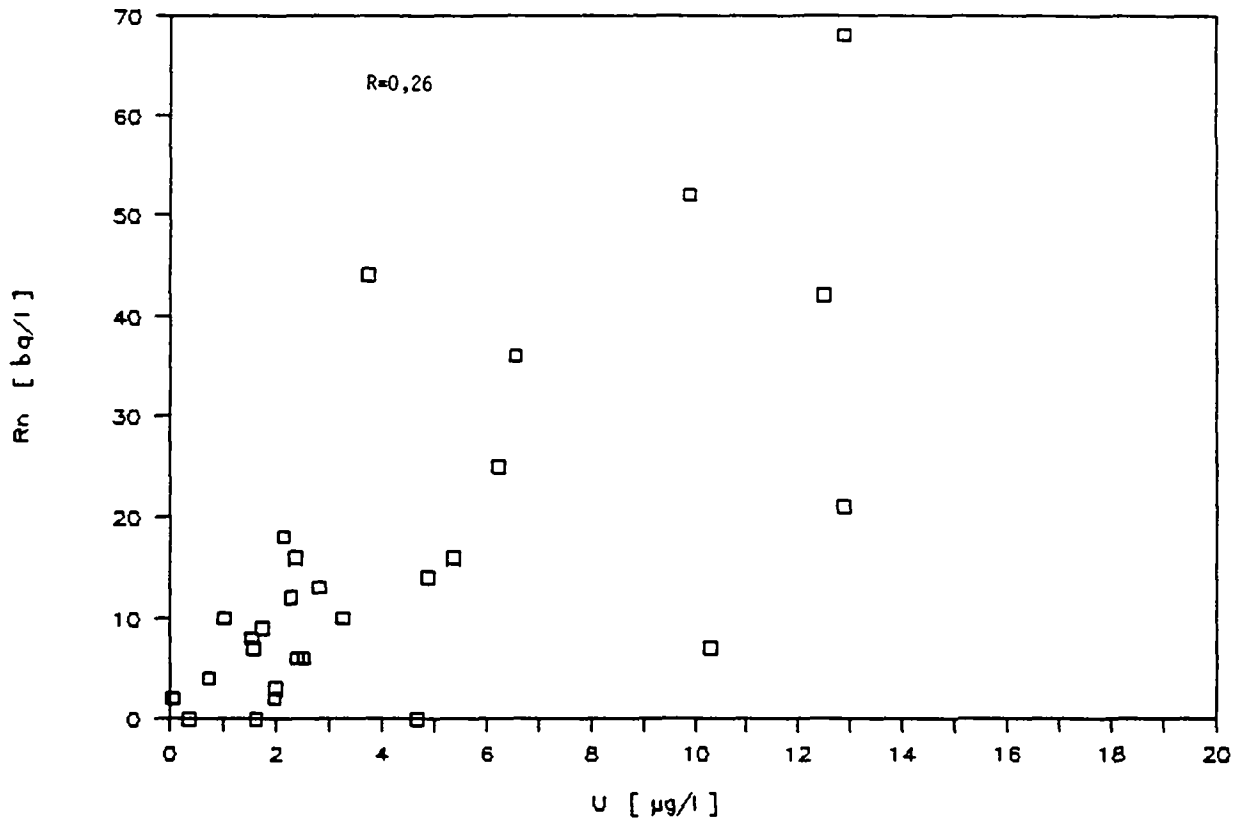
RELATION $\text{HCO}_3 - \text{Si}$ $R = 0,85$ 

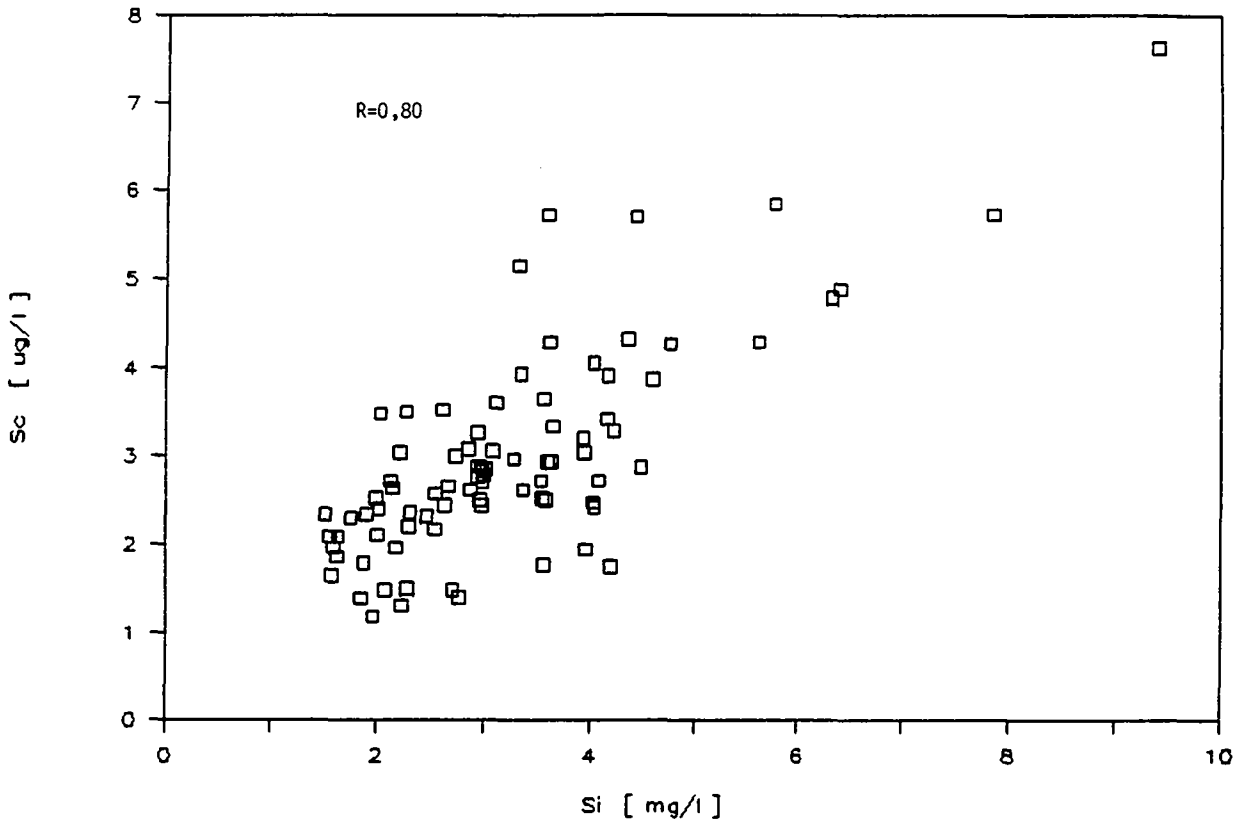
NaCl (ULTRAHELVETIQUE)

R = 0,79









Annexe 15

**Synthèse des meilleurs marqueurs chimiques des sous-types
d'aquifères PM, HE, UH et PN**

Marqueurs chimiques		Limites	Unités	% par rapport au réseau III	Aquifères marqués
d'ordre 1	U	11-67	µg/l	26.7	PN
	Si	4.36-9.40	mg/l	12.4	PN
	K	5.21-38.6	mg/l	6.7	PN
	Mg	135-216	mg/l	5.6	PN
	Br	38-57.9	µg/l	4.9	PN
	HCO ₃	397-610	mg/l	4.5	PN
	F	0.5-0.88	mg/l	3.6	PN
	Li	70-109	µg/l	3.4	PN
Y	1.5-2.4	µg/l	2.5	PM	
d'ordre 2	Cl	3.56-75.9	mg/l	47.8	UH+PN
	Na	5.63-29.4	mg/l	36.7	UH+PN
	NO ₃	1.35-154	mg/l	24.4	UH+PN
	V	0.6-1.3	µg/l	19.5	UH+PN
	K	3.17-5.21	mg/l	14.4	UH+PN
	Si	3.96-4.36	mg/l	10.1	UH+PN
	As	1-4.3	µg/l	9.9	UH+PN
	Sc	4-5.5	µg/l	9.3	UH+PN
	Br	28-38	µg/l	7.4	UH+PN
	Zn	40-156.2	µg/l	5.0	UH+PN
	Ge	1.5-4	µg/l	4.9	UH+PN
	U	6-11	µg/l	22.1	HE+PN
	Mg	96-135	mg/l	13.3	HE+PN
	TSD	2400-2760	mg/l	10.0	HE+PN
	SO ₄	1450-1620	mg/l	8.9	HE+PN
Sr	12.2-16.4	mg/l	3.3	PM+PN	
Sc	5.5-7.6	µg/l	5.8	PM+PN	
d'ordre 3	B	0-25	µg/l	56.0	HE+UH+PN
	HCO ₃	262-397	mg/l	31.1	HE+UH+PN
	K	1.77-3.17	mg/l	26.7	HE+UH+PN
	TSD	2150-2400	mg/l	18.9	HE+UH+PN
	Mg	65-96	mg/l	16.7	HE+UH+PN
	SO ₄	1300-1450	mg/l	16.7	HE+UH+PN
	F	0.25-0.5	mg/l	9.5	HE+UH+PN
	Rb	26.5-53.3	µg/l	12.8	PM+HE+PN
	Ba	8.5-38.3	µg/l	56.3	PM+UH+PN
	B	25-94	µg/l	44.0	PM+UH+PN
	Br	10-28	µg/l	22.2	PM+UH+PN
	Al	25.2-93.8	µg/l	18.5	PM+UH+PN
Cr	0.6-1.5	µg/l	17.3	PM+UH+PN	
d'ordre 4	Ba	0-8.5	µg/l	42.7	PM+HE+UH+PN
	U	0-6	µg/l	51.2	PM+HE+UH+PN
	K	0.4-1.77	mg/l	52.2	PM+HE+UH+PN
	Cl	0-3.56	mg/l	52.2	PM+HE+UH+PN
	Na	5.63-29.4	mg/l	63.3	PM+HE+UH+PN
	Mg	15.9-65	mg/l	64.4	PM+HE+UH+PN
	HCO ₃	85-262	mg/l	64.4	PM+HE+UH+PN
	Br	0-10	µg/l	65.5	PM+HE+UH+PN
	TSD	734-2150	mg/l	71.1	PM+HE+UH+PN
	SO ₄	165-1300	mg/l	73.4	PM+HE+UH+PN
	NO ₃	0-1.35	mg/l	75.6	PM+HE+UH+PN
	Si	0-3.96	mg/l	77.5	PM+HE+UH+PN
	V	0-0.6	µg/l	80.5	PM+HE+UH+PN
	Al	0-25.2	µg/l	81.5	PM+HE+UH+PN
	Cr	0-0.6	µg/l	82.7	PM+HE+UH+PN
	Sc	1.2-4	µg/l	84.9	PM+HE+UH+PN
	F	0-0.25	mg/l	86.9	PM+HE+UH+PN
	Rb	2.3-26.5	µg/l	87.2	PM+HE+UH+PN
	As	0-1	µg/l	90.1	PM+HE+UH+PN
	Zn	0-40	µg/l	95.0	PM+HE+UH+PN
	Ge	0-1.5	µg/l	95.1	PM+HE+UH+PN
	Li	1-70	µg/l	96.6	PM+HE+UH+PN
	Sr	1-12.2	mg/l	96.7	PM+HE+UH+PN
	Y	0-1.5	µg/l	97.5	PM+HE+UH+PN
	Ni	0-35.7	µg/l	100.0	PM+HE+UH+PN
	I	0-600	µg/l	100.0	PM+HE+UH+PN
	Cd	0-1.6	µg/l	100.0	PM+HE+UH+PN
Ca	114-577	mg/l	100.0	PM+HE+UH+PN	
Mn	0-31.2	µg/l	100.0	PM+HE+UH+PN	
Cu	0-14.4	µg/l	100.0	PM+HE+UH+PN	

Annexe 16

**Degré de représentativité des stations AQUITYP de Noches
et des Bains de Leytron**

Paramètres chimiques			Représentativité des stations AQUITYP de					
			Noches			Bains de Leytron		
			Teneurs (t) du 16.8.88	Rapport t/ X des aquifères		Teneurs (t) du 15.8.88	Rapport t/ X des aquifères	
UH	PM+HE+ UH+PN	HE ▼		PM+HE+ UH+PN				
1	TSD	(mg/l)	1432	0.79	0.79	1047	0.46	0.58
2	SO ₄	(mg/l)	740	0.72	0.71	590	0.43	0.57
3	Ca	(mg/l)	329	0.74	0.79	231	0.44	0.55
4	HCO ₃	(mg/l)	252	1.00	1.00	169	0.60	0.67
5	Mg	(mg/l)	60.9	1.30	0.91	40.5	0.44	0.61
6	Sr	(mg/l)	7.28	0.89	0.92	3.98	0.36	0.50
7	Cl *	(mg/l)	18.3	2.16	2.61	1.90	1.03	0.27
8	Na *	(mg/l)	13.7	2.21	2.36	7.93	3.29	1.37
9	Si	(mg/l)	3.91	1.45	1.23	6.75	2.28	2.12
10	K	(mg/l)	1.38	0.89	0.51	0.72	0.44	0.27
11	F	(mg/l)	0.32	2.34	2.47	1.40	20.1	10.8
12	B	(µg/l)	48	1.31	1.74	40	2.89	1.45
13	Li	(µg/l)	24	0.96	0.88	49	1.55	1.81
14	Rb	(µg/l)	1.3 ▲	0.08	0.07	2.9 ▲	0.12	0.16
15	Al	(µg/l)	1 ▲	0.08	0.06	0.6 ▲	0.04	0.04
16	Mn	(µg/l)	0.5	0.04	0.04	34.7	2.55	2.82
17	Ba	(µg/l)	10	0.79	0.94	14.8	3.63	1.39
18	Br	(µg/l)	10.5 ▲	1.01	0.99	12.9 ▲	3.60	1.21
19	U	(µg/l)	2.1 ▲	1.24	0.21 ►	0.8 ▲	0.10	0.08 ►
20	Ni	(µg/l)	0.9 ▲	0.26	0.24	1.4 ▲	0.34	0.37
21	Cu	(µg/l)	3	1.01	0.96	7.10	1.98	2.26
22	Sc	(µg/l)	1.5 ▲	0.58	0.50	1.8 ▲	0.65	0.60
23	V	(µg/l)	0.5 ▲	1.20	1.09	0.3 ▲	0.85	0.65

Légende:

0,7 à 1,3: rapports avec haut degré de représentativité

▼ : faible échantillonnage

* : éléments chimiques partiellement ou totalement d'origine anthropique

► : rapport fortement influencé par les eaux des aquifères PN

▲ : valeurs de la tournée AQUITYP de novembre 1989

336

Annexe 17

**Données physico-chimiques provenant de la tournée AQUITYP
de novembre 1989**

Ech.	code	CHA	COR	NOC	LUC	POZ	LLI	LRY	BRO	BLE	TIL	BOR	ALL	MOR	DIZ	SAR	THI	LJO
Temp.	[°C]	8.9	11.0	11.0	10.9	9.5	3.7	8.8	7.3	24.1	8.8	5.7	8.8	8.9	9.5	7.0	9.4	6.1
pH		7.3	7.5	6.8	7.5	7.0	6.5	7.5	6.0	6.5	7.5	7.0	8.0	7.5	7.5	6.5	7.0	7.0
F	[mg/l]	0.06	0.23	0.30	0.07	0.03	0.00	0.05	0.40	1.30	0.05	0.00	0.70	0.05	0.09	0.15	0.06	0.03
Cl	[mg/l]	6.56	14.20	9.20	17.70	9.63	0.15	1.08	0.00	0.00	13.50	0.00	13.70	9.97	16.70	0.10	10.80	1.97
NO ₃	[mg/l]	8.99	9.70	1.54	37.00	16.80	0.50	4.45	1.37	0.00	22.90	2.29	0.24	28.40	14.90	1.02	29.10	3.06
HCO ₃	[mg/l]	257.00	357.00	253.00	373.00	149.00	117.00	181.00	40.30	178.00	343.00	113.00	437.00	308.00	326.00	131.00	302.00	216.00
SO ₄	[mg/l]	8.22	19.00	448.00	24.80	9.10	4.61	14.20	6.82	387.00	9.91	46.60	3.97	11.60	18.40	38.20	8.77	3.95
H ₄ SiO ₄	[mg/l]	7.36	11.43	11.40	15.57	17.52	2.87	17.97	13.55	19.88	9.21	2.22	12.83	9.48	18.24	3.49	16.73	2.60
Li	[µg/l]	0.5	29.2	20.1	5.5	1.7	1.0	1.3	1.7	64.7	2.0	0.6	105.9	1.1	3.2	2.4	3.5	0.2
B	[µg/l]	19.3	109.4	40.5	19.8	6.5	3.2	6.0	1.5	29.6	7.0	1.7	486.1	16.3	6.8	3.1	4.8	3.2
Na	[mg/l]	3.03	37.24	11.76	5.13	3.59	0.21	1.67	1.45	7.14	3.71	0.21	139.86	3.23	3.62	0.31	2.65	0.28
Mg	[mg/l]	6.94	22.45	57.64	18.43	6.41	2.70	5.55	0.61	36.98	7.81	5.62	2.99	7.79	8.40	5.70	10.35	2.88
Al	[µg/l]	0.6	3.4	1.0	1.3	0.7	0.4	0.9	0.7	0.6	1.5	0.5	2.2	0.7	9.6	0.7	1.1	2.6
K	[mg/l]	0.62	1.25	1.51	1.18	0.69	0.35	0.42	0.93	0.94	1.52	0.22	0.70	1.78	0.45	0.19	0.49	0.35
Ca	[mg/l]	80.49	68.15	297.39	126.69	55.66	37.53	54.41	14.35	203.52	125.18	50.27	8.33	103.97	99.22	44.98	98.90	68.11
Sc	[µg/l]	0.6	1.1	1.5	1.8	2.1	0.6	1.6	1.2	1.8	1.3	0.1	1.1	0.8	1.6	0.2	1.4	0.2
V	[µg/l]	0.3	0.7	0.5	0.5	1.1	0.3	1.1	0.4	0.3	0.7	0.2	0.4	0.4	0.3	0.2	0.8	0.6
Cr	[µg/l]	0.0	0.8	0.0	1.1	2.9	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	1.7	0.1
Mn	[µg/l]	0.0	1.2	0.2	0.4	0.0	0.2	0.2	0.1	5.4	0.1	0.1	3.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.5
Ni	[µg/l]	0.3	0.4	0.9	0.6	0.1	0.0	0.3	0.0	1.4	0.4	0.1	0.2	4.1	0.2	0.3	0.1	0.5
Cu	[µg/l]	1.2	0.5	5.5	2.0	0.5	0.0	0.0	0.1	3.1	4.5	0.3	1.4	3.3	0.0	0.3	0.0	0.3
Zn	[µg/l]	4.2	1.7	0.3	107.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0
As	[µg/l]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Br	[µg/l]	9.5	11.9	10.5	19.7	7.0	0.0	9.2	0.0	12.9	8.9	0.0	51.3	16.1	23.3	0.4	13.6	2.5
Rb	[µg/l]	0.2	1.4	1.3	0.5	0.2	0.4	0.3	0.3	2.9	0.5	0.1	1.9	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3
Sr	[mg/l]	0.20	0.97	6.65	0.40	0.13	0.11	0.16	0.03	2.84	0.15	0.35	1.37	0.17	0.33	0.36	0.30	0.10
I	[µg/l]	8.3	16.8	3.8	2.0	1.9	0.9	1.6	1.3	48.5	4.6	2.6	161.5	9.2	10.7	4.1	4.3	3.6
Ba	[µg/l]	17.8	225.7	9.3	76.7	11.1	42.3	7.8	0.7	14.0	15.6	16.2	186.0	31.4	64.0	7.1	45.3	2.6
U	[µg/l]	0.5	0.7	2.1	1.0	0.2	0.1	0.2	9.1	0.8	0.5	0.4	0.0	0.7	1.5	0.5	0.6	0.3
TSD	[mg/l]	366	524	1050	587	239	156	255	62.2	793	498	209	621	474	485	215	446	283

Valeurs pour 4			Groupes d'aquifères-types														
			1					2					3			4	
			LUC	CHA	MOR	DIZ	THI	COR	LRV	POZ	LLI	ALL	TIL	LIO	BOR	SAR	BRO
Si	max	9.40	mg/l	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
	min	0.00	mg/l	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	moy	3.19	mg/l	>	>	<	<	<	>	<	<	<	<	>	>	>	>
SO ₄	max	1620	mg/l	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
	min	165	mg/l	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
	moy	1041	mg/l	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
Sr	max	16.40	mg/l	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
	min	1.00	mg/l	>	>	>	>	>	>	>	>	>	<	>	>	>	>
	moy	7.90	mg/l	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
TSD	max	2761	mg/l	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
	min	734	mg/l	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
	moy	1807	mg/l	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
U	max	67.0	µg/l	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
	min	0.0	µg/l	<	<	<	<	<	=	<	<	<	<	<	<	<	<
	moy	9.8	µg/l	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
V	max	1.3	µg/l	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
	min	0.0	µg/l	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
	moy	0.5	µg/l	>	>	>	=	<	>	>	<	<	<	>	>	<	<
Zn	max	156.2	µg/l	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
	min	0.0	µg/l	=	=	<	<	<	=	=	=	=	<	=	=	=	=
	moy	7.1	µg/l	>	>	>	>	<	>	>	>	>	>	>	>	>	>

Annexe 19

Données chimiques provenant de l'étude sur la typologie des
aquifères des flysch (BASABE, en cours)

	A	B	C	D	E	F
1		Element	Mean	Std.Dev	Min	Max
2	mg/l	HCO3-	200.70	45.05	117.24	294.31
3		Ca	59.82	17.08	22.85	103.41
4						
5		SO4--	17.15	17.99	2.30	93.00
6		Mg	5.90	4.49	1.23	23.45
7		NO3-	1.95	1.91	0.00	8.20
8		Si	1.89	0.80	0.50	4.60
9		Na	1.77	1.66	0.21	10.16
10		Cl-	0.90	0.80	0.10	4.20
11		K	0.63	0.54	0.09	2.97
12		Sr	0.61	0.58	0.09	3.11
13	µg/l	Ba	38.38	27.40	4.44	141.05
14		Fe	25.68	26.18	5.96	155.91
15		Zn	21.32	50.52	0.00	286.30
16		B	14.17	12.90	1.38	59.46
17		Li	6.05	6.18	0.44	30.78
18		Br	3.64	1.64	0.00	8.17
19		Cu	1.87	2.86	0.00	17.20
20		Sc	1.86	0.74	0.65	4.62
21		Al	1.62	3.48	0.11	25.37
22		Ni	1.35	1.19	0.20	5.99
23		Pb	1.15	2.09	0.00	14.40
24		I	1.05	0.73	0.10	4.56
25		Rb	0.97	1.00	0.15	5.81
26		Mn	0.85	1.13	0.00	4.87
27		V	0.30	0.16	0.02	1.11
28		Cr	0.29	0.27	0.07	1.71
29		Co	0.28	0.14	0.00	0.67
30		U	0.27	0.11	0.05	0.72
31		La	0.07	0.06	0.00	0.23
32		Bi	0.00	0.00	0.00	0.01

342

CURRICULUM VITAE

Je suis né le 12 septembre 1960 à Fribourg. D'origine italienne (Salerno-Campanie), je suis reçu en 1980 bourgeois de la Commune d'Ecuvillens (FR) par naturalisation.

Après avoir fréquenté la scolarité obligatoire à l'école de la Vignettaz à Fribourg (1967-1972), j'ai passé sept années au Collège Saint-Michel de Fribourg (1972-1979), où j'ai obtenu mon certificat de maturité de type linguistique.

C'est en 1984 que je deviens géologue diplômé de l'Université de Fribourg. En 1985, j'ai passé avec succès le contrôle final donnant droit au certificat du cours postgrade en hydrologie opérationnelle et appliquée donné à l'Institut de génie rural de l'EPFL.

Mon expérience professionnelle a débuté par une occupation de courte durée (septembre et octobre 1985) au service d'assainissement de la Ville de Lausanne. Dès le premier novembre de la même année et jusqu'en 1991, j'ai travaillé en qualité de géologue-hydrogéologue au Laboratoire de géologie de l'EPFL (GEOLEP) sur des mandats privés pour des collectivités locales (communes du Canton de Vaud), le projet d'Ecole SPEOS et une étude pour l'Office fédéral de la protection de l'environnement (OFPE). Parallèlement à ces expertises, j'ai participé, comme assistant de Prof. Gabus, à l'enseignement de la géologie technique aux étudiants de génie civil de l'EPFL. Et en dernière activité au sein du GEOLEP, non moins la plus importante pour moi, j'ai préparé ma thèse de doctorat.

344

LISTE DES PUBLICATIONS

- MANDIA, Y. & PARRIAUX, A. (1990): Hydrochemical study of evaporitic aquifers of the Rhone Basin Trias (Western Swiss Alps). First results. *Memoires of the XXIIInd Congress of AIH, EPFL, Lausanne, Part 1*, 304-313.
- PARRIAUX, A., DUBOIS, J.D. & MANDIA, Y. (1990): Persistence de traceurs fluorescents dans les nappes d'eaux souterraines. *Hydrogéologie*, n 3, pp. 183-194.
- PARRIAUX, A., DUBOIS, J.D., MANDIA, Y., BASABE, P. & BENSIMON, M. (1990): The AQUITYP project: towards an aquifer typology in the alpine orogen. *Memoires of the XXIIInd Congress of IAH, EPFL, Lausanne, Part 1*, 254-262.
- PARRIAUX, A., MANDIA, Y. & DUBOIS, J.D. (1990): The concept of protection zones in karstic mountains. *Memoires of the XXIIInd Congress of IAH, EPFL, Lausanne, Part 2*, 1136-1143.
- PARRIAUX, A., MAYORAZ, R. & MANDIA, Y. (1990): Impact of assessment of deep underground works on a mineral water resource in alpine evaporitic context. *Memoires of the XXIIInd Congress of IAH, EPFL, Lausanne, Part 2*, 1249-1258.
- PARRIAUX, A., ZAHNER, P. & MANDIA, Y. (1988): Méthode de caractérisation synthétique de secteurs susceptibles d'accueillir une décharge pour déchets chimiques. Colloque AIH du 7 au 9 juin 1988 à Orléans "Hydrogéologie et sûreté des dépôts de déchets radioactifs et industriels toxiques".
- SAUGY, B., MUNGER, F., GRAF, O., MULLER, J.-R., MISEREZ, J.J., MATTHEY, B., KUNZ, F., MANDIA, Y., PARRIAUX, A., JOLLIEU, L., HAINARD, P., ARAGNO, M., KOHLER, P., VUILLEUMIER, F., LANGEL, S., ZWAHLEN, F., HADORN, J.-CH., WIELAND, P.A. & VINARD, P. (1989): Stockage Pilote d'Energie par Ouvrage Souterrain (SPEOS). IHE N703.282. EPFL.

ENDE