



**HAL**  
open science

# Comportement hydrogéologique des terrains karstiques et molassiques du sud du Bugey savoyard.

Pierre Lamy

► **To cite this version:**

Pierre Lamy. Comportement hydrogéologique des terrains karstiques et molassiques du sud du Bugey savoyard.. Hydrologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1986. Français. NNT : . tel-00565859

**HAL Id: tel-00565859**

**<https://theses.hal.science/tel-00565859>**

Submitted on 14 Feb 2011

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

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

THESE DE DOCTORAT  
DE  
L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE DE GRENOBLE

SPÉCIALITÉ GÉOLOGIE APPLIQUÉE

PAR

PIERRE LAMY

15 OCT. 1986

---

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1  
INSTITUT DE GEOLOGIE  
**DOCUMENTATION**  
RUE MAURICE GIGNOUX  
F 38031 GRENOBLE CEDEX  
TEL. (76) 87.46.42

COMPORTEMENT HYDROGEOLOGIQUE  
DES TERRAINS KARSTIQUES ET MOLASSIQUES  
DU SUD DU BUGEY SAVOYARD

---

Thèse soutenue le 23 avril 1986 devant la commission d'examen

M. R. BARBIER	Professeur émérite, Grenoble 1	Président
M. P. ELOUARD	Professeur, Lyon 1	Rapporteur
M. J. SARROT REYNAULD	Professeur, Grenoble 1	Rapporteur
M. J.C. FOURNEAUX	Maître de Conférence, Grenoble 1	Directeur de Thèse
M. P. MOREL	Ingénieur D.D.A.F. de Savoie	Examineur

NNB 10074212

*L'eau reste la grande dénonciatrice des secrets  
de la terre et la plus belle source n'est qu'une  
trahison de ses entrailles.*

J. GIRAUDOUX

## AVANT PROPOS

Avant de présenter les résultats du travail effectué dans le cadre de ce mémoire, il m'est agréable de remercier ici les personnes qui, d'une manière ou d'une autre y ont contribué.

Monsieur R. BARBIER, Professeur émérite de l'Institut Dolomieu, qui me fait l'honneur de présider le Jury.

Monsieur J.C. FOURNEAUX, Maître de Conférence à l'Institut Dolomieu, qui, malgré son éloignement, a dirigé mes recherches.

Monsieur P. ELOUARD, Professeur à Lyon I, qui après avoir confirmé mon goût pour la géologie, me fait le plaisir de venir juger ce travail.

Monsieur J. SARRROT-REYNAULD, Professeur à l'Institut Dolomieu, qui m'a encouragé et conseillé tout au long de cette étude.

Monsieur P. MOREL, Ingénieur à la D.D.A.F. de Savoie, pour son accueil dans son administration et l'aide matérielle précieuse qu'il m'a apportés

Je tiens à remercier également pour leur conseils éclairés Monsieur G. NICCOUD (C.U. de Savoie), Messieurs J. DAZY et J. PERRIAUX (Institut Dolomieu). Le côté technique doit beaucoup à Monsieur J. ROCHAS (Faculté de Pharmacie) et à Mesdames B. USELLE et F. KELLER (Institut Dolomieu), ainsi qu'au Laboratoire du C.R.G. de Thonon et au S.R.A.E. (Valence). Le Service Technique de l'A.R.E.A. et les Services Météorologiques de la Savoie et de l'Isère m'ont apporté des données essentielles. Madame N. REVOL et Mademoiselle C. DOUSSE ont assuré avec gentillesse la frappe du manuscrit.

La réalisation de ce travail doit également beaucoup aux habitants du Bugey-Savoyard, en particulier la famille MONTFOLLET (Attignat-Oncin) et Monsieur P. LANFFREY (La Bauche), et leurs élus qui par leur accueil et leur compréhension, m'ont permis d'installer des appareils et de réaliser nombre d'observations. De même, le Syndicat du Tiers, le Syndicat du lac d'Aiguebelette et les Sapeurs Pompiers des Echelles m'ont grandement aidé, chacun à sa manière.

Toutes mes amitiés à ceux qui m'ont encouragé par leur aide sur le terrain, leur conseil ou leur bonne humeur au cours de ces années en terre dauphinoise et savoyarde.

Enfin, une pensée toute particulière à mes parents, ma famille qui m'a permis de séjourner au coeur du domaine étudié, et m'ont soutenu durant ces longues années d'études. Merci Damien pour tes bras, Nicole pour ton accueil.

P.L.

INTRODUCTION

- CHAPITRE I - GÉOLOGIE DU SUD DU BUGEY-SAVOYARD
- CHAPITRE II - COMPORTEMENT HYDROGÉOLOGIQUE DES TERRAINS
- CHAPITRE III - LES BASSINS VERSANTS ÉTUDIÉS
- CHAPITRE IV - ÉTUDE CLIMATOLOGIQUE
- CHAPITRE V - HYDROLOGIE, HYDRODYNAMIQUE ET APPROCHE DU  
BILAN HYDROGÉOLOGIQUE
- CHAPITRE VI - LES EXSURGENCES - CARACTÉRISATION PHYSIQUE ET  
CHIMIQUE
- CHAPITRE VII - LA SOURCE MINÉRALE DE LA BAUCHE
- CONCLUSION

## INTRODUCTION

- 1 - ORIGINE DE L'ÉTUDE
- 2 - CADRE GÉOGRAPHIQUE
- 3 - CADRE GÉOLOGIQUE

--

## INTRODUCTION

### 1 - ORIGINE DE L'ÉTUDE

Cette étude, réalisée dans le cadre d'un contrat de la D.G.R.S.T. (Direction Générale de la Recherche en Sciences et Techniques), est le fruit de la collaboration entre la Direction Départementale de l'Agriculture de la Savoie (D.D.A) et le Laboratoire d'Hydrogéologie de l'Institut Dolomieu.

Des analyses bactériologiques contredisent l'idée fréquemment retenue de la qualité toujours excellente des eaux de montagne. En particulier, dans la partie la plus occidentale de la Savoie, le suivi bactériologique des sources communales a montré la présence fréquente de germes sur certaines sources. Ceci a conduit les services départementaux à porter leur attention à la connaissance des conditions hydrogéologiques des captages communaux, ainsi qu'à la définition de périmètres de protection dans la région comprise entre le lac d'Aiguebelette et la ville des Echelles. Il est également intéressant de se pencher sur l'évaluation des ressources souterraines qui constituent un soutien du point de vue quantitatif aux ressources exploitées afin de les compléter ou les remplacer par des captages mieux protégés ou mieux situés.

La D.D.A. s'est associée à l'Institut Dolomieu qui voyait là, la possibilité d'approfondir la connaissance d'une région dans laquelle un certain nombre d'études se complètent et qui se trouve contigu à l'Est à la Chartreuse septentrionale qui a fait l'objet d'études hydrogéologiques (B. TALOUR 1976, G. NICOUD 1978, P. BOZONAT 1980, P. BERGERET 1982, F. BAUDOIN 1984), comme à l'Ouest, le Bas-Dauphiné (H. DEHAYS 1980 et Y. SAPPEY-TRIOMPHE 1984).

Les ressources en eaux des massifs calcaires karstifiés étant sensibles aux pollutions, il a d'abord été envisagé d'étudier les potentialités hydrauliques de la molasse gréseuse du synclinal d'Attignat-Oncin. Mais force a été de constater la difficulté d'obtenir des débits intéressants dans ces formations où la fraction argileuse domine. L'étude a donc été étendue aux chaînons de calcaires karstiques qui bordent la dépression molassique.

### 2 - CADRE GÉOGRAPHIQUE (Fig. 1)

Le Bugey Savoyard correspond à la terminaison sud du Jura, en rive gauche du Rhône. A l'Est, les vallées de l'Hyère et du lac du Bourget font la transition avec les massifs de la Chartreuse et des Bauges. A l'Ouest, la vallée du Guiers correspond à l'extrémité nord-orientale du bassin du Bas-Dauphiné.

Morphologiquement, le Bugey Savoyard comprend deux chaînons montagneux orientés Nord-Sud:

. A l'Est, la chaîne de l'Épine-Mont du Chat atteint 1 504 mètres au Nord, puis s'abaisse vers le Sud: Mont Grelle 1 427 mètres, Mont Beauvoir 1 319 mètres.

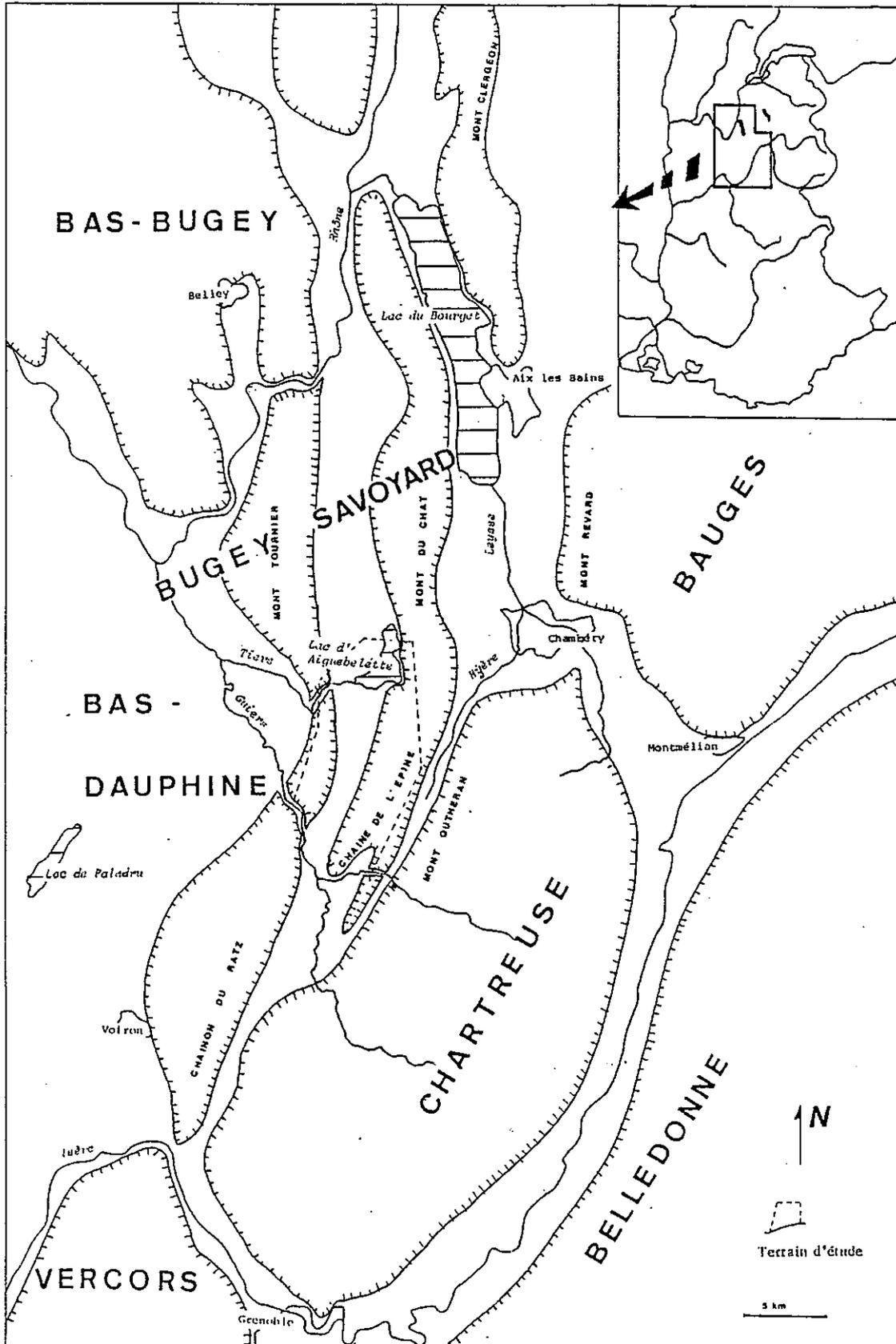


Figure n° 1 : Situation géographique du Bugey Savoyard et du domaine étudié.

. A l'Ouest, le chaînon du Mont Tournier est plus modeste: 859 mètres, il se prolonge au Sud par la chaînon du Ratz (959 mètres). Sur le terrain étudié ici, le chaînon s'abaisse, ce sont les collines de St-Franc-Dullin qui culminent à 734 mètres.

. La dépression méridienne d'Attignat-Oncin correspond à un ensemble de petites vallées dont les points bas sont marqués par le Guiers au Sud (350 mètres) et le lac d'Aiguebelette au Nord (371 mètres). Ce lac, cinquième lac naturel français par sa superficie (545 ha), atteint une profondeur de 71 m.

Dans le chaînon occidental, les eaux de la dépression centrale ont creusé trois cluses. Ce sont, du Nord au Sud: la cluse du Tiers, la cluse du Grenand et la cluse de Chailles.

Du point de vue hydrologique, le secteur du Bugey Savoyard étudié ici, est constitué de petits bassins distincts tributaires du Guiers:

. Le bassin du lac d'Aiguebelette dont l'émissaire: le Tiers s'écoule vers l'Ouest, il rejoint le Guiers à Belmont-Tramonet. Cette étude ne s'intéresse qu'à la partie sud de ce bassin.

. Les bassins du Grenand et de son affluent le ruisseau de Quinze-Sous qui sont orientés Est-Ouest. Le Grenand rejoint le Tiers à la Bridoire.

. Au Sud, le bassin de Morges et des petits bassins, dont les écoulements Nord-Sud rejoignent directement le Guiers.

La couverture végétale est constituée de forêts de résineux et de feuillus sur les chaînons calcaires. La dépression centrale est couverte de cultures céréalières et de pâturages entrecoupés de forêts.

L'économie du Bugey Savoyard est essentiellement tournée vers l'élevage laitier et la sylviculture autour desquels se sont développées de petites industries: papeteries, fabriques de meubles, tanneries, laiteries.

Le lac d'Aiguebelette, grâce à la liaison autoroutière avec Lyon et Chambéry, a vu le tourisme se développer récemment, prenant le relais de la station balnéaire de La Bauche, active au début du siècle.

Les cartes hors-texte 1 et 2, donnent la situation géographique des lieux cités dans le texte.

### 3 - CADRE GÉOLOGIQUE

Le Bugey-Savoyard s'inscrit à l'extrémité sud du Jura, bordé à l'Est par la Chartreuse et à l'Ouest par le Bas-Dauphiné. Il est caractérisé par des faciès de transition entre les différents ensembles.

La situation au contact entre les Alpes et le Jura a conditionné la structure par d'importants bouleversements tectoniques depuis la fin du Crétacé.

La série stratigraphique se divise en trois ensembles:

. Les terrains du secondaire sont représentés par une série sédimentaire carbonatée à dominante calcaire.

. Les terrains tertiaires sont constitués par des éléments détritiques provenant des massifs alpins en surrection.

. Les formations quaternaires correspondent aux produits d'érosion des terrains antérieurs très marqués par l'empreinte des glaciations.

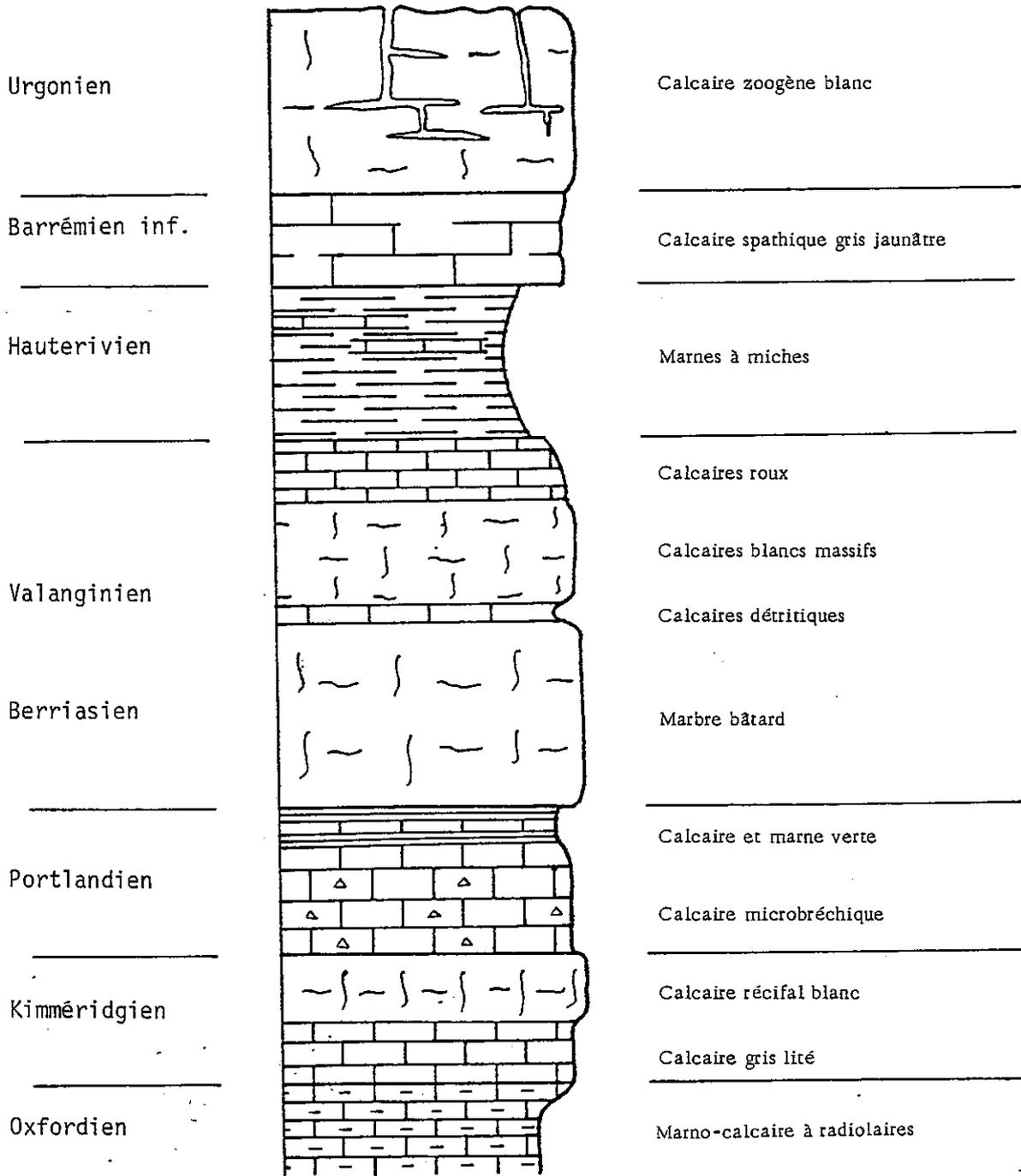
La structure observée est celle d'un synclinal molassique bordé de deux anticlinaux calcaires, la direction générale des structures est voisine de N 10.

===

## CHAPITRE I

## GEOLOGIE DU SUD DU BUGEY - SAVOYARD

- 1 - LA SÉRIE STRATIGRAPHIQUE
  - 1.1 - LES FORMATIONS CARBONATEES
  - 1.2 - LES FORMATIONS DETRITIQUES TERTIAIRES
  - 1.3 - LES TERRAINS QUATERNAIRES
  
- 2 - HISTOIRE TECTONIQUE DU BUGEY-SAVOYARD
  - 2.1 - LES GRANDES PHASES
  - 2.2 - LA FAILLE CHEVAUCHANTE FRONTALE
  - 2.3 - SYNTHESE DES STRUCTURES RENCONTREES



50 m

Figure n°2 Colonne stratigraphique des terrains mésozoïques.

## CHAPITRE I

### GEOLOGIE DU SUD DU BUGEY SAVOYARD

#### INTRODUCTION

Dans ce chapitre, les terrains seront décrits sous l'angle de la lithologie et de la stratigraphie. La structure du Bugey Savoyard sera détaillée en s'appuyant sur la synthèse des données des travaux récents.

Divers auteurs se sont penchés sur la géologie du Bugey Savoyard. R. GRAVEROT (1959) a décrit l'anticlinal de Chailles, M. GIGOUT et al. (1975) ont étudié la partie nord, F. GUIGON (1976) s'est intéressé aux différents tunnels qui traversent les chaînons calcaires, du Nord au Sud: le tunnel du Bourget où transitent les eaux usées de Chambéry, les tunnels autoroutiers de l'Epine et de Dullin, ainsi que le tunnel ferroviaire de St-Cassin. Quant à C. LAMIRAUX (1977) il a étudié le Miocène. De plus, les cartes géologiques au 1/50.000 concernant cette région sont de parution plus ou moins récente (cartes de Chambéry, Montmellian et Voiron).

La lithologie du Bugey Savoyard permet de distinguer les entités géologiques suivantes, qui auront des comportements hydrogéologiques spécifiques:

- . Deux chaînons de calcaires mésozoïques : la chaîne de l'Epine et le chaînon de St-Franc Dullin.
- . Une dépression molassique centrale.
- . Des dépôts quaternaires divers.

#### 1 - LA SÉRIE STRATIGRAPHIQUE

##### 1.1 - LES FORMATIONS CARBONATÉES (Fig.2)

Les formations carbonatées qui se rencontrent à l'affleurement se répartissent entre le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur. La série carbonatée peut être divisée en deux ensembles séparés par les marnes hauteriviennes.

L'Oxfordien supérieur correspond au plus ancien terrain à l'affleurement. C'est une succession de bancs marno-calcaires métriques, assez irréguliers à pâte fine, riches en radiolaires, alternant avec de minces lits marneux. La roche est de couleur gris-bleu, la patine est brunâtre.

Le Kimméridgien est représenté par des calcaires fins, beiges à jaunes, bien lités, qui passent à leur sommet à des calcaires sublithographiques gris en bancs de quelques décimètres à quelques mètres

d'épaisseur, contenant des silex ovoïdes à la base. Au sommet un ensemble de calcaires jaunes peut être observé, puis un ensemble massif de calcaires récifaux blancs, sans stratification apparente.

L'analyse sédimentologique montre que les faciès à dominante pélagique à la base passent à des faciès récifaux et périrécifaux au sommet. Dans la barre récifale, un horizon à Charophytes montre une période de régression lagunaire. Les calcaires récifaux sont en grande partie dolomitisés.

Le Portlandien se rencontre sous forme d'une assise de calcaires blancs à blanc-grisâtre, à tendance microbréchique, en grande partie dolomitisée. C'est une sédimentation de plate-forme peu profonde. Au sommet, la série évolue vers des marnes vertes à Characées et Clypéines. Dans les gorges de Chailles, R. GRAVEROT (1959) met en évidence plusieurs épisodes d'émersion entre les niveaux laguno-lacustres du sommet du Portlandien: c'est le faciès Purbeckien à oogones de Characées.

L'ensemble Berriasien Valanginien forme une entité où la limite stratigraphique est floue. La base constitue une première corniche, ce sont les "marbres bâtards": des calcaires récifaux très clairs, mal stratifiés à cassure argileuse. Un ensemble plus tendre forme ensuite une vire dans le paysage, ce sont des calcaires détritiques localement microconglomératiques à intercalations de niveaux de calcaires marneux ou de marnocalcaires. La deuxième corniche est constituée de calcaires massifs, homogènes, mal stratifiés, blanchâtres. Le sommet du Valanginien est représenté par des calcaires roux, très bien lités en bancs de 20 à 60 cm d'épaisseur contenant des nodules de silex.

Le caractère purement calcaire du Valanginien montre l'affinité jurassienne incontestable de ces terrains, par opposition aux marnes du domaine subalpin qui se rencontrent en Chartreuse.

L'Hauterivien est représenté par des marnes à miches et à spatanges. Les marnes sont noires, dures, grumeleuses, des amas glauconieux sont disséminés dans la masse. Des niveaux de marno-calcaires et de calcaire marneux à Gastéropodes et Brachiopodes s'intercalent localement, soit sous forme de bancs décimétriques soit, plus souvent, sous forme de miches en lits. L'Hauterivien montre une dualité entre les faciès dauphinois marneux et les faciès jurassiens calcaires.

Cette assise à dominante marneuse peut être considérée comme imperméable, elle forme le mur des calcaires karstifiés de l'Urgonien.

Le Barrémien inférieur fait suite en continuité à l'Hauterivien par augmentation progressive des niveaux calcaires. Il est caractérisé par des calcaires gris-jaunâtre, spathiques, en gros bancs, en général mal stratifiés, parfois un peu marneux, avec des intercalations de marnes. Il passe en continuité à l'Urgonien.

Le Barrémien supérieur présente le faciès urgonien. C'est un ensemble de calcaires zoogènes blancs, à aspect souvent saccharoïde, en bancs massifs plurimétriques.

Ces calcaires forment les falaises du Mont Beauvoir et des Echelles; ils reposent en dalle structurale sur le flanc est de la chaîne de l'Epine. Au sommet un ensemble de calcaires et marnocalcaires bioclastiques jaunes à roux termine la série mésozoïque.

Les formations du Crétacé supérieur ne sont rencontrées qu'à l'état de galets à silex dans la molasse, montrant que les dépôts marins se sont poursuivis, mais l'érosion de la fin du Crétacé et du début du Cénozoïque n'a pas respecté ces terrains à l'Ouest de la chaîne de l'Epine.

Dans l'axe du synclinal de Couz, G. NICOUUD (1978), décrit le Sénonien: "c'est un ensemble de petits bancs de calcaires à silex reposant directement sur les calcaires urgoniens".

## 1.2 - LES FORMATIONS DETRITIQUES TERTIAIRES

### 1.2.1 - Les dépôts antémioènes: le sidérolitique

A la fin du Crétacé, la mer se retire du Bugey Savoyard, laissant place à l'érosion continentale des terrains mésozoïques. Cette érosion donne naissance à des dépôts continentaux rouges très riches en fer: le sidérolitique. Ces dépôts se rencontrent dans les poches creusées à la surface des calcaires, ou dans des galeries karstiques pénétrant profondément. En discontinuité sur les calcaires, reposent des marnes rouges contenant des sphères millimétriques grises.

La forte teneur en fer de ces terrains (75%) leur a valu d'être exploités comme minerai, entraînant par là le nettoyage systématique des affleurements, une installation de traitement du minerai a fonctionné au siècle passé à St-Christophe-La-Grotte. Actuellement, ces dépôts peuvent être observés dans la galerie de reconnaissance du tunnel de l'Epine. Cette galerie recoupe le fond d'une cavité karstique comblée par ces dépôts.

La datation de ces dépôts est délicate, car comme toutes les formations continentales, ils sont pauvres en fossiles et la période de mise en place est longue. C'est uniquement aux Echelles qu'une machoire de *Lophiodon Lartati* décrite par W. KILIAN (1898) a permis de dater ces dépôts de l'Eocène inférieur. Mais ceci n'est qu'une indication sur la période à laquelle de telles couches rouges se sont mises en place. Il ne faut pas exclure la possibilité de formation de ces dépôts sur une période beaucoup plus longue.

### 1.2.2.- Les formations du Miocène (Fig. n°3)

Après l'exondation du Crétacé supérieur, il faut attendre le Burdigalien pour voir la mer revenir. Les dépôts rencontrés sont regroupés sous le terme générique de "molasse miocène", en fait ils évoluent entre un pôle gréseux et un pôle silteux. Ils sont caractérisés par des variations de faciès tant latérales que verticales, ainsi que par des variations d'épaisseur. Le terme décrit ici représente un terme moyen, rencontré sur le bassin.

L'Aquitainien se présente sous la forme d'un conglomérat à éléments anguleux rouges qui ne se rencontre que sur le flanc oriental de la chaîne de l'Epine, à Vimines, c'est encore un faciès continental.

La molasse burdigalienne traduit la transgression marine. Elle débute localement par un conglomérat fossilifère, à matrice très calcareuse, quelques grains de radiolarite sont observés (St-Franc, lieu dit les Antes).

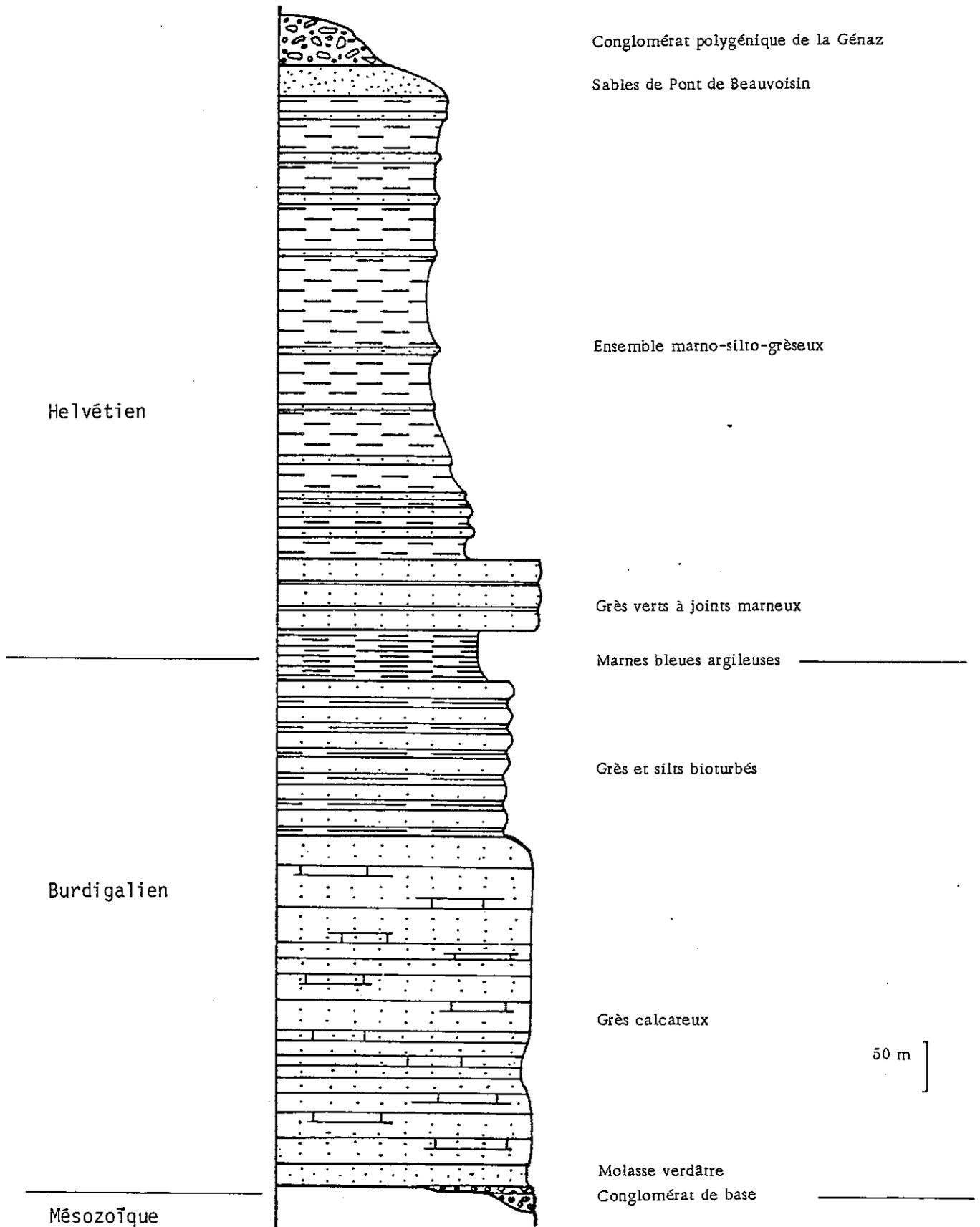


Figure n° 3 Colonne stratigraphique des terrains miocènes.

Le terme suivant est plus général sur le bassin, c'est une molasse verdâtre d'une vingtaine de mètres d'épaisseur. La série se poursuit par des grès calcareux à débris de Bryozoaires et Pectinidés, et à éléments de radiolarites. Aux Villas Doria, la série est incomplète: une lacune de ces grès calcareux traduit l'existence d'un paléorelief. Enfin, des grès et silts bioturbés alternant avec des grès calcareux terminent le Burdigalien. Entre les grès calcareux s'intercalent parfois des lits ligniteux, épais d'un centimètre environ.

L'ensemble du Burdigalien atteint une épaisseur voisine de 600 mètres.

Les formations burdigaliennes correspondent à une sédimentation dans un chenal marin large d'une dizaine de kilomètres, d'où émergeait une île: la chaîne de l'Epine (G. LATREILLE, 1971). La communication entre les bassins de Novalaise et de Chambéry se faisait par un seuil.

Les marnes bleues argileuses que l'on rencontre alors, font la transition entre le Burdigalien et l'Helvétien. Elles débutent par des marnes bleues indurées alternant avec des grès jaunes. Puis, les marnes bleues se rencontrent en bancs de plus en plus épais, lorsqu'on s'approche du sommet de la série. C. LAMIRAUX (1977) décrit une microfaune: foraminifères planctoniques et benthiques, ostracodes, spicules d'oursins. L'épaisseur mesurée dans les gorges de Chailles est de 50 cm.

La partie inférieure de l'Helvétien est formée de grès verts, azoïques, relativement peu calcareux, en bancs décimétriques à métriques, présentant des joints centimétriques de silts marneux gris-bleu. Ces interlits silteux peuvent devenir décimétriques et être alors prépondérants.

Un complexe marno-silto-gréseux forme alors l'essentiel de l'Helvétien. Le passage des grès verts à cette formation est progressif. Cet ensemble azoïque est formé de marnes et de silts gris-bleu, entre lesquels s'intercalent des grès gris-bleu à jaune, et même localement des conglomérats polygéniques. Les bancs montrent une grano-décroissance qui aboutit à des lits ligniteux. Le lignite est également présent dans la masse gréseuse sous forme de parallélépipèdes centimétriques. Lorsque les bancs peuvent être suivis latéralement, de fréquentes variations de faciès sont observées, elles sont toujours brutales. La subsidence du bassin, maximale à cette époque, se traduit par une épaisseur de l'ordre de 400 mètres.

Cet ensemble marno-silto-gréseux présente des concrétions ferrugineuses éparses dans la masse gréseuse. Ces concrétions se reconnaissent à la couleur rouille que prend la roche à l'affleurement. Une auréole de 5 cm de diamètre entoure un noyau sombre centimétrique. G. LATREILLE et al. (1971) décrivent de telles concrétions, mais plus indurées, appelées aétites dans le Bas Dauphiné. Ces concrétions de 8 cm de diamètre ont une enveloppe de limonite et de sels de manganèse, la masse centrale est une argile pure.

Avec l'Helvétien supérieur se terminent les terrains miocènes de notre région. Ce sont les sables jaunes de Pont-de-Beauvoisin. Ces sables sont très micacés, une stratification entrecroisée est soulignée par des lits silto-marneux gris-beige, millimétriques, quelques galets sont disséminés dans la masse. Deux affleurements se rencontrent sur notre terrain: au Nord immédiat du Château de Lépin-Le-Lac et à la Génaz, où ils sont surmontés d'un conglomérat polygénique.

L'étude stratigraphique du Miocène laisse apparaître une sédimentation de plate-forme dont la subsidence est maximale à l'Helvétien moyen, c'est le passage d'Est en Ouest d'une "onde" de subsidence. La nature du matériel déposé à cette époque traduit la surrection progressive des massifs alpins voisins.

Après le Miocène, la mer se retire définitivement du Bugey-Savoyard. Le Pliocène n'est pas connu ici, seuls des cailloutis à gros galets de quartzite décrit à l'Ouest, aux environs d'Apprieu (carte géologique de Voiron), laissent penser que les dépôts de cette époque ont existé mais ont été totalement érodés par l'action des glaciers quaternaires.

### 1.3 - LES TERRAINS QUATERNAIRES

Les terrains du quaternaire se répartissent en formations gravitaires, qui sont prépondérantes sur le flanc ouest de la chaîne de l'Epine, ainsi qu'en formations fluviatiles et lacustres et en formations glaciaires qui se rencontrent dans la partie médiane du secteur étudié (fig. n°4).

#### 1.3.1 - Les formations de pente

##### 1.3.1.1 - Les éboulis

Le pied des falaises qui dominent le bassin molassique d'Attignat-Oncin est tapissé d'une importante quantité d'éboulis. Ces éboulis sont constitués d'éléments calcaires, anguleux à forte hétérométrie. Ils masquent le contact entre la molasse et les terrains calcaires. Stabilisés dans leur ensemble, ces éboulis sont par endroits alimentés par des produits cryoclastiques lors du dégel. Ce qui fut le cas, plus particulièrement en 1985 pendant un hiver rigoureux entrecoupé de plusieurs phases de redoux.

##### 1.3.1.2 - Les écroulements

Les produits d'un écroulement de la Falaise du Mont Grelle s'observent entre le lac d'Aiguebelette et le hameau de La Génaz (Attignat-Oncin). Cet écoulement est divisé en deux branches:

- . Une branche nord, vers Aiguebelette et Pierre Borne est bien conservée, des blocs de tailles diverses peuvent atteindre quelques centaines de mètres cubes.

- . Une branche nord-ouest a été érodée par le ruisseau de la Tuilerie, mais il se reconnaît à Lépin-Le-Lac par les gros blocs et le relief chaotique. On peut considérer que les éléments disparus ont été entraînés par le ruisseau de la Tuilerie et intégrés à son cône de déjection.

D'après les érudits locaux (L. GAY-LANCERMIN 1982, A. CHARVET 1984), cet écroulement aurait eu lieu au XIII<sup>e</sup> siècle, comme celui plus connu du Mont Granier. Une secousse sismique pourrait être la cause de ces écroulements comme l'explique M. PARIS (1933) pour des situations semblables. Mais le peu de certitudes sur les dates ne permet pas d'être plus affirmatif.

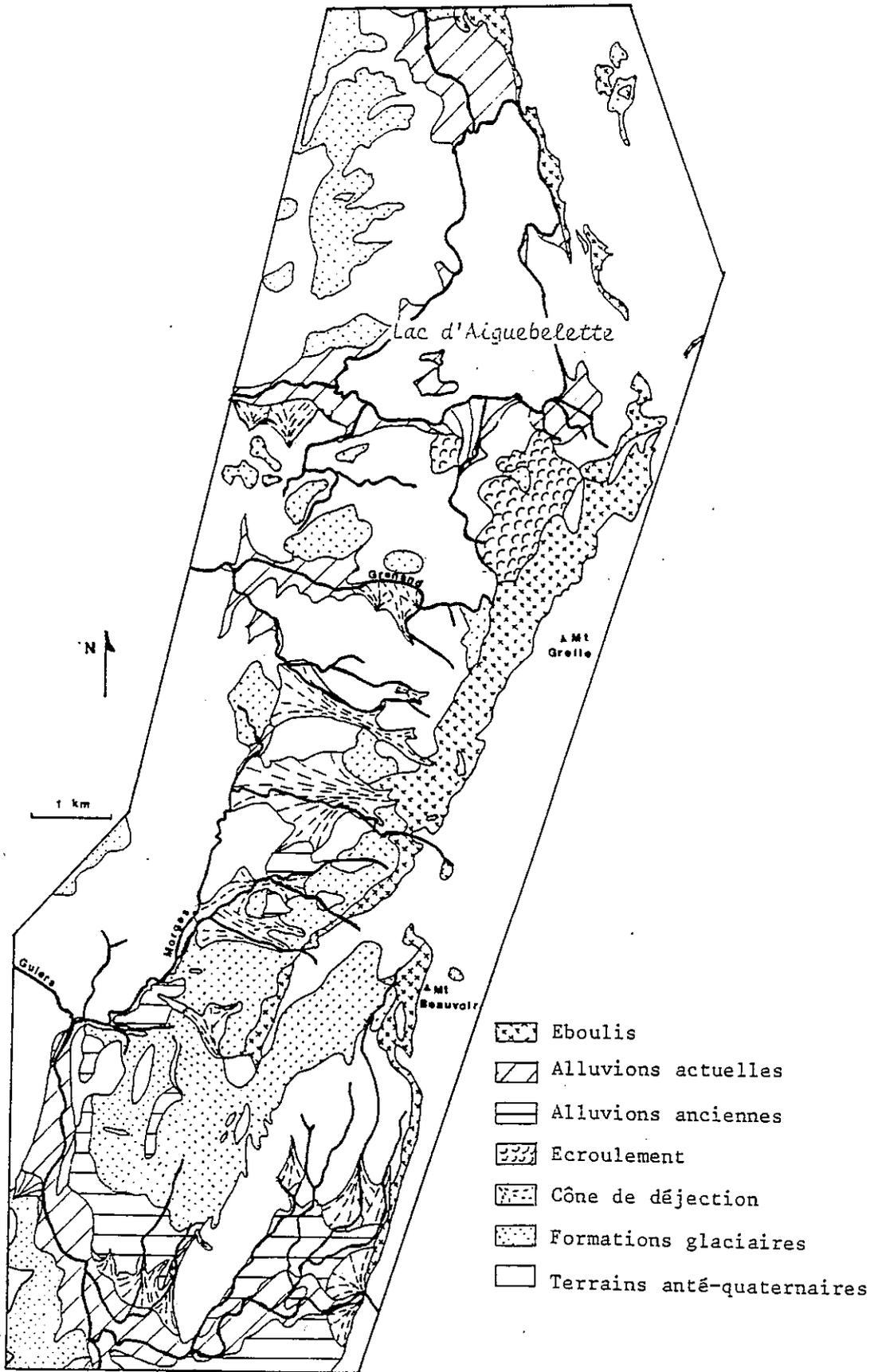
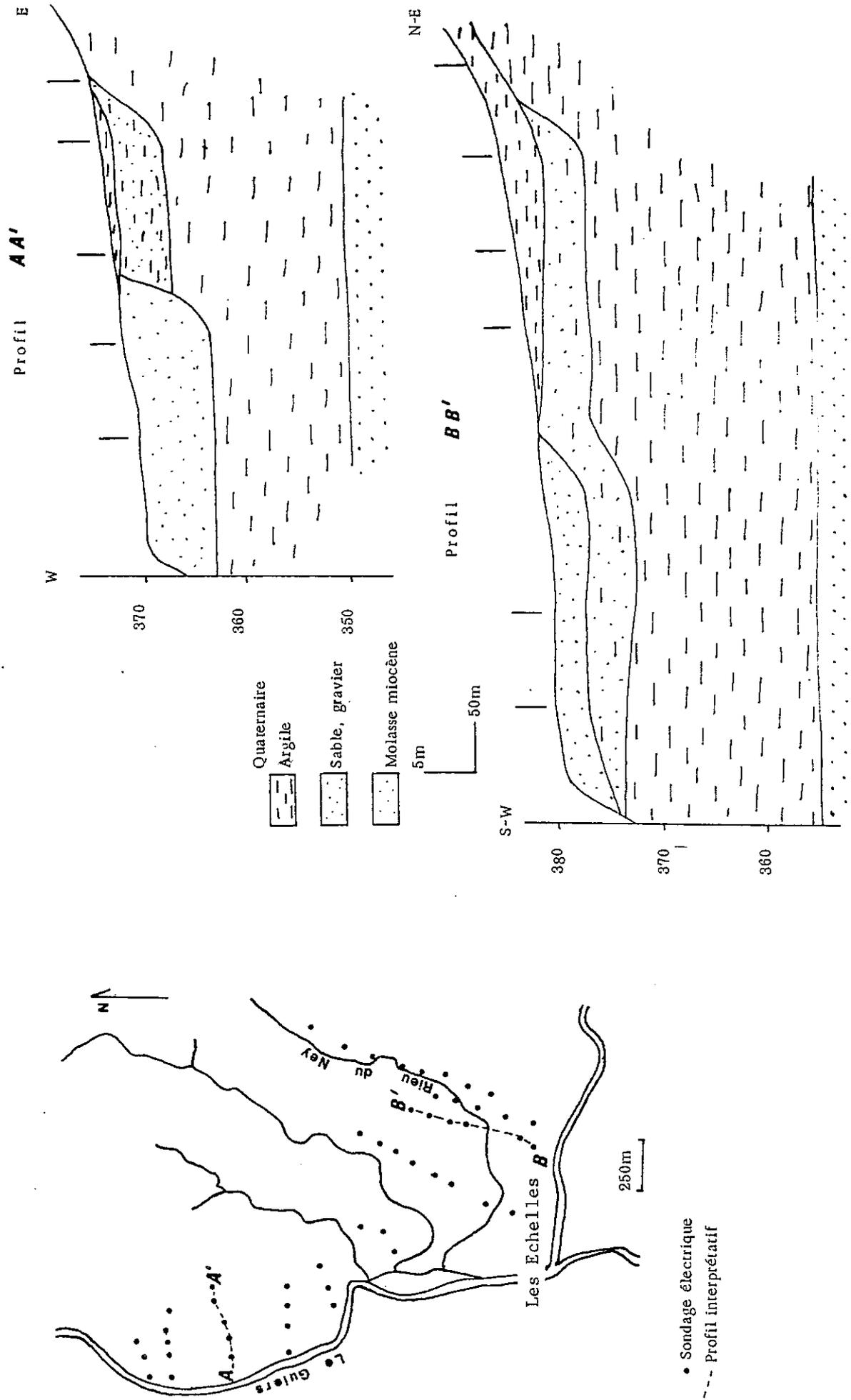


Figure n° 4 Carte des terrains du Quaternaire.

Figure n°5 Etude géophysique de la vallée du Guiers en aval des Echelles.



• Sondage électrique  
 --- Profil interprétatif

### 1.3.2 - Les formations torrentielles

Les différents torrents édifient des cônes de déjection à la faveur d'une rupture de pente.

Au Nord, à proximité du lac, les cours d'eau ont des débits relativement faibles et l'essentiel du cours se fait sur un substratum de molasse argilo-sableuse. Les produits transportés sont à dominante argileuse, cette dominante se retrouve dans les cônes de déjection.

Au centre de la région étudiée, les ruisseaux de Quinze-Sous, du Merderet et de La Pissoire présentent dans leur cours supérieur des débits beaucoup plus significatifs, leur donnant une capacité de transport relativement élevée. De ce fait, les cônes de déjection sont constitués de matériaux plus grossiers et donc plus perméables, ceci permet aux ruisseaux de s'infiltrer totalement en période d'étiage, dans la partie distale du cône.

Au Sud, les deux principaux cônes de déjection: celui du Rieu-du-Ney et celui du Guiers-Vif seront étudiés avec les dépôts alluviaux dans lesquels ils s'imbriquent.

### 1.3.3 - Les formations alluviales

#### 1.3.3.1 - Le Bassin du Guiers

La Compagnie de Prospection Géophysique Française (G.P.G.F.) et le Cabinet JAMIER-VIAL ont réalisé entre 1974 et 1980 des campagnes de prospection électrique dans la plaine du Guiers en aval des Echelles, et dans la plaine de St-Christophe-La-Grotte. La dernière campagne a été suivie par l'exécution de trois forages dans les alluvions du Guiers-Vif à St-Christophe-La-Grotte. Nous reprenons ici succinctement les résultats.

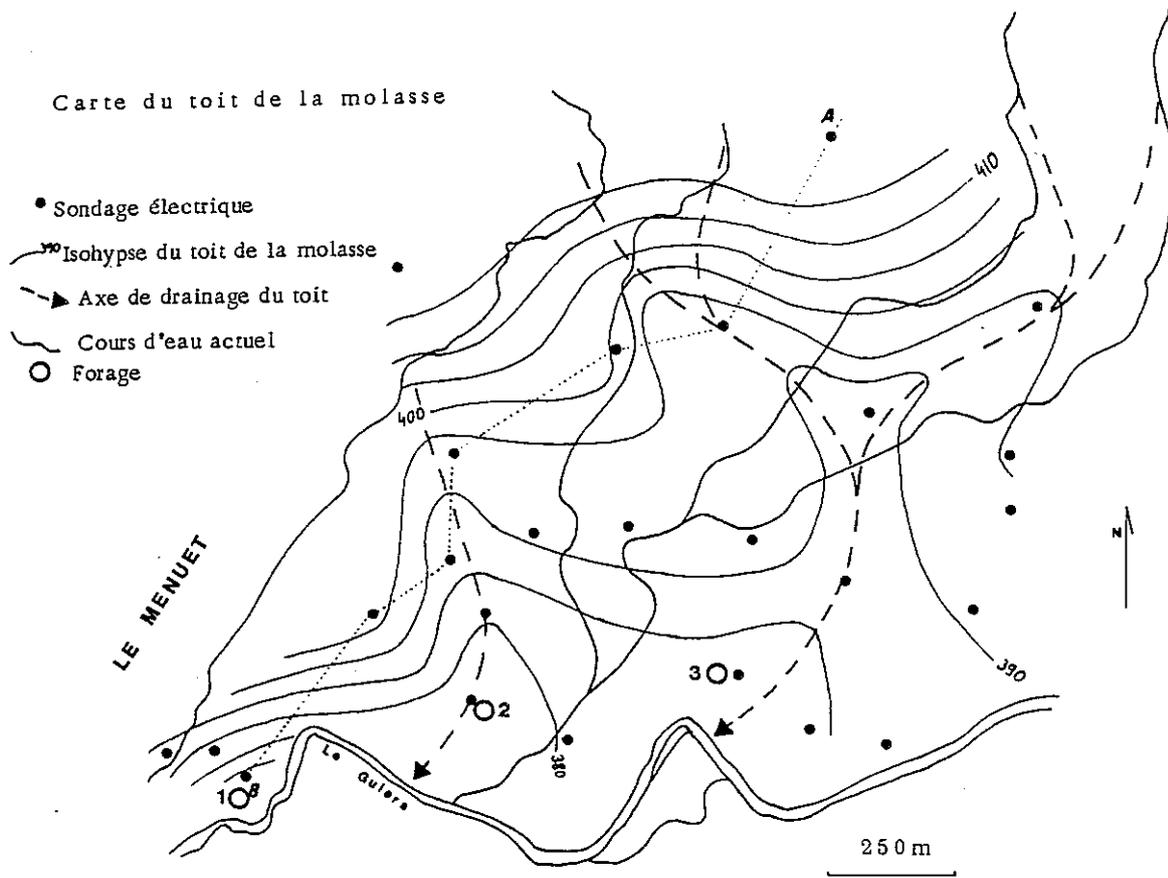
a) Géophysique au Nord des Echelles (Fig. n°5). 54 sondages électriques ont été réalisés perpendiculairement à la rive du Guiers entre les Echelles et les Gorges de Chailles. Ils montrent la structure en terrasses emboîtées des alluvions du Guiers (profil AA') et la disposition des niveaux graveleux dans le cône de déjection du Rieu-du-Ney (profil BB').

Ces structures alluvionnaires reposent sur des formations argileuses d'une quinzaine de mètres d'épaisseur. En surface, elles sont recouvertes de limons.

b) Géophysique dans la plaine de St-Christophe-La-Grotte (Fig. n°6). 27 sondages électriques ont été réalisés dans la plaine. Leur répartition a permis d'établir une carte du toit de la molasse. Cette carte montre la structure en terrasse de ce toit, les chenaux de surcreusement que l'on observe suivent une ramification dichotomique vers l'amont, tandis que le réseau actuel est plutôt sub-parallèle.

Le Quaternaire rencontré dans les forages électriques, correspond à du matériel fluviatile (sables, galets, limons), les argiles lacustres observées à l'aval du Menuet ne se retrouve pas ici.

Figure n°6 Etude géophysique de la plaine de St-Christophe-la-Grotte.



Profil interprétatif

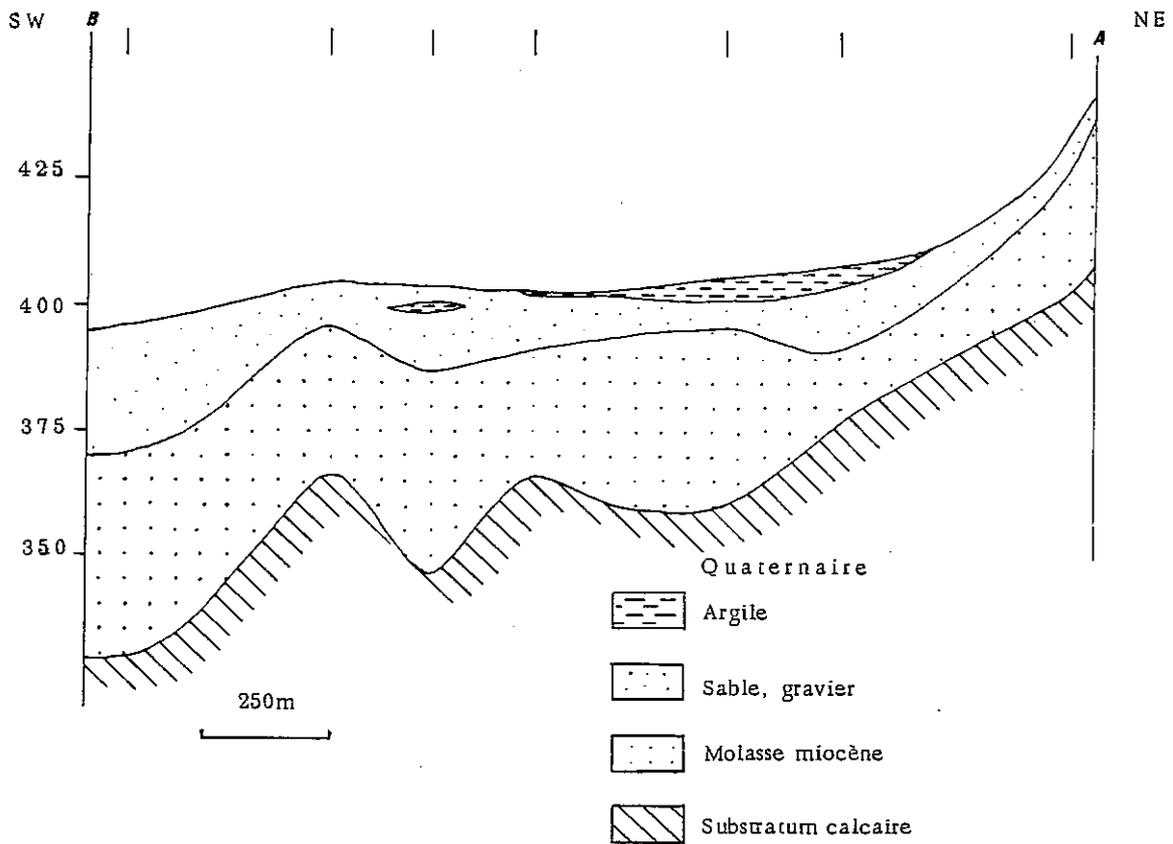
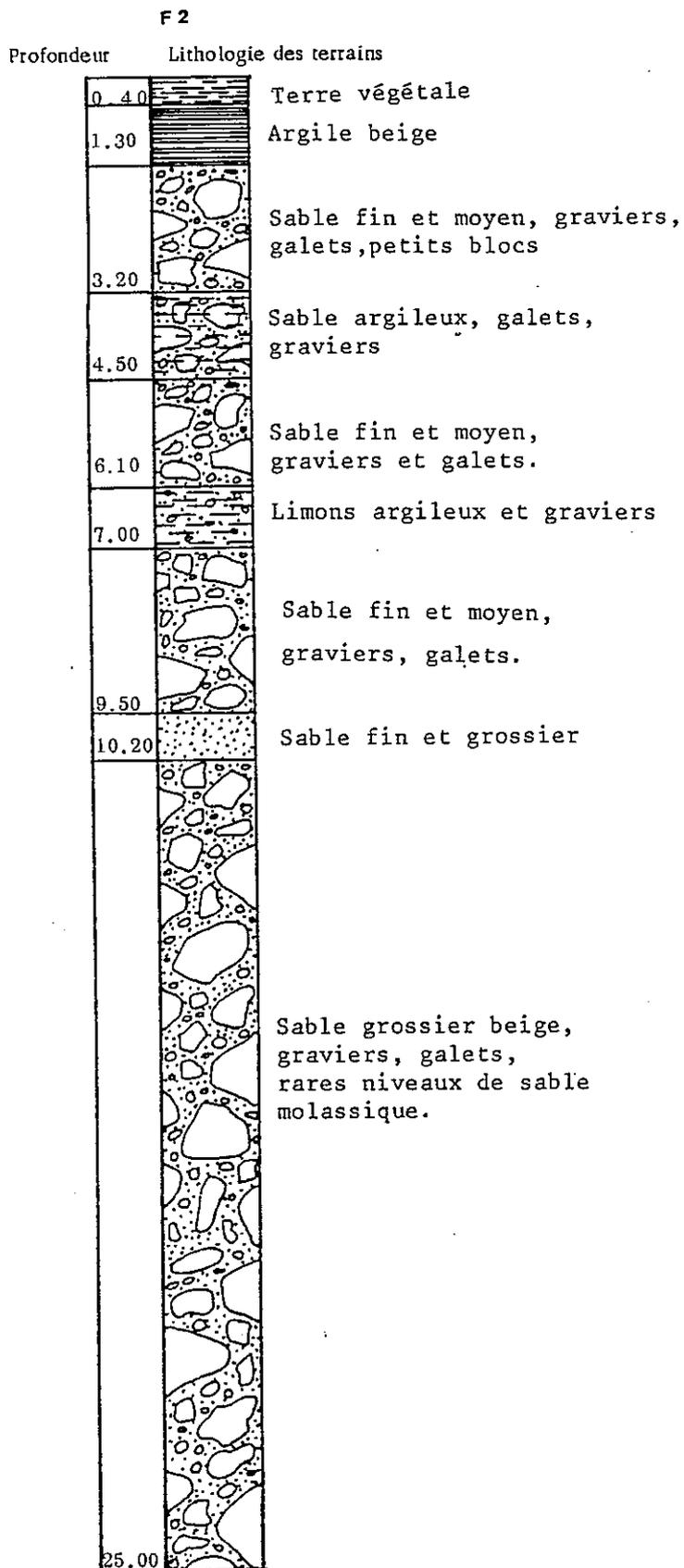
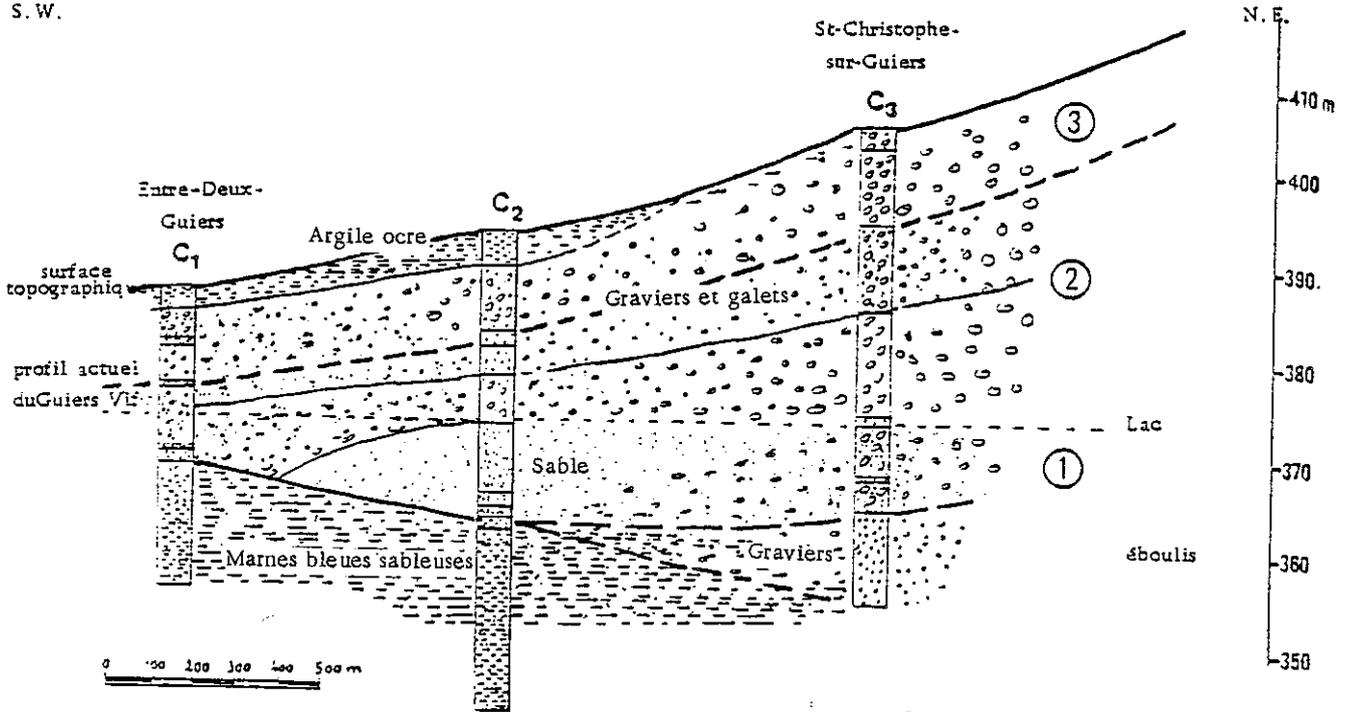


Figure n°7 Coupe géologique du forage n°2 St-Christophe-la-Grotte.



S. W.



Coupe montrant les différents stades de l'alluvionnement

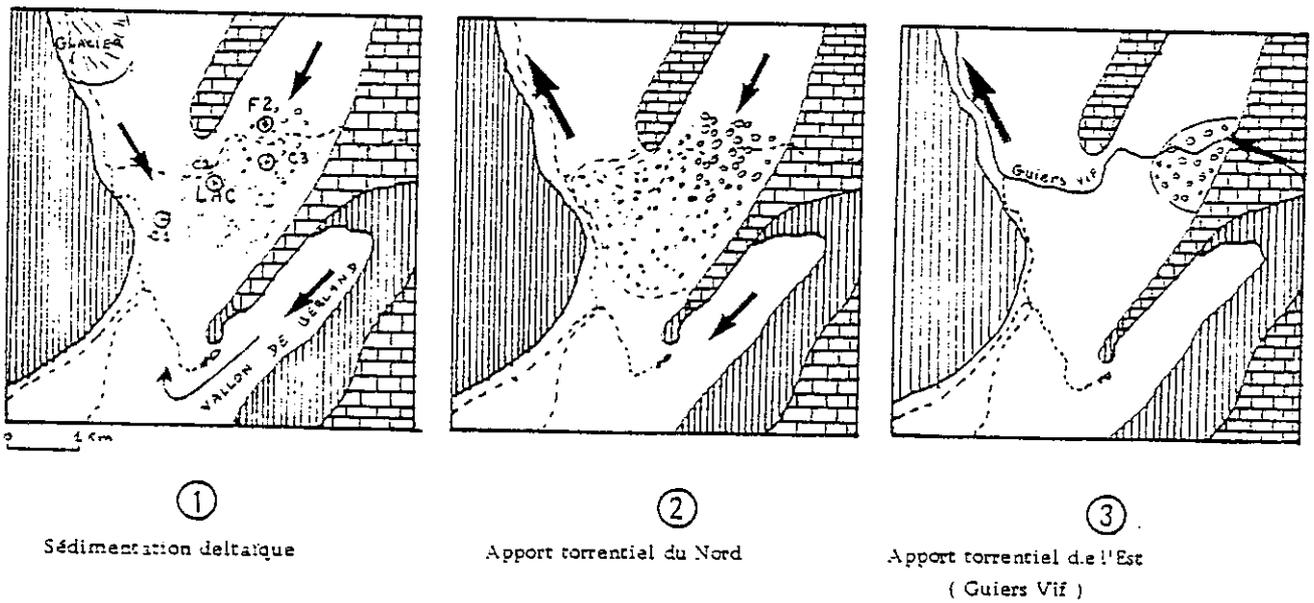


Figure n°8 Schéma interprétatif de la structure alluviale à la confluence du Guiers Vif et du Guiers Mort. D'après F BAUDOIN 1984.

c) Les forages de la vallée du Guiers. Trois forages mécaniques ont été réalisés à proximité immédiate du Guiers. Leur faible profondeur ne leur permet de décrire que la couche superficielle des dépôts quaternaires. La figure n°7 donne la coupe des terrains rencontrés dans le forage n°2 d'après le sondeur; les seules variations observées sont des variations d'épaisseur des terrains et son augmentation sensible des taux d'argile au niveau du forage n°3 - (situation: voir figure n°6).

d) Interprétation (figure n°8). Les travaux présentés ci-dessus complètent l'étude réalisée au Sud du Guiers-Vif par F. BAUDOIN (1984). Les études géophysiques et trois forages plus profonds effectués en rive droite du Guiers-Vif lui ont permis de fournir une interprétation de la sédimentation quaternaire locale. Son interprétation s'accorde tout à fait avec les données disponibles au Nord du Guiers-Vif.

Lors d'un stade de retrait glaciaire, la langue du glacier du Rhône qui avait envahi la vallée des Echelles et de St-Laurent-du-Pont, se retire vers le Nord en maintenant englacées les gorges de Chailles. Il se forme alors un lac en amont des gorges de Chailles. Ce lac est alimenté par les eaux de fonte du glacier, ainsi que par l'ancien Guiers-Vif qui s'écoulait dans le vallon de Berland. L'exutoire de ce lac correspondait alors aux gorges de Crossey, plus au Sud.

Dans ce lac se déposent des argiles plus ou moins sableuses que l'on rencontre au Sud du Guiers-Vif et au Nord Ouest des Echelles. Au Nord du Guiers-Vif et à l'Est de la plaine, les matériaux grossiers correspondent à des deltas torrentiels lacustres.

Les formations plus récentes ont un caractère purement fluviatile: l'englacement des gorges de Chailles disparaît provoquant un renversement des directions d'écoulement. Les matériaux grossiers provenant du Nord s'étendent plus largement. Les sédiments deviennent plus fins vers le sommet du fait d'une pente plus faible et de la diminution du débit des cours d'eau.

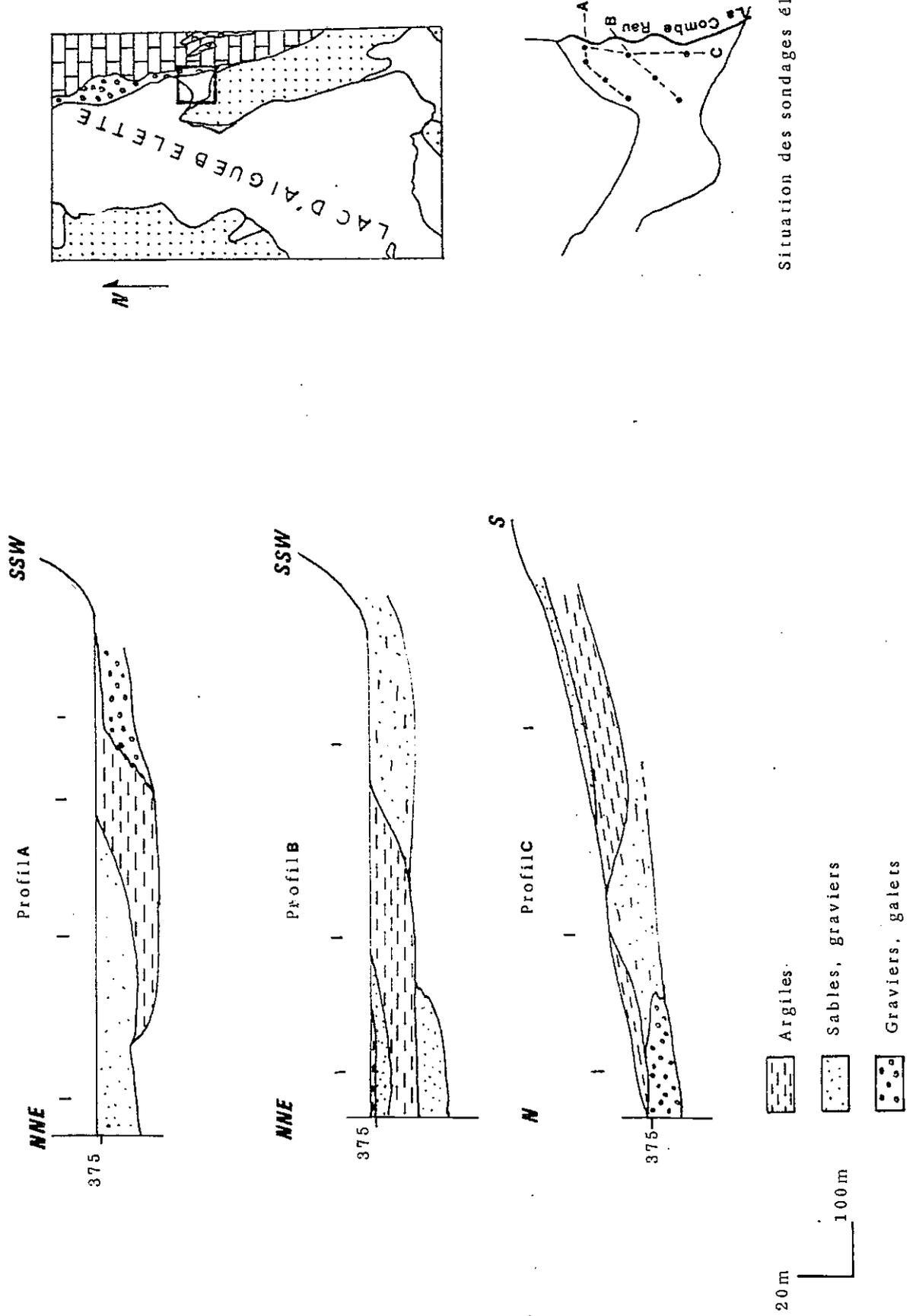
Le Guiers-Vif creuse alors les Gorges de l'Echillon en amont de la plaine de St-Christophe dans laquelle il débouche par un cône de déjection. Les divagations de son cours dans la vallée expliquent l'hétérogénéité des terrains les plus récents.

#### 1.3.3.2 - Le bassin du lac d'Aiguebelette

Des terrasses s'observent autour du lac d'Aiguebelette, principalement à l'Ouest et au Sud du lac. A l'Est, les éboulis de la chaîne de l'Epine atteignent le lac. Certaines terrasses se prolongent en aval le long de l'émissaire, le Tiers, sur quelques centaines de mètres, puis sont interrompues dans la cluse de la Bridoire. Ces terrasses sont plus ou moins bien conservées du fait de l'érosion naturelle sur les reliefs et de l'érosion anthropique principalement depuis quelques années où la réalisation de bases de loisirs est motif à un remodelage de la morphologie.

a) Etude du vallon de la Combe à Aiguebelette (Fig. n°9). La C.P.G.F. a réalisé une campagne de géophysique en 1977 dans la partie aval du vallon de la Combe afin de connaître les possibilités d'installation d'un forage destiné à l'alimentation en eau potable de la commune d'Aiguebelette.

Figure n°9 Etude géophysique du vallon de la Combe à Aiguebelette.



Situation des sondages électriques

La campagne s'intéresse au delta lacustre du ruisseau de la Combe, ce ruisseau s'écoule entre les éboulis de l'Épine et la molasse de la butte du Fayet. Huit sondages électriques détaillent le Quaternaire.

Cette étude montre que le cône de déjection est essentiellement argileux en partie médiane et sablo-graveleux en partie distale. La structure générale est celle d'un delta progradant classique. Latéralement, les éboulis de versant s'abouchent sur les sables deltaïques de la partie distale.

La granulométrie des formations sableuses permet l'existence d'une nappe aquifère alimentée par les versants et par le lac d'Aiguebelette. Cet aquifère est exploité par pompage pour l'alimentation de la commune d'Aiguebelette.

b) Les terrasses du bassin du lac d'Aiguebelette (Fig.n°10)  
Une description a été faite par P. RUSSO (1943), elle correspond à ce qui peut être observé encore actuellement avec quelques précisions sur l'état des lieux avant les aménagements touristiques, en particulier au Soujet.

Les relevés topographiques actuels donnant des cotes différentes de ceux de l'époque, une correction est à faire: la cote du lac passe ainsi de 380 à 373 m. Les autres cotes sont considérées par rapport au lac, elles peuvent donc être conservées.

Le premier niveau d'érosion s'observe à la cote relative + 36 m, il n'est conservé qu'au Sud du Gué des Planches. Le second, situé à + 26 m, s'observe sur le côté ouest du lac où il forme la terrasse du Soujet. Le troisième niveau est bien représenté à l'Ouest et au Sud du lac où il forme des banquettes étroites à la cote + 16 m.

La quatrième terrasse située à + 7 m est bien développée au Nord du lac où elle correspond aux alluvions anciennes de la Leysse et à l'aval du lac où elle est constituée par les divagations anciennes de l'émissaire avant l'entrée dans la cluse de la Bridoire. Enfin, au niveau du lac, une terrasse actuelle, à + 1,5m, est couverte de roselières, elle est particulièrement bien développée à Aiguebelette, le long de l'émissaire et au Nord du lac, elle constitue également la couverture des deux îles.

La note de P. RUSSO (1943) distingue deux niveaux dans la quatrième terrasse à 5 et 9 mètres, mais la terrasse à 9 mètres étant isolée des autres et située le long du ruisseau du Moulin, je considère que l'élévation est due à l'inclinaison des terrasses le long des cours d'eau. D'autre part, la cote + 7 m cadre mieux avec les relevés topographiques dont je dispose pour l'ensemble du quatrième niveau.

A l'aval du lac, le Tiers s'écoule dans les gorges creusées dans les calcaires valanginiens par érosion régressive. Les terrasses locales qui s'observent le long de cette cluse sont mal conservées et ne correspondent chacune qu'à une période d'érosion de l'un des biefs.

Chaque terrasse observée au bord du lac correspond à une période où le niveau du lac était stable du fait d'une moindre érosion du seuil du Gué des Planches par le Tiers.

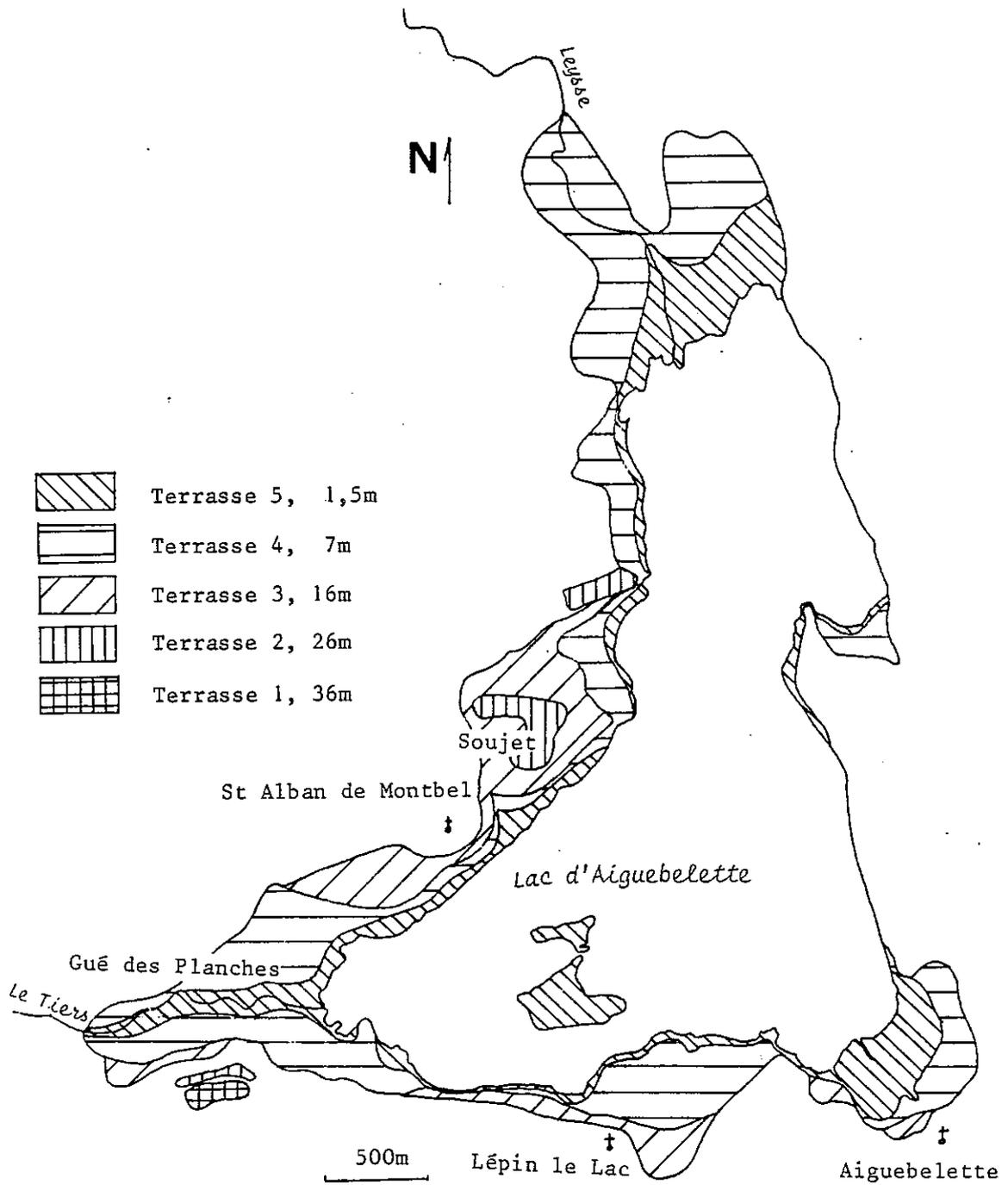


Figure n°10 Carte des terrasses du lac d'Aiguebelette.

En aval du Gué des Planches, un niveau ancien de la cluse s'observe sous forme d'un replat sur le Valanginien à 17 m au-dessus du niveau actuel. Ce niveau correspond à l'établissement de la troisième terrasse.

Cette liaison d'un niveau fossile de la cluse avec un niveau de terrasse du lac n'est visible que sur l'exemple précédent.

Les autres niveaux n'ont pas été conservés par l'érosion à cet endroit et plus à l'aval, l'existence de chutes de plusieurs mètres rend difficile les comparaisons de part et d'autres des chutes.

### 1.3.4 - Les formations glaciaires

#### 1.3.4.1 - Les différentes formations rencontrées

Les terrains liés aux différentes époques glaciaires ne présentent pas de morphologie typique distincte de celle des autres formations, en effet la nature argileuse de ce matériel l'a rendu sensible à l'érosion post-glaciaire de la même manière que les niveaux marno-silteux de la molasse miocène. C'est donc à l'aide de blocs erratiques épars ou de galets à faciès glaciaire, que les dépôts glaciaires seront reconnus, ainsi que par la succession des terrains dans les sondages.

Ainsi, la reconnaissance de blocs erratiques sur la crête des Chapelles à Attignat-Oncin indique l'origine glaciaire de ce relief, mais l'extension des formations glaciaires ne peut-être fixée avec précision du fait de la végétation et de l'absence de continuité dans les observations.

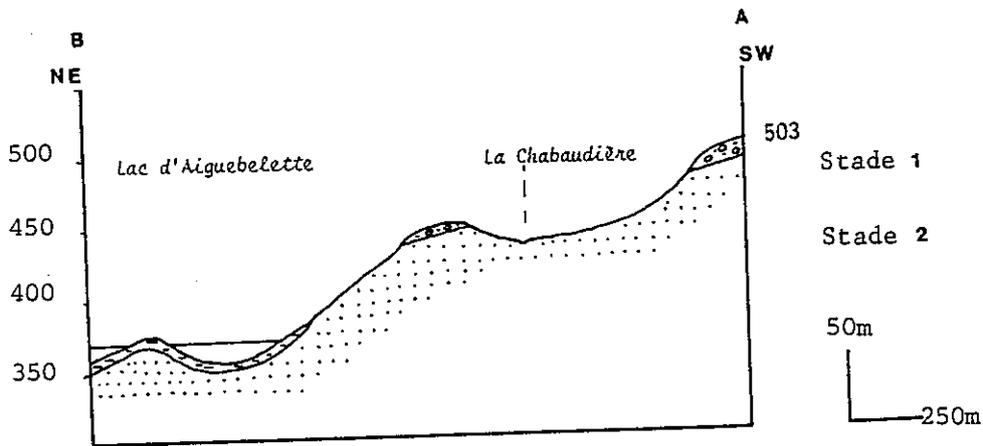
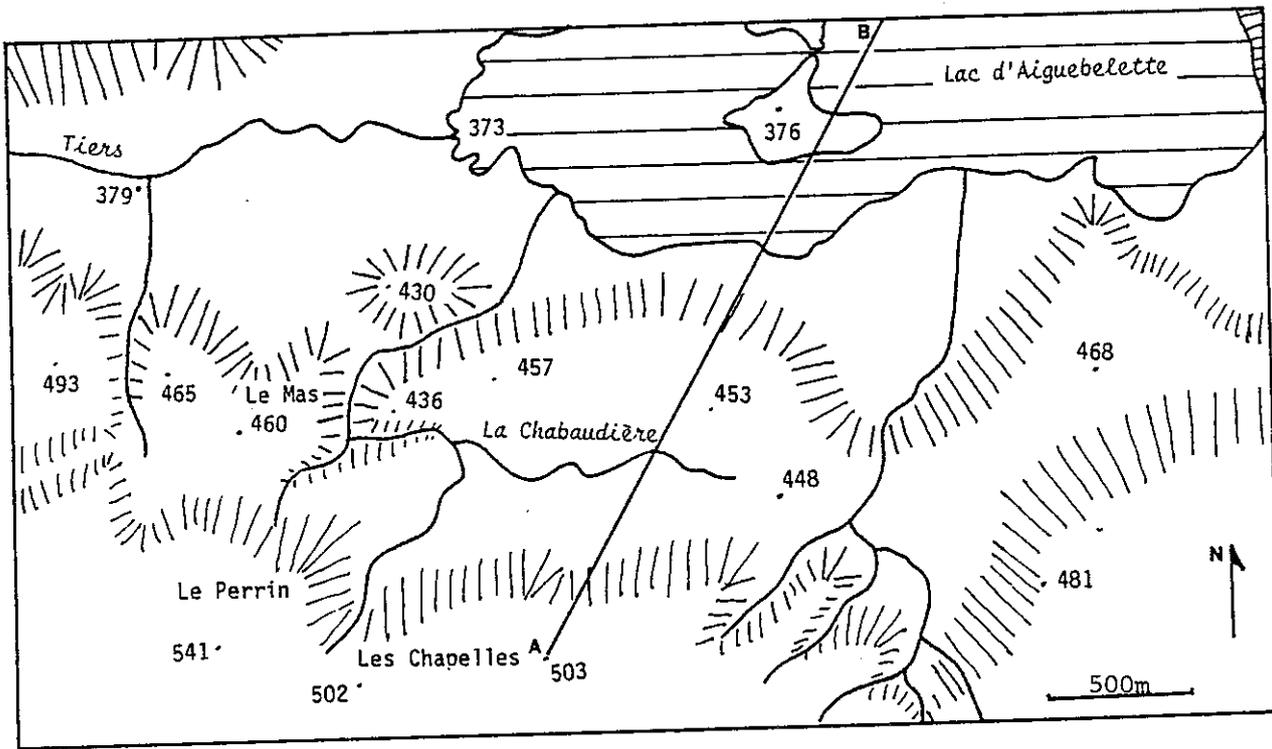
Dans la vallée du Guiers, les sondages électriques ont reconnu des formations glaciaires essentiellement argileuses, mais leur puissance ne peut être définie par les données actuelles. Les sondages électriques ne permettent pas de connaître la cote de la molasse sous-jacente.

Les formations glaciaires rencontrées sur le terrain correspondent à des moraines de fond: argiles à blocs, blocs de matériel cristallin à émoussé peu intense.

Ces formations sont liées à une langue du glacier du Rhône venant Nord. Le rôle de ce glacier dans la sédimentation quaternaire est décrit lors de l'étude des formations alluviales de la vallée du Guiers: le Quaternaire des environs des Echelles est caractérisé par des formations fluvioglaciaires.

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

18 AOUT 2003



-  Formations lacustres
-  Formations glaciaires
-  Molasse indifférenciée

Figure n°11 Structure en deux seuils du versant sud du bassin du lac d'Aiguebelette.

#### 1.3.4.2 - Structuration du bassin du lac d'Aiguebelette

L'action érosive des glaciers est à l'origine du lac d'Aiguebelette dont la dépression est liée au creusement des niveaux tendres de la molasse (sables de Pont-de-Beauvoisin) par la langue du glacier du Rhône qui butait contre les niveaux plus résistants de la molasse grésosableuse qui forme les hauteurs d'Attignat-Oncin.

Les observations sur le seuil d'Attignat-Oncin permettent de distinguer deux phases dans le creusement du bassin du lac d'Aiguebelette (fig. n°11). La première a creusé le bassin jusqu'à une cote 460 m environ, la seconde a repris l'érosion de la dépression jusqu'à modeler le bassin qui s'observe aujourd'hui. La cote de 460 m est marquée par une rupture de pente dans le seuil: un ensemble de collines atteignent des altitudes comprises entre 450 et 460 m (lieu-dit la Chabaudière et le Mas). Ces collines sont coiffées de dépôts d'origine glaciaire.

Une légère contre-pente s'est développée entre ces collines et la reprise du seuil. Cette contre-pente a modifié les directions de drainage: les ruisseaux s'écoulent en amont comme en aval, suivant une direction sud-nord, sur la contre-pente ils suivent une direction est-ouest.

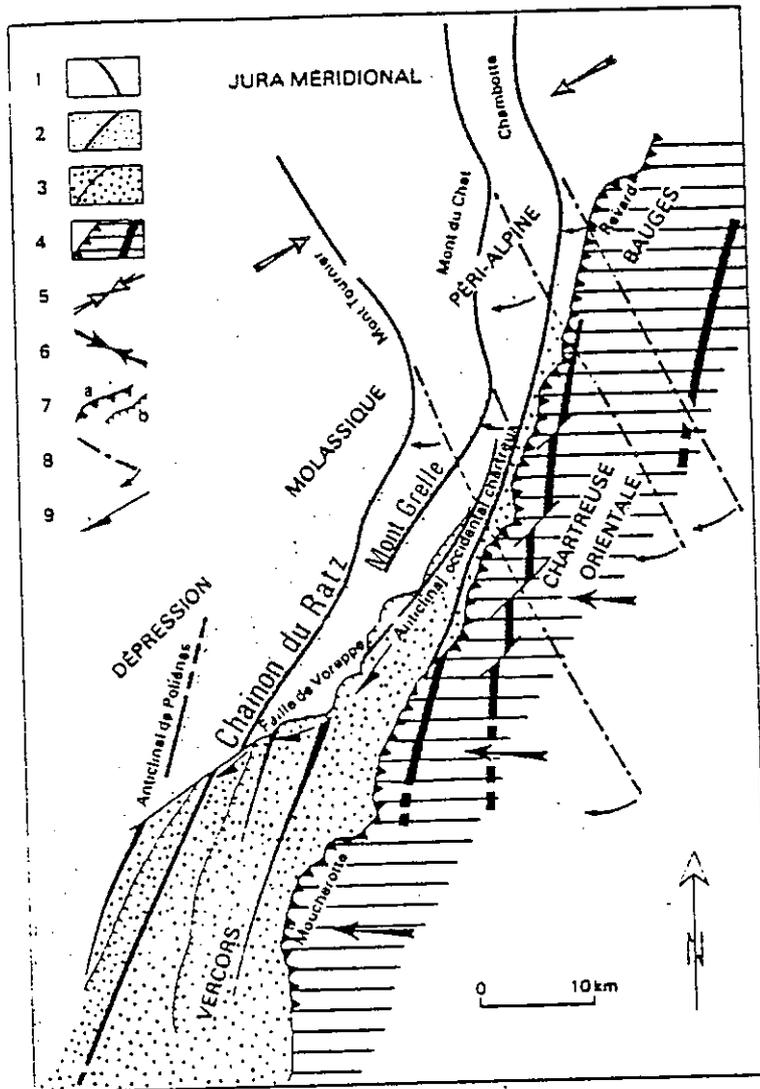
## 2 - HISTOIRE TECTONIQUE DU BUGEY-SAVOYARD

Ce paragraphe décrit les grandes phases qui ont affecté le Bugey-Savoie. Une description plus complète de la faille chevauchante frontale fait la synthèse de données récentes.

### 2.1 - LES GRANDES PHASES

Une première période de contrainte de la fin du Jurassique au début du Crétacé précède les phases majeures qui encadrent le Miocène (M. GIDON (1964), M. GIGOUT et al. (1975).

D'après P. DONZE (1958), l'émergence du Purbeckien est témoin d'une ébauche de structuration: au col de l'Epine, le faciès des terrains portlandiens montre une émergence (marnes vertes); ces terrains passent latéralement à des faciès marins.



- 1 - Plis du Jura
- 2 - Plis jurassiens probablement tordus après le Miocène (zone de cisaillement dextre)
- 3 - Plis jurassiens affectés par des chevauchements post-miocènes et intégrés aux massifs sub-alpins.
- 4 - Plis sub-alpins proprement dits.
- 5 - Directions de serrage jurassiennes.
- 6 - Directions de serrage sub-alpines.
- 7 - a) Chevauchement frontal des massifs sub-alpins septentrionaux  
b) Chevauchement post-miocène
- 8 - Position originelle supposée des plis jurassiens.
- 9 - Coulisement le long de la faille de Voreppe.

Figure n°12 Rapports structuraux entre le Jura et les massifs subalpins  
(d'après la carte géologique de Grenoble au 1/50 000, 1978).

### Phase anté-aquitaniennne

Cette phase est responsable de la formation de grandes structures rectilignes, très continues du Nord au Sud, qui avaient l'aspect de larges bombements. Ces structures sont affectées de failles verticales NW-SE que l'on observe dans la partie ouest du chaînon de St-Franc Dullin. Ce sont des failles normales, d'un rejet de près de 200 m; leur azimuth actuel de N 20 au Sud du Tiers est hérité de la phase suivante. Ces failles forment actuellement la limite orientale du bassin molassique dauphinois, alimenté par les produits de l'émersion des massifs alpins.

### Phase post-tortonienne

Cette phase, encore appelée Ponto-Pliocène par J. DEBELMAS (1963) reprend les structures ébauchées lors de la phase anté-aquitaniennne les soulève avec les terrains miocènes sus-jacents, puis sous l'effet de contraintes tangentielles marquées, les refoule à l'Ouest donnant des plis très dissymétriques.

Cette phase se traduit par des plis de style jurassien que l'on rencontre dans la galerie de l'Epine sous forme d'une succession de plis en genou métriques.

Dans la partie sud (au Sud du lac d'Aiguebellette) les contraintes tangentielles plus fortes provoquent une rotation des structures jurassiennes dans leur zone de contact avec les chaînes sub-alpines. Orientées Nord-Sud au Nord, elles deviennent NE-SW au Sud (fig. n°12). La rotation post-miocène des structures est confirmée par les observations sédimentologiques de C. LAMIRAUX (1977) (fig. n°13).

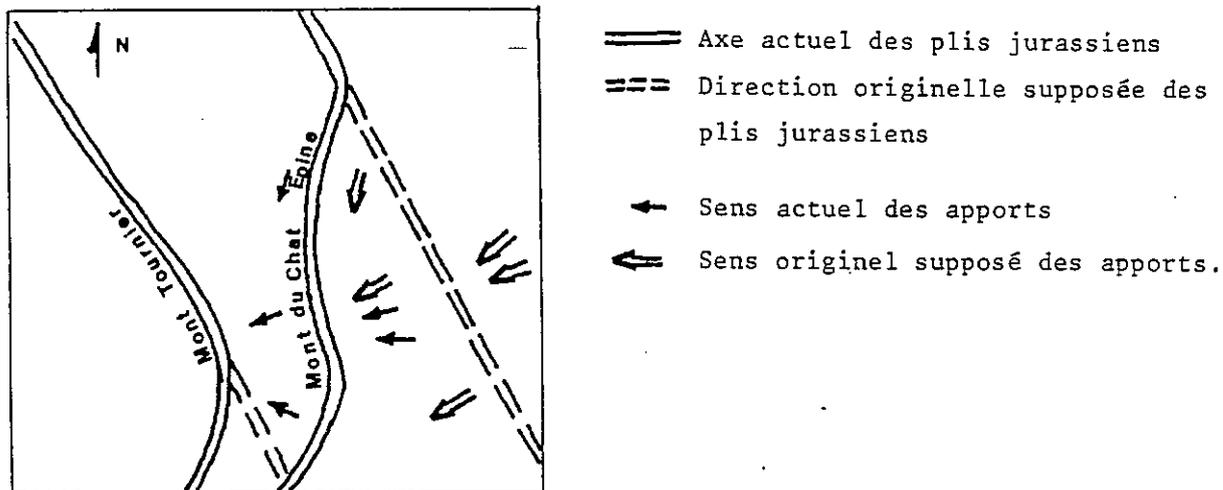


Figure n°13 Arguments sédimentologiques des variations des directions structurales au cours de la dernière phase tectonique.

D'après C. LAMIRAUX, 1977.

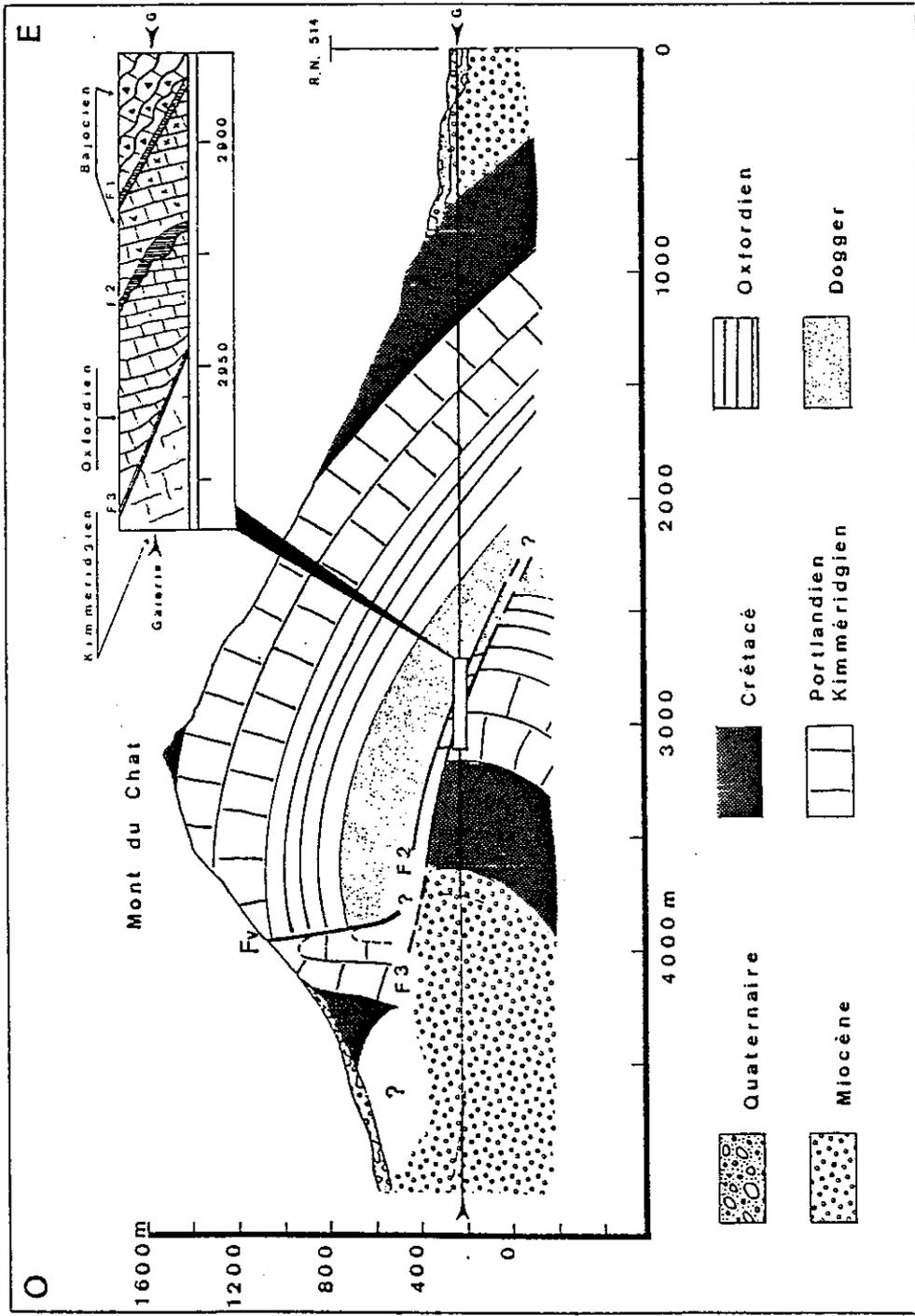


Figure n°14 Coupe géologique du Mont du Chat, faille chevauchante frontale.

In P. ANTOINE et al., 1978.

Cette phase se termine par une période de soulèvement, c'est la néo-tectonique, classique dans tout le massif alpin. Ces soulèvements ne sont pas uniformes, mais plus importants au Nord qu'au Sud, entraînant par là, un plongement général des structures vers le Sud. Ainsi, la falaise du Mont-Grelle est constituée de terrains antérieurs à l'Haute-rivien, tandis que celle du Mont Beauvoir est formée d'Urgonien.

## 2.2 - LA FAILLE CHEVAUCHANTE FRONTALE

Cet accident majeur qui affecte le Bugey-Savoyard n'est connu qu'au Nord du terrain qui nous intéresse:

. Aux Villas Doria, le long de la route du col de l'Épine, C. LAMIRAUX reconnaît un contact anormal de Burdigalien sur le Tortonien, à l'altitude de 710 m (faille Fv).

. Mais surtout, les travaux du tunnel du Bourget, à 230 m d'altitude (ANTOINE P. et al., 1978, fig. n°14) mettent en évidence l'existence d'un chevauchement de la voûte anticlinale du Mont du Chat sur sa retombée occidentale et le bassin molassique de Novalaise. La flèche du chevauchement est de 1100 m. Dans la partie chevauchante, des failles N 110 sont reconnues par photos aériennes, tout le long de la chaîne, elles correspondent à des failles de déchirures ou wrench fault.

Ainsi, l'interprétation suivante peut être donnée: après le bombement anticlinal antéaquitainien, la compression pontopliocène a refoulé l'ébauche du relief vers l'Ouest pour former la chaîne de l'Épine-Mont-du-Chat. Une écaille a été arrachée à l'autochtone, elle forme les terrains du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur du versant occidental de la chaîne. L'accident chevauchant relativement plat en profondeur (tunnel du Bourget) se redresse à l'approche de la surface où il est reconnu quasi vertical dans le tunnel de l'Épine.

Le fait que cet accident majeur ne soit connu qu'en un seul point est dû à deux facteurs. Le premier est l'abondance du tapis d'éboulis en pied de falaise qui masque le chevauchement à l'affleurement. La deuxième raison est l'absence de modification tectonique des structures de part et d'autre de l'accident (des ammonites sont retrouvées intactes à proximité de l'accident dans la galerie du Bourget), ce qui fait que les rares affleurements rencontrés ne peuvent indiquer la proximité du chevauchement.

Mais considérant la continuité des structures du Nord au Sud, on ne peut imaginer qu'un chevauchement kilométrique qui affecte le Nord d'une chaîne n'en affecte pas la partie sud. Ainsi la faille du col St Michel, au-dessus d'Aiguebelette, ne serait que l'expression de manière cassante, de la rotation du bloc sud vers l'Ouest, lors de la fin de la phase post-tortonienne, et non un amortissement de l'accident majeur comme l'interprétait C. LAMIRAUX avant le forage du tunnel du Bourget.

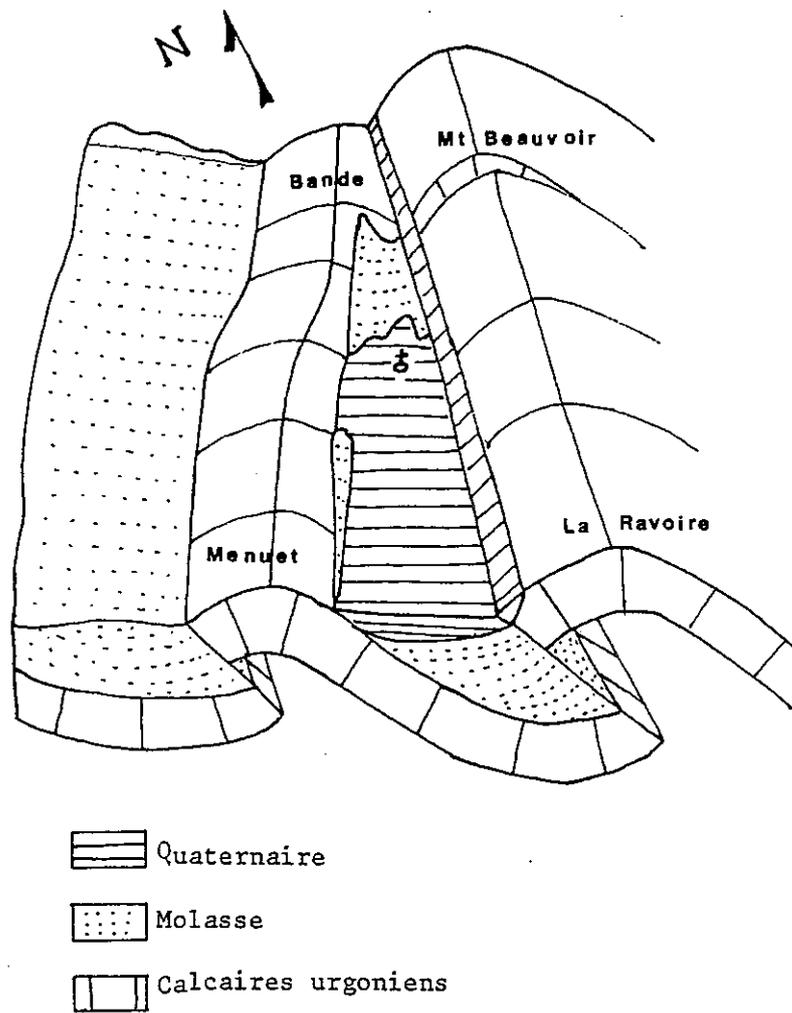


Figure n° 15 : Bloc diagramme de la structure géologique du vallon de St Christophe la Grotte.

Au Sud du Mont Beauvoir, deux anticlinaux peuvent être reconnus: l'anticlinal de la Ravoire à l'Est et l'anticlinal du Menuet à l'Ouest. Ils sont séparés par le synclinal de St-Christophe-La-Grotte. L'anticlinal de la Ravoire correspond au prolongement vers le Sud de celui du Mont du Chat - Chaîne de l'Epine. L'anticlinal du Menuet joue le rôle de l'écaille, observée au Nord, mais ici la plus grande taille a permis l'édification d'un deuxième anticlinal (fig. n°15).

### 2.3 - SYNTHÈSE DES STRUCTURES RENCONTRÉES

Les structures rencontrées Nord-Sud dans le Bugey-Savoyard acquièrent une direction N 10 à N 20 au Sud du lac d'Aiguebelette par suite des contraintes post-miocènes.

D'Est en Ouest, les structures suivantes peuvent être reconnues (fig. n°16):

- L'anticlinal mésozoïque chevauchant de la chaîne de l'Epine qui se divise en deux au niveau du Mont-Beauvoir.
- L'accident chevauchant frontal décrit au tunnel du Bourget.
- Le synclinal molassique d'Attignat Oncin.
- L'anticlinal calcaire de St Franc Dullin.
- Les failles occidentales qui limitent les terrains mésozoïques à l'Ouest.
- Le bassin molassique du Bas-Dauphiné.

### **CONCLUSION**

*L'histoire géologique attestée par les affleurements comprend une première phase de sédimentation en milieu néritique donnant une série calcaréo-marneuse où les variations négatives de niveau se traduisent par d'importantes bioconstructions (Kimméridgien supérieur, Berriasien, Valanginien, Urgonien).*

*Puis les mouvements tectoniques fini-crétacés structurent la région qui se trouve alors émergée. La transgression miocène affecte le Bugey Savoyard où la mer répand les produits détritiques arrachés aux reliefs alpins en voie de surrection, sous forme de molasse sableuse, gréseuse ou argileuse.*

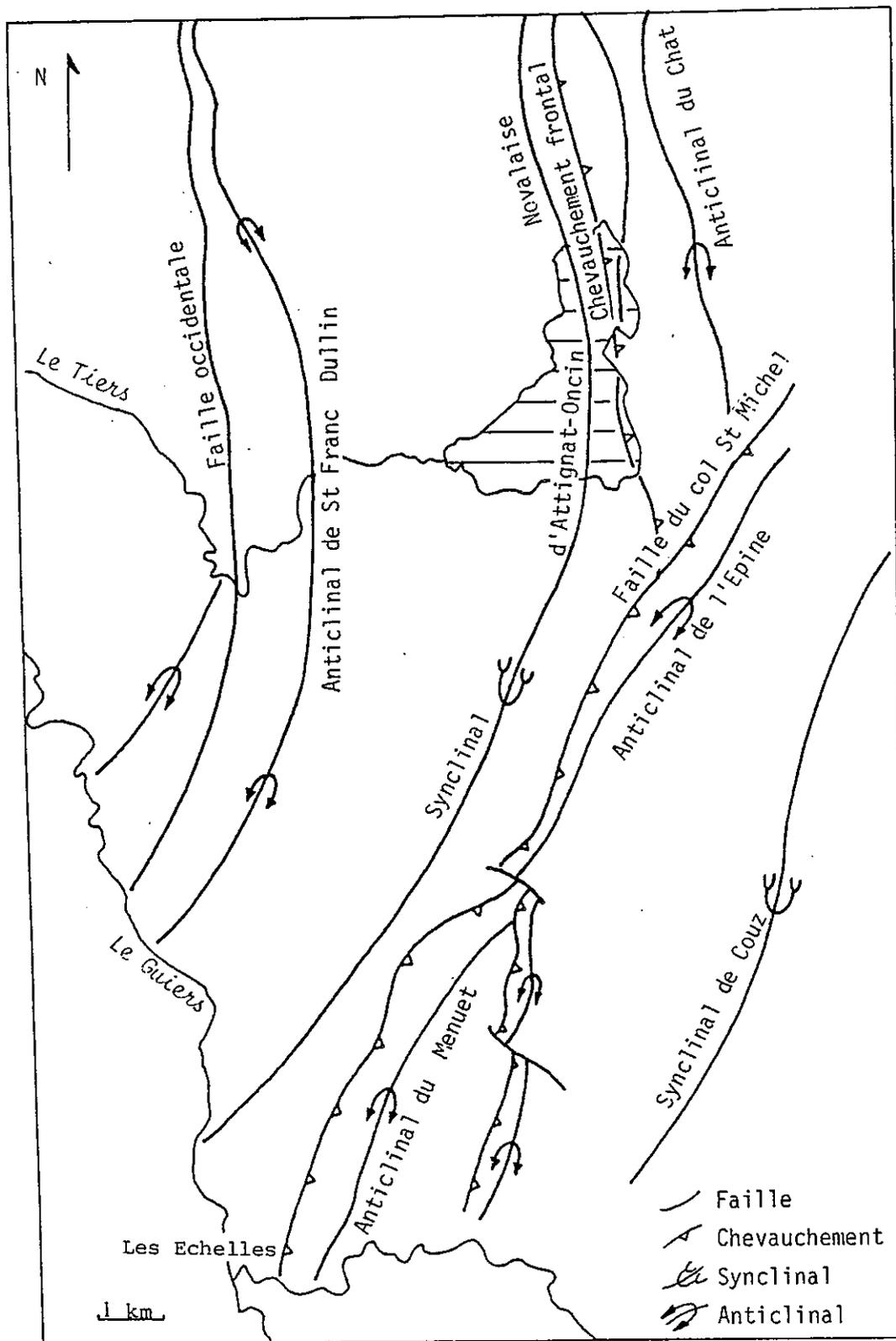


Figure n°16 Carte structurale du Bugey Savoyard.

*La tectonique post-miocène est intense, elle refoule vers le Sud la mer et édifie les reliefs actuels sous forme d'un anticlinal occidental (chaînon de St-Franc - Dullin) d'un synclinal molassique médian et de l'anticlinal oriental (chaîne de l'Épine) qui vient chevaucher, par un accident sub-horizontale en profondeur, le synclinal médian.*

*La dernière manifestation importante observée est la période de glaciations quaternaires qui laisse son empreinte dans la morphologie principalement par le creusement du lac d'Aiguebelette.*

-----

## CHAPITRE II

## COMPORTEMENT HYDROGÉOLOGIQUE DES TERRAINS

- 1 - KARSTIFICATION DES CALCAIRES MÉSOZOÏQUES
- 2 - COMPORTEMENT HYDROGÉOLOGIQUE DES TERRAINS MIOCÈNES
- 3 - LES RELATIONS ENTRE KARST ET AQUIFÈRE MOLASSIQUE
- 4 - COMPORTEMENT HYDROGÉOLOGIQUE DES TERRAINS QUATÉRNAIRES

---

## CHAPITRE II

### COMPORTEMENT HYDROGEOLOGIQUE DES TERRAINS

*Après avoir étudié la nature lithologique des formations, nous nous intéressons à l'aptitude des terrains à contenir de l'eau. La nature de la porosité, ainsi que son origine sont traitées successivement dans l'ordre du dépôt.*

#### 1 - KARSTIFICATION DES CALCAIRES MÉSOZOÏQUES

##### 1.1 - LES PERIODES D'EMERSION

Les formations carbonatées ont été émergées à plusieurs reprises depuis leur dépôt comme le montre l'étude stratigraphique.

Depuis le Portlandien, plusieurs épisodes d'émergence ont lieu, ils sont décrits dans les gorges de Chailles.

L'absence des terrains compris entre l'Urgonien et le Miocène traduit une longue période d'émergence et donc d'érosion: le Crétacé supérieur n'est rencontré que sous forme de galets à silex dans la molasse. L'Urgonien est largement érodé au Sud, tandis qu'au Nord, la molasse repose sur le Valanginien au Mont Tournier et même sur le Portlandien au Mont du Chat.

Depuis la fin du Miocène, les terrains sont à nouveau émergés et soumis à l'érosion. Les périodes humides, puis sèches du Plio-Quaternaire ont favorisé la karstification.

##### 1.2 - LE MODELE KARSTIQUE

L'émergence et l'érosion des calcaires se traduisent par une karstification intense des massifs, ce qui conduit à une morphologie karstique classique. Les reliefs carbonatés sont constitués de deux assises calcaires séparées par les formations marneuses de l'Hauterivien. Les karsts se sont développés distinctement dans ces deux assises et les circulations d'un ensemble à l'autre ne peuvent se réaliser que le long d'accidents tectoniques.

Le modèle karstique reconnu dans la région est caractérisé par les formes suivantes:

. Les avens, relativement étroits à leur sommet, se situent principalement le long de la crête de la chaîne de l'Epine.

. Les dolines, tapissées en leur fond d'argile de décalcification, forment des alignements, en particulier au Nord du sommet du Mont Beauvoir, où ils sont orientés N 140.

. Les surfaces de lapiaz se rencontrent surtout sur le flanc oriental de la chaîne de l'Epine où les calcaires urgoniens apparaissent en dalles structurales. La profondeur des lapiaz peut dépasser un mètre.

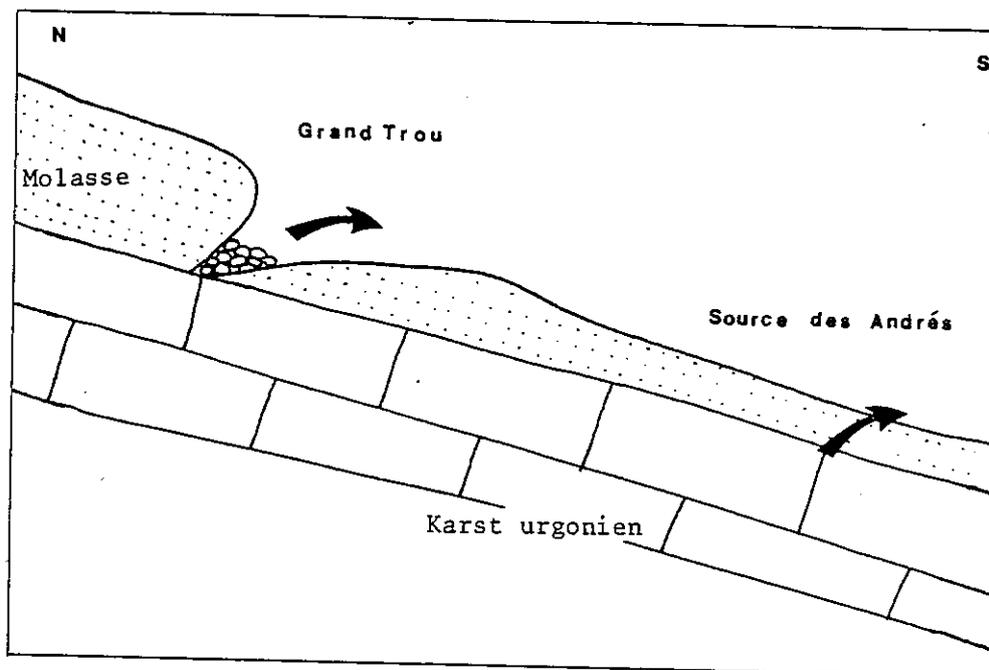


Figure n°17: Situation géologique de la source karstique des Andrés et de son trop plein: le Grand Trou, à St-Christophe-la-Grotte.

. Les exurgences typiquement karstiques sont rares, elles ont été explorées par les spéléologues lorsqu'elles sont visibles, mais souvent les éboulis de falaises obstruent les exutoires, citons le cas de la source de Miribel (description à l'annexe n° III. Un cas particulier s'observe dans le vallon de St Christophe-La-Grotte, Grand Trou et source. des Andrés (fig.17).

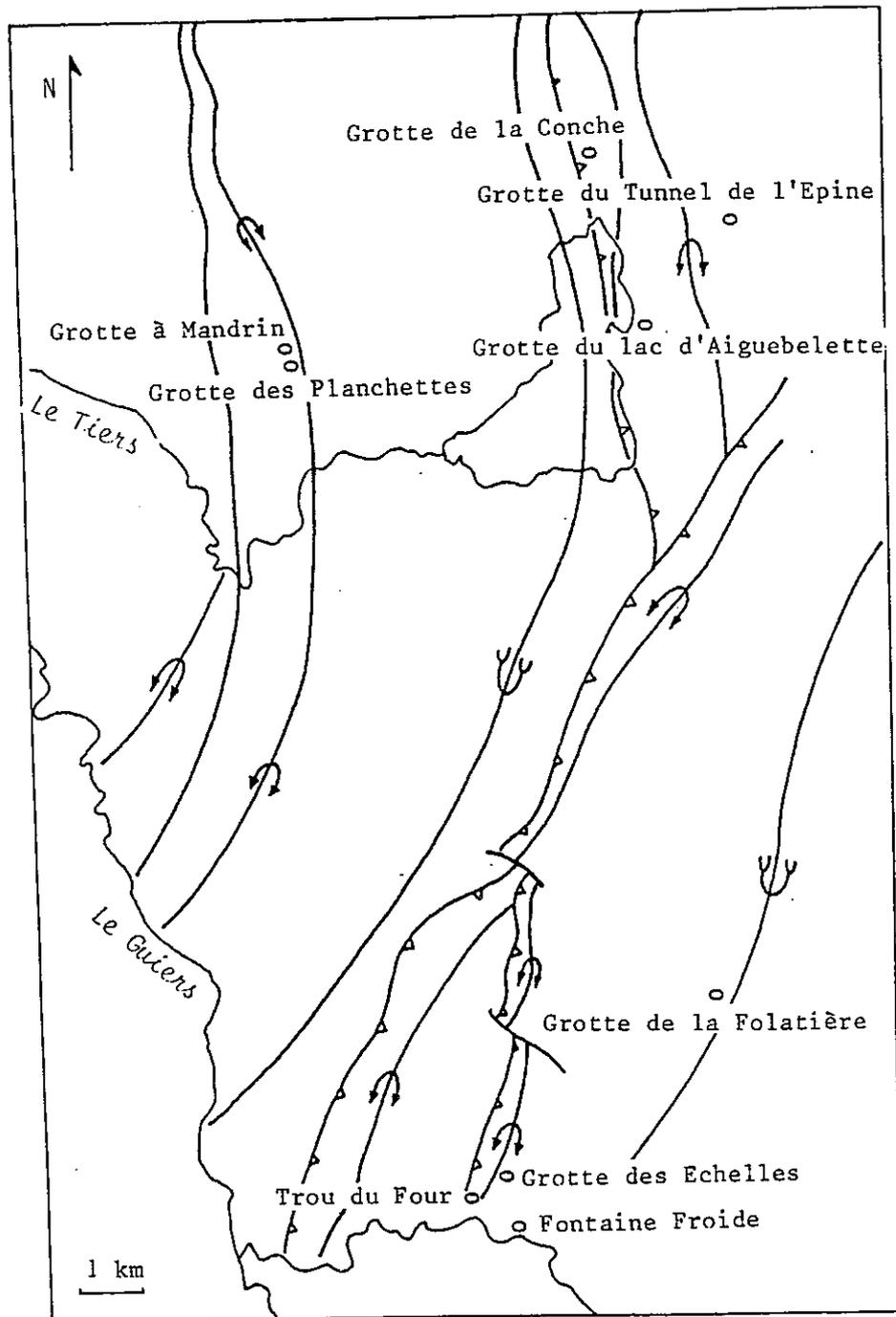


Figure n°18 Situation des principales cavités du Bugey Savoyard.

La reconnaissance géologique de B. DOUDOUX (1966) a montré que la source des Andrés provenait des calcaires karstifiés de l'Urgonien recouvert de molasse à perméabilité verticale très faible, lors du captage de la source les calcaires ont été atteints. L'eau se met donc en charge dans le karst. En amont de la source des Andrés se trouve une cavité appelée localement "Le Grand Trou", cette cavité présente des affleurements de molasse, elle est comblée au fond par des galets

décimétriques. Lors des périodes de très hautes eaux, l'eau en charge dans le karst, peut se déverser par cet exutoire. Il arrive également que l'eau apparaisse dans le trou, mais ne franchisse pas le seuil indiquant ainsi le niveau statique des eaux du karst. Le rôle du Grand Trou et de la source des Andrés dans l'hydrologie locale est montré lors de l'étude du traçage de St-Christophe-La-Grotte, au paragraphe 3.1.

Les réseaux de galeries souterraines ont été parcourus par divers groupes de spéléologues, leurs reconnaissances ont été publiées par le Spéléoclub de Savoie (1976). Le tableau n°1 en donne l'inventaire et la figure 18 la situation. Les difficultés de reconnaissance sont liées à l'existence de réseaux noyés très développés et l'étroitesse des avens ne permet que rarement l'exploration depuis le haut.

Massif	Nom de la cavité	Longueur reconnue
Chaînon de St Franc Dullin	Grotte à Mandrin	750m
	Grotte des Planchettes	230m
Chaîne de l'Epine	Grotte de la Conche	1500m
	Grotte du tunnel de l'Epine	100m
	Grotte du lac d'Aiguebelette	200m
Sud du Mont Beauvoir	Grotte de la Folatière	3732m
	Grotte des Echelles	1250m
	Trou du Four	2405m

Tableau n° 1.

Principaux réseaux souterrains décrits par les spéléologues.

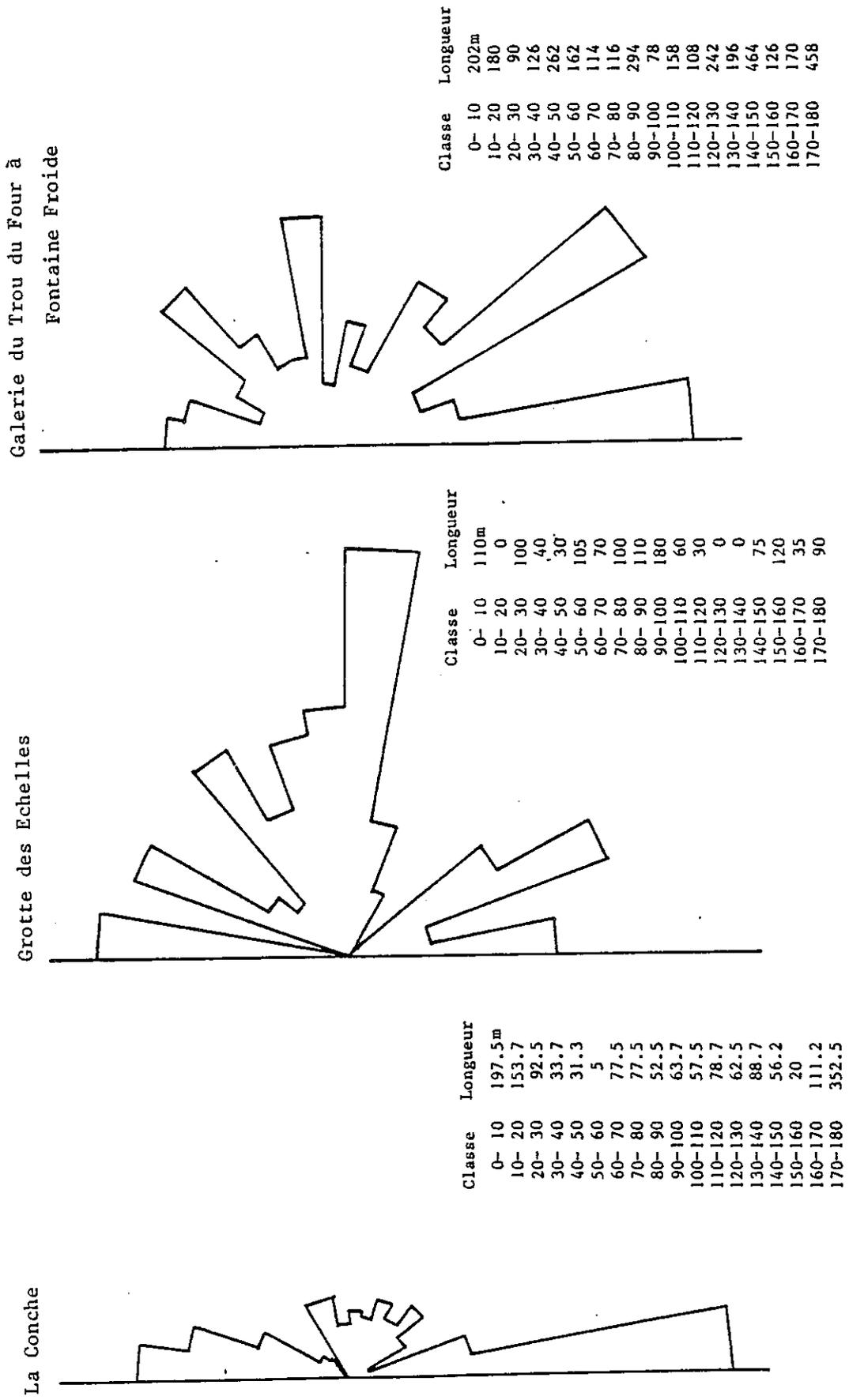
L'Hauterivien permet de distinguer deux karsts d'après leur morphologie: les karsts antérieurs à l'Hauterivien sont caractérisés par des conduits de faibles dimensions en partie colmatés par des produits de décalcification, les karsts postérieurs à l'Hauterivien présentent des conduits de fort diamètre.

### 1.3 - KARSTIFICATION QUANTITATIVE

Le karst se développe sur les points de moindre résistance des calcaires, or les fractures, nombreuses dans les chaînes plissées induisent une sensibilité à l'érosion à leur contact. Le long des fractures en distension, la karstification va se développer préférentiellement. La direction de ces fractures, et par là des galeries, est imposée par les contraintes tectoniques qui ont affecté le massif. Or la tectonique locale est polyphasée et elle a provoqué la rotation vers l'Ouest des structures au Sud du Lac d'Aiguebelette.

L'étude de la direction de développement des galeries rapportée aux directions des contraintes devrait permettre de dater la karstification.

Figure n°19 Rosaces des orientations des galeries karstiques.



Pour ce faire, les relevés topographiques effectués par les spéléologues (Spéléoclub de Savoie, 1976) pour trois grottes ont été utilisés:

- . La Grotte de la Conche à Nances
- . La Grotte des Echelles
- . Le réseau du Trou du Four à Fontaine Froide

Le programme galerie (H. DONDEY, 1985) a permis de construire les rosaces des directions de développement du karst (figure n°19), en considérant le pourcentage de longueur de galerie orientée dans chaque classe de direction 0 à 180°. Des classes de direction de 10° ont été retenues.

Les trois rosaces montrent que la karstification ne suit pas des directions aléatoires, mais elle est bien conditionnée par une structure préexistante.

- La Grotte de La Conche, située au Nord du Lac d'Aiguebelette présente un axe de développement Nord - Sud, prépondérant: près de 35% des galeries sont orientées entre N 170 et N 10. Ceci peut être mis en relation avec des contraintes qui provoquent des joints de tension méridiens à la surface des bancs.

- La Grotte des Echelles, située au Sud du Mont Beauvoir conserve la direction reconnue à la Grotte de la Conche, ici 16% des galeries sont orientées entre N 170 et N10. Il apparaît une autre direction qui prédomine, c'est la direction équatoriale avec 23% de galeries orientées entre N 80 et N 110.

- Le réseau du Trou du Four à Fontaine Froide (figure n°20) est situé quelques centaines de mètres au Sud de la Grotte des Echelles. Il conserve également la direction méridienne de la Grotte de la Conche, puisque 18% des galeries sont orientées entre N 170 et N10, mais la direction équatoriale prépondérante aux Echelles, ne représente ici que 6% des directions de galerie. De plus, il apparaît une autre direction de karstification: la classe de direction N 130 - N 150 représente ici plus de 18% des directions de galerie; cette classe ne représentait aux Echelles que 6% des directions de galerie.

- Les réseaux du chaînon de St-Franc-Dullin sont de développement trop limité (750 m et 230 m), il n'a donc pas été possible de réaliser une étude valable des directions de la karstification. En effet, d'après R. GUERIN (1973), l'interprétation des directions de galerie ne peut être effectuée que sur des réseaux d'une longueur supérieure au kilomètre.

#### 1.4 - LES EPOQUES DE KARSTIFICATION

La classe de direction dominante de développement de la grotte de la Conche est retrouvée au Sud, dans la grotte des Echelles et au réseau du Trou du Four à Fontaine Froide.

Ces trois réseaux présentent donc le même axe méridien de développement, et ceci malgré la rotation vers l'Ouest du bloc situé au Sud du lac d'Aiguebelette qui a conduit la région des Echelles à présenter des directions structurales voisines de N 20, tandis que la partie nord de la chaîne conserve son orientation de N 170 à N 180.

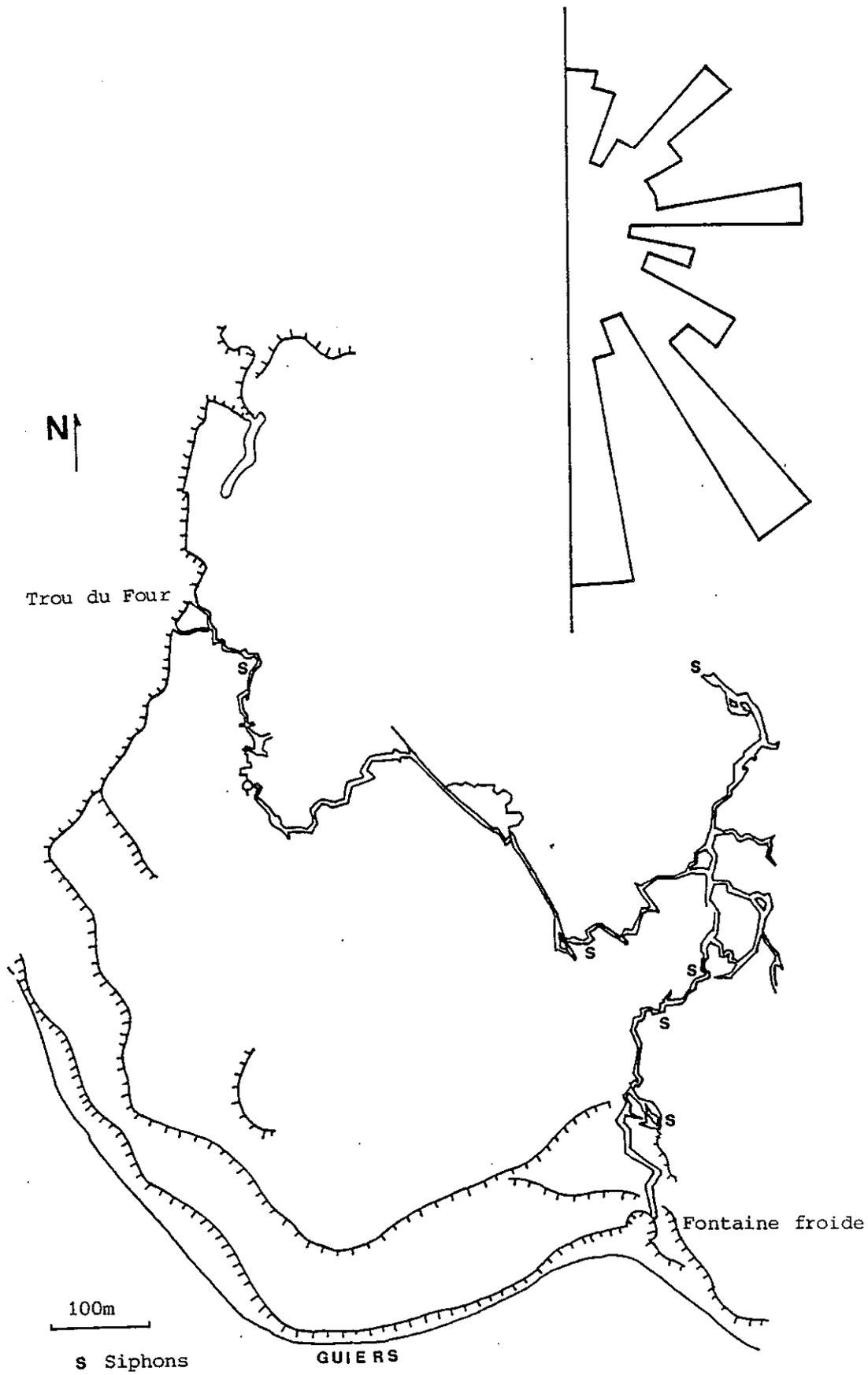


Figure n°20 : Carte de la galerie du Trou du Four à Fontaine Froide  
et rosace des orientations de la galerie.

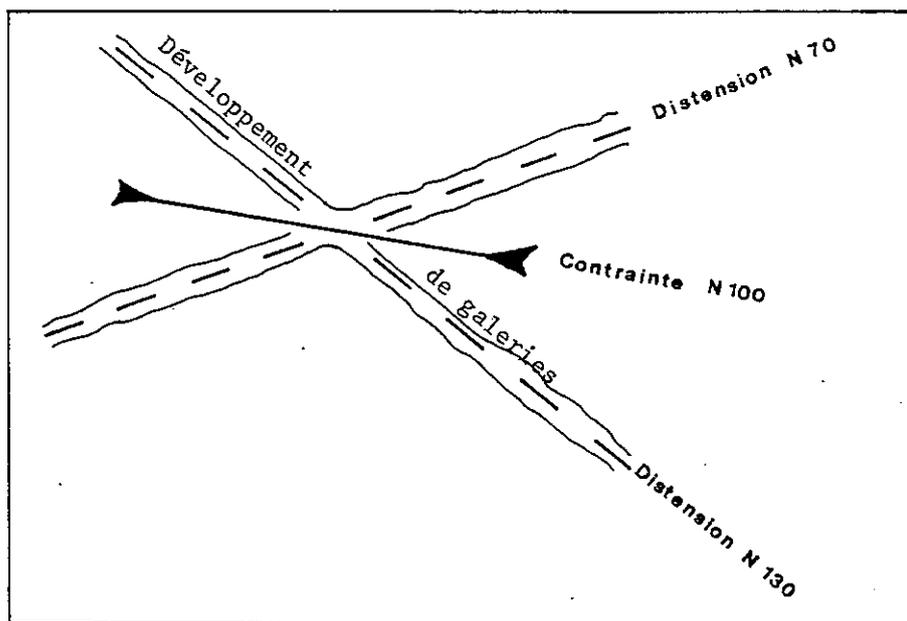


Figure n° 21 : Relation entre les différentes directions tectoniques.

Ceci amène à considérer que le développement karstique dominant sur la région est d'origine récente, postérieure à la rotation du bloc sud due à la collision entre le Bugey et la Chartreuse. Ce sont les soulèvements liés à la surrection alpine plioquaternaire, qui ont favorisé l'ouverture de fractures méridiennes, le long desquelles s'est développée la karstification.

Dans les galeries du Sud de la région, deux nouvelles directions apparaissent: la direction équatoriale à la grotte des Echelles et la direction N 150 dans le réseau du Trou du Four à Fontaine Froide. Si ces deux directions sont considérées antérieures au soulèvement et à la rotation, à l'origine elles avaient pour direction respective N 70 et N 130, elles peuvent alors correspondre aux fractures conjuguées obtenues lors d'une compression dirigée N 100. Or, cette direction N 100 correspond approximativement à celle de la collision entre la Chartreuse et le Bugey (figure n° 21). Cette phase datée post-tortonienne par les structuralistes indique donc l'existence dans le Bugey Savoyard d'une karstification à la fin du Néogène.

L'étude de la direction des galeries karstiques permet de dater la karstification observée par les spéléologues de la période comprise entre le Tortonien et l'Actuel, cette période peut être recoupée en deux phases séparées par le début de la surrection alpine plioquaternaire.

La période la plus visible actuellement est donc postérieure au Miocène, il existe également des périodes de karstification plus anciennes, mais la tectonique récente ne permet plus la reconnaissance des réseaux. En effet, la galerie du Bourget a rencontré dans le chaînon du Mont Tournier des blocs de calcaire, sans continuité cohérente, séparés les uns des autres par des argiles de décalcification où par des injections de matériel sous-jacent aux blocs.

Il s'agit d'une mégabrèche formée par l'écrasement d'un karst lors du serrage post-miocène (C. CHOQUET, 1978). L'existence d'une karstification anté-miocène doit donc être admise. Ces observations sont d'ailleurs corroborées par la datation de W. KILIAN (1878) aux Echelles, précisant ainsi l'existence d'une karstification durant la période d'émersion s'étendant de la fin du Crétacé au Miocène.

Si les deux derniers épisodes d'émersion ont donné lieu à une karstification des massifs, il est tentant de considérer que l'émersion du Portlandien a été à l'origine d'une première karstification. Au Nord de Chambéry, à La Chambotte, une karstification a été datée de cette époque et le Wealdien a été évoqué, mais l'absence de preuve dans le Bugey-Savoyard ne permet d'être plus affirmatif. Il faut souligner qu'une karstification wealdienne sur les massifs calcaires a pu être complètement oblitérée ou reprise par les phases d'érosion plus récentes.

#### 1.5 - LES DEPOTS LIES A LA KARSTIFICATION

Les périodes d'émersion se traduisent par des dépôts rouges, très riches en fer, que l'on trouve dans des poches ou des galeries du karst.

La datation de ces dépôts est très intéressante, car c'est un moyen de dater le karst qui les contient. Malheureusement, comme dans toutes les formations continentales, les fossiles sont rares, et nous avons vu que c'est uniquement aux Echelles que le Lophiodon tartati décrit par W. KILIAN (1878) a permis de dater ces dépôts de l'Eocène inférieur confirmant par là une période de karstification au Paléogène. Mais l'absence de fossiles plus anciens n'infirmes pas la possibilité d'une karstification au Portlandien. Il est vraisemblable que certains dépôts rencontrés dans le tunnel de l'Epine correspondent à la période d'émersion de la fin du Portlandien, ils pourraient alors être attribués au Wealdien.

De plus la décalcification des calcaires produit une argile silteuse blanche ou rouille, suivant la présence de concrétions ferrugineuses. L'accumulation de ces argiles peut colmater les galeries karstiques. Le déboufrage de ces accumulations a créé des problèmes de Génie Civil, lors du creusement des tunnels de l'Epine et du Bourget.

#### CONCLUSION

*Le karst observé actuellement provient en majeure partie de l'érosion karstique récente. Depuis la phase tectonique post-tortonienne. Cette érosion a été précédée par une karstification intense au Paléogène, ainsi que probablement par un épisode de karstification durant le Portlandien pour laquelle les preuves manquent encore. Mais les bouleversements tectoniques ont détruit les réseaux de galeries anté-miocène réduisant fortement le rôle hydrogéologique de ces karstifications.*

## 2 - COMPORTEMENT HYDROGÉOLOGIQUE DES TERRAINS MIOCÈNES

### 2.1 - LES TERRAINS PEU OU PAS PERMEABLES

La molasse miocène n'a pas un comportement hydrogéologique uniforme du fait de nombreuses variations de faciès tant latérales que verticales.

Le faciès molasse est représenté par des rythmes de granulométrie décroissante qui aboutissent à des lits de marnes et d'argiles. Ces niveaux argileux réduisent la perméabilité verticale qui devient pratiquement nulle, tandis qu'entre deux lits imperméables, les niveaux gréseux présentent une structure plus perméable. Dans l'ensemble, les niveaux molassiques vont constituer un aquifère anisotrope avec une perméabilité verticale nulle et une perméabilité horizontale plus significative. Ceci réduit les possibilités d'alimentation directe par les précipitations, l'alimentation des niveaux aquifères devra être recherchée selon des axes latéraux.

C'est l'altération des grès par dissolution du ciment carbonaté qui laisse apparaître une porosité d'interstices et permet le développement de nappes aquifères aux dimensions toutefois restreintes, principalement en profondeur. Les grès sains constituent le mur de l'aquifère. A l'aval de ces nappes se trouvent des exurgences caractérisées par des débits relativement faibles et constants.

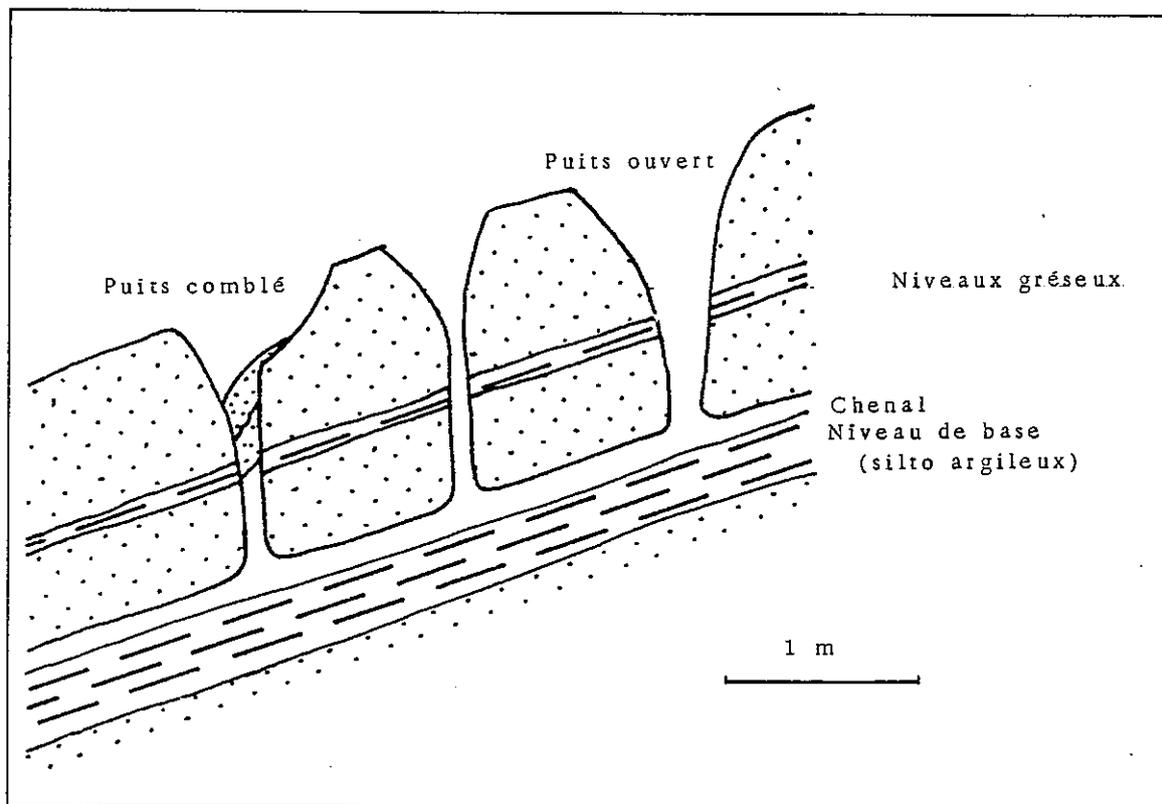


Figure n°22 Structure particulière de la molasse.

## 2.2 - PARTICULARITE HYDROGEOLOGIQUE DE LA MOLASSE

### a) Les faits de terrain (Figure n°22)

Localement, les écoulements issus de la molasse ont un comportement proche de celui des écoulements issus des roches fissurées:

- écoulement souterrain rapide;
- fortes variations des débits.

A ceci est associée une morphologie particulière, qui rappelle à une échelle plus petite le modelé karstique: puits rappelant les gouffres, chenaux souterrains, cours d'eau souterrains.

Les puits forment le caractère le plus visible. Ce sont des cavités de 30 cm à 2 m de diamètre, la profondeur voisine en général d'un mètre est limitée par des éboulements de parois ou la présence d'un niveau de base local généralement peu profond.

La cavité la plus profonde rencontrée est située à Attignat-Oncin, au lieu-dit le Perrin, elle dépasse 5 m de profondeur, la cavité étant maintenue ouverte par le système racinaire des arbres. Ces cavités sont en général alignées par petits groupes. Le recensement est difficile à faire, car les exploitants agricoles les comblent fréquemment de remblais.

Toutefois, quelques exemples peuvent être signalés:

- A La Drevetière (St Alban de Montbel), le long de la route départementale 36e, trois cavités sont orientées N 170.
- Au Magnin (Attignat-Oncin), le long de la route nationale 921, quatre cavités sont orientées N 5.
- Au Perrin (Attignat-Oncin), cinq cavités sont orientés N 60.
- A Courtines (St Franc), quatre cavités sont orientées N 10.
- A St Christophe La Grotte, lieu dit chez Capuchon, deux cavités.

Les alignements de ces cavités se situent tout le long d'un fond de talweg, en amont de tout écoulement.

Les chenaux d'écoulements souterrains ne s'observent que très localement, car l'érosion superficielle de la molasse laisse des croupes arrondies à végétation bien développée. On peut décrire les chenaux visibles dans le talus de la R.N. 921, au Sud de l'Oratoire (Attignat-Oncin). La molasse gréseuse, brun-jaunâtre, à l'altération présente des chenaux de section sub-rectangulaire, la plus grande dimension pouvant atteindre 10 cm. Ces chenaux sont partiellement comblés par de l'argile brune.

Des écoulements d'eau souterraine peuvent être observés en période de hautes eaux. Ainsi, le 2 mars 1985, période de fonte des neiges, au fond des cavités de St-Christophe-La-Grotte, le débit des écoulements observés a été estimé à 1 l/s.

A l'aval de ces alignements, il existe des exurgences aux caractères proprement karstiques: débit relativement élevé en période de hautes eaux et débit très faible, voire tarissement total en période d'étiage. Ces exurgences présentent d'importants dépôts sableux.

#### b) Genèse des structures

La première hypothèse envisagée, au vu des seuls puits, a été l'action d'un réseau karstique développé dans les calcaires sous-jacents à la molasse. Le développement du karst aurait entraîné la couverture molassique. Mais l'observation de ces structures dans des lieux où la couverture molassique dépasse 100 m d'épaisseur, ainsi que la relation entre les puits et des exurgences liées uniquement à la molasse, font rejeter cette hypothèse.

Il existe donc un comportement hydraulique propre à la molasse qui rappelle celui des calcaires karstifiés. Ce comportement est limité à une faible épaisseur de la molasse: la zone altérée des grès molassiques. Le phénomène à considérer est la dissolution du ciment calcaire par des eaux agressives qui désolidarise les particules siliceuses des grès, puis un entraînement de ces particules vers les exurgences. C'est ainsi que s'obtient un creusement régressif de chenaux et la formation par ascensum des puits qui s'agrandissent par écroulement des parois; les produits de l'écroulement étant évacués par l'eau circulant dans les chenaux.

Cette genèse nécessite la dissolution des calcaires, ce qui conduit à une action préférentielle le long des zones à forte teneur en carbonates.

La dissolution du ciment calcaire est plus intense dans la zone à forte perméabilité, donc de granulométrie plus forte, l'eau peut évacuer les produits de dissolution et attaquer plus profondément la molasse. Les niveaux de base de cette érosion sont constitués par les niveaux argileux. Les conduits se développent dans un même niveau gréseux, et drainent les grès de perméabilité limitée qui les entourent.

Le faible développement de ce modelé laisse à penser que le phénomène qui lui donne naissance ne s'applique qu'à la zone superficielle de la molasse. L'indépendance de la morphologie qui découle de cette érosion avec les structures tectoniques plus générales (aucune fracture dans la molasse ne semble jouer de rôle dans la situation de ces chenaux) conduit à estimer que le conditionnement de la situation de ces structures est purement sédimentologique.

La vitesse d'érosion de la molasse en profondeur n'étant que légèrement supérieure à celle observée en surface, elle ne permet pas l'existence du réseau de grande dimension.

Des phénomènes s'apparentant ainsi à la karstification, mais développés dans des grès ont été décrits sous le nom de pseudokarst par G. CONRAD et al. (1967) au Sahara. Ce pseudokarst décrit à l'échelle d'un massif a une origine différente: la chaleur élevée, mais il montre la capacité des grès à présenter des chenaux drainants à forte perméabilité.

### 3 - LES RELATIONS ENTRE KARST ET AQUIFÈRE MOLASSIQUE

#### 3.1 - ETUDE PAR TRACAGE DES RELATIONS

##### 3.1.1 - Mise en oeuvre

A St-Christophe-La-Grotte, la qualité bactériologique de l'eau d'alimentation provenant de la source des Andrés s'avérant médiocre (présence répétée de Coliformes et de Streptocoques fécaux), la commune m'a demandé de rechercher l'origine de l'eau de cette source. Le fonctionnement de cette exurgence est décrit à la page 47. Une opération de traçage chimique a permis de tester deux hypothèses:

- La première est l'alimentation de la source par le karst calcaire du Mont Beauvoir, et par des pertes des ruisseaux circulant sur les calcaires urgoniens.
- La seconde considère l'existence d'un système aquifère propre à la molasse qui participe à l'alimentation de la source des Andrés, la majeure partie de l'eau provenant de l'infiltration dans le karst au niveau du Mont Beauvoir.

Pour ce faire, deux traceurs ont été utilisés. Le 2 mars 1985, en période de fonte de neige, deux kilogrammes d'Uranine (ou fluoresceïne) ont été injectés dans un puits de la molasse au lieu dit chez Capuchon (puits décrit au paragraphe précédent) et deux kilogrammes d'aminorhodamine B ont été déversés dans le ruisseau du Merderet, dans une zone d'écoulement pérenne, en amont d'une zone à forte infiltration où les écoulements aériens n'ont lieu qu'en période de forte crue. Onze points de surveillance du réseau hydrographique ont été suivis durant un mois, leur situation est indiquée sur la figure n° 23.

Les analyses d'uranine ont été effectuées au Laboratoire de Chimie de la Faculté de Pharmacie de Grenoble, par spectrofluorimétrie, tandis que la rhodamine a été dosée par colorimétrie à l'Institut Dolomieu.

##### 3.1.2 - Les résultats

Le tableau n°2 donne les résultats chiffrés des analyses pour chaque source.

Le point U, situé sur le ruisseau du Merderet dans un lieu où l'écoulement aérien est pérenne, présente une masse d'aminorhodamine B, ayant transité très faible, plus faible que celle observée en Ar. Ceci indique que l'infiltration, le long du ruisseau ne correspond pas uniquement à son écoulement, mais bien à l'alimentation d'un réseau karstique de grande ampleur.

En sommant les masses d'aminorhodamine restituées en An et M, on obtient une masse supérieure à la masse injectée, ce qui indique une infiltration à l'aval du point M, en direction de la source des Andrés.

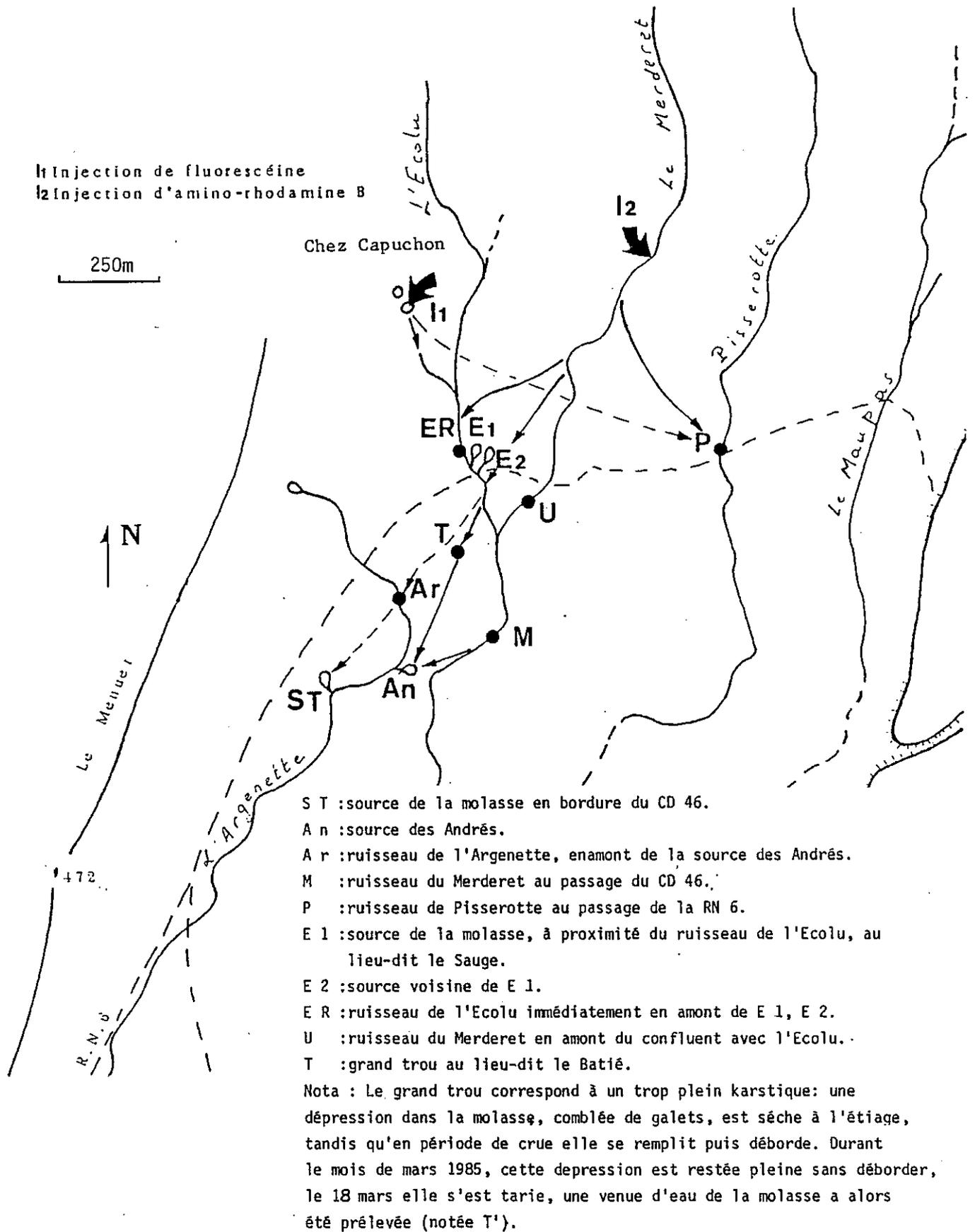


Figure n°23 Traçage de St-Christophe-la-Grotte, carte de situation.

Point de surveillance	Amino-Rhodamine B			Fluorescéine		
	Concentration moyenne	Masse kg	Vitesse m/mn	Concentration moyenne	Masse kg	Vitesse m/mn
St	$3.8 \cdot 10^{-8}$	$3.66 \cdot 10^{-4}$	2.7	$2.08 \cdot 10^{-9}$	$1.66 \cdot 10^{-5}$	0.8
An	$7.7 \cdot 10^{-5}$	0.99	1.2	$1.05 \cdot 10^{-6}$	$1.30 \cdot 10^{-2}$	1.8
Ar	$8.25 \cdot 10^{-7}$	$9.88 \cdot 10^{-3}$	4.2	$4.66 \cdot 10^{-8}$	$7.72 \cdot 10^{-4}$	1.6
M	$1.29 \cdot 10^{-4}$	1.79	2.3	$1.30 \cdot 10^{-5}$	0.417	3.6
P	$1.79 \cdot 10^{-6}$	$4.35 \cdot 10^{-2}$	1.0	$9.02 \cdot 10^{-8}$	$2.72 \cdot 10^{-3}$	1.75
E 1	$7.00 \cdot 10^{-8}$	$2.68 \cdot 10^{-3}$	2.5	$2.86 \cdot 10^{-8}$	$5.32 \cdot 10^{-5}$	1.7
E 2	$1.08 \cdot 10^{-9}$	$1.22 \cdot 10^{-3}$	2.5	$1.87 \cdot 10^{-8}$	$1.36 \cdot 10^{-4}$	0.9
ER	$8.20 \cdot 10^{-6}$	0.135	1.3	$2.51 \cdot 10^{-5}$	1.061	1.7
U	$5.77 \cdot 10^{-7}$	$7.83 \cdot 10^{-3}$	1.4	$5.62 \cdot 10^{-8}$	$3.65 \cdot 10^{-4}$	0.6
T	$4.92 \cdot 10^{-7}$	0	0.8	$1.62 \cdot 10^{-8}$	0	1.8
T'	0	0	-	$4.13 \cdot 10^{-10}$	$2.38 \cdot 10^{-6}$	-
Restitution avant réinfiltration	0.198 10%			1.06 55%		
Restitution totale	2.98 150%			1.50 75%		

Tableau n°2 Résultats du traçage de St-Christophe-la-Grotte.

La masse d'uranine récupérée en M est inférieure à celle transitant en amont, en ER, ce qui montre qu'il y a une zone d'infiltration entre ces deux points, or il existe à ce niveau des affleurements de calcaire urgonien karstifié, par où les écoulements de l'Ecolu peuvent atteindre le karst.

L'alimentation de la source des Andrés se fait donc par des infiltrations le long des ruisseaux dans la partie basse de leurs cours, ce qui augmente les risques de pollution de la source.

Ces circulations sont montrées par la figure n°23, elles sont complétées par une diffusion plus modeste vers les autres points du réseau. Il faut observer que l'existence des écoulements latéraux est très nette: l'uranine est détectée jusque dans le ruisseau de Pisserotte situé à 800 m à l'Est pour une dénivellation limitée à 55 m (pente de 0,07), alors que l'axe de la vallée présente une pente de 0,15.

De plus, les temps de transit très courts montrent que les circulations dans la molasse sont de type karstique, les vitesses de circulation ne diffèrent que faiblement de celles des cours d'eau aériens. Il ne semble donc pas qu'il existe de véritable nappe dans la molasse. La circulation souterraine (figure n°24) a lieu dans la zone altérée de la molasse sous forme de cours d'eau souterrain, l'eau rejoint alors le karst calcaire sous-jacent, éventuellement par l'intermédiaire d'un ruisseau.

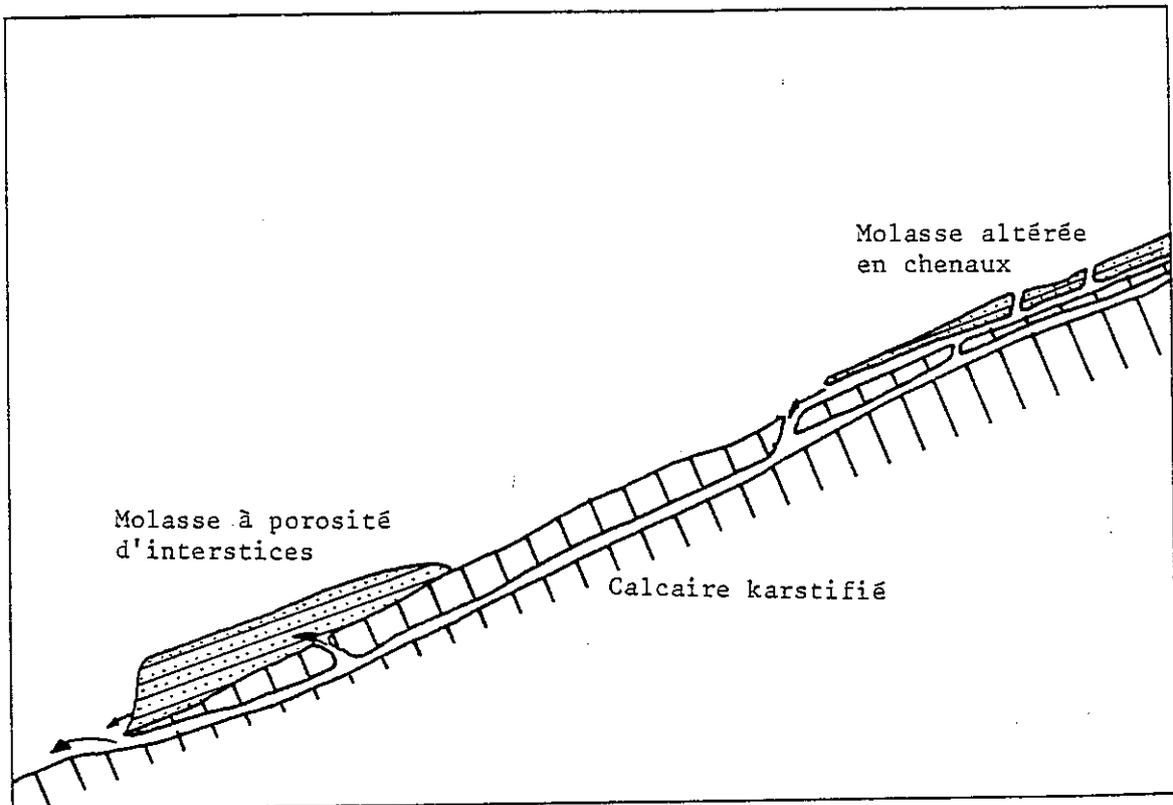


Figure n°24 Relation karst molasse montrée par le traçage de St-Christophe-la-Grotte.

Par une mise en charge locale, cette eau peut alimenter des zones de molasse poreuse, et donne ainsi naissance à de petites sources comme celles observées en T' ou en ST.

La condition d'alimentation des aquifères molassiques est la communication entre le karst et la perméabilité horizontale de la molasse.

C'est également par une mise en charge de l'eau du karst que la source des Andrés s'est formée, comme cela a été décrit par B. DOUDOUX (1966). La charge hydraulique dans les conduits karstiques a permis à l'eau de traverser la molasse dont la perméabilité était insuffisante en regard des apports du karst. L'éclatement de la molasse sous la pression hydraulique a eu lieu dans un environnement molassique plus sensible: là où la couverture molassique était le plus mince du fait de l'érosion par le ruisseau de l'Argenette.

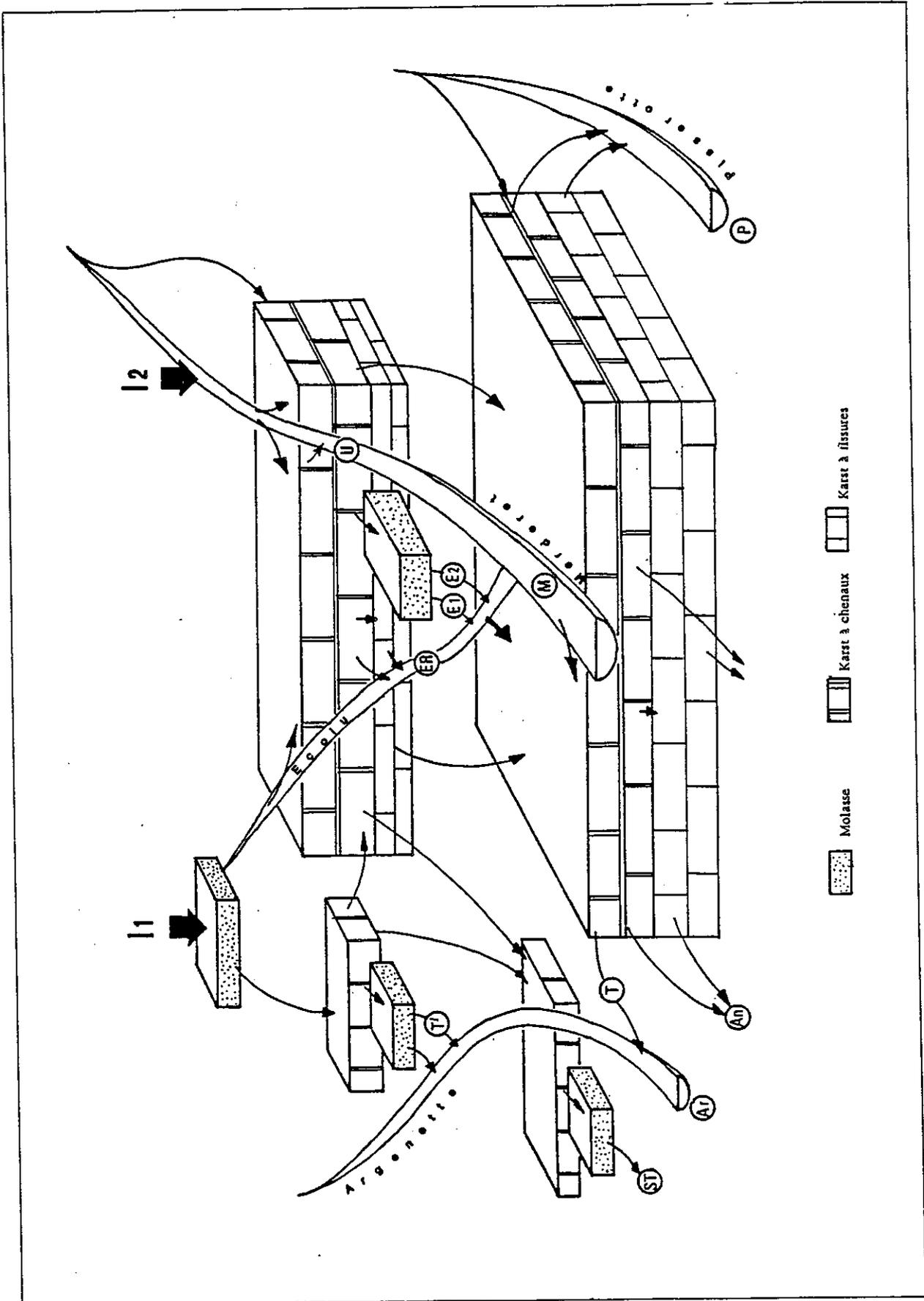


Figure n°25 Modélisation des écoulements du vallon de St-Christophe-la-Grotte.

### 3.1.3 - Modélisation des relations hydrauliques

L'interprétation plus globale de ces résultats permet d'établir le modèle dessiné sur la figure n°25. La représentation du karst en blocs indépendants est un artifice destiné à mieux visualiser les relations entre karst et molasse. Ce modèle montre que l'alimentation de la source des Andrés se fait à partir du cours amont des ruisseaux, aussi bien que du cours aval. Les divers aquifères sont interconnectés, ce qui ne permet pas de définir les lieux d'apports bactériologiques vers l'exurgence.

L'extension de ce modèle en dehors du synclinal de St-Christophe-La-Grotte doit être faite avec prudence. En effet, il ne peut être appliqué que là où la couverture molassique est peu épaisse, permettant ainsi une communication hydraulique entre la molasse altérée et le karst sous-jacent. Ailleurs, la molasse saine peut être considérée comme imperméable aux circulations souterraines.

### 3.2 - GENERALISATION DES RELATIONS HYDRAULIQUES OBSERVEES

Comme l'a montré le traçage, l'eau qui s'infiltré rejoint les niveaux présentant la perméabilité la plus élevée, donc les calcaires karstifiés. Ce n'est que lorsque ceux-ci sont saturés que la mise en charge des conduits karstiques permet à l'eau d'alimenter les aquifères molassiques.

Le réservoir utilisable dans la molasse est celui constitué par les premiers mètres de terrain où la dissolution du ciment calcaire a permis au terrain d'acquérir une porosité plus importante. En profondeur, la porosité utile est très limitée, seuls quelques chenaux où la cimentation est incomplète, permettant un transit hydraulique vers l'aval. Ces chenaux à perméabilité limitée s'abouchent sur des formations quaternaires qui contiennent des nappes relativement importantes, les apports éventuels de la molasse sont alors totalement occultés.

Les figures n°26, 27 et 28 permettent de visualiser le rôle de la molasse sur les écoulements d'origine karstique.

- La figure 26 présente une assise de calcaire recouverte de molasse saine et imperméable. L'eau en charge sous la molasse n'émerge qu'en amont de la couverture molassique.

- La figure 27 montre l'existence de drains au sein de la couverture molassique surmontant les calcaires karstifiés. L'alimentation des drains peut se faire, soit par le karst sous-jacent en charge, par l'intermédiaire des niveaux de bases de la molasse à faciès conglomératique, soit per descensum lors de l'intersection du drain et d'un cours d'eau actuel.

- La troisième situation est présentée par la figure n°28. Une assise karstifiée est recouverte de terrains molassique. Dans la molasse l'altération superficielle a permis le développement d'un niveau perméable dans lequel s'est installée une nappe alimentée par le karst sous-jacent.

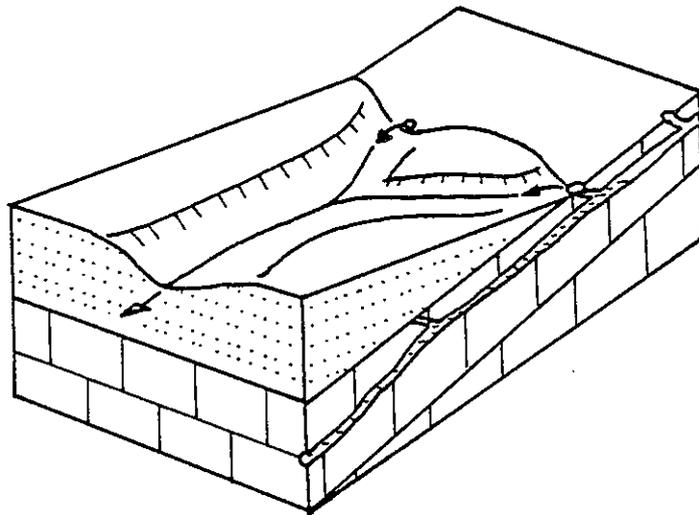


Figure n°26 Relation karst-molasse, molasse imperméable.

molasse
  calcaire karstifié

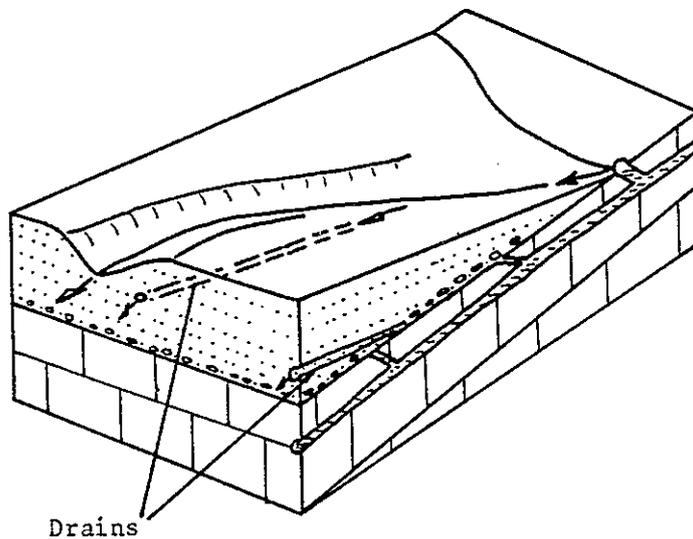


Figure n°27 Relation karst-molasse, molasse avec drains.

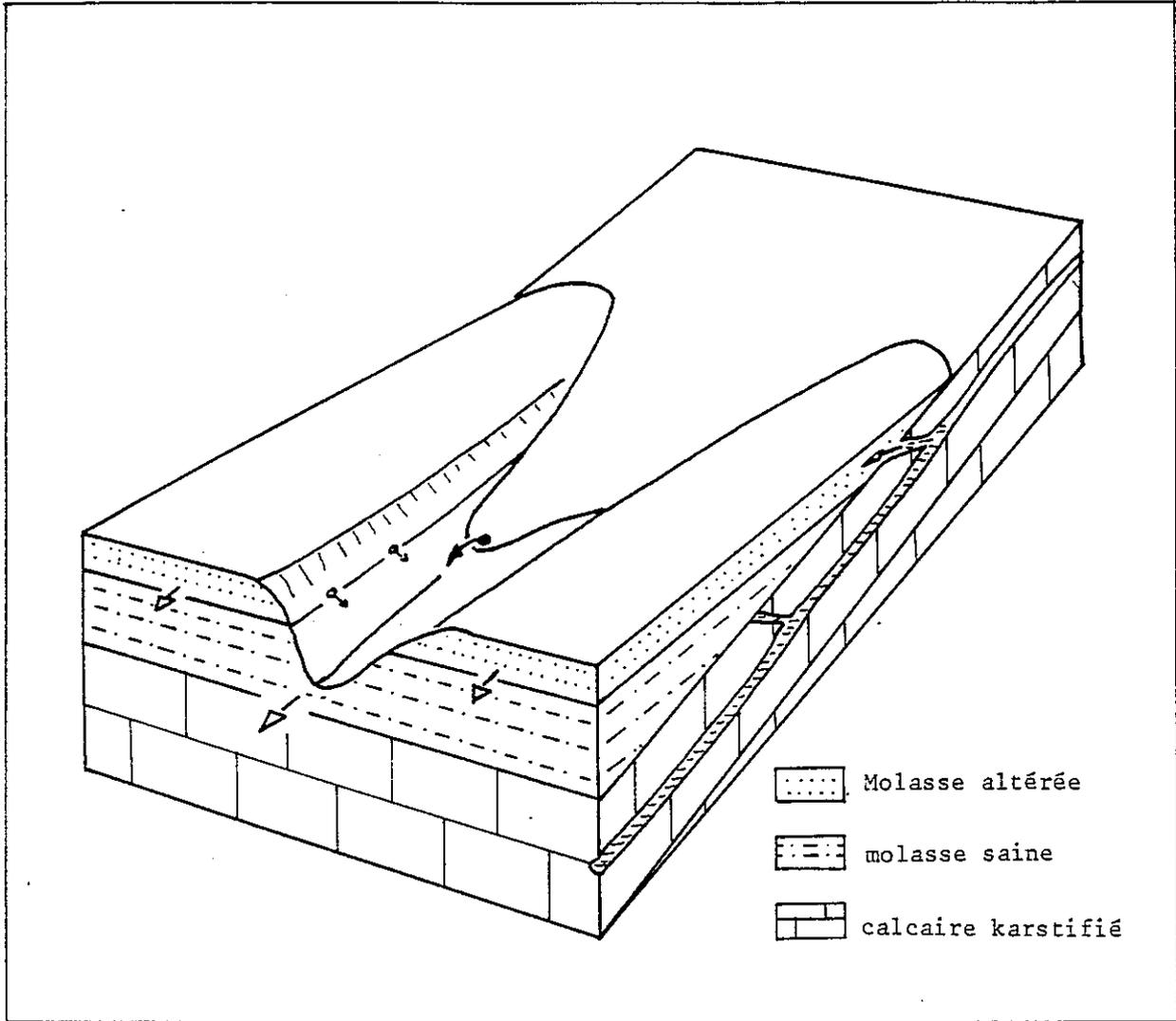


Figure n°28 Relation karst-molasse, molasse altérée.

Le rôle des formations quaternaires sur ces différents relations est relativement limitée, car d'une perméabilité plus élevée, elles ne font que masquer les exurgences et n'entravent aucunement les circulations hydrauliques.

## 4 - COMPORTEMENT HYDROGÉOLOGIQUE DES TERRAINS QUATERNAIRES

### 4.1 - LES FORMATIONS DE PENTE

En raison de leur forte granulométrie, elles permettent une infiltration rapide des eaux de ruissellement les soustrayant à l'évapotranspiration. Leur forte perméabilité ne favorise pas l'existence de nappe car l'eau s'écoule très rapidement, elle s'infiltré en partie, ou en totalité, dans les aquifères sous-jacents et provoque des émergences temporaires en partie distale.

Les formations de pente tapissent le pied des falaises calcaires masquant ainsi les exurgences karstiques, les écoulements visibles sont alors éloignés des affleurements calcaires et deviennent plus diffus.

### 4.2 - LES FORMATIONS TORRENTIELLES

Elles réagissent différemment suivant la nature des éléments transportés par le torrent.

Comme il est classique dans les cônes de déjection, en milieu calcaire et de plus pour des bassins de superficie limitée, les horizons aquifères forment des lentilles de dimension restreinte (J.P. CARRET et J.C. FOURNEAUX, 1979). En effet, le faible débit des cours d'eau ne permet pas d'obtenir un tri granulométrique du sédiment.

Au Nord, les torrents circulent sur des terrains à dominantes molassiques, les éléments du cône de déjection seront alors silto-sableux. Seules quelques lentilles sableuses peuvent présenter un intérêt hydrogéologique, mais elles restent de faible dimension.

Au centre et au Sud les matériaux transportés sont plus grossiers, les cours d'eau édifient des cônes à horizons perméables pouvant constituer des aquifères en eux-mêmes, mais plus généralement, ils s'abouchent sur les formations alluviales, contribuant ainsi à l'alimentation latérale de la nappe phréatique.

### 4.3 - LES FORMATIONS ALLUVIALES

La lithologie rencontrée dans les forages de la plaine du Guiers montre la qualité aquifère de ces terrains. Un essai de débit LEFRANC a été réalisé par la Société Intrafor Cofor (1975) sur le forage n°1 de la plaine du Guiers, la perméabilité obtenue est de  $1,4 \cdot 10^{-5}$  m/s.

Les successions sablo-graveleuses et sablo-silteuses sont de forte perméabilité, elles permettent l'existence de nappes phréatiques alimentées par les versants et par le Guiers lui-même.

La nappe phréatique est peu connue, car les ressources en eau gravitaire de versant sont actuellement suffisantes pour les besoins locaux.

Les formations alluviales qui se rencontrent le long des ruisseaux sont de développement trop limité pour permettre l'existence de nappes aquifères, elles provoquent seulement l'infiltration des eaux de ruissellement, permettant l'existence d'un sous-écoulement de débit relativement élevé, entraînant le tarissement des cours d'eau en période sèche.

Les formations lacustres du pourtour du lac d'Aiguebelette sont de granulométrie très faible du fait de leur nature silto-argileuse, elles forment des aquicludes.

#### 4.4 - LES FORMATIONS GLACIAIRES

Le rôle hydrogéologique des terrains glaciaires est principalement un rôle d'écran vis-à-vis des circulations amonts. Mais la forte porosité des terrains argileux permet un stockage important d'eau, la faible perméabilité ne permet pas une restitution rapide de l'eau. Celle-ci s'écoule lentement vers les niveaux sablo-graveleux qui jouent le rôle de drain. Les sources situées au débouché de tels drains auront un débit faible, mais constant.

#### CONCLUSION

*L'étude du comportement hydrogéologique des terrains a montré l'existence d'aquifères karstiques de grand développement qui se rencontrent dans les calcaires urgoniens et dans l'ensemble calcaire du Berriasien-Valanginien. Il semble que le colmatage des karsts plus anciens par des argiles de décalcification leur ôte tout caractère aquifère. Les relations entre ces deux karsts seront montrées lors de l'étude des limites des bassins versants au niveau de la chaîne de l'Épine par le traçage du Mont-Beauvoir (p. 81).*

*La molasse ne présente pas de caractère aquifère bien développé du fait de la nature argileuse de son matériel. Mais les observations locales ont mis en évidence un comportement de la molasse vis à vis de l'érosion proche de celui du karst, à une échelle plus petite.*

*Le traçage de St-Christophe-La-Grotte a mis en évidence les relations entre karst et molasse: la molasse joue le rôle de tampon aux exurgences karstiques en différant les écoulements, les aquifères molassiques restent en eux-mêmes d'un intérêt limité.*

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

18 AOÛT 2003

*Les aquifères quaternaires sont constitués principalement par les formations alluviales et les cônes de déjection. Les formations de pente servent de tampon aux exurgences karstiques, tandis que les formations glaciaires, par leur porosité élevée, et leur faible perméabilité, permettent l'existence de source pérenne de faible débit.*

--

## CHAPITRE III

## LES BASSINS VERSANTS ETUDIÉS

- 1 - LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE
- 2 - LE BASSIN DU GRENAND
- 3 - LE BASSIN D'AIGUEBELETTE
- 4 - LES BASSINS DU SUD DU BUGÉY-SAVOYARD
- 5 - ÉTUDE PAR TRAÇAGE DE LA LIMITE ORIENTALE DES  
BASSINS VERSANTS

---

## CHAPITRE III

### LES BASSINS VERSANTS ETUDIÉS

*La faculté des terrains à contenir de l'eau ayant été étudiée, il convient de s'intéresser à l'aptitude des terrains à recevoir les précipitations. Cette aptitude est conditionnée par la morphologie des bassins, elle-même héritée de l'histoire géologique du Quaternaire.*

#### 1 - LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE (FIGURE N°29)

##### 1.1 - LE RÉSEAU ANTEGLACIAIRE.

Si l'essentiel du réseau qui s'observe aujourd'hui provient de l'érosion glaciaire, certains éléments ont été mis en place dès la régression de la fin du Miocène.

La tectonique fini-miocène a profondément modifié la morphologie de la région, le réseau hydrographique a dû s'adapter aux nouveaux reliefs. Durant le Miocène et le début du Pliocène, les cours d'eau provenant des Alpes émergées s'écoulaient d'Est en Ouest. Le cours du Guiers Vif en a gardé la direction. Puis au fur et à mesure de son creusement, le réseau hydrographique s'est surimposé aux déformations structurales.

Ainsi, trois gorges se sont creusées: celles de Chailles, traversées par le Guiers qui draine la partie occidentale de la Chartreuse, celles du Grenand drainant son bassin actuel agrandi probablement des bassins des ruisseaux du Merderet et de la Pissoire, au Nord les gorges du Tiers drainaient les écoulements de la dépression de Novalaise.

##### 1.2. - MISE EN PLACE DU RÉSEAU ACTUEL.

Durant les périodes froides du Quaternaire, les langues glaciaires ont remodelé la dépression molassique centrale, plus tendre. A chaque interglaciaire, les eaux de fonte ont emprunté les gorges antéglaciaires de Chailles, du Grenand et du Tiers. Les forts débits des cours d'eau de ces époques ont accentué l'érosion des différentes cluses.

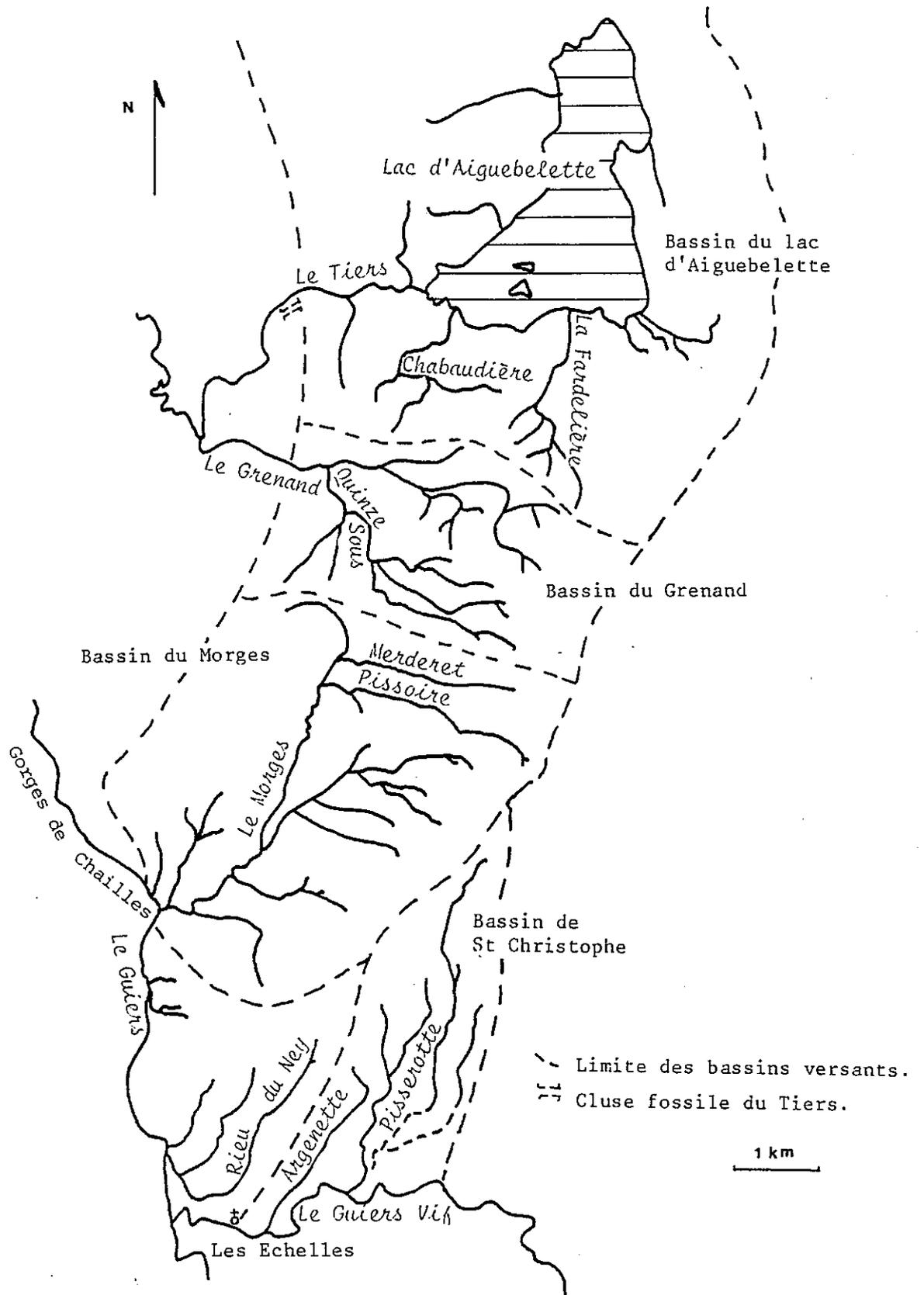


Figure n°29 Carte du réseau hydrographique du Sud du Bugey Savoyard.

Dans la partie amont des gorges de la Bridoire, l'ancien cours du Tiers a érodé alternativement deux cluses: celle qu'emprunte encore le cours actuel et une autre située plus au Sud, où ont été établies les voies de communication. La seconde cluse correspond à une vallée sèche, elle rejoint la cluse principale après un parcours distinct d'environ 800 m. Le creusement de deux gorges s'explique par l'existence d'une zone plus sensible à l'érosion, en effet, ces gorges ont été creusées là où le chaînon de St Franc-Dullin change de direction. La rotation vers l'Ouest de la partie sud du chaînon a provoqué une fracturation intense, laissant des fractures ouvertes du côté des apports en eaux du lac d'Aiguebelette. La compression sur le flanc occidental du chaînon explique le rétrécissement des gorges vers l'Ouest. Cette fracturation se traduit également par l'importante largeur de la cluse, largeur supérieure à celle des gorges de Chailles malgré un bassin versant nettement moins étendu (le bassin des Guiers est d'une superficie d'environ 280 km<sup>2</sup> tandis que celui du Tiers ne dépasse pas 70 km<sup>2</sup>).

A Attignat-Oncin, le ruisseau de Morges a capturé les ruisseaux de la Pissoire et du Merderet qui étaient des affluents du Grenand. En effet le profil du ruisseau de Morges est commandé par le niveau de base constitué par la vallée du Guiers, tandis que le Grenand fixait le niveau de base des cours d'eau de la Pissoire et du Merderet. Les débits plus importants du Guiers par rapport au Grenand ont conduit à une érosion prononcée des gorges de Chailles tandis que l'érosion de la cluse du Grenand est plus lente, le seuil du Grenand s'abaisse moins vite. Le creusement des gorges de Chailles entraîne une augmentation de pente des affluents du Guiers; cette augmentation de pente provoque une croissance du pouvoir d'érosion et les affluents reculent leurs têtes, ainsi la tête du cours du Morges progresse vers le Nord par érosion régressive jusqu'à recouper le cours du ruisseau de la Pissoire puis celui du ruisseau de Merderet. Cette capture a été facilitée par le plongement du synclinal vers le Sud et l'érosion glaciaire qui a structuré le bassin.

### 1.3 - STRUCTURES DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES.

Différents auteurs ont défini des types de structure de réseaux hydrographiques (in P. BOIS 1980); dans ce cadre, les réseaux observés dans le Sud du Bugey Savoyard peuvent être qualifiés de réseaux parallèles.

Dans la partie méridionale, le réseau hydrographique est dirigé Nord-Sud, c'est le cours du Guiers qui fixe le niveau de base et oriente les écoulements.

Au centre, l'abaissement du niveau de base est limité par l'érosion du seuil du Bagné et c'est la chaîne de l'Epine qui induit la direction Est-Ouest des écoulements.

Au Nord, le lac d'Aiguebelette fixe le niveau de base des écoulements, l'altitude du lac étant elle-même contrôlée par l'érosion du seuil du Gué des Planches. Les écoulements sont orientés globalement Sud-Nord. Mais la structuration glaciaire du versant sud du bassin a créé une surface d'abrasion sur laquelle les écoulements sont orientés Est-Ouest: suivant la direction d'écoulement de l'interglaciaire qui a suivi la période durant laquelle cette surface a été modelée.

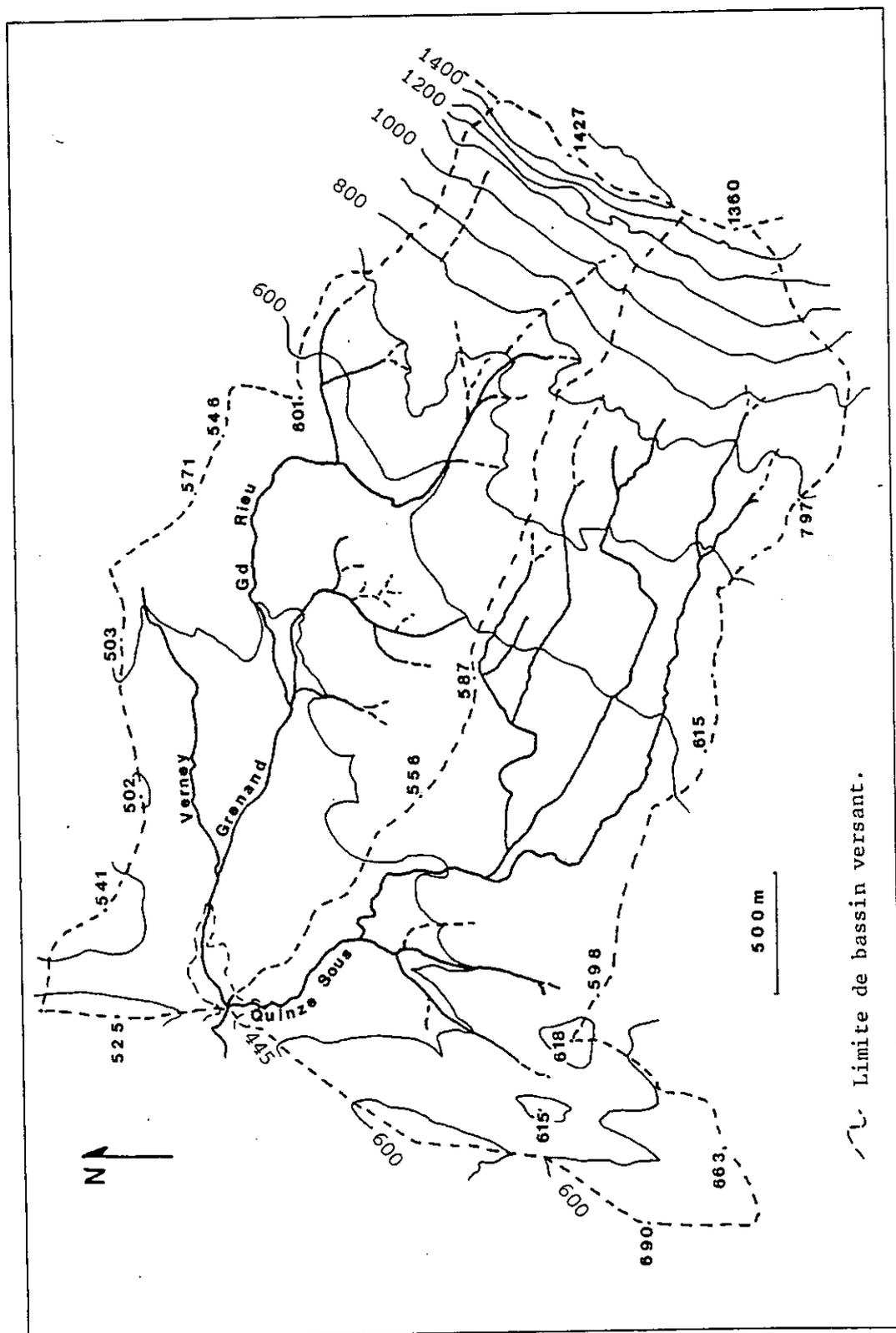


Figure n°30 Carte isohypse des bassins versants de Quinze Sous et du Grenand.

## 2 - LE BASSIN DU GRENAND (figure N°30)

Le bassin du Grenand a été choisi comme bassin témoin sur lequel une approche de bilan hydrogéologique sera réalisée.

L'équipement hydrologique a été concentré sur ce bassin: limnigraphes à l'aval, pluviomètres selon l'allongement du bassin.

Géographiquement ce bassin est limité en amont par la crête de l'Epine, à l'aval par un seuil à l'entrée de la cluse de la Bridoire, latéralement les limites sont constituées par les points hauts des collines molassiques. Le bassin du Grenand (nommé par la suite Grenand total) peut être découpé en deux sous-bassins: le bassin du Grenand supérieur au Nord et celui de Quinze Sous au Sud.

Le tableau n°3 donne les répartitions hypsométriques des bassins qui sont représentées par les figures n°31 et 32.

Tranche d'altitude m	Grenand supérieur		Quinze Sous		Grenand total	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
1400-1427	0.058	1.37	-	-	0.058	0.66
1300-1400	0.034	0.80	0.027	0.59	0.061	0.69
1200-1300	0.047	1.09	0.053	1.19	0.100	1.13
1100-1200	0.056	1.31	0.094	2.06	0.150	1.70
1000-1100	0.116	2.69	0.129	2.84	0.244	2.76
900-1000	0.137	3.21	0.188	4.14	0.326	3.69
800- 900	0.156	3.64	0.272	5.99	0.428	4.85
700- 800	0.387	9.03	0.512	11.29	0.900	10.19
600- 700	0.546	12.75	0.937	20.64	1.484	16.81
500- 600	1.562	36.42	1.750	38.54	3.312	37.52
445- 500	1.187	27.68	0.578	12.73	1.766	20.00
Total	4.29	99.99	4.54	100.01	8.83	100.00
Altitude moyenne	630		657		644	
Altitude médiane	936		917		936	

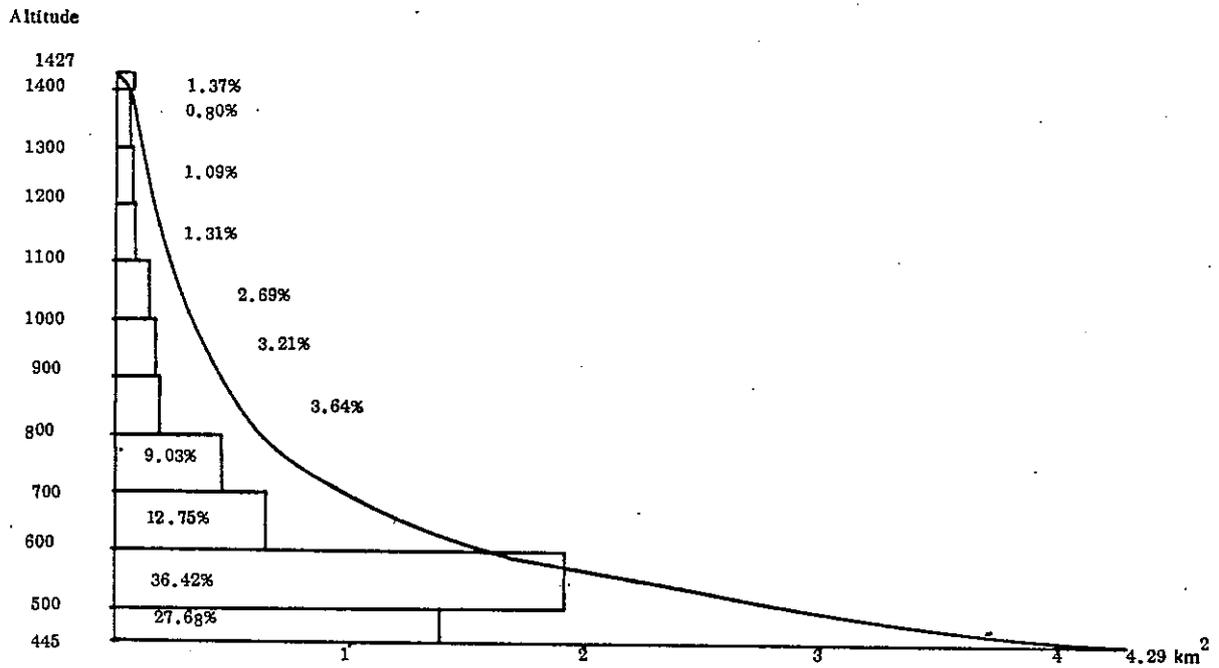
Tableau n°3 Répartition hypsométrique des bassins versants.

Dans le bassin du Grenand on reconnaît deux ensembles de part la nature lithologique des terrains; (tableau n°4).

. Au dessus de 900m le substratum calcaire domine, la superficie est de 0,94 km<sup>2</sup> soit 11% de la surface du bassin.

. Au dessous de 900 m le substratum mollassique est prépondérant et représente 7,89 km<sup>2</sup> soit 89% de la surface.

Bassin du GRENAND



Bassin de QUINZE SOUS

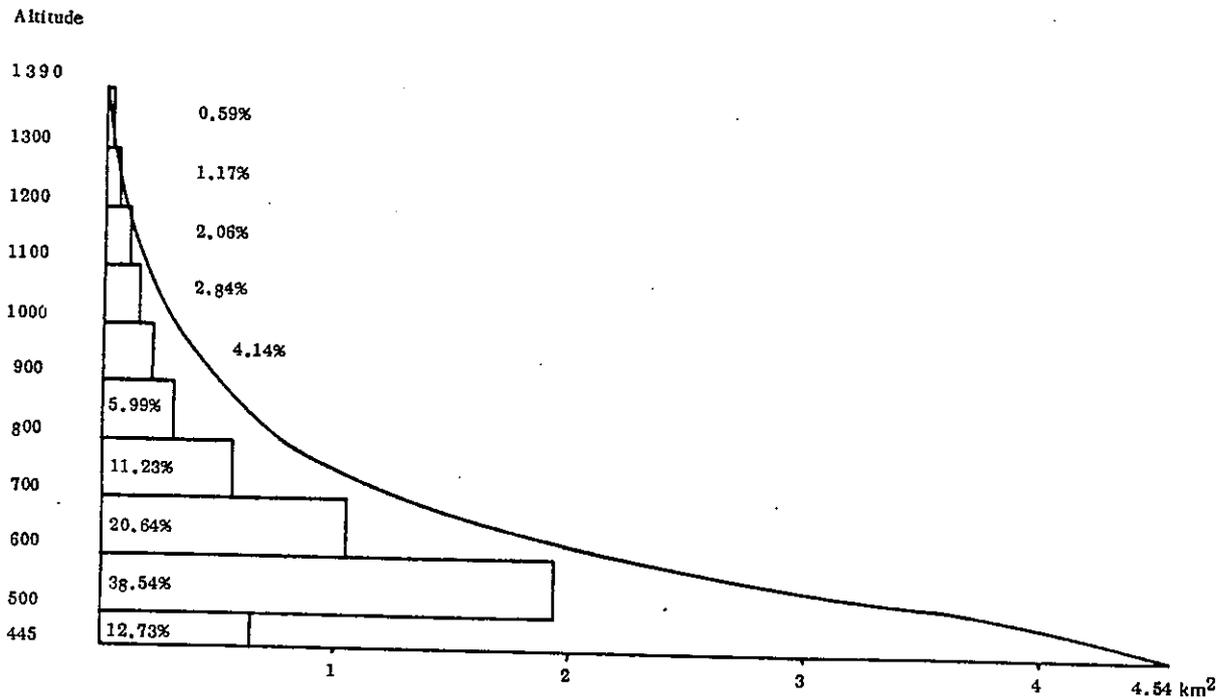


Figure n°31 Courbes hypsométriques des bassins versants de Quinze Sous et du Grenand.

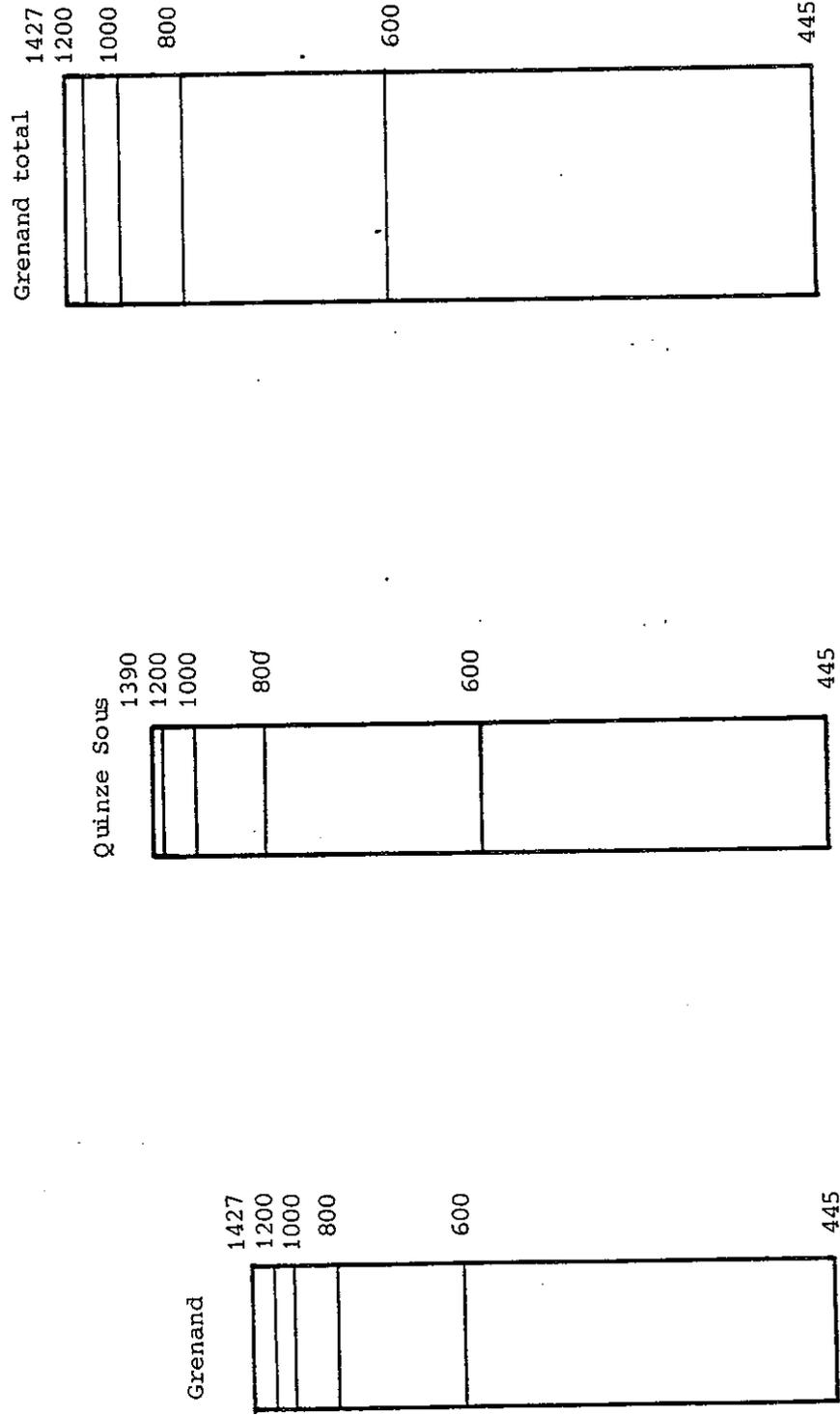
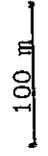


Figure n°32 Rectangles équivalents des bassins versants de Quinze Sous et du Grenand.



		Grenand supérieur	Quinze Sous	Grenand total
Bassin calcaire	Superficie km2	0.448	0.491	0.939
	Altitude moyenne	1123m	1069m	1094m
Bassin molassique	Superficie km2	3.838	4.049	7.887
	Altitude moyenne	572m	607m	590m

Tableau n°4 Superficie et altitude moyenne des bassins étudiés.

Pour chiffrer les caractéristiques des bassins des indices sont calculés à partir des périmètres P, de la superficie A (tableau n°5).

- le rectangle équivalent défini par L et l  $L = P/4 + \sqrt{P^2/16 - A}$   
 $l = P/4 - \sqrt{P^2/16 - A}$
- l'indice de compacité K :  $K = 0,28 P/\sqrt{A}$
- l'indice de pente  $I_p = (H_{5\%} - H_{95\%}) / L$  avec  $H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$  les altitudes dépassées respectivement pas 5% et 95% de la surface totale du bassin et L la longueur du rectangle équivalent.

Les bassins étudiés présentent un allongement prononcé orienté grossièrement Est-Ouest et une pente forte.

	Grenand supérieur	Quinze Sous	Grenand total
Indice de compacité K	1.40	1.51	1.32
Indice de pente $I_p$	0.12	0.16	0.14

Tableau n°5 Indices caractéristiques des bassins versants.

### 3 - LE BASSIN DU LAC D'AIGUEBELETTE

Ce bassin est beaucoup plus vaste que ceux étudiés précédemment: il s'étend sur 56 km<sup>2</sup> avec un allongement Nord-Sud.

Le bassin est drainé par la Leysse et le Gua au Nord, les ruisseaux du Bourg, de la Tuilerie et du Moulin au Sud. Son exutoire, le Tiers, rejoint le Guiers à l'Ouest: à Belmont-Tramonet. Une petite centrale Hydraulique exploite les écoulements à l'aval, au Gué des Planches, cette exploitation fait varier le niveau du lac d'environ un mètre au cours de l'année. Pour l'alimentation des communes voisines, l'eau est pompée directement dans le lac par le Syndicat des Eaux du Tiers.

Le lac lui-même s'étend sur 5,15 km<sup>2</sup>, ce qui en fait le cinquième lac naturel français par sa superficie. Sa profondeur atteint 71 m; Deux îles émergent au Sud-Ouest, la plus grande s'élève à 6m au dessus de l'eau. Le volume du lac a été estimé à 166,6 millions de mètres cubes par L. DUPARC et A. DELEBECQUE (1892).

Pour des compléments sur la limnologie du lac, le lecteur pourra se reporter aux auteurs spécialisés dans ce domaine: G. BLAKE. et C. LASCOMBE 1978, F. CUELLO et al. 1980, M. JARGOT et J. LOUP 1983 pour les plus récents.

### 4 - LES BASSINS DU SUD DU BUGEY SAVOYARD

#### 4. 1 - LE BASSIN DE MORGES

Le bassin de Morges est plus grand que le bassin du Grenand avec une superficie de 15,3 km<sup>2</sup>. L'indice de pente est plus faible: 0,107 et l'indice de compacité de 1,27 indique une forme plus trapue.

L'orientation du bassin est grossièrement Nord-Sud, le cours du ruisseau est Est-Ouest au Nord et Nord-Sud ensuite. Le Morges se jette dans le Guiers immédiatement en amont des gorges de Chailles.

#### 4. 2 - LES AUTRES BASSINS

D'autres petits ruisseaux tributaires du Guiers drainent le reste du Bugey Savoyard. Ces cours d'eau sont parallèles les uns aux autres d'une direction globale Nord-Sud. Les débits peu importants en général du fait de la faible superficie des bassins peuvent être nuls lors du passage sur des affleurements de calcaire ou de Quaternaire à forte perméabilité.

Les bassins versants géographiques des cours d'eau sont distincts des bassins versants géologiques comme le montrera le traçage du Souhait (paragraphe suivant).

## 5 - ETUDE PAR TRACAGE DE LA LIMITE ORIENTALE DES BASSINS VERSANTS

Le but de ce traçage a été de définir la limite est des bassins versants géologiques qui nous intéressent et de définir le rôle hydrogéologique de l'accident chevauchant (P. LAMY 1984).

### 5.1 - MISE EN OEUVRE DU TRACAGE

Le 01 Juillet 84, en période d'étiage, 3 Kg d'Uranine B ont été injectés dans un gouffre s'ouvrant au fond d'une doline à 1300 m au NNE du sommet du Mont Beauvoir. Le traceur a été poussé par 1000 l d'eau.

Orze points de surveillance du réseau hydrographique ont été suivis du 2 Juillet au 10 Septembre suivant une fréquence décroissante.

### 5.2 - RESULTATS

Le tableau n°6 donne les résultats d'analyse. Les concentrations observées sont faibles, de l'ordre de  $10^{-9}$ , alors que le seuil de détection de l'appareil est de  $0,2 \times 10^{-9}$ . Ceci nous amène à considérer la possibilité de non détection des venues les plus diluées.

Pour plus de précision, il aurait fallu injecter de 10 à 100 fois plus de traceur, mais outre les problèmes de coût, le traceur se retrouve dans des captages communaux, ce qui a limité les quantités utilisées.

On observe une absence de traceur aux points B et FF, une réponse étalée dans le temps pour les points S, C, P et A, une réponse entre le 17 et le 30 juillet pour I et F, une réponse rapide pour R, E et V.

Il est à remarquer que la plupart des sources répondent entre le 21 et le 26 juillet, après les fortes pluies des 20 et 21 juillet. Ceci traduit l'insuffisance de la quantité d'eau injectée avec le traceur pour atteindre le réseau principal: les premières pluies poussent l'uranine jusqu'aux exurgences.

### 5.3 - INTERPRETATION HYDROGEOLOGIQUE

Les circulations mises en évidence sont décrites par la figure n°33. Ainsi, une première partie du traceur suit un écoulement rapide par un réseau de chenaux majeurs:

- sur le flanc occidental: vers les sources R et E, du karst urgonien, la vitesse d'écoulement constatée est de 75 m/h pour E et 50 m/h pour R;

- sur le flanc oriental: vers la source V du karst valanginien, la vitesse d'écoulement est de 25 m/h.

Ceci signifie que le gouffre d'injection situé à proximité d'accidents importants atteint le Valanginien, mais ne communique pas avec le karst urgonien du versant est; en effet, à la source FF, le traceur n'a pas été décelé, cette source draine pourtant le tiers sud

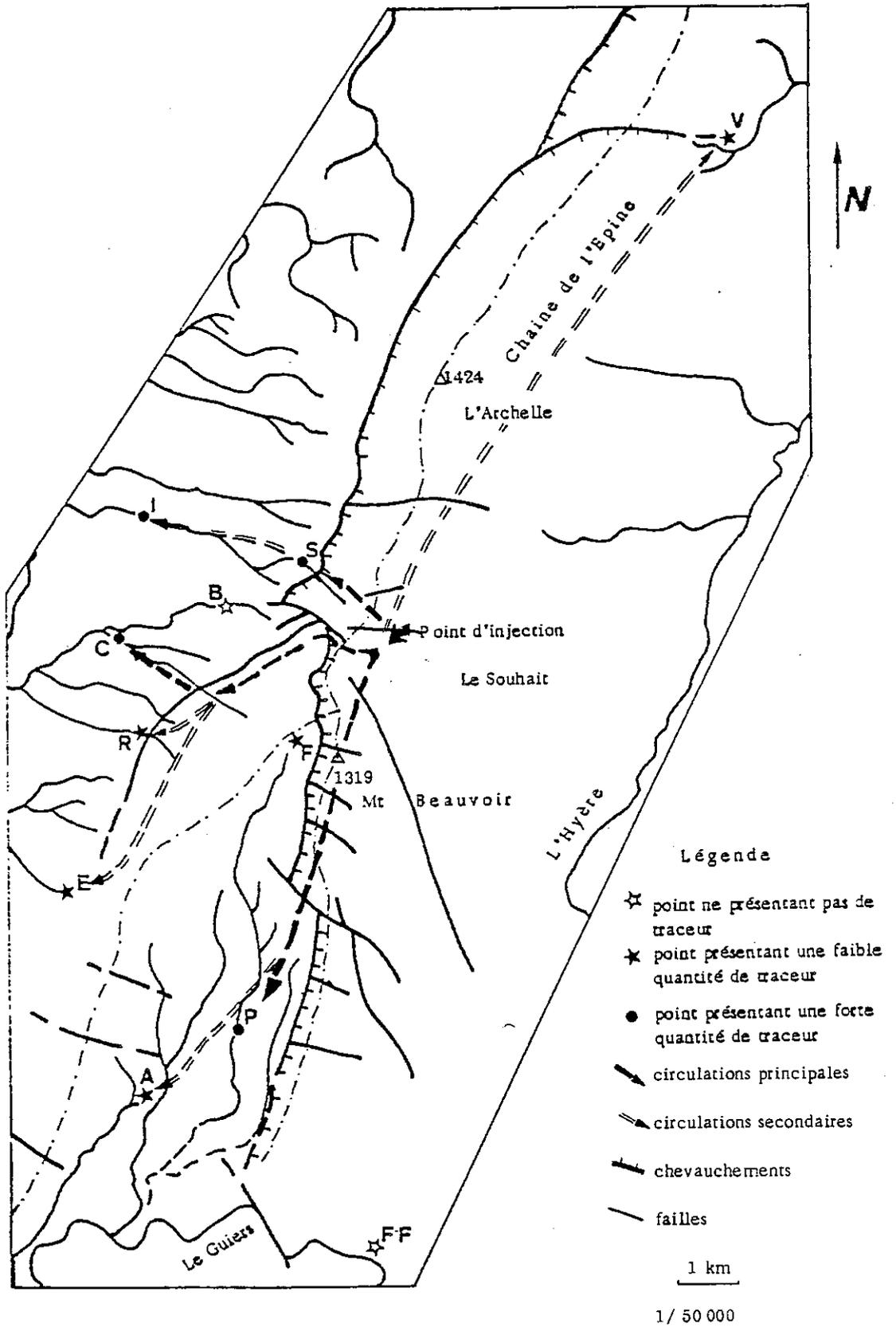


Figure n°33 Traçage du Souhait. Situation des points de prélèvement et circulations mises en évidence.

de la vallée de l'Hyère (G. Nicoud, 1978).

Le reste du traceur s'écoule dans un réseau karstique noyé, ou une succession de réseaux noyés; il n'atteint les exurgences qu'après surcharges. L'écoulement s'effectue encore plus de deux mois après l'injection, après de fortes pluies, car des siphons piègent le traceur mais la dilution est importante et ne permet la détection qu'en deux points: S et A.

Cas mixte: aux points C et P, pour lesquels la réponse est à la fois rapide et étalée, l'alimentation des sources par des chenaux est complétée par les apports empruntant un réseau de fissures.

L'absence de traceur au point B montre le rôle d'écran joué par les fractures situées en amont.

#### 5.4 - CONSEQUENCES SUR LA QUALITE DES EAUX

L'aquifère karstique du Mont-Beauvoir alimente de nombreuses sources captées pour l'alimentation des communes (sources R, E, A et V entre autres), or, il existe des alpages entre le Souhait et l'Archelle, ainsi que des résidences estivales, ce qui pourrait expliquer la pollution bactérienne momentanée constatée sur les sources. Le filtre constitué par le Quaternaire interposé entre le karst et les captages est insuffisant pour permettre une épuration des eaux.

Mais l'activité des alpages n'étant que saisonnière, d'autres voies de pollution doivent être envisagées, en effet, l'Urgonien affleure localement, ailleurs, il est recouvert d'un sol peu épais. Une pollution d'origine plus basse a été montrée par le traçage de St Christophe la Grotte (p.58).

Le problème des périmètres de protection est celui que posent tous les aquifères karstiques où l'ensemble d'un massif peut provoquer la pollution d'un captage.

#### 5.5 - CONCLUSION

L'injection de traceur dans l'axe de l'anticlinal de la chaîne de l'Epine montre que dans les calcaires valanginiens et urgoniens, s'est développé un karst noyé ou une succession de réseaux karstiques noyés. Ceux-ci sont distincts à l'Est tandis qu'à l'Ouest, le rôle des failles est prépondérant; le chevauchement compressif est étanche dans son ensemble, mais les fractures transverses permettent le passage des écoulements dans le karst chevauché, qui est lui-même compartimenté par ces fractures transverses. Certains blocs peuvent être isolés des circulations comme celui situé en amont du point B.

Les conditions hydrométéorologiques et hydrodynamiques dans lesquelles a été effectué le traçage ne permettent donc pas de cerner la limite des bassins versants géologiques, les exutoires étant situés aussi bien sur le flanc est que sur le flanc ouest de la chaîne de l'Epine-Mont Beauvoir; nous sommes en présence d'un aquifère karstique à drainage pluri-directionnel. La limite des bassins versants géologiques sera alors placée en concordance avec celle des bassins versants géographiques, c'est-à-dire sur la crête.

<i>Points de surveillance</i>	<i>Résultats (concentrations en <math>10^{-10}</math>)</i>									
S ruisseau de la Pissière à 870m d'altitude	D.	19	21	23	24	25	26/7	14/8	2/9	
	C.	2.5	8	10	9	8	13	5	7.5	
I ruisseau de la Pissière à 575m d'altitude	D.	17	19	21	23	24	25	26/7		
	C.	9	3	8	10	9	8	13		
B ruisseau de Grand Bois à 740m d'altitude										- 0 -
C ruisseau du Châtelard au passage de la RN 526	D.	4	5	11	15	21	23	24	25	26/7
	C.	4	3	4	5	7	7.5	2	9	7.5
R source captée de la Raizière	D.	2	4	5	6	7/7				
	C.	2.5	4.5	4.5	4	4				
E source captée de Fontaine Entier	D.	2	15	19/7						
	C.	2.5	8.5	2.5						
F source du Fournet	D.	21	23	25	26/7					
	C.	5	2.5	2	4.5					
P ruisseau de Pisserotte au passage de la RN 6	D.	11	13	19	21	23	24	25	26/7	
	C.	4.5	4	8	6.5	4	2	12.5	6.5	
A source captée des Andrés	D.	24	25	26/7	10/9					
	C.	3.5	2	5	3.5					
FF source de Fontaine Froide										- 0 -
V source captée de Pierre Rouge à Vimines	D.	9	10	11/7						
	C.	2.5	12	4						

Tableau n° 6 Résultats du traçage du Souhait.  
(D. : date de prélèvement, C. : concentration mesurée).

D'autres conditions de traçage, comme un étiage plus sévère, auraient pu donner des résultats différents, du fait de la dépendance entre les résultats de traçage et les conditions hydrométéorologiques de la période d'injection.

#### CONCLUSION

Le façonnement durant le Néogène et le Quaternaire des bassins versants a donné une structure sub-parallèle aux réseaux hydrographiques indiquant par là des réseaux jeunes. Les calculs du bilan seront faits sur les bassins du Grenand et de Quinze Sous dont les superficies respectives sont de 4,3 et 4,5 km<sup>2</sup>. Au Mont Beauvoir, un traçage a montré le comportement des failles du flanc occidental de la chaîne de l'Epine qui permet aux précipitations du versant est de la chaîne à proximité du sommet, d'atteindre les bassins situés à l'Ouest.

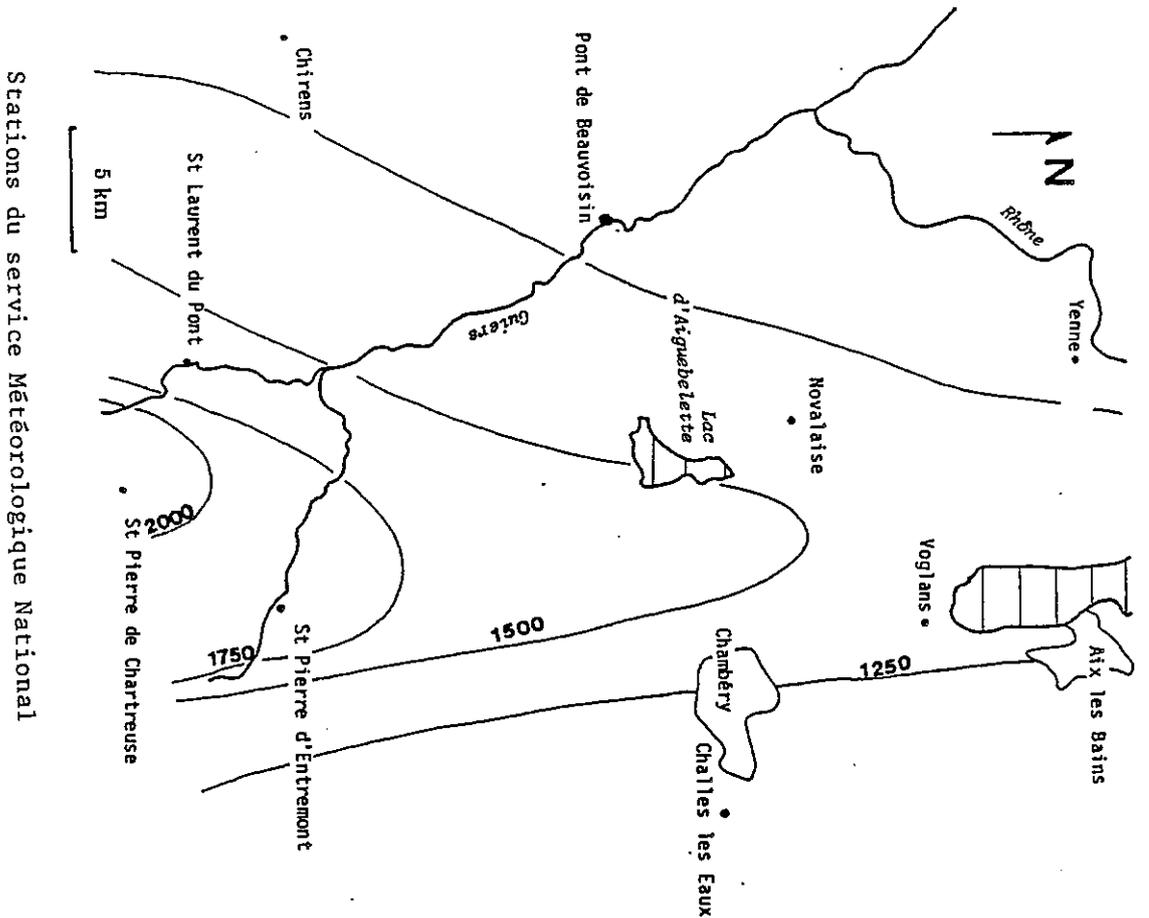
La distinction des bassins versants qui paraît nette au fond du synclinal, n'a plus qu'une signification réduite lorsqu'on s'approche du sommet de la chaîne.

## CHAPITRE IV

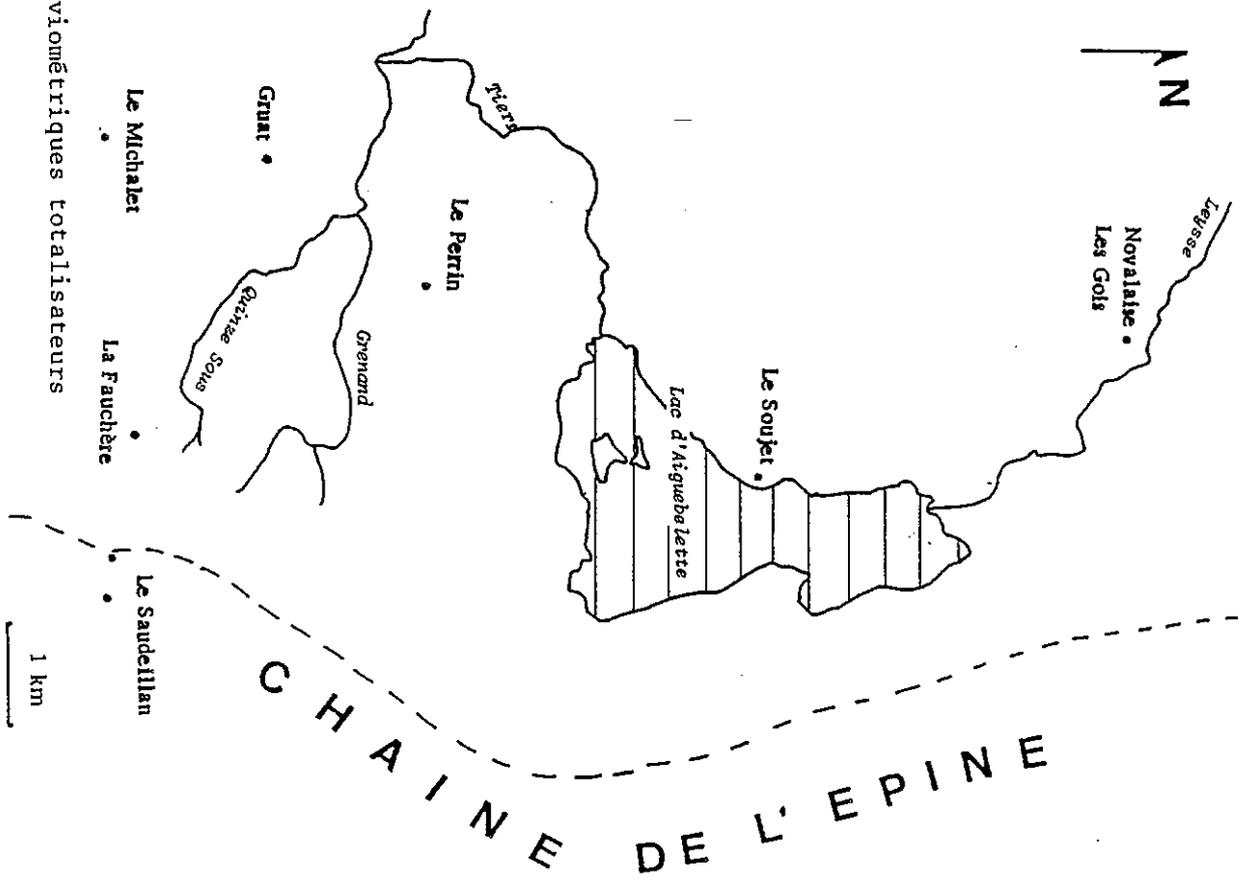
## ETUDE CLIMATOLOGIQUE

- 1 - LE RÉSEAU HYDROMÉTÉOROLOGIQUE
- 2 - LA PLUVIOMÉTRIE
- 3 - LES TEMPÉRATURES
- 4 - L'INSOLATION

Figure n°34 Carte de situation des stations météorologiques.



Stations du service Météorologique National



Tubes pluviométriques totalisateurs

## CHAPITRE IV

### ETUDE CLIMATOLOGIQUE

#### INTRODUCTION

*L'étude hydrogéologique s'intéresse au devenir des eaux dans le sous-sol. Il faut donc, au préalable, connaître l'origine de cette eau par une étude climatologique et météorologique.*

*Les éléments prépondérants sont les précipitations qui alimentent les aquifères, la température et l'ensoleillement qui interviennent dans le phénomène d'évapotranspiration.*

*Dans le cadre de ce travail, l'étude des éléments du climat, à une échelle locale n'a pu être suivie que sur une période restreinte. Aussi, les valeurs mesurées seront comparées à celles obtenues dans les différentes stations météorologique de la région, pour lesquelles, les valeurs des dernières décénies sont disponibles.*

#### 1 - LE RÉSEAU HYDROMÉTÉOROLOGIQUE

##### 1.1 - LA PLUVIOMETRIE

Pour connaître les conditions climatologiques du secteur étudié, une analyse des précipitations à l'échelle régionale a été effectuée, en se basant sur les données des stations du Service Météorologique National (figure n° 34).

Les stations choisies entourent le terrain d'étude. La station de Novalaise offre une situation comparable au terrain d'étude, les stations de Pont-de-Beauvoisin et Chirens sont situées dans le Bas-Dauphiné, celle de St-Laurent-du-Pont au pied des reliefs de La Chartreuse. La station de St-Pierre-d'Entremont et de St-Pierre-de-Chartreuse se

situent dans le massif de la Chartreuse en altitude. Les stations de Challes-Les-Eaux et Voglans se trouvent dans la cluse de Chambéry à l'Est de la chaîne de l'Epine-Mont-du-Chat. La station de Yenne, au bord du Rhône renseigne sur les données du Nord du Bugey-Savoyard.

Le réseau régional de mesure a été complété par des données locales fournies par des tubes totalisateurs (situation figure n°34), qui ont été installés selon un profil grossièrement ouest-est au Sud du lac d'Aiguebelette:

- Au lieu dit le Michalet (St-Franc) à 630 m d'altitude, un tube de diamètre de 25 cm.
- Au Perrin (Attignat-Oncin) à 500 m d'altitude, un tube de 25 cm de diamètre.
- Au Soujet (St-Alban-de-Montbel) à 380 m d'altitude, un tube de 12 cm de diamètre.
- A La Fauchère (Attignat-Oncin) à 760 m d'altitude, un tube de 12 cm de diamètre.
- Au Saudeillan, au sommet de la chaîne de l'Epine à l'altitude de 1360 m, un tube de 25 cm de diamètre, les données de ce tube étant déficitaires du fait de l'exposition aux vents, un second tube de 25 cm de diamètre a été installé sur le flanc est de la chaîne à 1260 m d'altitude.

Les tubes de 25 cm de diamètres mesurent trois mètres de haut, tandis que ceux de 12 cm de diamètre n'atteignent que deux mètres.

Pour éviter l'évaporation dans les tubes totalisateurs, quelques centilitres d'huile ont été ajoutés. Et pour éviter le gel l'hiver, plusieurs kilogrammes de sel ont été placés dans les tubes, mais la rigueur de l'hiver, en particulier en janvier 1985 a provoqué le gel de l'eau sans toutefois endommager les tubes. De plus, lorsqu'il neige par vent fort et temps froid, la neige atteint les parois du tube et y adhère par le gel, elle forme ainsi un bouchon qui rend illusoire toute mesure. C'est pourquoi, les valeurs des précipitations de l'hiver ne seront pas détaillées mois par mois. Le fait de ne pas connaître la répartition mensuelle des précipitations hivernales n'a que peu d'importance, car le volume précipité est immobilisé sous forme de neige, l'écoulement de l'eau précipitée ne se fait qu'après la fonte au printemps.

D'autre part, le tube totalisateur placé au Michalet à St-Franc a d'abord été installé quelques centaines de mètres plus au Nord (à Gruat), mais l'attitude belliqueuse des taureaux qui ont renversé le tube a conduit à le déplacer vers une situation similaire dans un lieu plus tranquille (lieu dit le Michalet).

## 1.2 - LA THERMOMETRIE

La station météorologique de Novalaise-les-Gois nous a fourni les températures relevées quotidiennement sur un thermomètre à minimum-maximum. Les données concernent la période 1976-1984, avec quelques lacunes (Janvier, Octobre 1978; Mars, Avril et Mai 1980).

D<sup>a</sup> plus, nous avons installé un thermographe au lieu dit "Le Perrin" dans un abri météorologique standard, mais la qualité des enregistrements de cet appareil est sujet à caution.

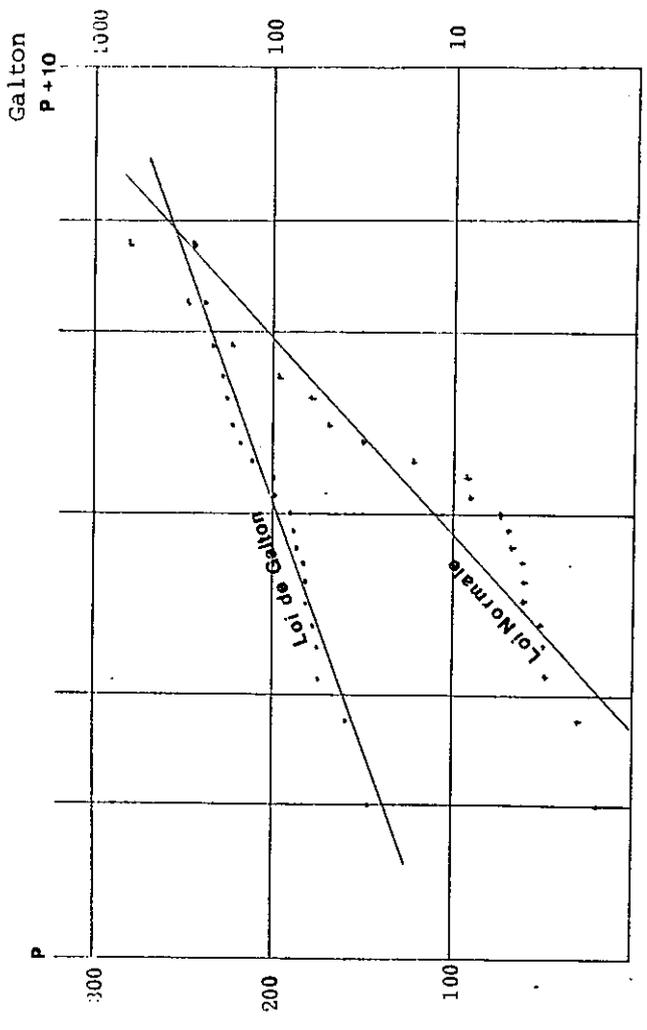
## 2 - LA PLUVIOMÉTRIE

### 2.1 - A L'ECHELLE REGIONALE

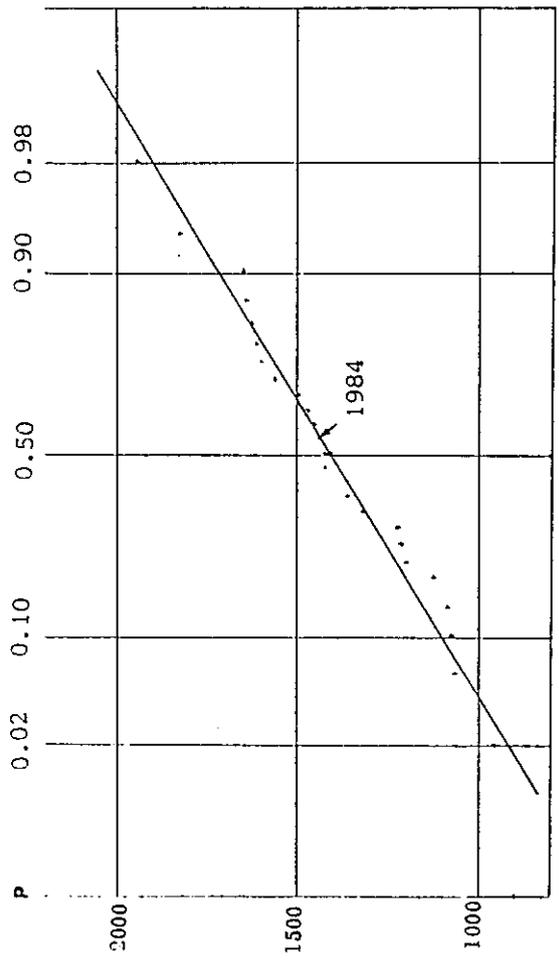
La pluviométrie à l'échelle régionale varie entre 1150 et 2100mm de moyenne annuelle (tableau n°7) suivant la situation des stations, la carte de la figure 34 présente les isohyètes moyens.

Station	Altitude	Période de mesure	Pluviométrie annuelle mm.
Novalaise	450m	1951-84	1354
Yenne	230m	1951-84	1239
Voglans	235m	1974-84	1353
Challes les Eaux	291m	1951-84	1141
Pont de Beauvoisin	230m	1965-84	1225
Chirens	463m	1951-84	1219
St Laurent du Pont	415m	1951-84	1589
St Pierre d'Entremont	644m	1951-84	1859
St Pierre de Chartreuse	945m	1951-84	2054

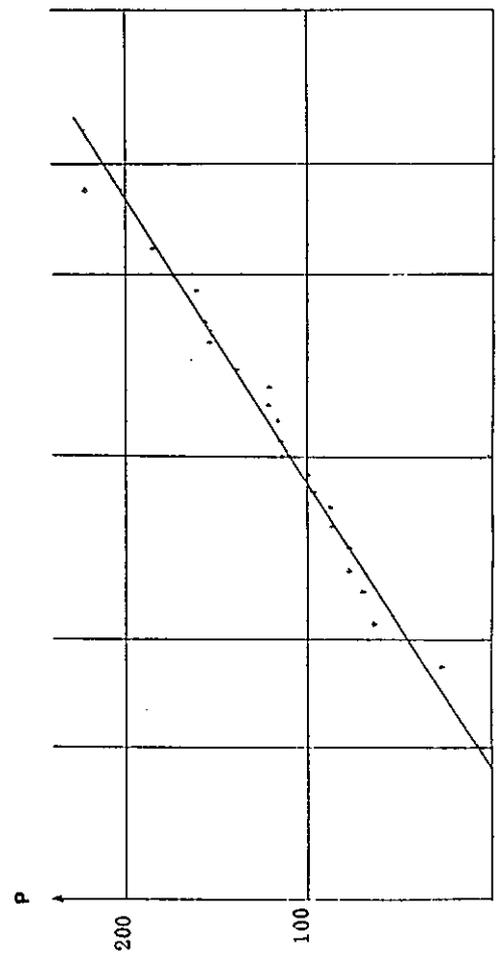
Tableau n° 7 Pluviométrie régionale.



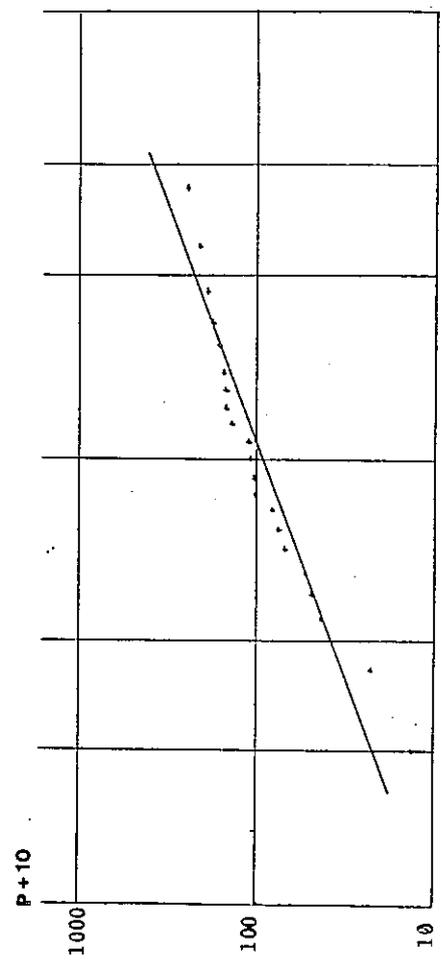
Précipitations du mois de Juillet



Précipitations annuelles, loi Normale



Précipitations du mois de Janvier, loi Normale



Précipitations du mois d'Octobre, loi de Galton

Figure n°35 Ajustement des précipitations aux lois statistiques

Les fortes valeurs de précipitations correspondent aux stations au coeur des massifs montagneux de La Chartreuse ou au pied des reliefs.

Les valeurs faibles se rencontrent dans les stations situées à l'abri des influences d'Ouest comme à Challes-les-Eaux, ou avant que les reliefs ne jouent leur rôle en provoquant les précipitations comme à Pont-de-Beauvoisin ou Chirens.

Dans ce cadre, le Bugey-Savoyard se situe dans la zone bien arrosée en pied de massif avec des hauteurs d'eau tout de même plus faibles que celles de St-Laurent-du-Pont, du fait de l'altitude limitée de la chaîne de l'Epine et son caractère plus isolé, par rapport au massif de La Chartreuse.

La valeur de la pluviométrie indiquée à Voglans de 1353 mm doit être rapprochée de la valeur moyenne obtenue à Novalaise pour la même période: 1457 mm ce qui montre bien le rôle d'écran relatif formé par la chaîne de l'Epine, relatif par rapport au massif des Bauges qui provoque un surcroît de précipitation.

De ce fait, le choix de la situation de Novalaise-Les-Gois comme station de référence s'impose. Cette station a également l'intérêt d'être située à 450 m d'altitude, ce qui correspond à l'altitude de l'exutoire du bassin versant du Grenand.

## 2.2 - LES PRECIPITATIONS A NOVALAISE-LES-GOIS

### 2.2.1 - Etude de la période 1964-1984

La répartition annuelle des précipitations suit une loi Normale de moyenne 1399 et d'écart type 217, comme le montre l'ajustement de la figure n°35a.

Les précipitations mensuelles ne s'ajustent pas toutes à une loi Normale, il est apparu plus significatif de calculer le coefficient de variation (rapport de l'écart type à la moyenne  $\sigma/m$ ) qui est relativement élevé. Pour les mois où ce coefficient est inférieur ou égal à 0,50 l'ajustement à une loi Normale est acceptable tandis que pour un coefficient supérieur à 0,50, l'étude statistique montre que la loi de Galton doit-être utilisée pour résumer le nuage de points. En effet cette loi rend mieux compte de la possibilité d'observer des précipitations mensuelles nulles, c'est à dire que la probabilité d'observer des valeurs des précipitations très différentes de la moyenne est plus forte pour une loi de Galton que pour une loi Normale. La figure n°35 montre des exemples d'ajustement; en 35c, la comparaison de l'ajustement à une loi Normale et à une loi de Galton est faite pour les données des mois de Juillet.

La figure N°36 présente les précipitations dont les probabilités de non dépassement sont: 0,02 - 0,10 - 0,50 - 0,90 et 0,98, les valeurs chiffrées se trouvent reportées dans le tableau n° 8. Aux pluies de probabilité 0,02 et 0,10 correspondent les périodes sèches de temps de retour cinquante et dix ans respectivement et aux pluies de probabilité 0,98 et 0,90 correspondent les périodes humides de temps de retour cinquante et dix ans.

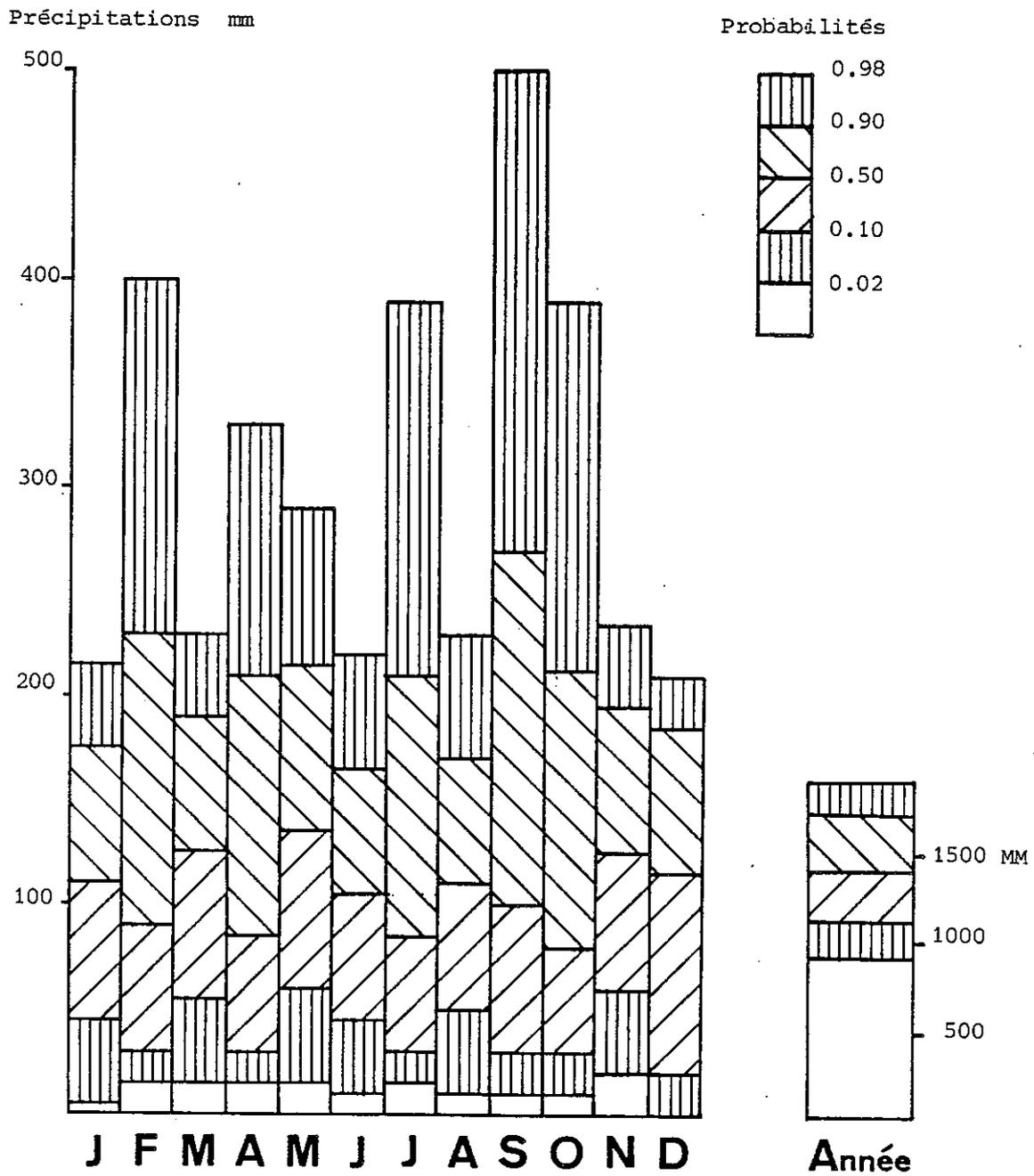


Figure n° 36 Probabilités des précipitations mensuelles à Novalaise.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Moyenne arithmétique	110	117	123	85	137	106	112	109	129	105	127	113	1399
Coefficient de variation	0.45	0.55	0.42	0.61	0.43	0.45	0.67	0.44	0.62	0.58	0.41	0.50	0.16
Loi statistique	N	G	N	G	N	N	G	N	G	G	N	N	N
N: normale, G: Galton													
Pluviométrie	5	15	15	15	15	10	15	10	10	10	20	0	925
correspondant aux	45	30	55	30	60	45	30	50	30	30	60	20	1120
probabilités de	110	90	125	85	135	105	85	110	100	80	125	115	1400
non dépassement	175	230	190	210	215	165	210	170	270	215	195	185	1720
	215	400	230	330	290	220	390	230	500	290	235	220	1905
Nombre de jours de précipitation	11.6	10.8	12.4	10.4	13.5	10.3	8.6	10.3	9.4	9.1	11.1	10.8	127.7
Intensité P/N	9.3	11.0	10.2	9.3	10.1	9.8	12.4	11.6	12.4	10.3	11.9	10.2	9.7
Coefficient de variation	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	-

Tableau n°8 STATION DE NOVALAISE

Etude des précipitations, en millimètres, sur la période 1964-1984.

Le tableau n°8 montre également que la moyenne arithmétique des précipitations mensuelles au cours de l'année est voisine de 115mm, mais le coefficient de variation présente des valeurs fortes: 0,67-0,62 pour une moyenne de 0,51 alors que ce même coefficient calculé sur les valeurs annuelles n'est que de 0,16. Il existe donc un phénomène de compensation des précipitations d'un mois sur l'autre. L'année sèche exceptionnelle correspond à la succession de plusieurs mois secs.

La répartition saisonnière des précipitations (tableau n°9) est calculée à partir des moyennes mensuelles de la période 1964-1984.

Saison	Printemps	Eté	Automne	Hiver
Mois concernés	M A M	J J A	S O N	D J F
Précipitations moyennes mm	364	329	361	340
Coefficient de variation	0.49	0.52	0.54	0.50

Tableau n°9 Etude des précipitations saisonnières à Novalaise les Gois

La répartition des précipitations saisonnières montre une prépondérance des pluies de printemps et d'automne et un déficit estival. Mais cette répartition est peu contrastée.

L'indice saisonnier obtenu est P.A.H.E. La valeur de cet indice est limitée, car les coefficients de variation restent élevés (voisins de 0,5). Ils expliquent la possibilité d'avoir d'autres indices.

D'autres études régionales ont donné des indices distincts:

- E.A.P.H. à St-Laurent-du-Pont sur la période 1951-1980 (F. BAUDOIN, 1984).
- P.H.A.E. à St-Pierre-d'Entremont sur la période 1961-1980 (P. BERGERET, 1981).
- P.E.A.H. à Chirens sur la période 1947-1979 (H. DEHAYS, 1980).

L'étude de P. BERGERET montre d'ailleurs la relativité de cet indice suivant la période de référence choisie. La présence d'un hiver plutôt sec et d'un printemps plutôt humide peut-être retenue.

Sur le tableau n°8 a été figuré le nombre de jours de précipitation par mois (ramené à 30 jours) en ne considérant que les précipitations supérieures à 1 mm. La valeur moyenne de ce nombre sur l'année vaut 10,5 avec des maxima de 13,5 en mai et 12,4 en mars, les minima sont de 8,3 en juillet et 8,8 en octobre, 9,4 en septembre.

Le nombre de jours de précipitation par mois (N) permet de calculer l'intensité des précipitations mensuelles (I) en divisant la hauteur précipitée (P) par le nombre (N):  $I = P/N$  (tableau n°8). Ce calcul montre que l'intensité moyenne mensuelle reste voisine de 10 mm de précipitation par jour de précipitation, avec seulement une valeur plus élevée en juillet, août et septembre où cet indice varie entre 11,6 et 12,5. Ce qui correspond à une fréquence de pluies orageuses plus importante. L'intensité de pluie maximale a été enregistrée le 7 août avec 99 mm de précipitations.

### 2.2.2 - Etude de la période Janvier 1984 - Août 1985 (tableau n°10)

L'année 1984, avec une pluviométrie de 1444 mm reste assez proche de la moyenne, la probabilité gaussienne de non dépassement de cette pluviométrie est de 0,55.

La répartition saisonnière des précipitations montre des écarts aux moyennes relativement importants avec des excédents significatifs lors de l'hiver et de l'automne 1984 (+ 43%) et au printemps 1985 (+22%). Les déficits significatifs s'observent durant l'été (-56%) et le printemps (18%, 1984). L'hiver et l'été 1985 restent assez proches de la moyenne constatée durant la période 1964-1984. Les indices saisonniers sont les suivants:

- sur l'année civile 1984: A.H.P.E.
- sur l'année hydrologique septembre 1984 à août 1985: APHE

Les mois à fortes précipitations sont les mois de Janvier 1984 (225mm) de Septembre 1984 (277mm) de Janvier 1985 (152mm) de Mai 1985 (199mm) et de Juin 1985 (178mm). Tandis que les mois déficitaires sont ceux de Juin, Juillet et Août 1984 (respectivement 73, 20 et 53 mm).

L'étude de l'année hydrologique de Septembre 1984 à Août 1985 montre une pluviométrie de 1663 mm ce qui donne une probabilité gaussienne de dépassement de 0,12, indiquant par là, le fort excédent des précipitations. En effet, en 1985 les précipitations estivales ont été relativement abondantes et la période de sécheresse relative observée en Juillet-Août 1984 s'est reportée sur les mois de Septembre et Octobre 1985 avec des précipitations de 16 mm en Septembre et 11 mm en Octobre.

En 1984, les précipitations se répartissent sur 165 jours soit 45% de jours avec précipitation durant l'année, avec en particulier 24 jours de pluie en mai et 22 jours de pluie ou de neige en janvier. Les mois déficitaires en nombre de jours de pluie sont avril (8 jours de pluie) et juillet (6 jours). Lors des huit premiers mois de 1985, le nombre de jours de pluie reste proche de la moyenne avec un dépassement important en Janvier (18 jours) et un déficit en juillet (6 jours). Ce qui donne 167 jours de précipitation durant l'année hydrologique de septembre 1984 à août 1985.

Du point de vue de l'intensité des précipitations, l'année 1984 se caractérise par une intensité faible (indice moyen 8,75). Les précipitations de forte intensité étant concentrées en septembre (indice 15,6). Pour l'année hydrologique, l'indice est légèrement plus fort: 10,0.

	Précipitations mensuelles mm	Probabilités de non dépassement	Nombres de jours de précipitation	Intensité P/N	Précipitations saisonniers mm
1983 D	113	0.50	11	10.3	487
J	225	0.99	22	10.2	
F	150	0.75	13	11.5	300
M	104	0.36	14	7.4	
A	61	0.31	8	7.6	146
M	135	0.49	24	5.6	
J	73	0.24	10	7.3	517
1984 J	20	0.05	6	3.3	
A	53	0.15	11	4.8	361
S	277	0.91	18	15.4	
O	142	0.77	12	11.8	445
N	98	0.29	15	6.5	
D	107	0.46	12	8.9	340
Année	1444	0.55	165	8.8	
J	152	0.80	18	8.4	445
F	102	0.45	12	8.5	
M	156	0.73	16	9.7	340
A	90	0.52	15	6.0	
1985 M	199	0.85	20	10.0	340
J	178	0.93	14	12.7	
J	50	0.42	6	8.3	340
A	112	0.53	9	12.4	
Année hydrologique	1663	0.88	167	10.0	

Tableau n°10 Etude des précipitations mensuelles à Novalaise les Gois.

## 2.3 - LES PRECIPITATIONS LOCALES (Tableau des valeurs en annexe 1).

L'étude des précipitations basée sur les relevés des tubes à neige ne peut être aussi approfondie que celle basée sur des relevés journaliers. En effet, le gel en altitude empêche de détailler les précipitations mensuelles de l'hiver, de ce fait, la seule étude possible est celle basée sur l'année hydrologique de septembre 1984 à août 1985.

### 2.3.1 - Relation des précipitations avec l'altitude (Tableau n°11)

Les précipitations annuelles montrent une bonne corrélation avec l'altitude (figure n°37).

Stations	Le Soujet	Le Perrin	Le Michalet	La Fauchère	Le Saudeillan1	Le Saudeillan2	Novalaise
Altitude	380m	500m	630m	760m	1360m	1260m	450m
Précipitations mm	1592	1688	1793	2095	2027	2277	1663

Tableau n°11 Précipitations annuelles locales.

La relation des précipitations (P) en fonction de l'altitude (A), peut s'écrire:

$$P = 0,79 A + 1300$$

soit un gradient de 79 mm pour 100 m de dénivellé.

Le graphique laisse apparaître que la station de Saudeillan est nettement déficitaire comme cela avait été envisagé précédemment, ceci démontre la nécessité de la station de Saudeillan.2 dans un lieu plus à l'abri des vents dominants.

La station de la Fauchère présente un excédent important par rapport à la relation établie: près de 200 mm (10%). Le site pourtant favorable de cette station ainsi que le bon déroulement des mesures indique l'origine naturel de cet excès. Cette station est située au pied de la falaise de l'Epine, dont la pente moyenne dépasse 50%.

Le phénomène observé est classique: ce sont les forts reliefs à déclivité importante qui provoquent un surcroît de précipitation.

Sur la figure n°37, la valeur des précipitations à Novalaise sur la même période a été ajoutée. Cette valeur s'inscrit tout à fait sur la droite calculée, indiquant ainsi que les conclusions tirées de l'analyse de la pluviosité à Novalaise en 1984-1985, par rapport aux années précédentes peuvent tout à fait être adoptées pour le Sud du Bugey-Savoyard. L'incertitude liée aux mesures est supérieure à celle liée à la disparité des appareils de mesure.

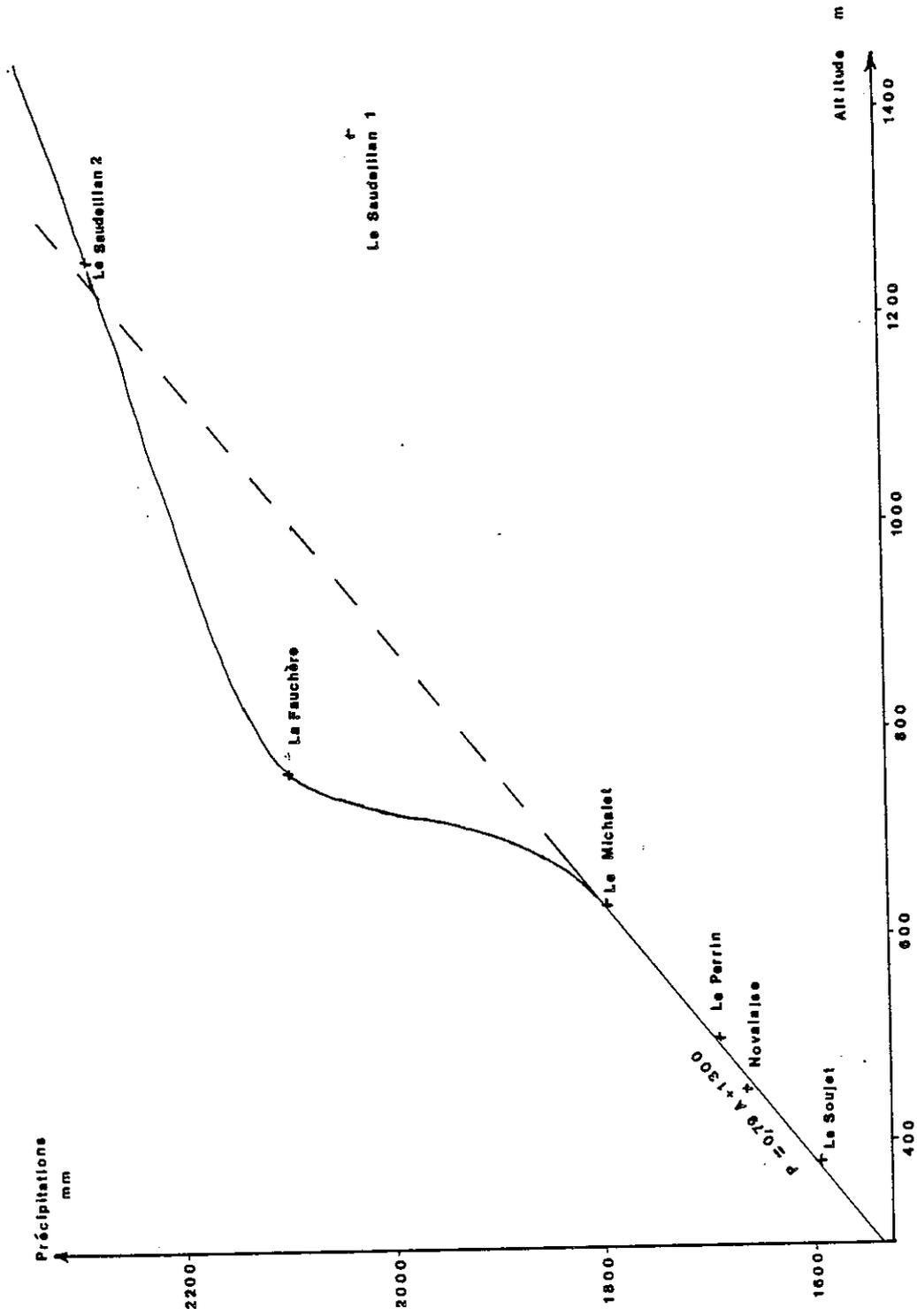


Figure n°37 Variations des précipitations en fonction de l'altitude.

Le gel hivernal n'a pas permis d'obtenir des valeurs mensuelles de précipitation, ainsi seul un gradient "saisonnier" a été calculé. Les mois ont été regroupés en fonction des données disponibles (tableau n°12)

Saison	Gradient mesuré mm / 100m
Automne : septembre-octobre	2.15
Hiver : de novembre à mars	0.47
Printemps : avril, mai et juin	0.77
Eté : juillet et août	0.45

Tableau n°12 Gradient "saisonnier" des précipitations.

Le rattachement du mois de Juin au printemps est dû aux caractéristiques plutôt printanières de ce mois (précipitations abondantes).

### 2.3.2 - Calcul de la lame d'eau précipitée

Le calcul de la lame d'eau précipitée durant l'année hydrologique a été effectuée sur les bassins versants de Grenand et du Quinze Sous, selon la méthode des isohyètes. Pour ce faire, les bassins versants ont été découpés en tranches d'altitude de 100 m, à chaque tranche a été affectée la pluviosité obtenue par le graphique de la figure n°37, pour l'altitude moyenne de la tranche ( $A = 1/2 (A1+A2)$ ). Cette pluviosité est multipliée par l'aire de la tranche d'altitude considérée (calculée au chapitre n°III) pour obtenir le volume précipité. Le tableau n°13 donne les résultats généraux, les résultats détaillés se trouvent à l'annexe n° II.

*En conclusion les précipitations locales de l'année civile 1984 représentent les précipitations moyennes, tandis que celle de l'année hydrologique sont légèrement excédentaires. Les calculs donnent une précipitation moyenne au Perrin de 1439 mm, la sécheresse et la période humide de temps de retour dix ans ont pour valeur respectives: 1160 et 1716 mm.*

Bassin		Volume $10^6 \text{ m}^3$	Lame d'eau mm
Grenand supérieur	calcaire	1.00	2232
	molassique	6.83	1779
	Total	7.83	1825
Quinze Sous	calcaire	1.09	2220
	molassique	7.35	1815
	Total	8.44	1948
Grenand total	calcaire	2.09	2226
	molassique	14.18	1798
	Total	16.27	1843

Tableau n°13 Volumes et lames d'eau précipités.

### 3 - LES TEMPÉRATURES

#### 3.1 - LES DONNEES DE LA STATION DE NOVALAISE (figure n°38)

Les relevés thermométriques journaliers de la station de Novalaise utilisés ici sont ceux de la période 1973-1985; malgré quelques lacunes plus d'une dizaine de valeurs sont utilisables par mois étudié.

L'année moyenne est caractérisée par une température de  $9,35^{\circ}\text{C}$ . variant entre  $0,6^{\circ}\text{C}$  en Janvier et  $18,9$  en Juillet. L'amplitude dépasse donc  $18^{\circ}\text{C}$ .

L'année 1984 présente son minimum en Février. Par rapport aux données disponibles, le mois de Novembre 1984 est le mois le plus chaud (avec un excédent de  $3,4^{\circ}\text{C}$ ). Les mois de Janvier 85, Mars 85 et Mai 84 sont les plus froids (avec des déficits respectifs par rapport à la moyenne de  $5,7$ ;  $2$  et  $2,2^{\circ}\text{C}$ ).

Ainsi l'année 1985 présente une amplitude forte:  $25^{\circ}\text{C}$ , tandis que celle de 1984 reste proche de la moyenne  $17,4^{\circ}\text{C}$ .

L'hiver 1983-84 présente 121 jours de gel contre 91 pour l'hiver 1984-1985, mais c'est ce dernier qui a été le plus froid avec des minima record:  $-25^{\circ}$  le 7 janvier.

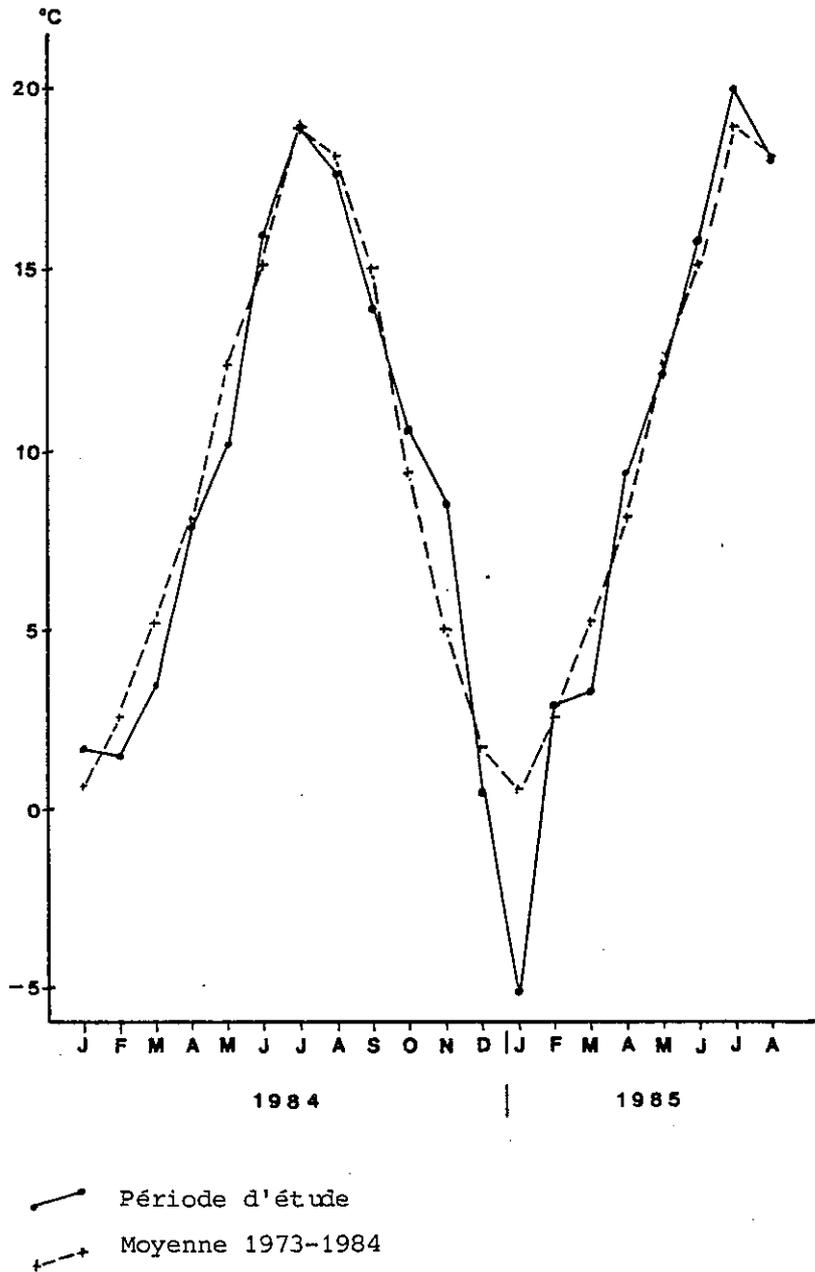


Figure n°38 Etude des températures mensuelles moyennes à  
Novalaise-les-Gois.

Les valeurs records enregistrées à Novalaise durant l'hiver 1984/1985 sont en accord avec celles qui ont été relevées dans l'ensemble de la région où de nombreux records ont été dépassés. Il faut remonter aux hivers 1960, 1956 et 1946 pour retrouver des froids comparables. La lac d'Aiguebelette a vu sa surface geler entièrement et se maintenir figée durant une quinzaine de jours .

### 3.2 - LES DONNEES DE LA STATION DU PERRIN

Au lieu dit Le Perrin, un thermographe associé à un thermomètre à minimum-maximum a fourni les données de température de janvier 1984 à août 1985. Mais la qualité des enregistrements du thermographe est très mauvaise du fait de la dérive de l'appareil, dérive elle-même fonction des variations de température.

Toutefois, le thermomètre à minimum-maximum relevé régulièrement, a fourni des valeurs dont la corrélation avec celle de Novalaise est bonne (coefficient de corrélation de 0,98). L'équation de régression à utiliser est la suivante:

$$T_{\text{(Perrin)}} = 1,05 T_{\text{(Novalaise)}} - 1,57$$

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1984	0.2	0	2.1	6.8	9.2	15.2	18.3	17.1	13.1	9.7	7.4	0.8
1985	-7.0	1.5	1.9	8.3	11.2	15.1	19.5	17.4	-	-	-	-

Tableau n°14 Températures au Perrin, en degrés C.

Les températures sont ainsi calculées pour chaque mois (Tableau n°14). Les moyennes annuelles obtenues sont de 8,3°C pour l'année civile 1984 et 8,2°C pour l'année hydrologique de Septembre 1984 à Août 1985.

### 3.3 - LA TEMPERATURE DU BASSIN DE GRENAND

Pour le calcul de l'évapotranspiration, il est nécessaire de connaître la valeur de la température sur le bassin lui-même. L'évapotranspiration sera calculée distinctement sur la partie haute (calcaire) et la partie basse (molassique) du bassin versant. Il faut donc rechercher la valeur de la température mensuelle à l'altitude médiane de ces deux ensembles: les altitudes de 590 et 1094 m.

L'absence de relevé de température en altitude dans le Bugey-Savoyard conduit à rechercher les gradients utilisés régionalement. Dans le Nord de La Chartreuse, deux gradients sont disponibles (en degrés pour 100 m) G1 = -0,43 (P. BERGERET) 1981; G2 = -0,69 (J.P. BOZONAT, 1980), ANGOT a donné une valeur moyenne pour l'Europe Occidentale; G3 = -0,55 (in J.P. BOZONAT, 1980). Le gradient moyen: (G1+G2+G3)/3 = - 0,55 Le gradient utilisé ici sera celui d'ANGOT.

Les températures durant l'année hydrologique sur les deux ensembles sont celles du tableau n°15.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne
Grenand calcaire	9.8	6.4	4.1	-2.5	-10.3	-1.8	1.4	5.0	7.9	11.8	16.2	14.1	4.94
Grenand molassique	12.6	9.2	6.9	0.3	-7.5	1.0	1.4	7.8	10.7	14.6	19.0	16.9	7.74

Tableau n°15 Températures du bassin du Grenand, en degrés C.

#### 4 - INSOLATION

Les seules valeurs d'insolation que nous possédons sont celles de la station de Voglans pour la période 1974-1984. Les valeurs fournies par cette station peuvent être considérées comme représentatives de l'insolation moyenne de notre secteur d'étude du fait de l'encadrement montagneux et de la présence d'un lac à proximité (Tableau n°16).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
1984	56	93	154	216	117	271	327	230	158	118	86	67	1894
1985	56	92	111	206	166	246	307	279	256	-	-	-	--
Moyenne 1974-1984	80	93	129	180	176	236	271	237	183	117	87	69	1865

Tableau n°16 Etude de l'insolation en heures par mois, à Voglans.

Il apparaît que la durée d'insolation de l'année 1984 est légèrement supérieure à la moyenne, ainsi que la valeur obtenue sur l'année hydrologique (1892 heures). Ces valeurs n'étant supérieures que de 1,5% à celles de la période 1974-1984, ceci permet d'estimer qu'aucun phénomène exceptionnel local n'a eu lieu sur le bassin de Voglans. Il est donc possible d'utiliser ces valeurs dans le Bugey-Savoyard.

## CONCLUSION

*La pluviométrie du Bugey-Savoyard indique un milieu bien arrosé par les influences d'Ouest. Les reliefs élevés provoquent des précipitations importantes. La pluviométrie de l'année civile 1984 (1444 mm) est légèrement supérieure à la valeur moyenne (1399 mm). L'étude des valeurs sur l'année hydrologique montre un excès des précipitations par rapport à la moyenne plus important (16 % avec une hauteur précipitée de 1663 mm). L'étude locale montre que le gradient de précipitation vaut 77 mm/100 m. Le calcul de la lame d'eau précipitée donne une lame moyenne de 1843 mm, soit un volume précipité sur le bassin du Grenand de  $16,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  durant l'année hydrologique.*

*L'étude des températures indique une année hydrologique contrastée avec une amplitude de 25°C. L'insolation moyenne de la période étudiée reste proche de la moyenne (1865 heures d'insolation par an) l'excès est de 1,5 %.*

-----

## CHAPITRE V

### HYDROLOGIE, HYDRODYNAMIQUE ET APPROCHE DU BILAN HYDROGEOLOGIQUE

- 1 - ORIGINE DES DONNEES
- 2 - LES DEBITS MENSUELS, LES DEBITS ANNUELS
- 3 - ETUDE DE LA RELATION NAPPE/RIVIERE LE LONG DU RUISSEAU DE QUINZE SOUS
- 4 - HYDRODYNAMIQUE
- 5 - L'EVAPOTRANSPIRATION
- 6 - LA SUBLIMATION
- 7 - LE BILAN

## CHAPITRE V

### HYDROLOGIE, HYDRODYNAMIQUE ET APPROCHE DU BILAN HYDROGÉOLOGIQUE

Après s'être intéressé aux quantités d'eau qui arrivent dans le bassin, cette étude portera sur les débits à l'exutoire dans le but de connaître la manière dont les écoulements se propagent de l'impluvium à l'exutoire. Puis les données hydroclimatiques permettront de calculer l'évapotranspiration; confrontés avec l'hydrologie de surface, ces résultats conduisent à l'approche du bilan hydrogéologique.

#### I - ORIGINE DES DONNÉES

Dans le cadre de cette étude, la Direction Départementale de l'Agriculture a fait installer deux limnigraphes afin de connaître les débits à l'exutoire du bassin témoin du Grenand. Sans être trop vaste ce bassin est bien limité géographiquement, les emplacements choisis dans la partie basse de la plaine du Bagné, sont situés, l'un à l'aval de la confluence des ruisseaux de Quinze sous et du Grenand, l'autre à l'amont de ce même confluent (figure n°39).

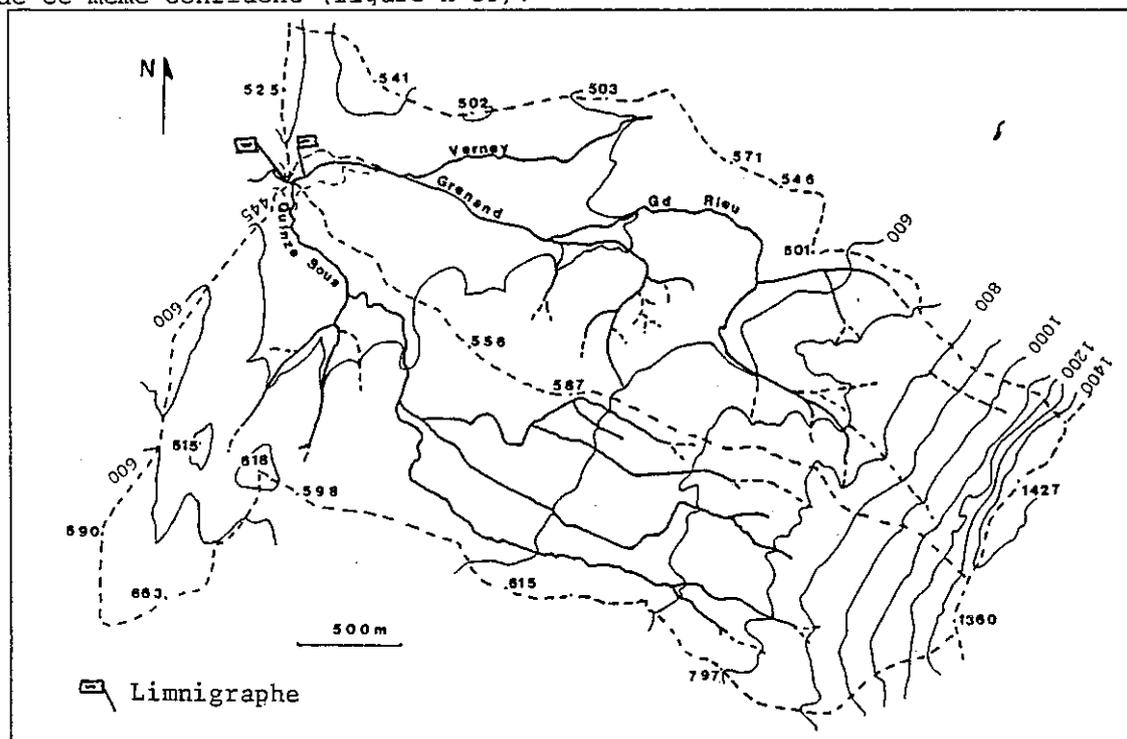


Figure n° 39 Situation des stations limnimétriques du bassin du Grenand.

Le bilan hydrogéologique est calculé pour le bassin du Grenand, puis une tentative d'extrapolation des résultats aux bassins voisins est effectuée. Le choix du bassin du Grenand est dû à la morphologie bien définie de ce bassin et à la possibilité d'installer une station de jaugeage en un lieu où les risques de sous-écoulement sont minimales du fait de l'affleurement de la molasse gréseuse saine dans le lit du ruisseau, et d'un pendage de la molasse opposé à la pente du cours d'eau. Le bassin du lac d'Aiguebelette pose un problème par l'exportation importante d'eau pompée dans le lac en direction de bassins situés à l'aval du Gué des Planches et l'exploitation par E.D.F. de la tranche d'eau superficielle. Le bassin de Morges ne présente pas de section de jaugeage offrant les garanties nécessaires vis-à-vis des risques de fuite par sous-écoulement du fait de l'abouchement de ce bassin sur les formations alluviales de la vallée du Guiers.

Les installations de jaugeages comprennent des seuils rectangulaires à lame épaisse en béton (à double déversement), en amont desquels ont été placés des limnigraphes OTT R20, et pour compléter chaque station, une échelle limnimétrique a été posée.

Les jaugeages des ruisseaux ont été effectués au moulinet pour les faibles débits et par dilution chimique pour les débits importants. Le traitement des résultats des jaugeages a été réalisé sur ordinateur à l'aide du programme MOULINET (P. LAMY, 1984). Ceci a permis de dessiner les courbes de tarage des deux stations (figures n°40 et 41) après avoir contrôlé l'ajustement des débits jaugés au moulinet aux débits calculés par la formule des déversoirs rectangulaires à seuils épais. La transformation de la courbe hauteur/temps enregistrée par les limnigraphes en courbe débit/temps a été réalisée par le S.R.A.E. (Service Régional d'Aménagement des Eaux) à l'aide de puissants moyens informatiques (base ARHMA). Le S.R.A.E. a également réalisé un premier traitement des données.

Les données manquantes sont le fait du froid hivernal qui a provoqué le gel de l'eau au niveau du flotteur du limnigraphe aval, en janvier 1985, les variations de hauteur n'étaient plus enregistrées. La hauteur d'eau plus importante derrière le seuil amont, a permis d'éviter le gel à cette station à partir de laquelle les données de la station aval ont été extrapolées pour la période manquante.

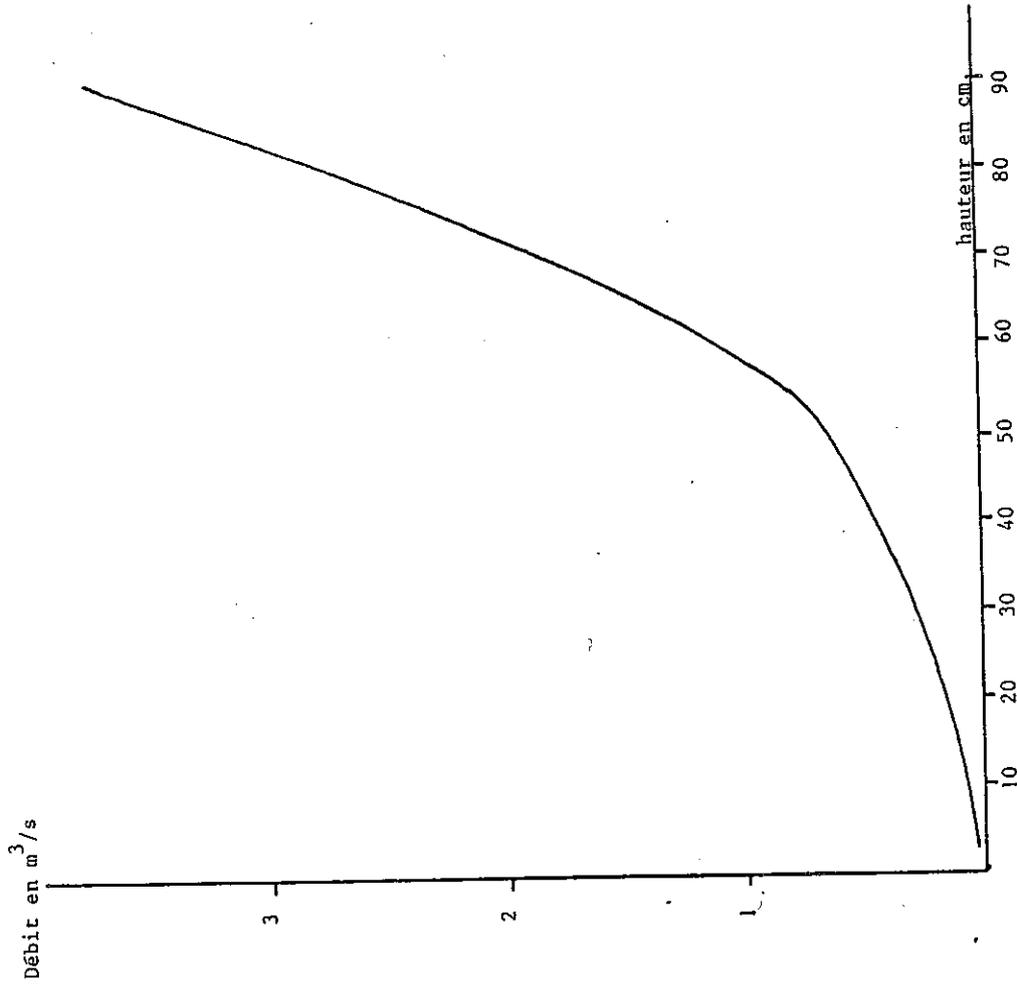


Figure n°41 Courbe de tarage de la station de Grenand inférieur.

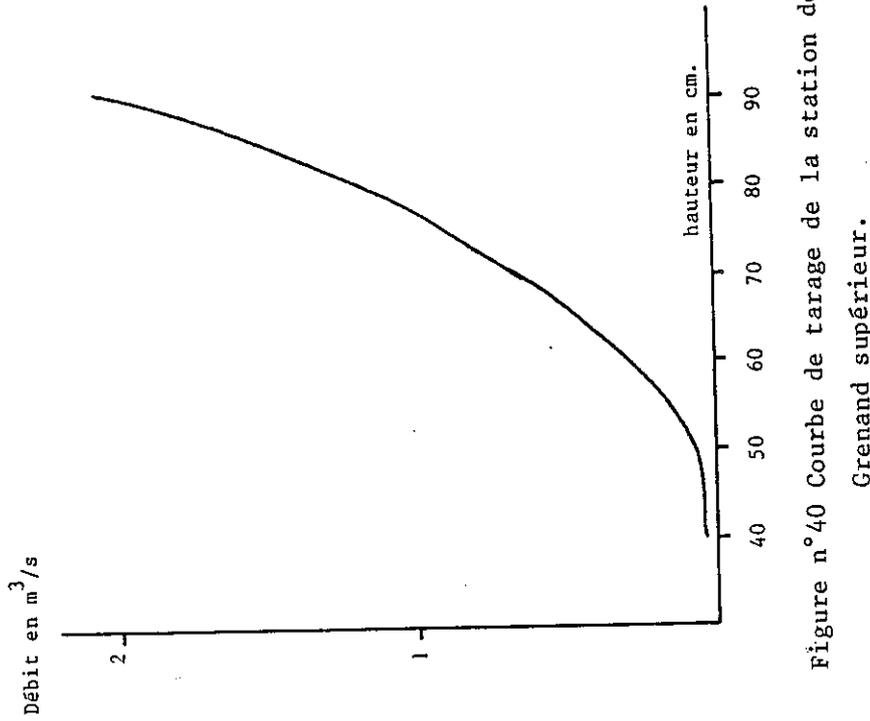


Figure n°40 Courbe de tarage de la station de Grenand supérieur.

## 2 - LES DÉBITS MENSUELS - LES DÉBITS ANNUELS (fig. 42 et 43)

Les tableaux n° 17 et 18 fournissent les résultats du dépouillement des limnigrammes. Ils montrent nettement que le déficit estival est représenté par les faibles débits des mois de juillet et août, tandis que les débits les plus importants s'observent de janvier à mars où la succession d'épisodes neigeux et de périodes de réchauffement provoque de nombreuses crues.

Sur l'ensemble du bassin versant du Grenand trois chiffres peuvent être retenus:

Volume écoulé :  $9.2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$   
 Débit spécifique:  $33 \text{ l/s/km}^2$   
 Lamé d'eau écoulée: 1042 mm

Sur le bassin du Grenand amont, les résultats deviennent:

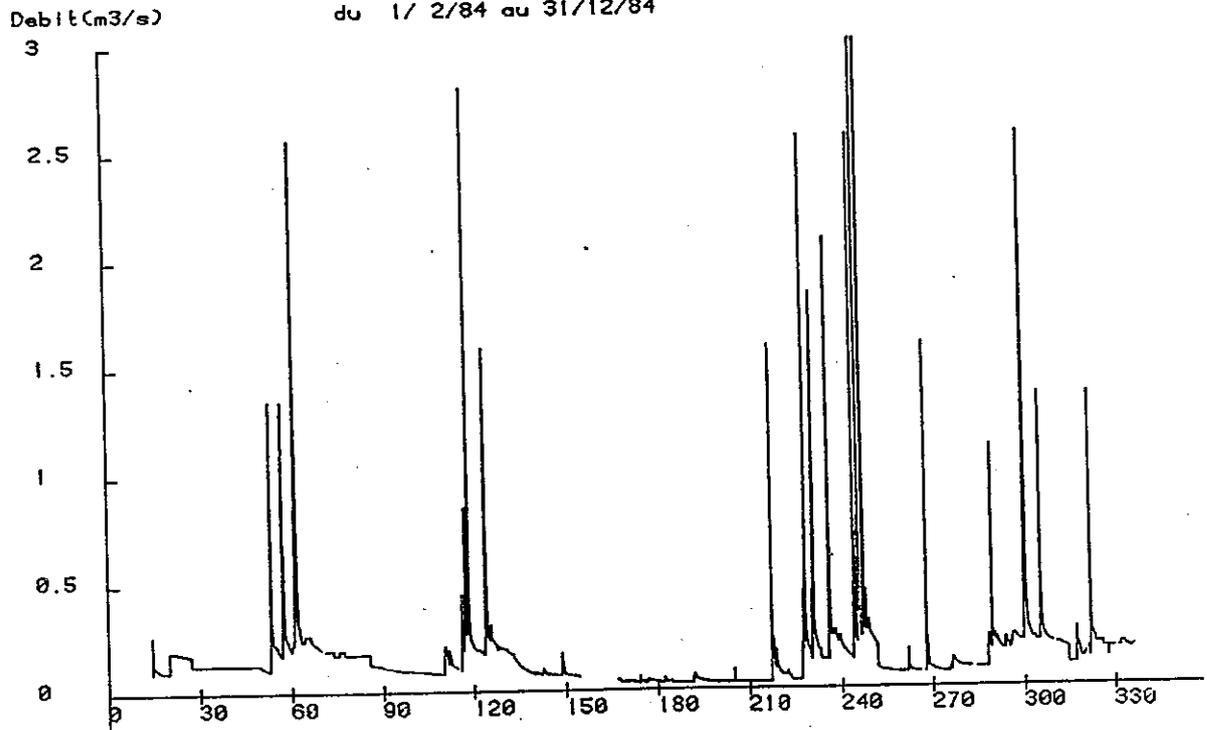
Volume écoulé:  $6.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$   
 Débit spécifique:  $46 \text{ l/s/km}^2$   
 Lamé d'eau écoulée: 1465 mm

La figure n°44 présente la courbe des débits classés des deux stations de jaugeages. Ces deux courbes ont été établies en utilisant les débits moyens journaliers de la période de septembre 1984 à septembre 1985.

Cette figure montre que le débit mesuré à l'aval est peu différent de celui mesuré à l'amont principalement pour les débits peu importants. La différence comprise entre les deux courbes correspond au débit qui transite par le ruisseau de Quinze-Sous, et cette différence apparaît peu représentative des débits constatés sur ce ruisseau. Il faut alors envisager le fonctionnement déficitaire de la station de Grenand aval: l'explication suivante peut être donnée: lors de la réalisation de la station, le ruisseau du Grenand a été détourné de son cours, une fois le seuil construit, le cours provisoire a été comblé par du tout-venant (blocs calcaires, galets, graviers...), mais la compaction insuffisante de ce matériau peut avoir laissé subsister une perméabilité importante qui permet aux écoulements de court-circuiter la station de mesure. Cette remarque incitera à la plus grande prudence quant à l'interprétation des bilans.

## LE GRENAND AMONT

HYDROGRAMME  
du 1/ 2/84 au 31/12/84



## LE GRENAND AMONT

HYDROGRAMME  
du 1/ 1/85 au 2/12/85

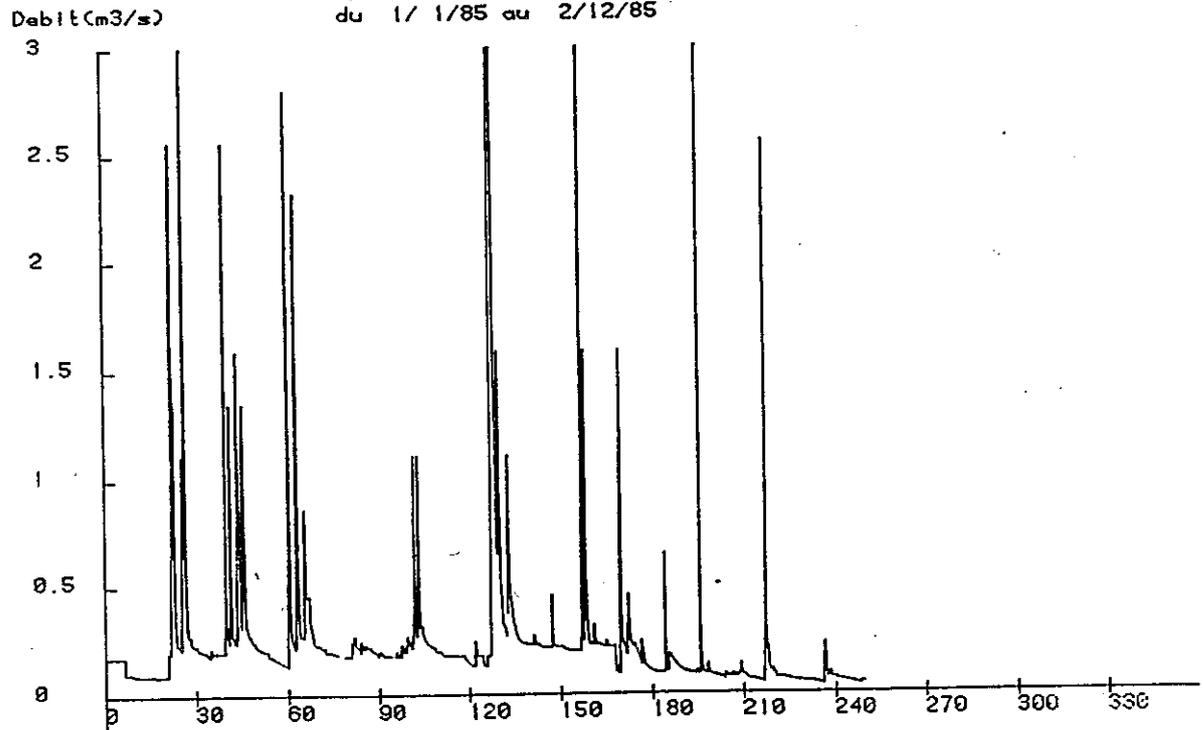
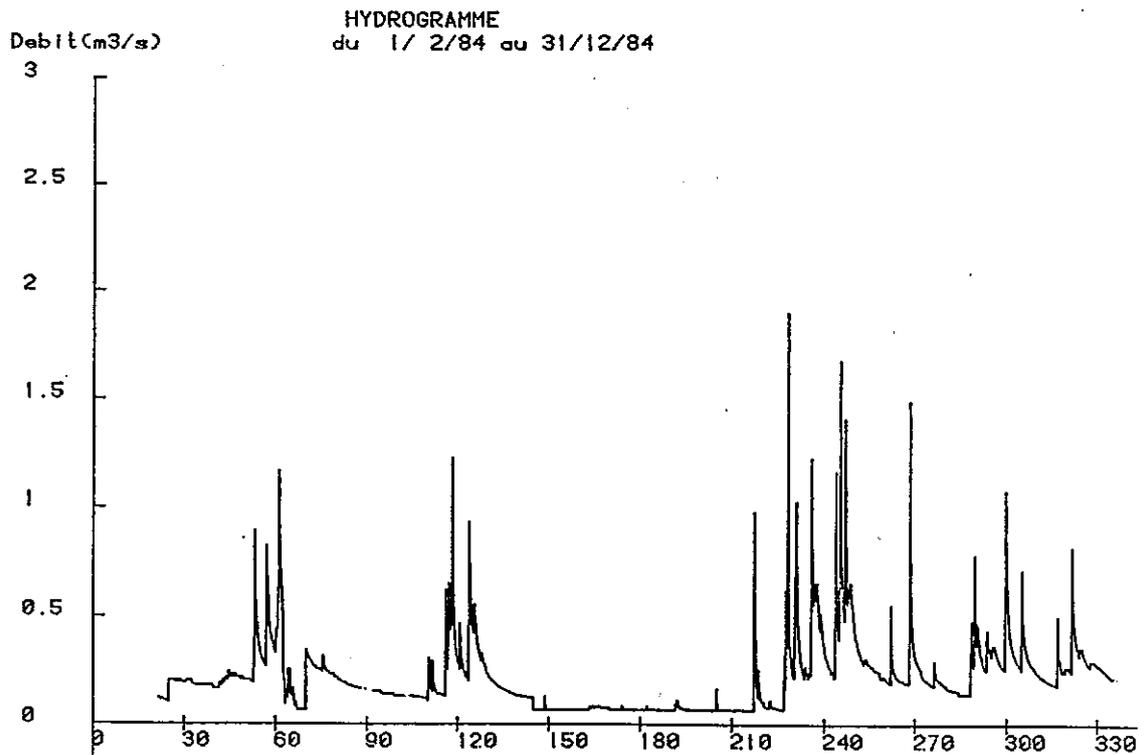


Figure n°42 Limnigramme annuel de la station de Grenand supérieur.

## LE GRENAND AVAL



## LE GRENAND AVAL

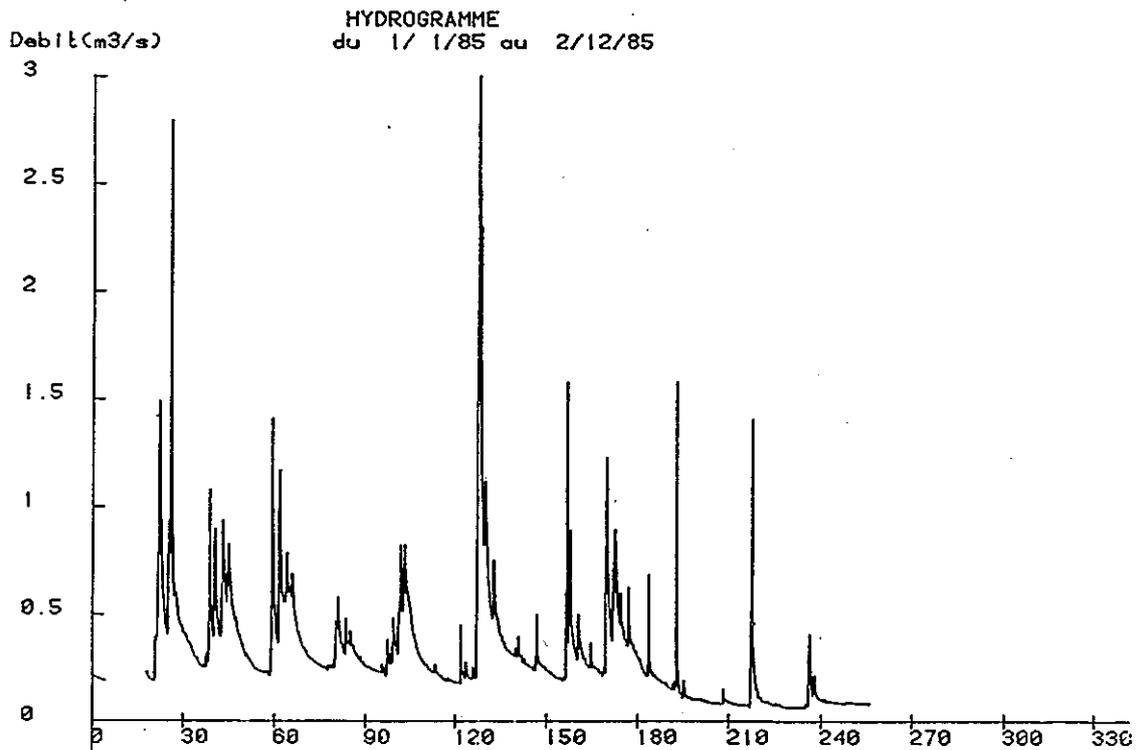


Figure n°43 Limnigramme annuel de la station de Grenand inférieur.

Mois	V. écoulé m <sup>3</sup>	D. moyen m <sup>3</sup> /s	D. spécifique m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	Lame d'eau écoulée mm
S	422 496	0.163	0.0380	99
O	524 966	0.196	0.0457	122
N	458 784	0.177	0.0413	107
D	490 147	0.183	0.0427	114
J	562 464	0.210	0.0490	131
F	633 330	0.262	0.0611	148
M	709 776	0.265	0.0618	166
A	578 016	0.223	0.0520	135
M	819 590	0.306	0.0713	191
J	616 896	0.238	0.0555	144
J	267 840	0.100	0.0233	62
A	198 202	0.074	0.0172	46
<i>Année</i>	6 283 007	0.199	0.0464	1465

Tableau n° 17 Dépouillement des limnigrammes du Grenand supérieur  
année 1984-85. V.= Volume, D.= Débit.

Mois	V. écoulé m <sup>3</sup>	D. moyen m <sup>3</sup> /s	D. spécifique m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup>	Lame d'eau écoulée mm
S	655 776	0.253	0.0287	74
O	916 013	0.342	0.0387	104
N	658 368	0.254	0.0288	75
D	688 349	0.257	0.0291	78
J	964 313	0.360	0.0408	109
F	892 685	0.369	0.0418	101
M	1 055 289	0.394	0.0446	120
A	749 088	0.289	0.0327	85
M	1 130 285	0.422	0.0478	128
J	922 752	0.356	0.0403	104
J	329 443	0.123	0.0139	37
A	235 699	0.088	0.0100	27
<i>Année</i>	9 198 060	0.291	0.0333	1042

Tableau n° 18 Dépouillement des limnigrammes du Grenand total  
année 1984-85. V.= Volume, D.= Débit.

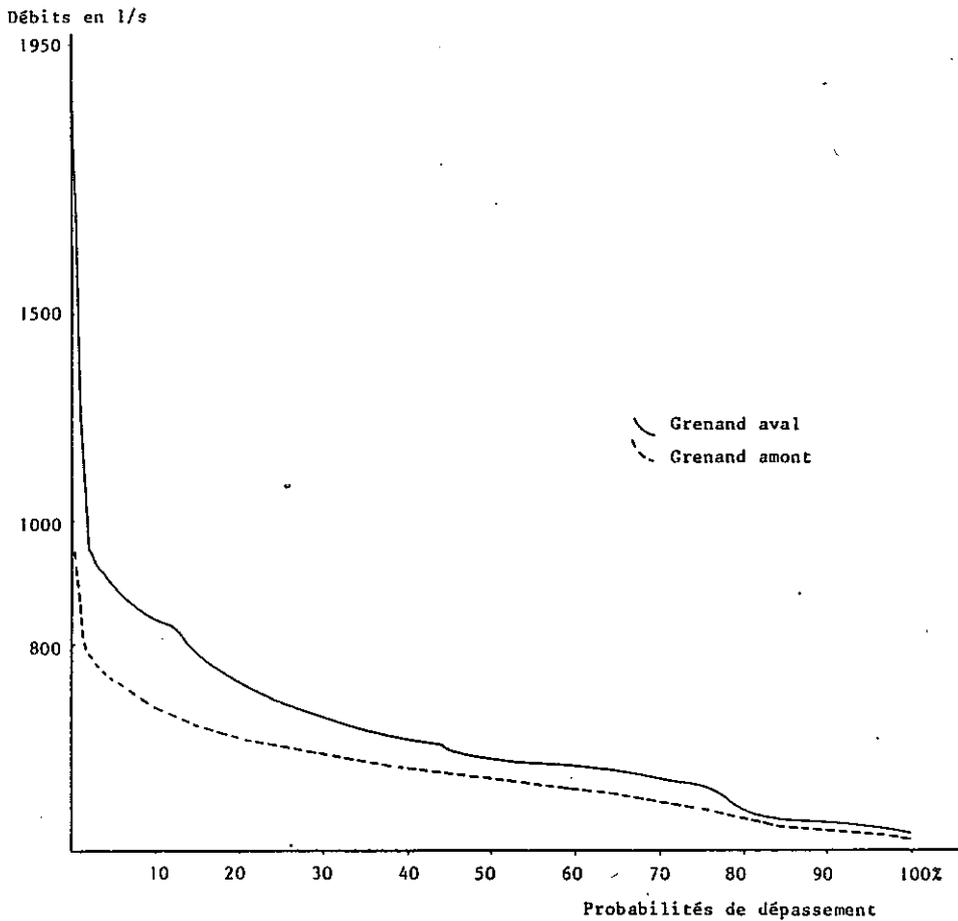


Figure n°44 Courbe des débits classés des stations de Grenand supérieur et de Grenand inférieur.

### 3 - ÉTUDE DE LA RELATION NAPPE COURS D'EAU LE LONG DU RUISSEAU DE QUINZE-SOUS

En traversant la plaine de Bagné, le ruisseau de Quinze-Sous présente des variations de débit. Pour quantifier ces variations, trois jaugeages ont été effectués le 11 juin 1985 en période de début de tarissement.

Le débit du ruisseau de Grenand amont correspond à un débit journalier dépassé par 50% des débits ( 275 l/s, figure n°44).

Les débits jaugés d'amont en aval sont les suivants (fig.n°45):

J1 = 157 l/s

J2 = 150 l/s

J3 = 140 l/s

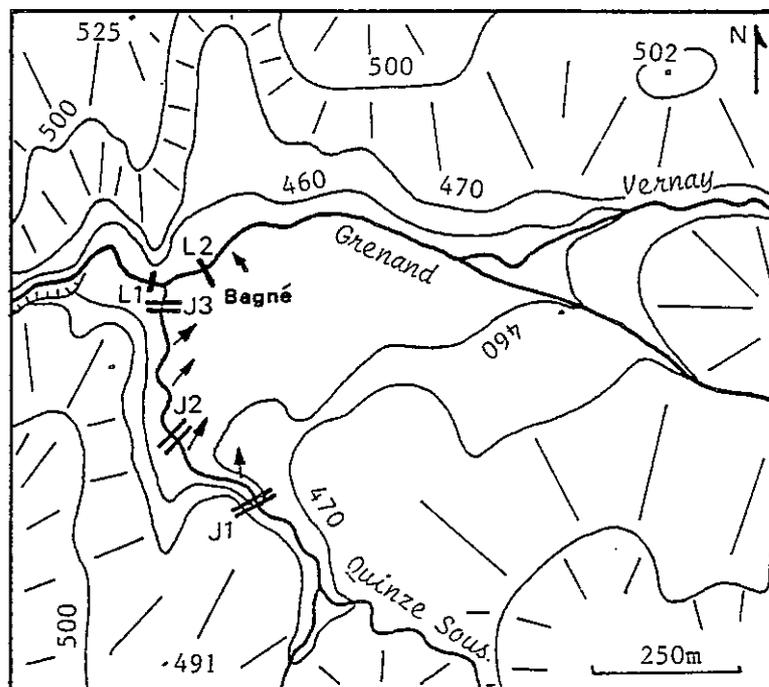


Figure n°45 Jaugeages différentiels du ruisseau de Quinze Sous.

Les jaugeages montrent une perte de 11% du débit total initial en direction de la plaine du Bagné. Cette eau alimente la nappe phréatique qui se vidange dans le ruisseau du Grenand supérieur en amont de la station limnimétrique L1.

Cette constatation explique pourquoi, malgré des bassins versants de dimensions comparables, au confluent des deux ruisseaux, le débit du Quinze-Sous est inférieur à celui du Grenand.

Le débit qui transite dans la plaine du Bagné est estimé à 11% du débit arrivant dans le ruisseau, ce débit correspond à une valeur particulière du jour de la mesure. Mais par l'observation des courbes de débit classé, il paraît possible de considérer cette valeur comme représentative d'une valeur moyenne du transit annuel.

## 4 - HYDRODYNAMIQUE

### 4.1 - LES METHODES D'ANALYSE DES DEBITS

Pour étudier le tarissement d'un bassin, la formule utilisée est celle de MAILLET qui admet la décroissance exponentielle du débit en fonction du temps:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

$t$  = temps écoulé depuis le début du tarissement (exprimé en jours);

$Q_0$  = débit à l'instant initial: au début du tarissement;

$Q_t$  = débit à l'instant  $t$ ;

$e$  = 2.718, la base des logarithmes népériens;

$\alpha$  = coefficient de tarissement, égal à  $1/T$  où  $T$  est le temps nécessaire pour que le débit décroisse dans un rapport de 1 à  $1/e$ .

En coordonnées semi-logarithmiques, cette expression devient:

$$\alpha = \frac{\log.Q_0 - \log.Q_t}{0.4343. t}$$

La décroissance du débit est représentée par une droite de pente  $\alpha$ .

L'intégration de la formule en fonction du temps permet d'évaluer le stock d'eau disponible  $W$ , contenu dans les réserves souterraines à un instant  $t$ , à partir du débit  $Q_t$  correspondant à cet instant.

$$W = \int_0^{\infty} Q_0 e^{-\alpha t} dt = \frac{Q_0}{\alpha}$$

Ce volume  $W$  correspond en fait au volume théorique qui peut être restitué à l'exutoire.

### 4.2 - LES CRUES DU BASSIN DU GRENAND AMONT

Pour étudier le tarissement des bassins versants ainsi que le volume des réserves, il est apparu intéressant d'étudier quatre crues sur le bassin réduit du Grénand amont où l'ensemble des caractéristiques des terrains et des écoulements est bien connu. Tandis que sur le bassin du Grénand total interviennent les pompages et rejets de la laiterie-fromagerie d'Attignat-Oncin dont le fonctionnement peut modifier les débits du ruisseau de Quinze-Sous. Ces modifications sont surtout sensibles sur les études à court terme comme les études de décrues.

Trois crues ont été détaillées en s'intéressant au phénomène de récession observé durant douze jours.

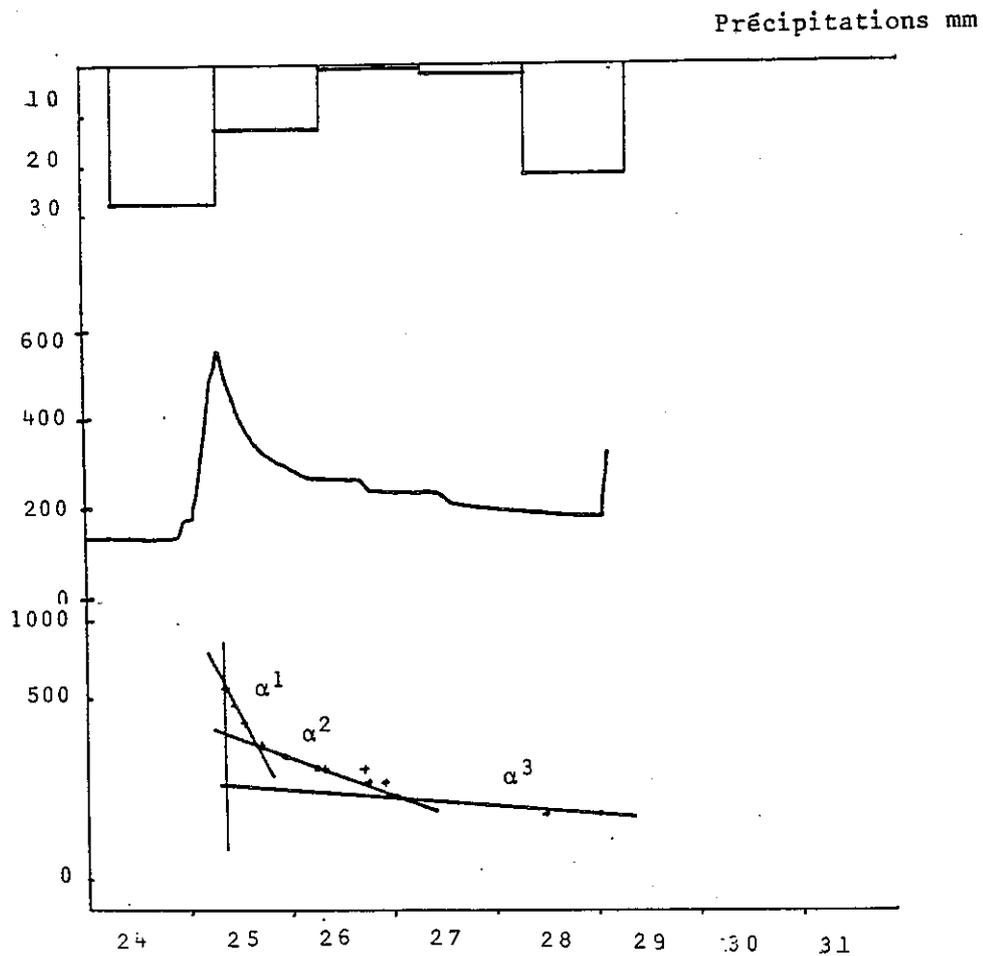


Figure n°46 Analyse du tarissement du Grenand supérieur, crue du 24 mars 1984.

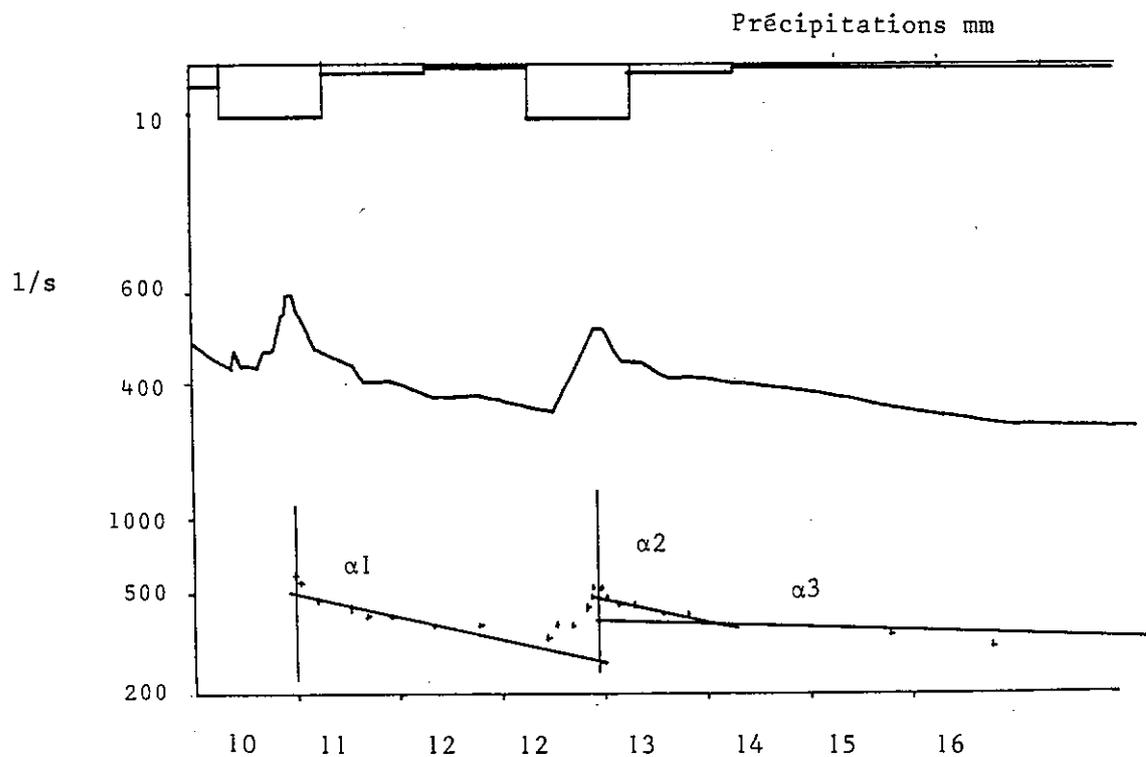


Figure n°47 Analyse du tarissement du Grenand supérieur, crue du 7 mai 1985.

Crue	24.03.84	07.05.85	06.06.85
$Q_0$	263 l/s	200 l/s	360 l/s
$\alpha_1$	0.898	0.249	0.369
$\alpha_2$	0.140	0.204	0.478
$\alpha_3$	0.075	0.045	0.045
W	230 000 m <sup>3</sup>	700 000 m <sup>3</sup>	500 000 m <sup>3</sup>

Tableau n°19: Résultats des analyses des courbes de tarissement. Les réserves sont exprimées en mètres cubes.

Le choix s'est porté sur des crues dont l'impulsion pluviométrique initiale est brève et intense; durant le tarissement n'interviennent pas de nouveaux épisodes de précipitation.

Les figures n° 46 à 48 représentent les trois épisodes de crue analysés. Les calculs des coefficients de tarissement ont été effectués pour les différentes phases, puis la courbe de décrue finale a donné lieu au calcul de volume des réserves. Le tableau n°19 donne les résultats des calculs.

Le coefficient de tarissement  $\alpha_1$  représente pour la crue de mars le début du tarissement; durant cette phase, les écoulements les plus rapides sont évacués par l'exutoire, leur faible volume se traduit par un coefficient  $\alpha_1$  élevé. Pour les deux crues de 1985, ce coefficient  $\alpha_1$  correspond à l'impulsion de la crue précédente. Le débit initial des deux crues étant le même, la différence du coefficient de tarissement s'explique par une réaction distincte du bassin par suite de la combinaison de l'épisode de crue étudié avec un épisode précédent qui se trouve dans une phase de tarissement différente.

Le coefficient de tarissement  $\alpha_2$  représente la décrue de la phase précédant la phase finale. Cette phase correspond à une vidange d'aquifère à porosité élevée. La variation de l'état hydrique des terrains au moment de la décrue et la difficulté de définir le coefficient intermédiaire entre  $\alpha_1$  et  $\alpha_3$ , expliquent la différence observée pour les trois crues.

Le troisième coefficient  $\alpha_3$  représente le tarissement proprement dit: c'est la vidange naturelle des aquifères après un épisode pluvieux en régime non influencé. Le calcul du volume des réserves lié à chaque épisode de crue est calculé à l'aide de ce dernier coefficient et,

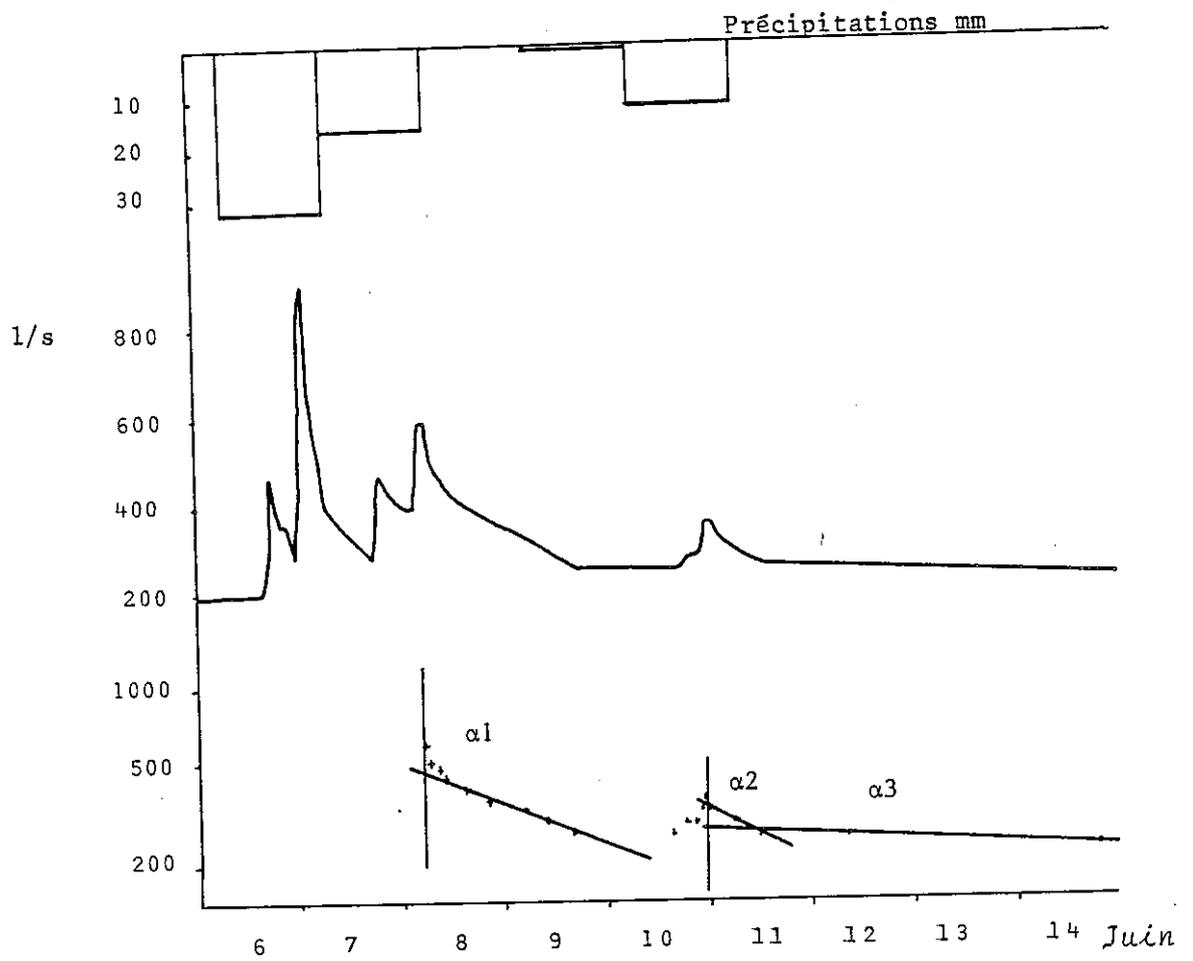


Figure n°48 Analyse du tarissement du Grenand supérieur, crue du 6 juin 1985.

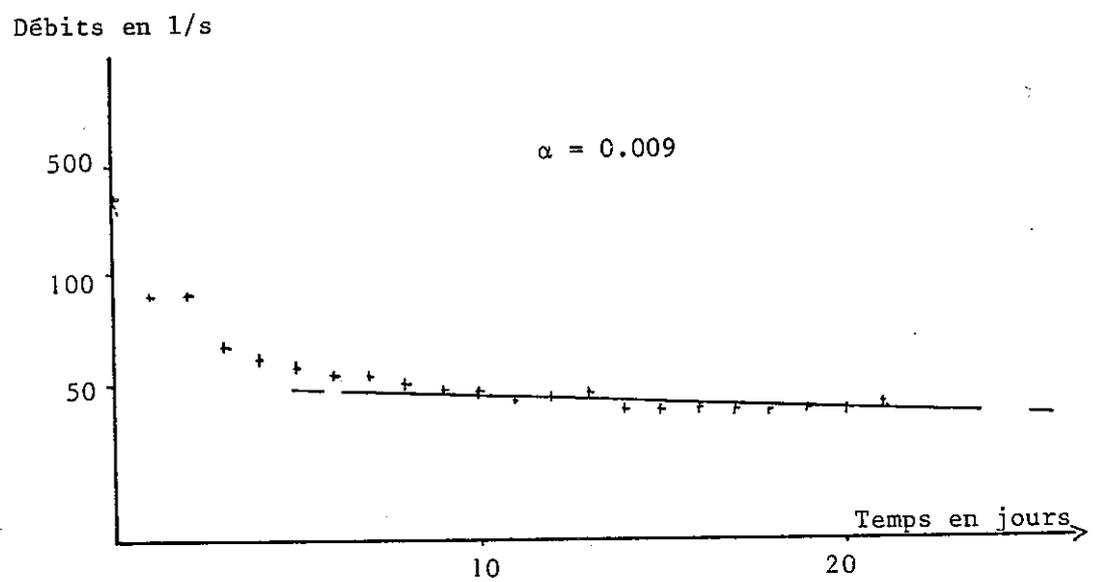


Figure n°49 Analyse du tarissement du Grenand supérieur, crue du 25.08.85.

le volume des réserves dépend du débit initial de la phase de décrue ( $Q_t$ ). Lors de l'épisode de mars 1984 une partie des précipitations a été immobilisée sous forme de neige en altitude et la partie du bassin concernée par l'épisode pluvieux se trouve réduite à l'aire située dans la partie aval. Ainsi, les réserves donnant lieu au tarissement étant proches de l'exutoire, la réponse de l'aquifère est plus rapide, le coefficient relativement élevé et le volume des réserves limité.

Le calcul du coefficient  $\alpha$  3 donne pour les épisodes de mai et juin 1985 des valeurs identiques, plus faibles que celles obtenues en mars 1984, le bassin dans son ensemble étant concerné par ces crues. Des aquifères à transmissivité plus limitée que ceux mis en évidence par le coefficient  $\alpha$  2, sont mis à contribution. Le volume des réserves montré par les calculs, présente des valeurs relativement élevées en particulier en mai, où une succession d'épisodes pluvieux a rechargé les aquifères avant l'épisode qui a donné lieu à cette étude. En juin, les épisodes pluvieux précédents ont été moins intenses et les réserves sont plus faibles.

Une quatrième crue a été étudiée (figure n°49): celle du 25/8/1985 dont le tarissement s'est prolongé jusqu'au 14 septembre. Les calculs conduits sur les débits moyens journaliers donnent un coefficient de tarissement  $\alpha = 0.009$  et un volume de réserves  $W_0 = 450\ 000\ m^3$ . Ceci indique que le coefficient  $\alpha$  peut atteindre de très faibles valeurs malgré le fait que les réserves restent à un niveau relativement élevé. Juste après la crue de juin 1985, le coefficient de tarissement valait 0,045; il est divisé par cinq en l'espace de deux mois. Le niveau très bas du coefficient de tarissement indique que l'on s'intéresse ici aux réserves d'un ensemble aquifère à transmissivité très limitée, mais dont la porosité est suffisante pour assurer des réserves conséquentes. Ainsi les  $500\ 000\ m^3$  montrés par l'étude du tarissement de la crue de juin 1985 correspondent à un niveau aquifère distinct de celui contenant les  $450\ 000\ m^3$  montrés par la crue d'août 1985.

## 5 - L'ÉVAPOTRANSPIRATION

L'évapotranspiration constitue un élément important du bilan hydrologique: elle représente les phénomènes d'évaporation au niveau du sol ainsi que la transpiration des végétaux.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Température	9.8	6;4	4.1	-2.5	-10.3	-1.8	-1.4	5,0	7.9	11.8	16.2	14.1	4.94
Insolation	158	118	86	67	56	92	111	206	166	246	307	279	1892
Ig	289	186	116	83	89	161	226	395	375	516	552	488	
ETP	54	28	14	0	0	0	0	44	59	100	125	104	528

Tableau n°20: calcul de l'E.T.P, Bassin du Grenand total calcaire

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Température	12.6	9.2	6.9	0.3	-7.5	1,0	1.4	7.8	10,7	14.6	19.0	16.9	7.74
Insolation	158	118	86	67	56	92	111	206	166	246	307	279	1892
Ig	289	186	116	83	89	161	226	395	375	516	552	488	
ETP	62	36	21	1	0	5	9	61	71	112	135	114	627

Tableau n°21: Calcul de l'E.T.P, Bassin du Grenand total non calcaire.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Température	9.7	6;3	4.0	-2.6	-10,4	-1,9	-1,5	4.9	7.8	11.7	16,1	14,0	4,84
Insolation	158	118	86	67	56	92	111	206	166	246	307	279	1892
Ig	289	186	116	83	89	161	226	395	375	516	552	488	
ETP	53	28	14	0	0	0	0	44	58	99	125	104	525

Tableau n°22: calcul de l'E.T.P Bassin de Grenand supérieur calcaire

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Température	12.7	9.3	7.0	0.4	-7.4	1.1	1.5	7.9	10,8	14,7	19,1	17,0	7,84
Insolation	158	118	86	67	56	92	111	206	166	246	307	279	1892
Ig	289	186	116	83	89	161	226	395	375	516	552	488	
ETP	62	36	21	1	0	6	10	61	71	112	135	114	629

Tableau n°23: calcul de l'E.T.P Bassin de Grenand supérieur non calcaire.

Le calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) quantifie le volume d'eau qui peut être consommé en faisant abstraction du volume d'eau réellement disponible. A partir des valeurs de l'ETP, l'ETR (évapotranspiration réelle) sera calculée; elle tient compte de l'eau disponible pour l'évaporation; le calcul sera mené lors de l'étude de bilan .

### 5.1 - METHODE DE CALCUL

La quantification de l'ETP est basée sur des formules empiriques établies par divers auteurs, chacune étant plus ou moins bien adaptée à une région donnée. La formule de L. TURC apparaît comme la mieux adaptée à la région Rhône-Alpes (J.C. FOURNEAUX et J. SARROT-REYNAULD, 1977).

$$ETP = 0,40 \left( \frac{t}{t + 15} \right) \times (I_g + 50)$$

$$\text{Avec } I_g = I_{g_A} \times \left( 0,18 + 0,62 \frac{h}{H} \right)$$

Dans laquelle:

- h est la durée mensuelle d'insolation en heure par mois;
- H est la durée mensuelle d'insolation maximale possible en heures par mois;
- $I_{g_A}$  représente l'énergie de la radiation solaire atteignant le sol, sans atmosphère, exprimée en  $\text{cal/cm}^2/\text{jour}$ ;
- $I_g$  est alors l'énergie globale moyenne de radiation solaire, exprimée en  $\text{cal/cm}^2/\text{jour}$ ;
- t est la température moyenne mensuelle en degré Celsius.

Le calcul donne alors l'ETP représentée par une hauteur d'eau exprimée en millimètres.

Les valeurs de H et  $I_g$  sont fournies par des tables (de MARSILY, 1981). La valeur de h est celle obtenue au paragraphe précédent. Les valeurs de t ont été calculées à l'aide du gradient d'ANGOT pour les altitudes moyennes des bassins versants.

### 5.2 - LES RESULTATS

Les tableaux n° 20 à 23 donnent les résultats des calculs effectués distinctement sur les parties calcaires et molassiques des bassins étudiés. Les calculs ont été conduits mois par mois, tout le long de l'année hydrologique.

Les valeurs annuelles de l'ETP obtenues sont de l'ordre de 525 et 625 mm, respectivement pour les bassins calcaires et molassiques. La différence d'altitude moyenne des bassins calcaires et molassiques

(environ 500 m) se traduit par une différence d'ETP voisine de 100 mm.

## 6 - LA SUBLIMATION

Durant les périodes enneigées une part non négligeable de la couverture neigeuse passe directement de la phase solide à la phase vapeur. Cette perte est difficilement quantifiable du fait de la variabilité de l'étendue de la couverture neigeuse durant toute la période froide.

L'étude de P. BERGERET (1981) a montré que la valeur de la sublimation à adopter dans nos régions était de l'ordre de 10% des précipitations durant la période de maintien du manteau neigeux. J'estime que pour le Bugey-Savoyard, ce terme peut être réduit à 7,5 % du fait de la discontinuité de la couverture. La période à considérer s'étend de Décembre à Mars et la sublimation de la neige correspond alors à une lame d'eau de 43 mm pour chaque bassin.

## 7 - LE BILAN

### 7.1 - L'EXPRESSION DU BILAN

Le calcul du bilan hydrogéologique a pour but de comparer les volumes d'eau qui entrent dans le bassin avec ceux qui sont mesurés à l'exutoire, afin de connaître d'éventuelles pertes (volume à l'exutoire déficitaire) ou des apports inapparents (volume à l'exutoire excédentaire).

Les termes du bilan sont les suivants:

#### Entrées

- P : alimentation par les précipitations;
- Q<sub>a</sub> : apports souterrains provenant de l'extérieur du bassin;
- R<sub>1</sub> : réserves au début de la période considérée.

#### Sorties

- ETR: évaporation réelle sur le bassin;
- Q<sub>f</sub> : fuites souterraines du bassin;
- R<sub>2</sub> : réserves à la fin de la période considérée;
- L<sub>2</sub> : lame d'eau écoulee à l'exutoire;
- S<sub>b</sub> : sublimation de la neige

L'équation du bilan s'écrit:

$$P + Q_a + R_1 = ETR + Q_f + R_2 + L_2 + S_b$$

ou encore

$$Q_f - Q_a = P + R_1 - (ETR + R_2 + L_e + S_b)$$

Tous ces termes sont exprimés en hauteur d'eau (millimètres) que l'on considère répartie sur l'ensemble du bassin versant.

## 7.2 - INCERTITUDES LIEES AUX CALCULS

Malgré les précautions prises lors de l'exécution des mesures, une certaine incertitude subsiste du fait de l'imprécision des appareils.

Cette incertitude peut être estimée à 5% des valeurs mesurées pour la sublimation et les précipitations et à 10% pour l'ETR. Lors de l'évaluation de la variation des réserves, l'erreur relative peut être considérée comme négligeable. La lame d'eau écoulée,  $L_e$ , est donnée par le rapport  $Q_e/A$  (où  $Q_e$  représente le débit écoulé et  $A$  l'aire du bassin), d'où:

$$\frac{\delta L_e}{L_e} = \frac{\delta Q_e}{Q_e} + \frac{\delta A}{A}$$

Les incertitudes liées à  $Q_e$  et à  $A$  peuvent être évaluées à 5%.

Ainsi l'incertitude sur le bassin s'écrit:

$$\frac{\delta (Q_f - Q_a)}{(Q_f - Q_a)} = \frac{\delta P}{P} + \frac{\delta ETR}{ETR} + \frac{\delta Q_e}{Q_e} + \frac{\delta A}{A} + \frac{\delta S_b}{S_b}$$

$$\frac{\delta (Q_f - Q_a)}{(Q_f - Q_a)} = 30\%$$

## 7.3 - LE BILAN HYDRIQUE SELON C.W. THORNTHWAITTE

Le calcul du bilan hydrique selon C.W. THORNTHWAITTE permet de connaître l'évapotranspiration réelle (ETR) et la lame d'eau ruisselée en fonction des précipitations et de l'ETP.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P	325	190	146	155	200	150	204	138	247	226	98	160	2239
ETP	54	28	14	0	0	0	0	44	59	100	125	104	528
P - ETP	271	162	142	155	200	150	204	94	188	126	-27	56	1711
Réserve	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	23	50	
ETR	54	28	14	0	0	0	0	44	59	100	125	104	528
L.ruisselée	221	162	132	155	200	150	204	94	188	126	0	29	1661

Tableau n°24 Calcul du bilan, bassin du Grenand total calcaire.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P	286	151	107	116	161	111	165	99	208	187	59	121	1771
ETP	62	36	21	1	0	5	9	61	71	112	135	114	627
P - ETP	224	115	86	115	161	106	156	38	137	75	-76	7	1144
Réserve	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	24	331	
ETR	62	36	21	1	0	5	9	61	71	112	135	114	627
L.ruisselée	124	115	86	115	161	106	156	38	137	75	0	0	1113

Tableau n°25 Calcul du bilan, bassin du Grenand total non calcaire.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P	325	191	147	156	201	151	205	139	248	227	99	161	2251
ETP	53	28	14	0	0	0	0	44	58	99	125	104	525
P - ETP	272	163	133	156	201	151	205	95	190	128	-26	57	1726
Réserve	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	24	50	
ETR	53	28	14	0	0	0	0	44	58	99	125	104	525
L.ruisselée	222	163	133	156	201	151	205	95	190	128	0	31	1676

Tableau n°26 Calcul du bilan, bassin du Grenand supérieur calcaire.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P	285	150	106	115	160	110	164	98	207	186	58	120	1759
ETP	62	36	21	1	0	6	10	61	71	112	135	114	629
P - ETP	223	114	85	114	160	104	154	337	136	74	-77	6	1130
Réserve	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	23	29	
ETR	62	36	21	1	0	6	10	61	71	112	135	114	629
L.ruisselée	123	114	85	114	160	104	154	37	136	74	0	0	1101

Tableau n°27 Calcul du bilan, bassin du Grenand supérieur non calcaire.

Ce calcul nécessite la connaissance de la valeur de la réserve en eau du sol. Cette réserve correspond à de l'eau stockée dans le sol qui permet aux végétaux de s'alimenter en l'absence de précipitation. Si l'apport des précipitations est supérieur à la réserve disponible, l'excédent constitue la lame d'eau ruisselée ou "water-surplus". Si les précipitations sont plus faibles que l'évapotranspiration, celle-ci consommera l'eau de la réserve du sol. La valeur de cette réserve en eau est généralement estimée à une hauteur d'eau de 100 mm en France. Cette valeur peut être adoptée ici pour les terrains non calcaires. Mais, sur les calcaires karstifiés, l'infiltration rapide des eaux dans les avens et lapiaz ne laisse que très peu d'eau disponible près de la surface du sol pour l'évapotranspiration. La réserve en eau à considérer est beaucoup plus faible: la valeur de 50 mm, généralement admise pour les terrains karstiques, sera retenue ici.

Au début de l'année hydrologique (septembre 1984), les réserves peuvent être considérées comme inexistantes ( $R_1 = 0$ ), car l'étiage de l'été 1984 a été particulièrement sévère (les probabilités de non dépassement des précipitations de juin, juillet et août sont respectivement de 0,24, 0,05 et 0,15).

Pour le calcul du bilan hydrique, les valeurs de précipitations et d'ETP sont celles obtenues précédemment. Les tableaux n°24 à N°27 donnent les résultats du bilan hydrique sous forme de lame d'eau ruisselée, cette lame d'eau correspond à la différence  $(P + R_1) - (ETR + R_2)$ .

Les lames d'eau ont été calculées distinctement sur les parties calcaires et non calcaires des bassins de manière à tenir compte de la différence du comportement des deux parties des bassins. Pour connaître la valeur des lames d'eau ( $L$ ) sur l'ensemble du bassin, il faut calculer la moyenne pondérée par les surfaces  $A_1$  et  $A_2$  des lames d'eau de chaque partie du bassin ( $L_1$  et  $L_2$ ).

$$L = \frac{(L_1 A_1 + L_2 A_2)}{A_1 + A_2}$$

Le tableau n°28 donne les résultats de l'équation du bilan:

$$Q_f - Q_a = P - L_e - (ETR + R_2)$$

Bassin	P	ETR + R2	Sb	Le	Qf - Qa
Grenand supérieur	1810 ± 90	650 ± 65	43 ± 2	1465 ± 146	347 ± 104
Grenand total	1820 ± 91	650 ± 65	43 ± 2	1042 ± 104	86 ± 26

Tableau n°28 Termes de l'équation du bilan, selon C.W. THORNTHWAITTE.

Valeurs en mm.

#### 7.4 - CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE SELON L. TURC ET BILAN

Une autre méthode de calcul utilisée fréquemment dans le calcul de l'ETR est la formule L. TURC. Cette formule qui a été élaborée pour des études statistiques peut s'appliquer à des études plus limitées dans le temps. La formule de L. TURC s'écrit:

$$E = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$\text{où } L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$$

avec E l'évapotranspiration réelle, annuelle en millimètres.

P: la pluviométrie annuelle en millimètres.

T: la température moyenne annuelle en °C.

Les résultats sont donnés par le tableau n°29.

	Grenand supérieur		Grenand total	
	calcaire	molassique	calcaire	molassique
T °C	4.84	7.84	4.94	7.74
L	427	520	430	517
P. mm	2251	1759	2239	1771
ETR mm	420	501	423	498
ETP moyenne pondérée	492		478	

Tableau n°29 Calcul de l'ETR, selon la méthode de L. TURC. Valeurs en mm.

Le tableau n°30 donne alors les résultats de l'équation du bilan:

$$Q_f - Q_a = P - L_e - ETR - R_2 - S_b$$

Les variations de réserves sont celles obtenues par la méthode de C.W. THORNTHWAITE.

Bassin	P	ETR	Sb	R2	Le	Qf - Qa
Grenand supérieur	1810 ± 90	492 ± 49	43 ± 2	31	1465 ± 73	-221 ± 66
Grenand total	1820 ± 91	489 ± 49	43 ± 2	33	1042 ± 52	+213 ± 64

Tableau n°30 Calcul du bilan hydrogéologique, selon la méthode de L. TURC.

Valeurs en mm.

#### 7.5 - INTERPRETATIONS DU BILAN - Tableau n°31.

	Selon C.W. THORNTHWAITE	Selon L. TURC	Moyenne
Grenand supérieur	- 347 ± 104	- 221 ± 66	- 284 ± 85
Grenand total	+ 86 ± 26	+ 213 ± 64	+ 149 ± 45

Tableau n°31 Récapitulation des résultats des calculs de bilans. Valeurs en mm.

La première remarque à faire est la divergence des résultats obtenus par les deux méthodes employées puisque l'écart dépasse 120 mm, montrant par là la difficulté d'établir précisément le bilan hydrogéologique. J.C. FOURNEAUX et J. SARROT-REYNAULD (1977) ont d'ailleurs montré que l'évaluation du bilan par les différentes méthodes donne des résultats peu représentatifs des phénomènes lorsque les bassins versants sont de dimension restreinte. Les formules employées étant des formules statistiques leur emploi sur une période limitée leur ôte une partie de leur validité. Lors de son étude de la Chartreuse septentrionale, J.P. BOZONAT (1980) a montré que la formule de C.W. THORNTHWAITE était plus spécialement adaptée aux données des années à pluviométrie élevée tandis que la formule de L. TURC est plus adaptée aux données des années dont la pluviométrie est faible ou moyenne. Il est donc justifié de choisir la valeur moyenne entre les deux valeurs obtenues par les formules, l'année étudiée correspondant à une période de précipitations légèrement supérieures à la moyenne interannuelle.

Les calculs ainsi conduits montrent une lame d'eau écoulée déficitaire sur le bassin de Grenand aval et excédentaire sur celui de Grenand amont.

L'excédent observé sur le bassin de Grenand amont ne peut provenir de l'extérieur du bassin de Grenand total. Celui-ci présentant un bassin déficitaire, l'excédent provient donc de l'autre sous-bassin: celui de Quinze Sous. Ceci confirme l'existence du sous-écoulement mis en évidence par les jaugeages différentiels le long de la plaine du Bagné, le sous-écoulement mis en évidence a été jaugé, il correspond à 11% du débit du ruisseau de Quinze Sous. Sur le bilan ce sous-écoulement représente au moins 13,5% des écoulements du ruisseau de Grenand.

L'étude du bilan pratiqué sur le bassin du Grenand total a montré un déficit qui peut être évalué à 8% de la lame d'eau écoulée. Lors de l'étude des débits annuels, un court-circuit des écoulements par les remblais au niveau du seuil aval a été envisagé, ce court-circuit se confirme ici sans qu'il paraisse possible de lui imputer la totalité du déficit. Il est probable qu'une partie des écoulements quitte le bassin versant par des circulations dans la molasse suivant le plongement du synclinal d'Attignat-Oncin. Les niveaux molassiques peuvent permettre une fuite notable que l'on peut approcher par la formule de DUPUIT:

$$Q = K \times S \times I$$

avec le débit moyen écoulé à travers la molasse,

K - la perméabilité des terrains impliqués dans la fuite, la valeur de  $5 \times 10^{-5}$  m/s peut être retenue car D. ROUSSELOT et al. (1978) donnent une évolution des valeurs de  $10^{-5}$  à  $10^{-4}$  dans le bas Dauphiné du Sud au Nord et F. JEANNOLIN (1985) donne une valeur de  $10^{-5}$  dans la partie plus méridionale du Bas Dauphiné.

S - représente la section par laquelle peut se faire l'écoulement cette section peut être schématisée par un rectangle de 15 x 3000m

I - représente le gradient hydraulique par lequel se fait l'écoulement, une valeur de 0.01 sera admise ici.

Les calculs donnent alors un débit de fuite de 23 l/s soit une lame d'eau écoulée de 82 mm. Ce débit complété par une fuite au niveau du seuil de 17 l/s permet d'expliquer le déficit du bilan hydrogéologique annuel du bassin versant du Grenand total.

L'ensemble de ces observations est résumé par le modèle dessiné à la figure n°50. Les chiffres indiquent les différents transits de l'eau exprimés en volume.

Le bilan n'ayant été calculé que pour un bassin limité, durant une période limitée, il convient de s'interroger sur sa validité dans le temps et l'espace.

Dans les bassins de dimension réduite, la réaction aux précipitations est plus nette que sur les bassins de taille plus importante, aussi le bilan calculé sur les données d'une année à pluviométrie moyenne est difficilement extrapolable à des conditions météorologiques différentes, mais il donne une idée de la situation lors d'une année moyenne.

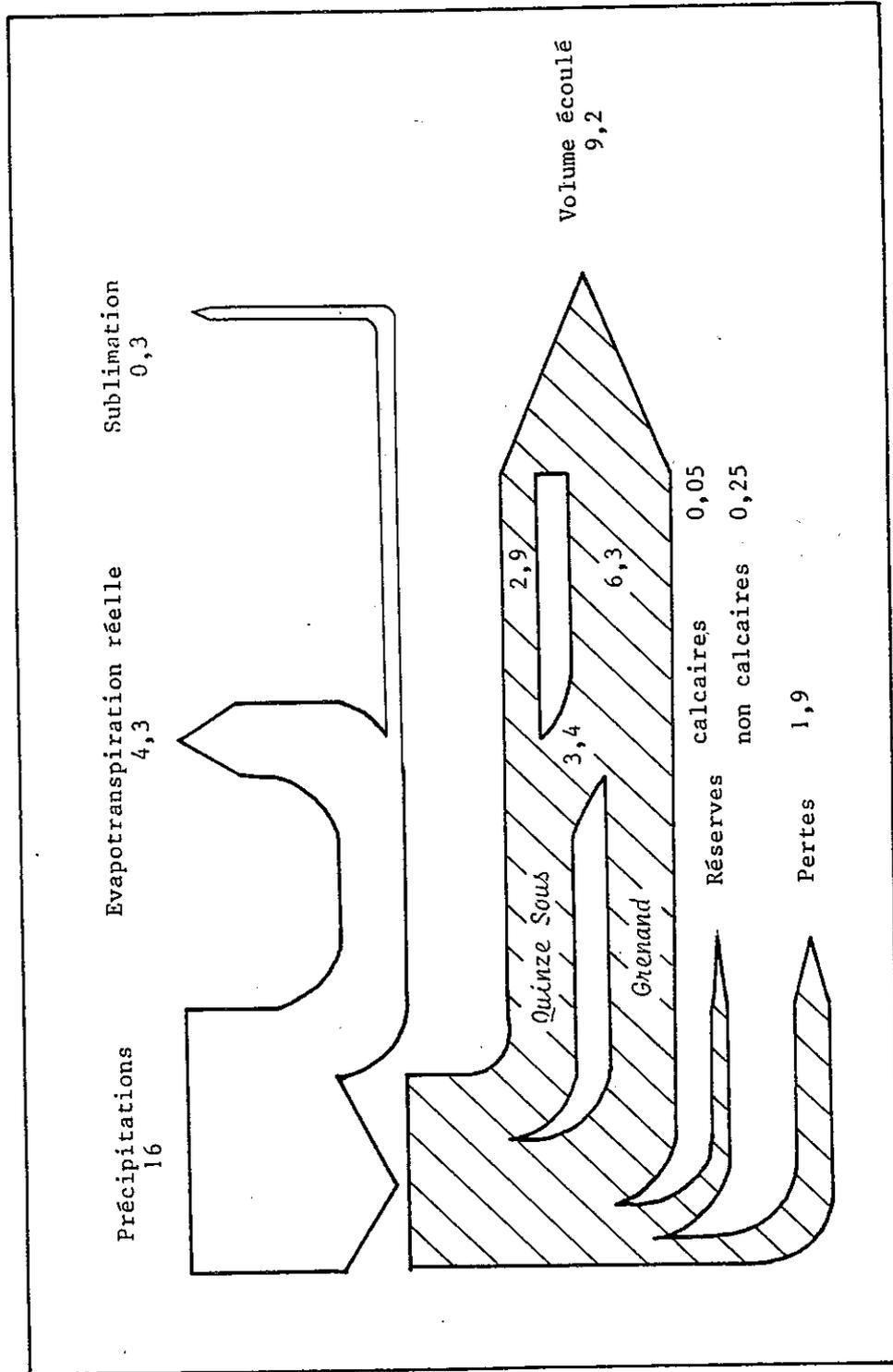


Figure n°50 Modélisation du bilan hydrogéologique du bassin du ruisseau du Grenand.

Volumes transités exprimés en millions de mètres cubes pour l'année hydrologique considérée.

L'application des résultats obtenus, sur les bassins voisins du Bugey Savoyard est tout à fait possible, principalement au Sud. Il apparaît en particulier qu'une lame d'eau écoulée de l'ordre de 1200 mm peut être adoptée pour le bassin du ruisseau de Morges tel qu'il a été décrit au chapitre III. L'extrapolation des résultats au bassin du lac d'Aiguebelle est plus délicate principalement du fait de la présence du lac. En effet, l'évaporation à partir d'une surface libre est toujours plus intense que l'évapotranspiration des terrains; sur les lacs de Laffrey et Petichet, B. DELAQUAIZE (1979) a constaté qu'un accroissement de l'évaporation était de l'ordre de 10%. De plus des pompages réalisés dans le lac alimentent des communes situées à l'extérieur du bassin versant entre La Bridoire et Rochefort, volumes qui ne peuvent pas être évalués.

### CONCLUSION

Les analyses de courbes de décrue ont montré la complexité du bassin où une succession de niveaux aquifères distincts renferment des quantités d'eau appréciables. Suivant le réservoir hydraulique considéré, le coefficient de tarissement varie de 1 à 0,01, tandis que le volume des réserves de chaque niveau reste de l'ordre de 400 000 mètres cubes.

Ce chapitre montre également la difficulté d'établir un bilan précis des écoulements du fait de l'imprécision des calculs relatifs à l'évapotranspiration, ici le comportement de la station de jaugeage du Grenand aval apporte une imprécision supplémentaire. Mais si les résultats chiffrés ne donnent qu'un ordre de grandeur des phénomènes, ils indiquent tous la même chose, c'est-à-dire une fuite supérieure à 100 mm de la lame d'eau écoulée du bassin du Grenand total et un excès de la lame d'eau écoulée depuis le bassin du Grenand amont, cet excès correspond à un transit à travers la plaine du Bagné d'un sous-bassin vers l'autre.

D'un point de vue général, il apparaît que les calcaires karstifiés ne provoquent pas de perturbation dans le calcul du bilan lorsque leur structure est clairement mise en évidence. Par contre, la molasse peut provoquer des perturbations du fait des fortes perméabilités de ces terrains dues en particulier à l'altération en chenaux observée localement.

## CHAPITRE VI

## LES EXSURGENCES

## CARACTERISATION PHYSIQUE ET CHIMIQUE

- 1 - MÉTHODE D'ÉTUDE
- 2 - CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES ÉMERGENCES
- 3 - LES DIFFÉRENTS TYPES D'ÉMERGENCES

---

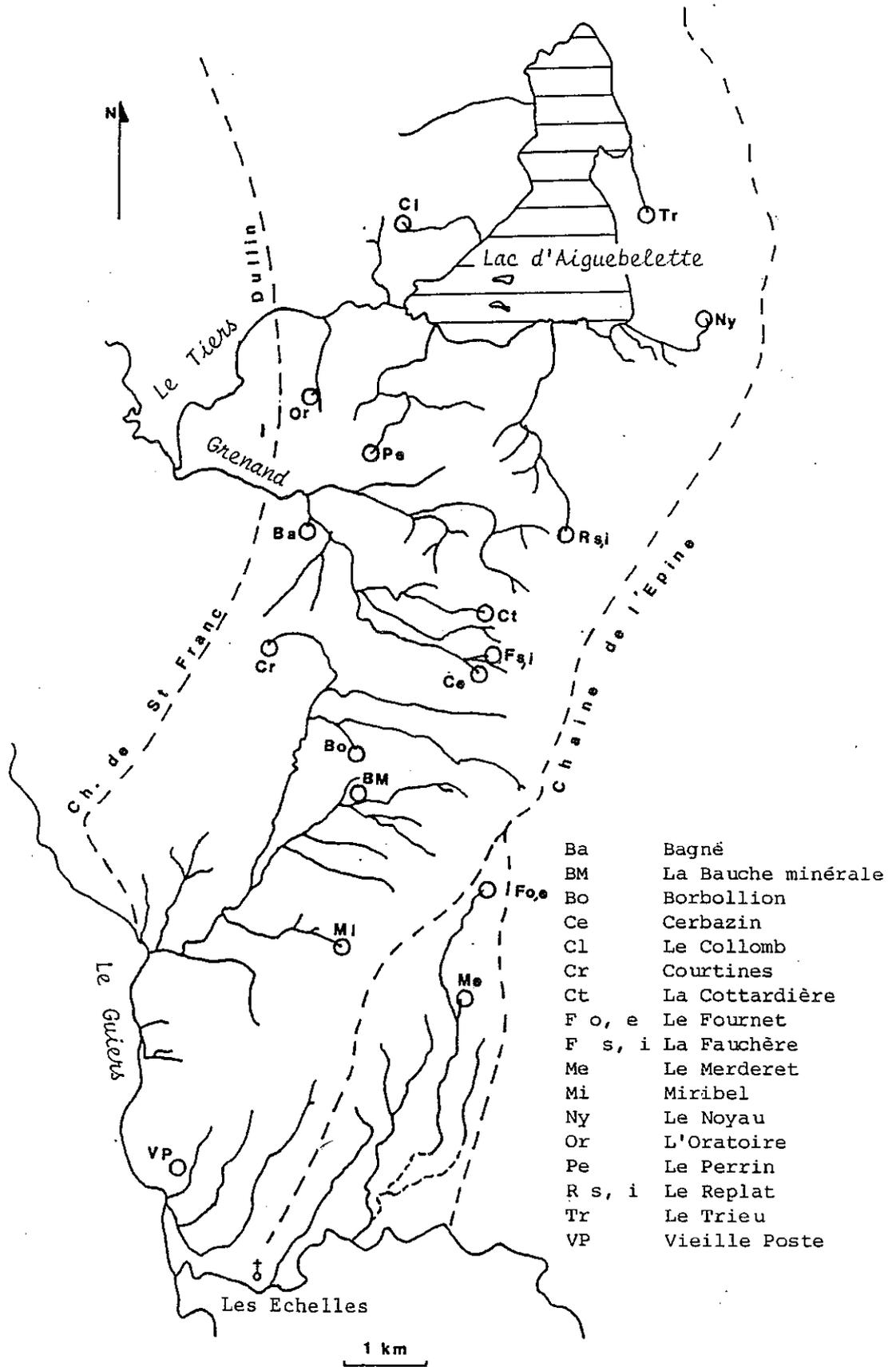


Figure n°51 Situation des sources étudiées.

## CHAPITRE VI

### LES EXSURGENCES, CARACTERISATION PHYSIQUE ET CHIMIQUE

*Les caractères propres des exurgences sont étroitement associés à la nature de l'aquifère situé en amont, ainsi ce chapitre s'intéresse-t-il à reconnaître les comportements des eaux par l'étude des paramètres physiques et l'analyse de la composition chimique.*

#### 1 - MÉTHODE D'ÉTUDE

Durant l'année 1984, un suivi mensuel de paramètres physico-chimiques a été réalisé sur seize sources. Quatre autres sources n'ont donné lieu qu'à des mesures de débit et de température. La localisation des sources étudiées est représentée par la figure n° 51.

Sous le terme de paramètres physiques sont regroupés le débit, la température, la conductivité et le pH des eaux.

L'analyse des éléments chimiques majeurs (Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl et NO<sub>3</sub>) a été menée systématiquement. Des dosages d'éléments traces (SiO<sub>2</sub>, Fe, Mn, Sr, Rb, Li) ont été conduits sur quelques échantillons. Les méthodes d'analyse utilisées sont celles décrites par C. ARMAND et B. DELAQUAIZE (1977).

Ces données ont été traitées à l'aide de programmes informatiques (P. LAMY - 1984, J. GOULARD - 1985).

Les résultats des analyses (insérés à l'annexe n°IV.) ont permis de synthétiser le comportement hydrogéologique des exurgences en fonction de la nature lithologique des aquifères. Pour chaque aquifère, ce chapitre donne les traits communs des émergences, puis un exemple de source est décrit de façon détaillée. Le lecteur intéressé par le comportement des autres sources se reportera à l'annexe n°III. La source minérale de La Bauche a été étudiée de façon plus détaillée (Chapitre VII) du fait de sa minéralisation particulière.

## 2 - CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES ÉMERGENCES

### 2.1 - LES DEBITS

En moyenne, ils ne dépassent pas 1 l/s; seuls certains captages fournissent un débit important (sources du Replat et de La Fauchère). Mais le nombre élevé des sources et leur position en altitude permettant une adduction par gravité leur confère un rôle important dans l'alimentation des communes. Bien que de débit peu important, certaines sources sont intéressantes par la constance de ce débit, comme celle de la Vieille Poste.

Les débits maxima sont liés aux périodes de fortes précipitations en octobre et à la fonte des neiges en février et en avril. Les faibles débits s'observent lorsque l'évapotranspiration est forte et les précipitations sont faibles en juillet et août, le tarissement total de certaines exurgences peut être observé.

### 2.2 - LA TEMPERATURE

La température de l'eau des sources suit celle de l'air avec un certain décalage pour les sources à débit relativement constant. Les forts écarts de température sont liés à de fortes variations de débit, ils indiquent des réserves relativement faibles.

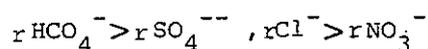
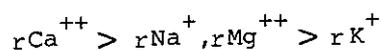
### 2.3 - MINÉRALISATION TOTALE

La minéralisation des sources est très variable, les valeurs constatées sont comprises entre 95 et 740 mg/l. La concentration chimique des eaux est inversement proportionnelle au débit: à l'étiage des minéralisations très fortes peuvent être mesurées, tandis qu'en période de crue cette minéralisation devient très faible.

La faible concentration des eaux indique un transit rapide du point d'infiltration jusqu'à exurgence tandis que les eaux fortement concentrées montrent qu'au cours du séjour souterrain des eaux, elles tendent à s'approcher de l'équilibre chimique avec leurs aquifères.

Toutes les eaux analysées présentent le même faciès chimique avec comme cation dominant le calcium et anion dominant le bicarbonate. Les eaux sont donc toutes bicarbonatées calciques. Ceci correspond bien à la nature géochimique des terrains aquifères: calcaires karstifiés, molasse calcaire et formations quaternaires qui reprennent les éléments locaux, en majorité calcaires.

Les autres ions se maintiennent à des concentrations modeste ne dépassant qu'exceptionnellement 10 mg/l. Ainsi, les eaux rencontrées ont une formule générale qui peut s'écrire:



#### 2.4 - RELATION MINERALISATION TOTALE CONDUCTIVITE (figure n° 52)

L'étude de la corrélation entre la conductivité C, exprimée en  $\mu\text{mho s/cm}$  et ramenée à 25°, et la minéralisation totale M, en mg/l a été réalisée sur 188 couples de valeur. La relation obtenue est la suivante:

$$C = 1,04 M + 7,4$$

Le coefficient de corrélation de 0,97 indique une bonne corrélation. Admettant que la minéralisation et la conductivité suivent des lois normales, la figure n° 52 donne l'intervalle de confiance à 80% de la relation.

Cette même corrélation a été étudiée par H. DEHAYS (1980) à partir de 185 couples de valeur provenant d'eau de la molasse et du Quaternaire du Bas-Dauphiné (région de Paladru, Isère), la relation obtenue est:

$$C = 1,01 M + 1,96$$

De même Y. SAPEY-TRIOMPHE (1984), à partir d'analyses d'eau du Quaternaire de la région d'Aoste (Isère), donne la relation:

$$C = 1,30 M - 69$$

F. BAUDOIN (1984) a également étudié cette relation, les eaux concernées proviennent de la molasse et du karst de l'avant-pays de Chartreuse (région de St-Laurent-du-Pont). Il obtient:

$$C = 1,17 M - 28$$

Les équations ainsi trouvées sont très proches les unes des autres, les différences qui subsistent sont plus liées aux méthodes de mesures et de calculs qu'aux phénomènes eux-mêmes.

De plus, cette relation permet de reconnaître qu'une majorité des eaux gravitent dans un nuage (A) dont la moyenne est représentée par un point de minéralisation totale de 360 mg/l et de conductivité de 375  $\mu\text{mho/cm}$ . A l'extérieur de ce nuage, le groupe noté (B) représente des sources à forte minéralisation, le groupe noté (C) rassemble des eaux peu minéralisées.

Le nuage principal (A) correspond essentiellement aux eaux issues du karst. En (B) se trouvent les eaux de la source minérale de La Bauche, issue de la molasse et la source de La Vieille Poste issue du Quaternaire. Le groupe (C) rassemble des exurgences pour lesquelles les eaux sont issues de terrains divers, mais où le transit est rapide.

Le diagramme minéralisation totale/conductivité ne permet pas de classer les sources suivant un schéma simple, car le transit rapide des eaux dans l'aquifère se rencontre aussi bien dans la molasse que dans les terrains du Quaternaire. Ainsi, l'étude des eaux de source se fera en fonction de la nature de l'aquifère principal qui alimente l'exurgence.

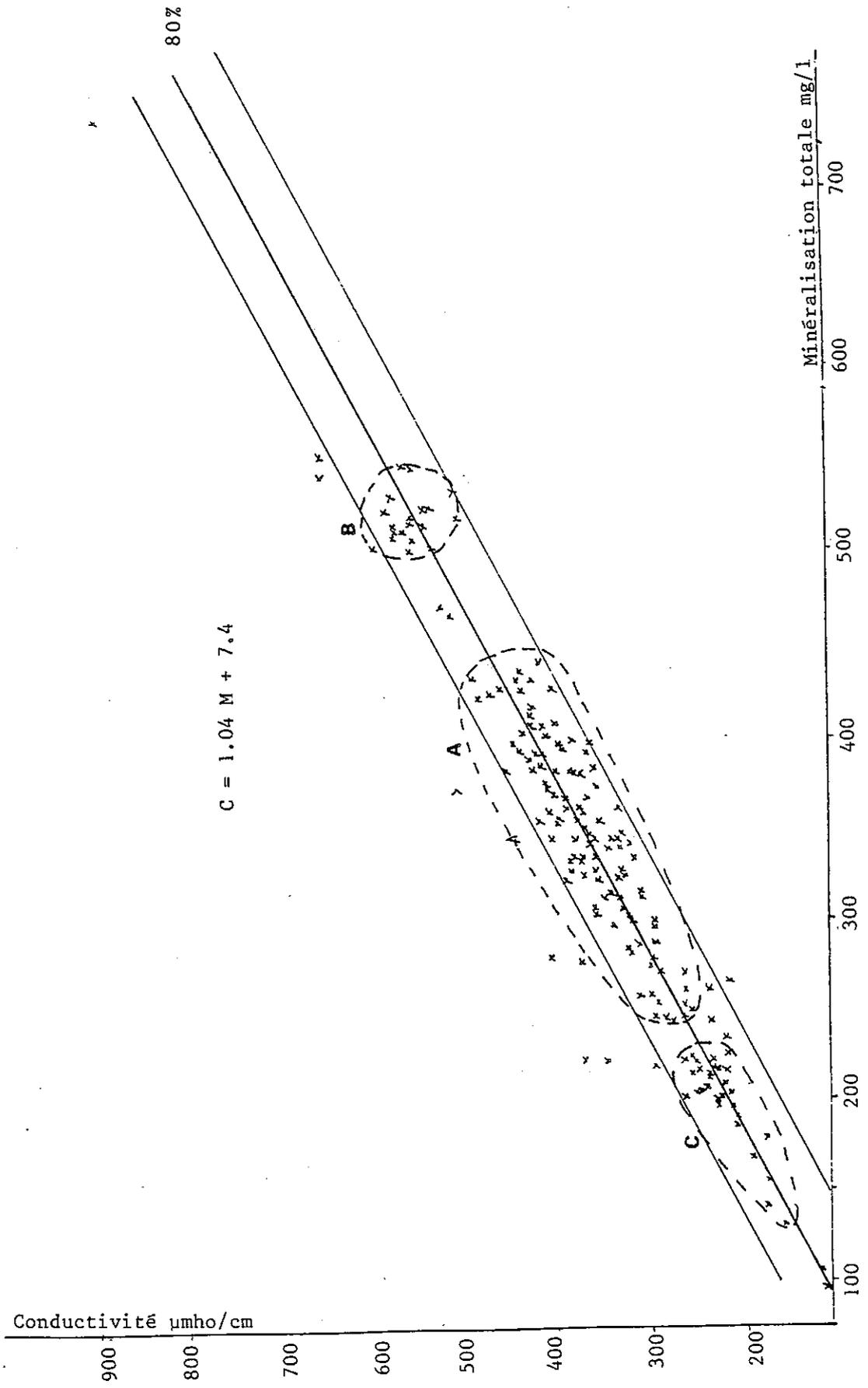


Figure n°52 Relation minéralisation totale conductivité.

2.5 - LES ELEMENTS TRACES

Aquifère	Emergence	Fe	Si	Mn	Sr	Rb	Li
Karstique	Fauchère inf.	0.05	3.6	0	0,13	0	0
	Miribel	0	2.2	0	0,13	0	0
Molassique	Oratoire	0	3.3	0	0,26	0	0
	Perrin	0	3,3	0	0,13	0	0
Quaternaire	Vieille Poste	0	3,9	0	0,13	0	0
Molassique	Bauche min.	2,11	7,15	0,61	0,17	0	0

Tableau n°32 Etude des éléments traces de quelques sources du Bugey Savoyard.

Le dosage de quelques éléments traces a été réalisé en spectrophotométrie de flamme par Mme USELLE, sur cinq sources choisies dans les différents aquifères et la source minérale de La Bauche (tableau n° 32.). Les résultats montrent une certaine homogénéité des valeurs observées.

Le fer, le manganèse, le rubidium et le lithium sont absents de la plupart des eaux. Le strontium présente une concentration uniforme; les valeurs particulières observées à l'Oratoire et à la source minérale de La Bauche indique un piégeage de cet élément dans des niveaux particuliers de la molasse.

Le fer n'est détecté qu'à la source minérale, et à un taux très faible, à La Fauchère, cette dernière valeur peut s'expliquer par la présence d'un aquifère quaternaire dans lequel des phénomènes de réduction liés à la présence de matière organique provoquent une mise en solution du fer (A.F. CHOUTEAU et J.C. FOURNEAUX, 1969; G. MALESSARD 1983).

La silice présente une faible valeur aux exurgences des aquifères karstiques, plus particulièrement à Miribel, tandis que les aquifères molassiques et quaternaires présente des concentrations plus élevées. A la source de la Fauchère, la présence de silice peut être le témoin du mélange entre une alimentation karstique et des venues du Quaternaire.

La minéralisation particulière de la source minérale de La Bauche est montrée par les valeurs élevées des concentrations en éléments traces, en particulier en fer et en manganèse.

### 3 - LES DIFFÉRENTS TYPES D'ÉMERGENCE

#### 3.1 - LES SOURCES DES CALCAIRES KARSTIQUES

Les sources karstiques de grande taille sont rares dans le Bugey-Savoie, la plus importante est celle de Fontaine Froide (encore appelée Fontaine Noire), elle a été étudiée par P. BERGERET (1981). Parmi les sources étudiées ici, seule la source du Merderet provient directement du karst, les autres sont séparées des affleurements calcaires par des formations de versant plus ou moins abondantes. Les formations de versants peuvent modifier plus ou moins les caractéristiques de ces eaux.

Sur la figure n° 51, les sources karstiques ont été notées: Tr, Ny, Rs.i, Ct, Fs.i, Ce, Mi, Fo, Me.

##### 3.1.1 - Grands traits des sources karstiques

###### Le débit

Les sources karstiques sont caractérisées par de fortes variations de débit, ainsi à la source du Merderet, le débit de crue représente plus de 800 fois le débit d'étiage. La réponse aux précipitations est très rapide, et les débits les plus forts sont enregistrés après les fortes précipitations (en octobre 1984).

En période d'étiage, les exurgences observées ne présentent pas de tarissement total, si ce n'est la source du Merderet en décembre 1985, mais il faut remarquer que l'étiage de l'année 1985 a été particulièrement sévère. L'absence de tarissement indique que les réserves du karst sont importantes: le réseau de fissures joue le rôle de réservoir de grand volume retardant l'arrivée des écoulements à l'exurgence.

La plupart des exutoires du karst étant masqués par la présence de formations de versant, les caractéristiques observées sont modifiées par la présence d'apports provenant directement du Quaternaire, et le rôle de tampon joué par ces formations. Ainsi, le débit mesuré à la source de la Fauchère n'a varié qu'entre 1 et 4 l/s au cours de l'année 1984.

###### La température

Comme les débits, les températures présentent de fortes variations: l'amplitude est de 3 à 4,5°C. Ces variations suivent les variations de température de l'atmosphère, mais avec un retard variable qui peut atteindre deux mois à la source du Merderet. Ce retard indique l'action d'un phénomène de chasse ou de piston-flow: l'eau s'infiltré dans le réservoir karstique où elle garde sa température, les apports successifs repoussent les venues antérieures vers l'exutoire sans qu'il y ait de mélange.

Des venues des aquifères quaternaires peuvent altérer ce phénomène qui est beaucoup plus net à la source du Merderet qu'à celle de la Fauchère, par exemple. D'autre part, les écoulements relativement superficiels dans les formations de versants permettent à la température de ces eaux d'approcher de la température atmosphérique.

### La conductivité

La conductivité moyenne des eaux est voisine de 370  $\mu\text{mho/cm}$ . Les sources présentant une conductivité plus faible témoignent du rôle d'apports provenant de terrains quaternaires.

A l'étiage, des valeurs plus élevées sont observées principalement par les sources provenant des calcaires antérieurs au Valanginien, en effet, les produits de décalcification du karst obstruent partiellement les conduits et freinent la circulation des eaux qui par le contact prolongé avec l'aquifère voient leur minéralisation totale et donc leur conductivité s'accroître.

### Le pH

Le pH mesuré indique un milieu nettement alcalin avec toutefois des variations montrant l'existence de transit rapide, ainsi que l'intervention des venues du Quaternaire. Sur l'année, les valeurs moyennes du pH s'échelonnent entre 7,5 et 7,8.

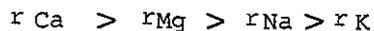
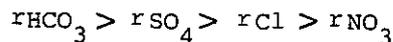
### Composition chimique

Comme il est classique pour les eaux karstiques, le faciès est bicarbonaté calcique. Les teneurs moyennes en bicarbonate sont comprises entre 300 et 400 mg/l, les teneurs en calcium varient autour de 70 mg/l. Le second cation par son importance est le magnésium, principalement pour les sources issues du karst non urgonien. Il apparaît que la dolomitisation de ces calcaires étant plus avancée que celle des calcaires urgoniens, ils laissent le magnésium passer en solution plus facilement, sa concentration atteint, lors de l'étiage estival des valeurs comprises entre 20 et 40 mg/l.

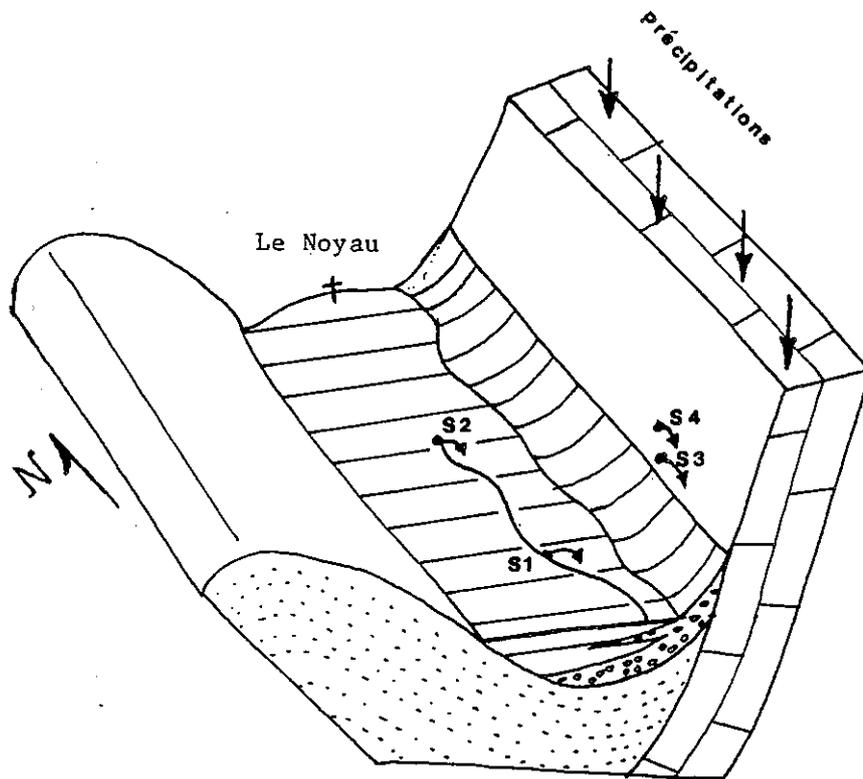
Les variations du titre hydrotimétrique peuvent être corrélées aux variations de la dureté totale. Il apparaît, en effet, que les teneurs en calcium des eaux issues des calcaires dolomitisés sont relativement constantes, tandis que le magnésium présente des variations importantes.

Les autres éléments étudiés ne présentent pas de variations structurées. Les nitrates, chlorures et sulfates restent à des concentrations de l'ordre de 5 mg/l, tandis que le sodium présente une concentration variant entre 5 et 10 mg/l, suivant la période de prise de l'échantillon. La teneur en potassium reste très limitée: inférieure à 3 mg/l.

La formule caractéristique des eaux issues du karst est donc:



La caractérisation chimique de ces eaux s'est intéressée également au strontium, rubidium, lithium et manganèse, ainsi qu'à la silice. Aucune trace de rubidium, de lithium ou de manganèse n'a été décelée. La teneur en strontium mesurée est de 0,13 mg/l, ce qui correspond à la marque de l'aquifère carbonaté. Les teneurs en silice sont voisines de 6 mg/l pour les sources issues des calcaires anté-Hauterivien, ces valeurs sont plus proches de 3 mg/l pour les exurgences du karst urgonien, ceci indique un entraînement de la silice des argiles de décalcification qui obstruent en partie les conduits des karsts les plus anciens.



-  Quaternaire de versant, très perméable.
-  Quaternaire de vallée, peu perméable.
-  Molasse imperméable.
-  Calcaires karstifiés.
-  s Source.

Figure n°53 Comportement hydrogéologique de la vallée du Noyau.

### 3.1.2 - Un exemple de source karstique : la source du Noyau à Aiguebelette

L'émergence étudiée est située au fond d'un vallon dans les formations quaternaires recouvrant le contact des calcaires karstifiés avec la molasse. La source du Noyau appartient à un ensemble d'exurgences qui participent à l'alimentation du ruisseau du Moulin (figure n°53).

A l'aval, la source S1 est pérenne, lorsque le débit d'exhaure augmente, diverses émergences apparaissent jusqu'en S2. Conjointement, il apparaît des sources dans les fissures des calcaires du Kimméridgien en S3 puis en S4. En cas de débit très important, (comme les 3l/s mesurés le 2 octobre 1984 en aval de S1), un petit jet d'eau apparaît en S2, il est obtenu par la mise en charge de l'eau dans les formations quaternaires. En amont, une source captée par la commune est indépendante du système décrit.

Les mesures et prélèvements pour l'échantillonnage ont été réalisés à l'aval de S1, totalisant donc les apports intervenant de S2 à S1.

#### Paramètres physiques

Le débit. Les mesures ont été délicates à effectuer du fait de la faible pente des écoulements à l'aval de S1. Néanmoins, de fortes variations ont été enregistrées 0,02 l/s en novembre - 3 l/s en octobre, la moyenne s'établissant à 0,37 l/s.

La température. Elle présente de très fortes variations: en janvier, la température avoisine 6°C tandis qu'en période d'étiage, au mois d'août, plus de 15°C ont été mesurés. Il semble que les écoulements relativement superficiels, ne soient pas à l'abri des influences de la température atmosphérique.

Conductivité et pH. La conductivité présente peu de variation autour de la valeur moyenne qui s'établit à 334  $\mu$ mhos. Toutefois, une valeur particulièrement faible: 292  $\mu$ mhos a été mesurée en février, cette valeur est liée aux débits de crue de la fonte des neiges.

Le pH moyen est de 7,58. Une seule valeur forte a été mesurée: 8,2 en janvier, probablement due au stockage de l'eau avant la mesure.

Caractéristiques chimiques L'anion majeur, le bicarbonate atteint une concentration moyenne de 231 mg/l; cette concentration tombe à 190 mg/l lors des crues de février, traduisant un transit rapide. En période de tarissement, les valeurs atteignent 250 mg/l. Les autres anions se maintiennent à des concentrations modestes: inférieure en moyenne à 5 mg/l.

Le calcium reste le cation majeur avec une concentration moyenne de 66 mg/l, la teneur en calcium peut atteindre 80 mg/l. Plus que la teneur en calcium, c'est la dureté totale qui est constante, les défauts en calcium étant compensés par des excès en magnésium. Durant l'été, les teneurs en sodium présentent des valeurs fortes: entre 15 et 20 mg/l, tandis que les concentrations en potassium restent inférieures à 1 mg/l.

Les dosages de silice montre une concentration modeste: 3,6 mg/l.

### 3.2 - LES SOURCES DE LA MOLASSE

Si la molasse apparaît imperméable dans son ensemble, la zone altérée laisse se développer de petites nappes qui donnent naissance à des sources aux caractéristiques particulières (sources notées Or, Pe, Cr et Fo).

#### 3.2.1 - Caractères communs aux sources des terrains molassiques

Le débit. L'étude des sources issues de la molasse a montré que le débit varie assez fortement suivant la taille du bassin concerné, ainsi que suivant la période de mesure. Si la source de l'Oratoire n'a pas présenté de tarissement total, son débit varie entre 0,07 l/s en septembre et 1,9 l/s en avril, soit un coefficient de variation de 27. Ceci indique un comportement proche de celui constaté pour les sources karstiques; ceci traduit l'existence de chenaux à forte perméabilité dans la molasse dont le fonctionnement permet des débits importants en période de hautes eaux.

La température. La température enregistrée présente de fortes variations pouvant dépasser 10°C, mais il semble que la circulation des eaux dans les structures décrites au Chapitre II (puits, chenaux..) permet une influence marquée de température atmosphérique sur la température de l'eau, particulièrement lors des étiages. En l'absence de puits, les écarts restent élevés indiquant que la circulation des eaux ne permet pas un mélange des eaux. Ainsi à l'Oratoire où l'amplitude des températures atteint 6°C le retard des minima et maxima, par rapport à ceux de l'air sont de l'ordre de deux mois.

Conductivité. La conductivité mesurée suit, dans ses variations, le débit; les fortes valeurs s'observent à l'étiage et les faibles valeurs lors des épisodes de crue. Mais les valeurs elles-mêmes sont assez variables, elles traduisent la qualité de l'aquifère en amont de la source. A Courtines, la source présente une conductivité moyenne de 220  $\mu$  mho/cm qui peut être associée à la porosité locale plus forte de la molasse; les eaux circulent rapidement et se chargent peu en minéraux. La source de l'Oratoire provient d'une alternance de la molasse gréseuse et d'argile, la porosité de l'ensemble, plus limitée, permet un temps de séjour plus long durant lequel la minéralisation de l'eau s'opère, la conductivité moyenne est de 390  $\mu$  mho/cm.

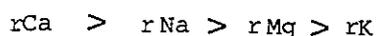
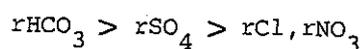
Le pH. Les valeurs de pH des sources issues de la molasse se répartissent entre 7,2 et 8 montrant que le pH n'offre pas de caractéristique particulière pour ce type d'exurgence. Des phénomènes locaux tels que la présence d'un sol acide à proximité de certaines exurgences pourraient expliquer certaines valeurs de pH particulièrement basses

Composition chimique. La conductivité représente la minéralisation qui varie de manière assez sensible d'une source à l'autre. La nature de l'aquifère: grès à ciment calcaire se retrouve dans le faciès des eaux: bicarbonaté calcique.

Le rapport  $r\text{HCO}_3/r\text{Ca}$  est constant ici, le magnésium reste à une concentration plus limitée et peu variable avec  $r\text{Mg}/r\text{Ca}$  voisin de 0,2. le sodium présente des teneurs supérieures à celles du magnésium, les valeurs les plus fortes étant enregistrées lors de l'étiage estival.

Les sulfates présentent une concentration proche de celle du sodium, tandis que les chlorures et nitrates restent à des concentrations très modestes: voisines de 1 mg/l.

La formule caractéristique de ces eaux est la suivante:



L'analyse de la silice a montré une teneur moyenne de l'ordre de 8 mg/l, valeur qui est la trace du caractère siliceux de l'aquifère. Des éléments traces dosés, seul le strontium a été détecté, la valeur obtenue à l'Oratoire de 0,26 mg/l est la plus forte obtenue sur l'ensemble des sources de la région. A la source du Perrin cette valeur reste à 0,13 mg/l, comme sur les autres sources, mais la minéralisation de la source du Perrin étant plus faible, on peut considérer que la teneur en strontium des sources de la molasse est plus forte que celle des sources issues du karst.

### 3.2.2 - Exemple de source issue de la molasse: la source de l'Oratoire à Attignat-Oncin

La situation de l'émergence étudiée est montrée par la figure n°54. Un vallon s'est creusé entre deux collines molassiques, les hauteurs sont marquées par de la molasse à ciment calcaire, dans le vallon l'induration moindre de la molasse a favorisé l'érosion. Au fond du thalweg, s'écoule un ruisseau qui rejoint le Tiers. au Gué des Planches. Dans la partie amont du thalweg, quatre cavités (décrites au chapitre II) se sont développées dans la molasse. En aval des cavités, deux émergences successives (S2 et S3) alimentent le ruisseau. Sur le flanc ouest se trouve la source étudiée (S1) qui émerge entre des blocs de grès calcaire au milieu d'un pré.

#### 3.2.2.1 - Paramètres physiques

Le débit. Le débit moyen mesuré est de 0,72 l/s. L'étiage a été jaugé début septembre, le débit était de 0,07 l/s, tandis que le débit maximum obtenu en avril s'élève à 1,9 l/s. Les variations de débit restent relativement élevées.

La température. La température moyenne annuelle est de 10,7°C ce qui est relativement élevé, la température de l'air ayant une moyenne annuelle de 8,7°C à l'altitude de 440 m, où se trouve l'émergence. La température maximale est observée début septembre 13,7°C. Le minimum enregistrée 7,5°C est mesuré début avril, ceci montre un certain retard par rapport aux minima et maxima de la température atmosphérique locale (deux mois environ).

Conductivité et pH. La conductivité moyenne s'établit à 387  $\mu\text{mho}/\text{cm}$ , ce qui permettrait de classer cette source avec les exurgences karstiques. Mais le minimum de 287  $\mu\text{mho}/\text{cm}$  mesuré en août et la présence

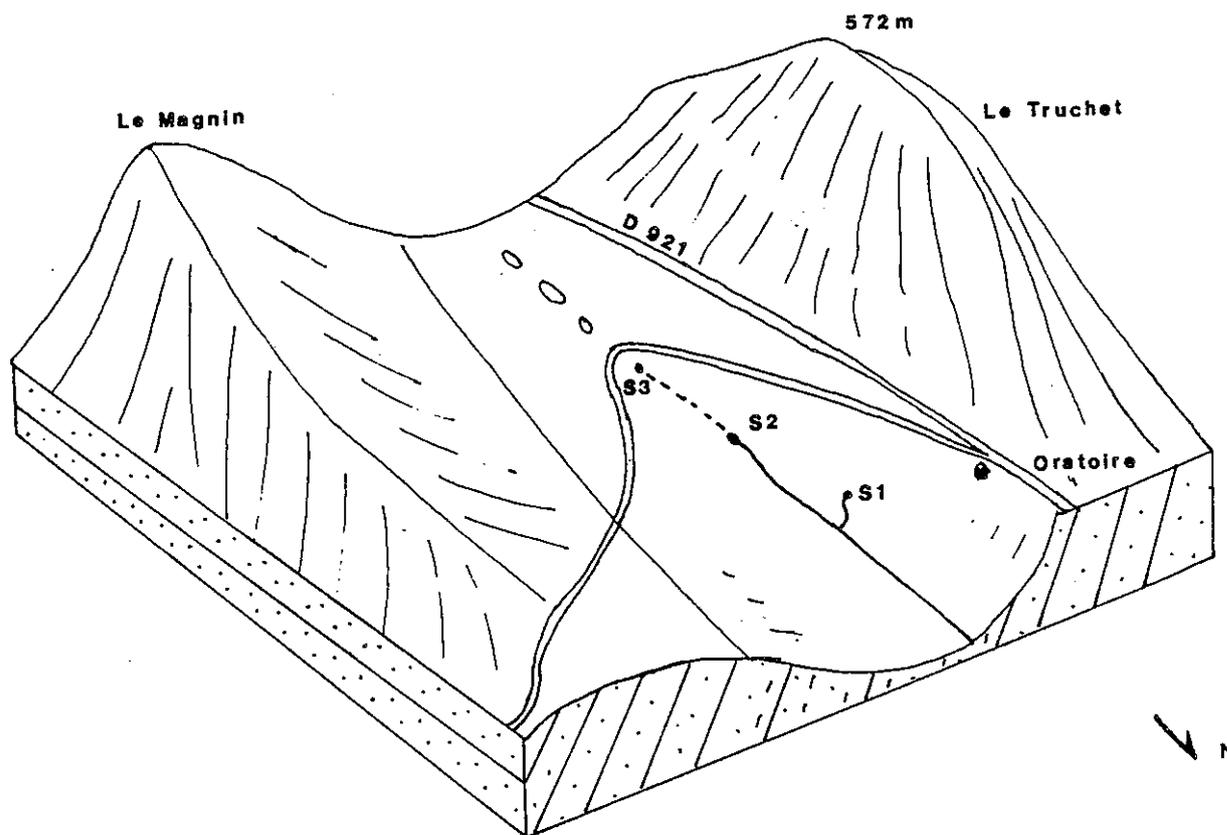


Figure n°54 Situation de la source de l'Oratoire.

de nombreuses valeurs légèrement supérieures à  $300 \mu\text{mho/cm}$  ne permet pas d'inclure cette source dans le groupe A.

Le pH moyen est de 7,3, ce qui indique un milieu légèrement alcalin, mais deux pH acides sont également mesurés, dont la valeur de 6,75 en novembre.

### 3.2.2.2 - Caractéristiques chimiques

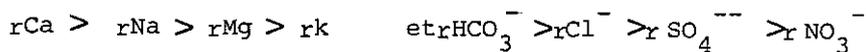
L'anion dominant: le bicarbonate présente une valeur moyenne de 253 mg/l, avec une valeur particulièrement faible en août: 202 mg/l, tandis que les valeurs fortes (supérieures à 290 mg/l) sont observées en janvier et mars. La concentration en sulfate est assez irrégulière: nulle en octobre, elle atteint 20 mg/l en janvier. Les chlorures présentent également de fortes variations 1,7 mg/l en septembre et 16 mg/l en avril. Le rapport  $r_{\text{SO}_4}/r_{\text{Cl}}$  est supérieur à 1 en janvier, mars et juillet. Il est inférieur à 1 le reste de l'année (la moyenne de ce rapport est de 0,60). Les concentrations en nitrates, très limitées, ne dépassent pas 0,7 mg/l.

Les cations sont représentés par le calcium à la concentration moyenne de 74 mg/l; le maximum décalé dans l'analyse de décembre est de 88 mg/l, tandis que le minimum 60 mg/l est mesuré en août. Le sodium est le deuxième élément par sa concentration moyenne: 11,3 mg/l, les fortes valeurs s'observent l'été. Le magnésium présente une concentration moyenne de 9,6 mg/l, la teneur en potassium est limitée: elle n'atteint pas 2 mg/l.

L'analyse de la silice montre une concentration 8,1 mg/l, ce qui montre le rôle de l'aquifère siliceux dans les faciès chimiques de cette émergence.

### Conclusion

La source de l'Oratoire montre un faciès proche de celui des sources karstiques, mais la formule chimique est la suivante.



Deux particularités s'observent la prépondérance du sodium sur le magnésium et celles des chlorures sur les sulfates. D'autre part, la concentration en silice reste élevée.

### 3.3 - LES SOURCES DES FORMATIONS QUATERNAIRES

Durant l'année 1984, quatre sources issues du Quaternaire ont été suivies. La source de la Vieille Poste, aux Echelles, a présenté des caractéristiques distinctes des autres, soulignées par une minéralisation forte: 500 mg/l environ. Sur les autres sources l'influence des précipitations est très nette: elle provoque une chute de minéralisation en période de crue et le tarissement presque total à l'étiage.

### 3.3.1 - Une source émergeant au sein des formations glaciaires: la source de la Vieille Poste

L'exsurgence étudiée a été captée par la commune des Echelles pour l'alimentation en eau du hameau de la Vieille Poste. Les mesures ont été effectuées à l'arrivée des eaux au réservoir. Cette source se situe, au dessus de la vallée du Guiers, au débouché d'un drain des formations glaciaires, constitué de dépôts graveleux inclus dans un ensemble à dominante argileuse (figure n° 55 ).

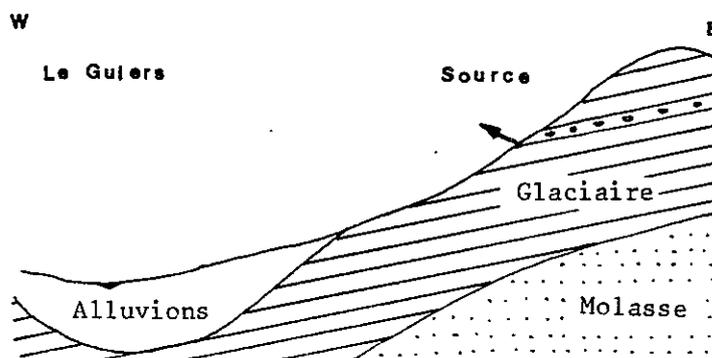


Figure n°55 Conditions d'émergence de la source de la Vieille Poste.

#### 3.3.1.1 - Paramètres physiques

Le débit. Les jaugeages réalisés ne montrent que peu de variations autour du débit moyen 0,67 l/s, à l'étiage un débit de 0,5 l/s a été jaugé (en septembre), le débit maximum a été observé en avril: 0,9 l/s. Les débits faibles et constants proviennent d'une structure peu perméable.

La température. Les relevés thermométriques indiquent une variation de température entre 9,5 et 10,9° C soit une amplitude de 1,4°, mais il est vraisemblable que le rôle de la température extérieure sur l'eau entre le captage et le point de mesure augmente quelque peu l'amplitude.

Conductivité et pH. La conductivité moyenne est de 544  $\mu\text{mho} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Les fortes valeurs s'observent au printemps lors de débit relativement fort, tandis que les valeurs faibles sont mesurées à l'étiage en juillet et août.

Le pH moyen est de 7,3 indiquant par là le caractère légèrement basique de cette eau.

### 3.3.1.2 - Paramètres chimiques

Les valeurs les plus basses de la conductivité se traduisent par une concentration en bicarbonate inférieure de 12% à celle observée le reste de l'année. Cette baisse est liée à une légère augmentation des chlorures.

Le comportement du calcium suit celui des bicarbonates et le sodium à l'étiage voit sa teneur augmenter.

Les analyses des éléments traces n'ont décelé ni rubidium, ni manganèse, ni sodium; de faible valeur de strontium 0,13 ppm ont été mesurés. Deux analyses de fer n'ont pas décelé cet élément.

Les teneurs en silice sont de 84 ppm en moyenne, ce qui correspond aux plus fortes valeurs observées après celles de la source de la Bauche.

#### Conclusion

Les paramètres mesurés correspondent à la géologie observée à proximité de la source de la Vieille Poste. Cette venue provient d'un drain faible perméabilité du Quaternaire glaciaire. Le caractère bicarbonaté calcique renforcé lors des périodes de hautes eaux est la manifestation de venue du karst ou de la molasse situés en amont.

### 3.3.2 - Les exurgences situées à la base des formations quaternaires

Un certain nombre d'exurgences à caractéristiques proches les unes des autres sont situées au contact entre le Quaternaire et le substratum molassique qui joue le rôle d'imperméable relatif. Trois sources de ce type ont été suivies: sources du Collomb (Cl), du Bagné (Ba) et de Borbollion (Bo). La figure n° 56 montre les conditions d'émergence de la source du Collomb; ce même schéma pourrait être repris sans grandes modifications pour les autres sources.

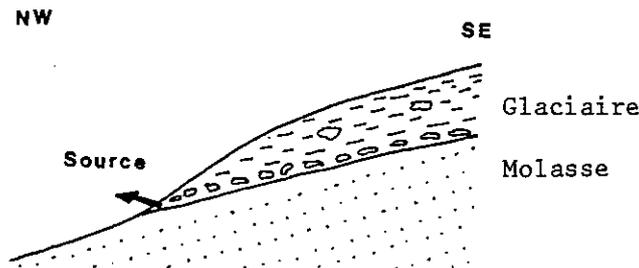


Figure n° 56 Conditions d'émergence de la source du Collomb.

Le débit. Le débit est caractérisé par de très fortes variations en effet en période d'étiage le tarissement total peut être observé tandis qu'en hautes eaux des débits de 4 l/s et plus peuvent être jaugés. Ces fortes variations montrent la forte perméabilité de l'aquifère, ainsi que le volume limité du réservoir.

La température. Les importantes variations de température, elles peuvent dépasser 10°C, montrent le caractère superficiel des circulations. En effet, les écoulements de l'été présentent des températures supérieures à 15°C, indiquant par là que l'eau s'approche de l'équilibre thermique avec l'aquifère. Il est à remarquer que la courbe représentant l'évolution de la température au cours de l'année n'est pas unimodale mais bimodale; en effet, la fraîcheur du mois de septembre se traduit par une baisse sensible de la température de l'eau, le réchauffement observé en octobre induit un accroissement de la température de l'eau.

La conductivité. La conductivité suit dans son évolution les variations de débit: en période de crue, l'eau présente une conductivité faible, de l'ordre de 100  $\mu\text{mho/cm}$ , qui représente de l'eau de pluie n'ayant subi que peu de modifications dans l'aquifère, en période d'étiage des valeurs plus élevées sont mesurées (supérieures à 500  $\mu\text{mho/cm}$ ): ce sont des eaux piégées dans des zones à faible perméabilité qui se sont chargées au contact de l'aquifère.

Le pH. Comme les autres paramètres mesurés, le pH présente de fortes variations relativement irrégulières, les valeurs de pH indiquant un milieu basique s'observent durant les périodes de hautes eaux.

Caractéristiques chimiques. Les fortes variations de conductivité peuvent être corrélées aux variations de la minéralisation totale qui passe de 100 mg/l en période de crue à plus de 500 mg/l en période d'étiage.

Les anions présentent des variations de concentrations importantes: un coefficient 6 peut être appliqué entre les teneurs de crue et celles d'étiage. Les bicarbonates, anions dominants, peuvent passer de 50 à 300 mg/l comme à la source de Collomb. A cette même source les chlorures présentent une teneur exceptionnelle en période d'étiage 68 mg/l, alors que la valeur moyenne, le reste de l'année, était inférieure à 4 mg/l, ceci indique la contribution des éléments de sol à la minéralisation de l'eau.

Pour les cations, les mêmes phénomènes sont observables. Les teneurs en calcium suivent celles mesurées pour les bicarbonates. Potassium et magnésium présentent des variations sensibles, tandis que le sodium montre une évolution très importante calquée sur celles des chlorures.

Le dosage de la silice donne une teneur de 6,7 mg/l. Cette valeur se rapproche de celles mesurées dans les eaux de la molasse donc d'aquifère siliceux.

#### Conclusion

Les sources émergeant à la base du Quaternaire ont un comportement relativement homogène. Les fortes variations de débit sont liées à l'existence de drains à forte perméabilité.

Les circulations superficielles se traduisent par d'importantes variations de températures. Les eaux bicarbonatées calciques présentent des teneurs en chlorures et sodium très élevées lors de l'étiage estival.

## CONCLUSION

L'étude du chimisme de l'eau montre une corrélation entre les variations de la composition chimique et le temps de séjour dans les aquifères. Un phénomène de piston-flow s'observe pour les sources du karst, ce phénomène amène à l'exurgence, les eaux fortement minéralisées en début d'étiage, tandis que les eaux issues de la molasse montrent une liaison entre un chimisme faible en période de hautes eaux, lié à un transit rapide et un chimisme plus évolué, en période d'étiage, lié à un temps de séjour beaucoup plus long.

Si le faciès des eaux est homogène (faciès bicarbonaté calcique), c'est par l'évolution de la concentration en certains éléments que la nature lithologique de l'aquifère marque son empreinte sur les eaux: teneur très importante en bicarbonate et en calcium dans les calcaires, évolution significative du magnésium dans les eaux des calcaires karstiques anté-Hauterivien, teneur en silice importante des eaux molassiques et quaternaires. Les sources molassiques sont caractérisées par la prépondérance du couple Na-Cl sur le couple Mg-SO<sub>4</sub>, inversement à ce qui s'observe dans les eaux issues des calcaires.

-----

## CHAPITRE VII

## LA SOURCE MINERALE DE LA BAUCHE

- 1 - SITUATION
- 2 - HISTORIQUE
- 3 - ÉTUDE DES PARAMÈTRES PHYSIQUES
- 4 - CHIMIE DE L'EAU
- 5 - LES VENUES GAZEUSES
- 6 - ÉTUDE ISOTOPIQUE
- 7 - LES BOUES ROUGES
- 8 - ÉLÉMENTS RÉGIONAUX D'INTERPRÉTATION

## CHAPITRE VII

### LA SOURCE MINERALE DE LA BAUCHE

*La source de la Bauche a été étudiée distinctement des autres sources car la marque plus accentuée de la géologie sur la composition chimiques de l'eau donne lieu à une minéralisation plus forte qui a conduit à l'exploitation de la source à des fins thérapeutiques.*

#### 1 - SITUATION

Au lieu dit la Michalière , à la Bauche, une source minérale a été exploitée. Sur le versant est de la vallée de Morges, à l'altitude de 510 m, un petit chalet a été construit sur la source elle-même. Actuellement une canalisation provenant du captage amène l'eau dans une vaste pièce qui servait de buvette. L'eau arrive dans un bac où elle dépose d'importantes quantités de boues rouges puis elle s'écoule vers un deuxième bac où elle est rejointe par une autre arrivée d'eau. Le trop-plein du deuxième bac se déverse dans une canalisation conduisant au ruisseau de la Michalière.

Le captage de la source masque l'exsurgence, mais d'après les éléments de la géologie locale l'eau provient de l'ensemble marnosilto-gréseux de l'Helvétien.

#### 2 - HISTORIQUE

L'origine de l'exploitation de cette source remonterait à l'antiquité romaine comme en témoignent les découvertes de la fin du XIXe siècle: fragments de conduite, débris de vases et un mur épais au bas duquel sourdaient les eaux minérales. (LAMY 1870).

Totalement abandonnée depuis l'époque romaine, cette source a été redécouverte en 1862 par le comte Crotti de Castigliole. Une première analyse a été effectuée par C. CALLOUD en 1863: "eau minérale proto-ferrée, bicarbonatée, crénatée, alcaline, hyposulfatée et ammoniacale. Eau limpide et fraîche, saveur franchement ferrugineuse, présence de protoxyde de fer, odeur d'acide sulfhydrique. Température 12°C, pesanteur spécifique 1,00055, débit naturel 5<sup>l</sup> - 1/mn."

Cette analyse a été confirmée par différentes commissions de Chambéry, Turin et Paris entre 1863 et 1864.

C'est en 1864 que l'exploitation régulière commence, l'eau est embouteillée: 35 000 bouteilles en 1871 près de 100 000 en 1875. Par évaporation, un résidu salin est obtenu, il sert de base à la préparation de dragées laxatives. Un établissement "thermal" est construit avec salles de douches, de vapeur et piscines.

Les difficultés économiques et la baisse de l'engouement pour les stations thermales provoquent le déclin de la station de la Bauche et l'exploitation cesse en 1936. Les bâtiments sont repris pour d'autres utilisations, le chalet abritant la buvette peut encore être visité.

### 3 - ETUDE DES PARAMETRES PHYSIQUES (Figure n° 57 )

Les paramètres de cette source ont été suivis durant l'année 1984 suivant une fréquence mensuelle.

#### 3.1 - LES DEBITS

Les mesures ont été effectuées en aval de la confluence des deux venues, après curage des dépôts de la canalisation. Elles montrent un débit moyen nettement inférieur à celui mentionné dans les archives (0,63 l/mn en 1984 pour 5-1/mn en 1862).

Les variations observées sont relativement importantes mais dépendent en partie de la qualité du curage de la canalisation. La faiblesse du débit actuel semble être dû principalement au manque d'entretien du captage, l'eau se réinfiltrant sur place dans la molasse. Les pertes en direction du ruisseau de la Michalière qui s'écoule à l'aval ne sont pas détectées du fait d'une dilution trop forte.

#### 3.2 - LA TEMPERATURE

La courbe des températures montre une variation sensible (plus de 1°C) autour de la moyenne de 9,9°C. Les variations de température de l'eau suivent les variations de températures de l'air avec un retard de l'ordre de deux mois. La valeur moyenne de la température de l'eau à l'exurgence montre un excès de 2°C par rapport à la température de l'air (moyenne de Novembre 1983 à Octobre 1984, extrapolée à partir de la station de Novalaise: 8,0°C). Cet écart doit provenir de l'inertie thermique due au volume de l'aquifère, qui donne un écart important les années froides, la période considérée étant déficitaire de 1,4°C.

#### 3.3 - LA RESISTIVITE

L'étude des variations de la résistivité de l'eau à l'exurgence ne montre pas de schéma ordonné des valeurs mais une variation en dents de scie autour de la moyenne de 1705  $\Omega$  cm.

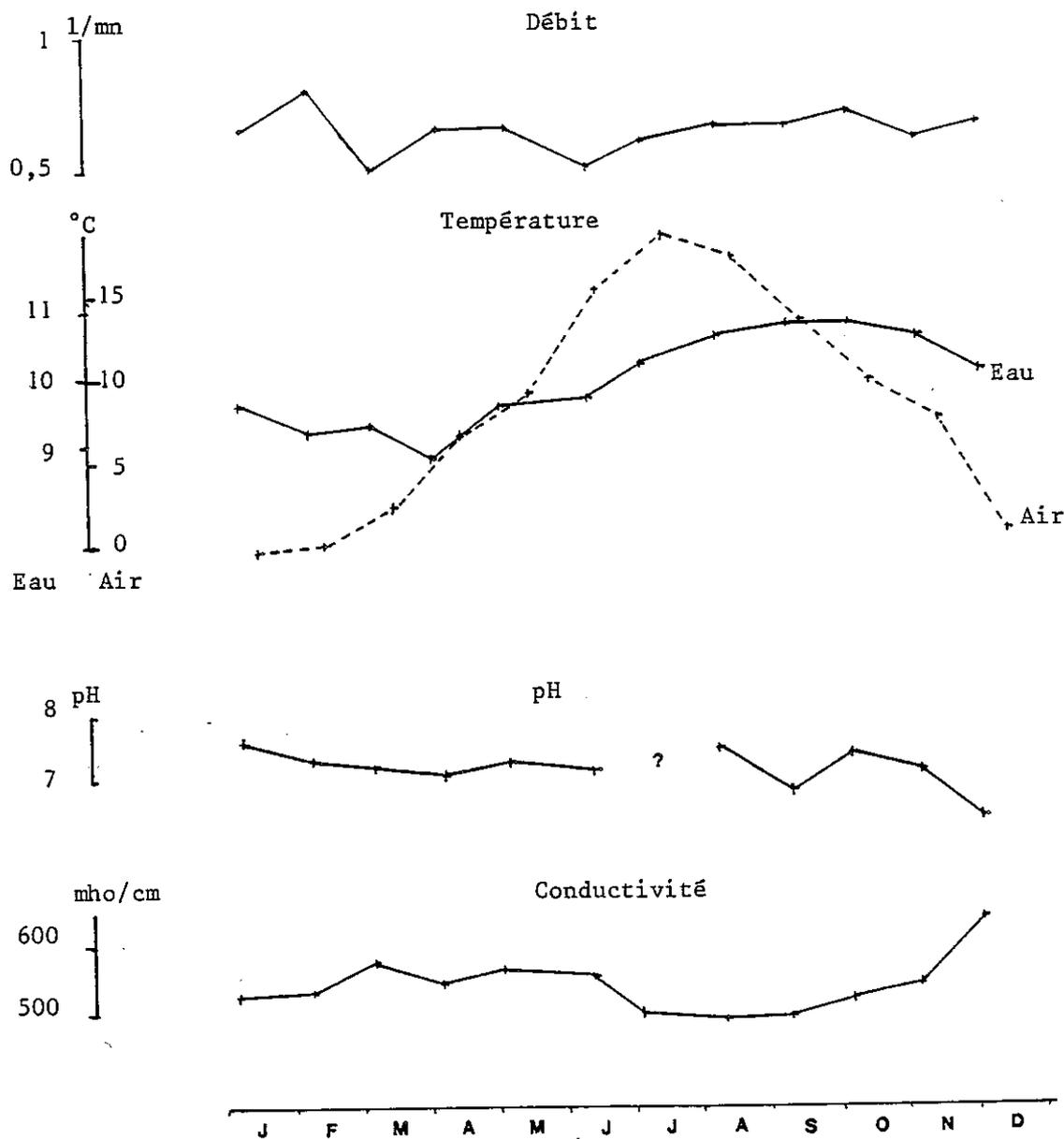


Figure n°57 Etude des paramètres physiques de la source minérale de La Bauche.

L'absence de cohérence dans les variations est due au fait que les mesures ne sont pas réalisées au griffon lui-même, mais légèrement en aval en un lieu où la précipitation est en cours. La variation du stade de précipitation auquel la mesure est faite implique une variation de la résistivité mesurée.

### 3.4 - LE PH

Le pH est relativement basique dans son ensemble: moyenne 7,19. Les variations ne montrent pas de cohérence significative. Deux valeurs de pH acide sont observées: 6,8 en Septembre et 6,6 en Décembre.

## 4. - CHIMIE DE L'EAU

### 4.1 - REMARQUES

L'étude de la chimie de l'eau de la source minérale de la Bauche est assez délicate car les prélèvements ne peuvent se faire qu'en un lieu où la précipitation de certains éléments a déjà eu lieu ou est en cours. D'autre part les phénomènes de précipitation se poursuivent entraînant par là une diminution de la minéralisation et un déséquilibre de la balance ionique.

L'analyse du titre hydrotimétrique, total de cette eau n'a pas pu être réalisée par complexométrie, comme pour les autres eaux étudiées, car une réaction chimique colorée entre l'indicateur (le noir d'ériochrome T) et l'eau, a masqué le virage à étudier. L'analyse a donc été effectuée en spectrophotométrie de flamme au laboratoire de chimie de l'Institut Dolomieu.

L'intervention très sensible de la nature chimique de cette eau sur le processus d'analyse du magnésium laisse penser qu'il est possible que certains éléments interviennent de façon plus discrète sur d'autres analyses faussant par là, les résultats.

Il faudra donc se réserver une certaine prudence dans l'interprétation.

### 4.2 - ELEMENTS MAJEURS (Figures n°58 et n°59 )

La moyenne annuelle de la minéralisation totale de 511/mg/l indique une eau relativement concentrée. La faible valeur mesurée en juillet: 370 mg/l est donc due aux précipitations qui se sont produites entre le prélèvement et l'analyse de l'eau (la réalisation du traçage du Souhait à cette époque a conduit à reporter l'analyse en fin de mois, durant le stockage des échantillons des transformations chimiques ont eu lieu).

Ce retard d'analyse a permis de montrer la sensibilité aux précipitations des bicarbonates, du calcium et du manganèse tandis que la silice et le magnésium ne présentent pas de modifications de comportement significative.

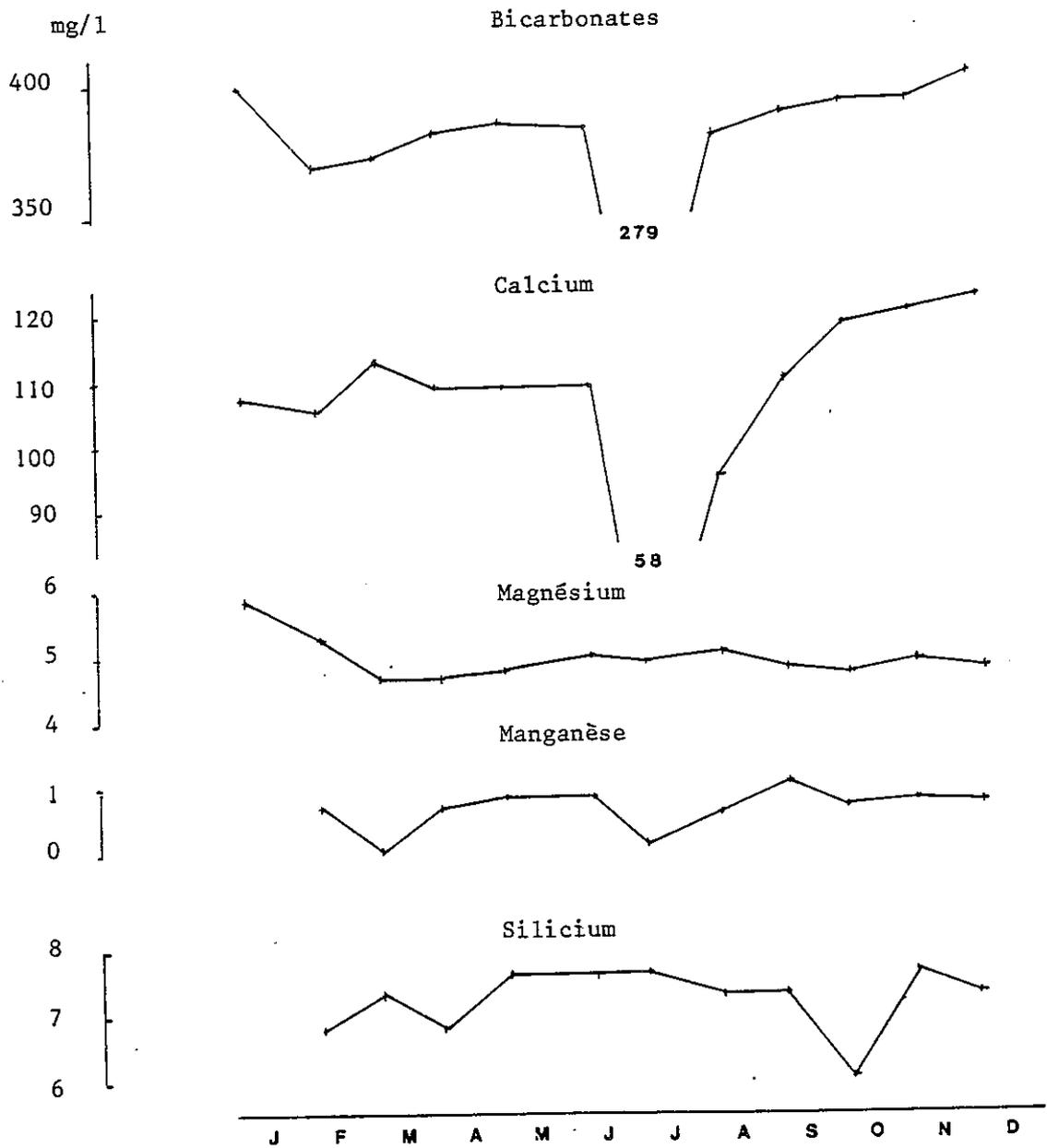


Figure n°58 Variations des concentrations chimiques des principaux éléments de l'eau minérale de La Bauche.

Les variations de concentrations en bicarbonates ne sont pas liées uniquement aux variations de teneurs en calcium. L'intervention d'un système réactionnel entre les bicarbonates et le fer régit les teneurs en bicarbonates comme l'a montré A. CRIAUD (1983) sur des eaux à fortes teneurs en fer, du Massif Central.

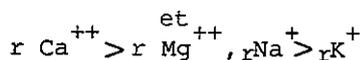
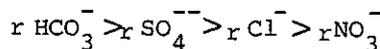
Les teneurs moyennes en bicarbonates de 376 mg/l et en calcium de 108 mg/l font de cette eau, une eau bicarbonatée calcique. Ces teneurs sont supérieures à celles des autres eaux, seule la source de la Vieille Poste présente des valeurs approchantes.

Si les teneurs en sulfates sont en moyennes peu importantes: 8 mg/l certaines valeurs approchent 20 mg/l, ce qui est bien supérieur aux teneurs observées dans la région. La teneur en chlorure reste basse 3,4 mg/l, de même celle des nitrates est limitée 0,12 mg/l.

Le sodium présente des valeurs variant autour de 11,5 mg/l avec des valeurs estivales supérieures à 20 mg/l. La concentration en potassium est relativement élevée plus de 3,2 mg/l. Les teneurs en magnésium sont relativement constantes autour de la moyenne: 4,85 mg/l.

Les teneurs en silicium varient faiblement autour de 7,15 mg/l, soit 15,3 mg/l de silice, ce qui est nettement supérieur aux valeurs constatées sur les autres sources, même celles issues de la molasse, ceci indique un temps de séjours plus long permettant à l'eau d'approcher de l'équilibre chimique avec son aquifère.

La formule caractéristique de cette eau s'établit comme suit:



#### 4.3 - ELEMENTS TRACES

En plus des éléments dosés précédemment, nous avons réalisé l'analyse des éléments traces suivants: strontium, fer, manganèse, rubidium et lithium. Les échantillons concernés sont ceux récoltés entre février et décembre. L'analyse a été réalisée au laboratoire de chimie de l'Institut Dolomieu.

Les résultats, consignés sur le tableaux n°33, ne montrent aucune trace de rubidium et de lithium qui auraient été signe d'une origine profonde de l'eau ou de son séjour au contact d'un socle cristallin. La présence de strontium indique le séjour de cette eau dans un réservoir carbonaté. Le fer et le manganèse sont les témoins de la minéralisation qui a conduit à l'exploitation de la source. La forte variation des teneurs, plus particulièrement celles du fer, semble due d'avantage aux conditions de prise d'échantillon ainsi qu'à la conservation de celui-ci qu'à des facteurs naturels. La valeur à retenir sera la plus forte afin de ne pas tenir compte des précipitations éventuelles au griffon.

NO	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188
NOM	Source minérale de la Bauche											
DATE	070184	090284	060384	040484	030584	120684	060784	080884	100984	061084	061184	041284
C. PHYSIQUES												
DB(1)	1.30	0.80	0.50	0.65	0.65	0.50	0.60	0.65	0.65	0.70	0.60	0.65
T(C)	9.60	9.2	9.30	8.80	9.60	9.7	10.2	10.60	10.80	10.80	10.60	10.10
PH	7.59	7.36	7.22	7.10	7.30	7.16	-	7.50	6.84	7.30	7.14	6.62
RS10	1743.00	1915.00	1580.00	1860.00	1719.00	1602.00	1796.00	1643.00	1718.00	1618.00	1535.00	1718.00
CO2S	526.00	533.00	575.00	545.00	564.00	556.40	581.60	492.50	498.20	521.70	544.40	643.00
SIO2	-	6.00	7.30	6.00	7.60	7.60	7.60	7.30	7.30	6.00	7.60	6.00
CATIONS												
UNIT	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L
NA+	5.40	4.40	9.60	7.60	9.50	21.20	14.60	25.10	25.8	4.7	4.50	5.75
K+	2.40	1.65	3.30	2.1	2.90	2.90	1.78	2.30	2.80	2.1	2.50	11.50
MG++	5.83	5.25	4.65	4.65	4.75	5.00	4.90	5.05	4.80	4.7	4.90	4.75
CA++	107.83	105.40	113.83	109.42	109.2	109.82	63.92	95.39	99.80	107.82	110.22	112.22
SOMME	121.46	116.71	131.38	123.77	126.35	138.92	85.2	127.84	132.4	119.32	122.12	134.22
ANIONS												
UNIT	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L
HCO3-	397.72	367.4	373.32	381.86	386.74	384.3	276.20	380.64	389.79	380.64	392.23	403.82
SO4-2	0.00	10.00	15.00	8.00	15.00	19.00	5.00	5.50	0.00	1.00	2.00	0.00
CL-	2.00	12.42	3.86	1.92	2.56	4.05	3.20	3.40	2.34	1.270	1.49	2.34
NO3-	-	-	-	-	-	0.30	0.10	0.22	0.10	0.02	0.10	0.02
SOMME	400.6	397.82	391.38	391.78	404.3	407.65	284.5	389.760	400.23	382.930	395.82	406.18
RAPPORTS												
MM TT	522.06	514.53	522.76	515.55	530.65	546.57	369.70	517.61	532.63	502.26	517.94	540.40
MG/CA	0.09	0.00	0.07	0.07	0.07	0.07	0.13	0.09	0.09	0.07	0.07	0.07
NA/CA	0.04	0.04	0.07	0.06	0.08	0.17	0.20	0.23	0.22	0.04	0.04	0.04
SO4/CL	0.00	1.06	3.44	3.40	4.43	3.64	1.11	1.10	2.43	0.50	1.00	0.00
NA/MG	0.40	0.44	1.11	0.87	1.05	2.24	1.50	2.60	2.87	0.51	0.50	0.64
S.A.R.	0.13	0.11	0.24	0.19	0.24	0.54	0.47	0.60	0.60	0.12	0.12	0.14
I.E.B.	0.04	0.31	0.01	-0.01	0.00	-0.04	-0.06	-0.08	-0.11	0.00	0.00	-0.01
ERR.	3.5%	6.5%	.3%	.2%	3.1%	.5%	.5%	.9%	.7%	2.3%	2.8%	1.2%

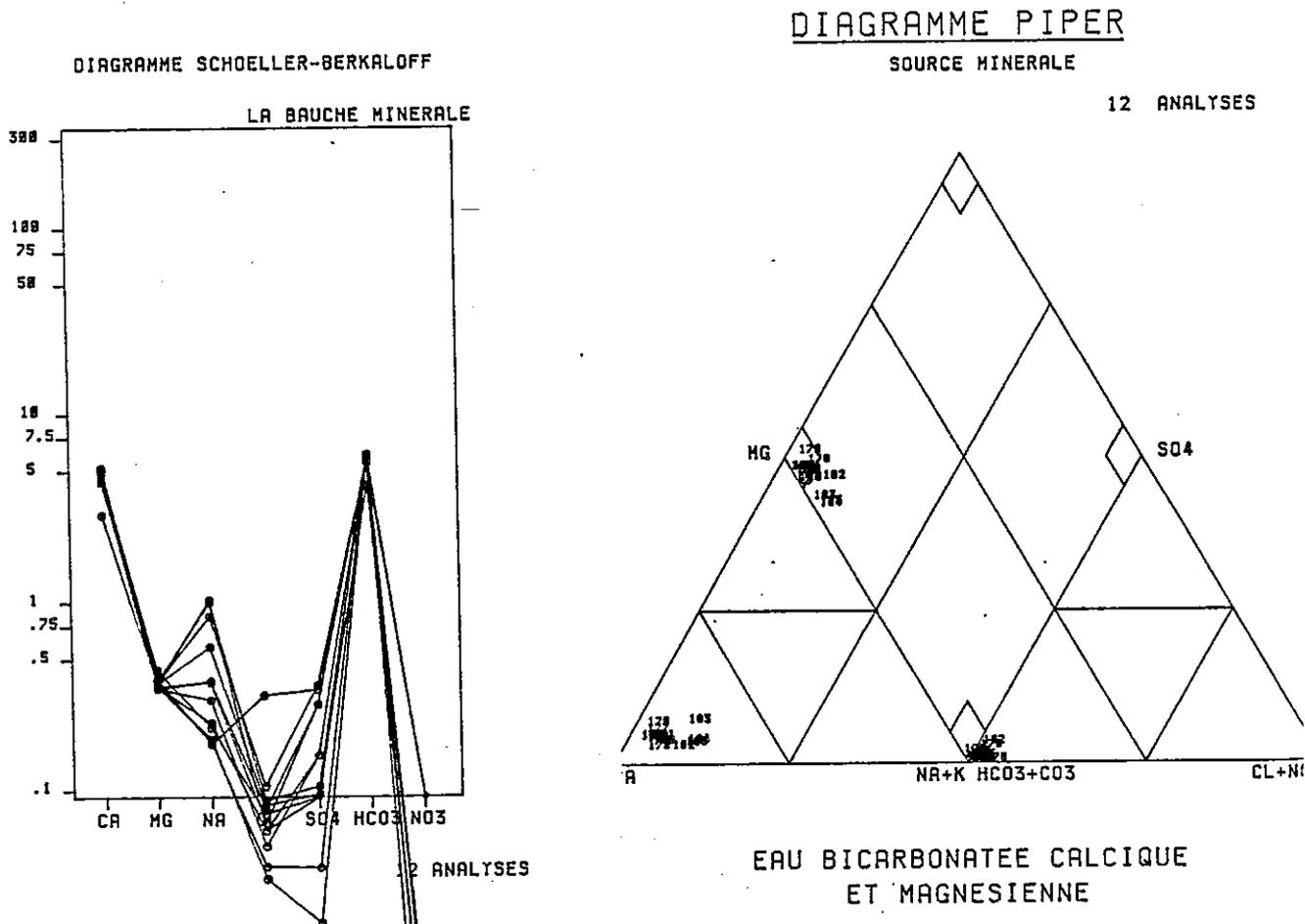


Figure n°59 Représentations de la composition chimique de l'eau de La Bauche.

	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne
Sr	0.17	0.15	0.17	0.18	0.17	0.18	0.18	0.17	0.18	0.17	0.17	0.17
Fe	6.18	0.27	3.04	12.10	1.22	0.11	0.11	0.16	0.05	0	0.05	2.12
Mn	0.64	0	0.64	0.80	0.80	0.08	0.56	1.02	0.64	0.76	0.73	0.60
Rb						< 0.01						
Li						< 0.003						

Tableau n°33 Analyse des éléments traces de la source minérale de La Bauche.

#### 4.4 - COMPOSITION CHIMIQUE MOYENNE

Le suivi des paramètres chimiques de l'eau minérale de la Bauche, permet de reconnaître une composition chimique caractéristique de cette eau, (tableau n°34 ):mg/l.

Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Sr	Fe	Mn	Rb	Li
11,07	3,01	4,85	108,4	376,4	9,75	4,1	0,12	0,17	12,0	0,6	0	0

L'absence de variations structurées de la composition chimique au cours de l'année indique que l'amplitude des variations n'est pas suffisamment distincte de l'incertitude liée aux différentes mesures, ou que le pas de temps choisi pour l'étude de cette source ne permet pas d'approcher les phénomènes influants sur la composition chimique.

#### 5 - LES VENUES GAZEUSES

Les descriptions anciennes signalent une odeur d'acide sulfhydrique, les mesures effectuées en 1984 n'ont pas décelé de gaz bien qu'une odeur d'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) très ténue puisse être sentie à certaines époques. Cette venue de gaz serait la trace du caractère réducteur de l'aquifère.

#### 6 - ETUDE ISOTOPIQUE

Pour préciser l'origine de l'eau minérale de la Bauche, des analyses isotopiques ont été pratiquées sur cette eau, ainsi que sur des eaux dont l'origine est connue. Le dosage isotopique s'est intéressé au tritium et à l'oxygène 18, les mesures ont été réalisées par le laboratoire du Centre de Recherches Géodynamiques de Thonon. (C.R.G.).

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

18 AOÛT 2003

### 6.1 - LE TRITIUM

Cet isotope de masse 3 de l'hydrogène est un élément radioactif, de période 12,26 ans. Sa concentration s'exprime en unité tritium (U.T.) correspondant à une teneur de 1 atome de tritium pour  $10^{18}$  atomes d'hydrogène. La présence de tritium dans une eau caractérise l'origine récente de cette eau.

Le dosage du tritium sur l'eau minérale de la Bauche, prélevée le 4 Janvier 1985, a donné la valeur de 45 U.T. indiquant par là une eau récente. Des analyses du tritium ont également été conduites sur les sources de l'Oratoire et de Courtines, sur des prélèvements effectués le même jour; les teneurs obtenues sont de 26 et 27 UT respectivement.

Les valeurs obtenues peuvent être comparées aux teneurs en tritium dosées dans les précipitations à Thonon lors des deux dernières années (tableau n° 35).

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1983	10	14	15	20	35	29	55	33	17	20	11	18
1984	12	9	18	36	23	37	37	35	22	15	28	31

Tableau n°35 Teneurs en tritium des eaux de pluie de Thonon-les-Bains.

Teneurs exprimées en Unités Tritium, incertitude  $\pm 1$  UT.

Les teneurs des sources de l'Oratoire et de Courtines s'expliquent par les précipitations de novembre et décembre 1984. Tandis que les valeurs de la source minérale conduisent à rechercher une alimentation plus ancienne. Seule la valeur mesurée en Juillet 1983 dépasse celle mesurée à la source, or il est vraisemblable qu'une eau ancienne ne correspond pas à la valeur des pluies d'un mois mais au mélange des eaux de précipitations de deux ou plusieurs mois. La moyenne des teneurs en Tritium de Juillet et Août 1983 correspond à 44 U.T.

Deux hypothèses peuvent donc être formulées:

- l'eau de la source minérale de la Bauche provient d'infiltration ayant subies un transit souterrain de 18 mois environ.
- l'eau minérale de la Bauche résulte d'infiltrations ayant eu lieu il y a plus de deux ans (des teneurs en tritium supérieures à 100 U.T. sont enregistrées sur les pluies d'avant 1981, M. CRUCHET 1983).

Cette deuxième hypothèse paraît plus vraisemblable, la teneur en Tritium observée aujourd'hui serait la résultante du mélange d'eaux des dix dernières années.

## 6.2 - L'OXYGENE 18

L'oxygène 18 est un isotope stable de l'oxygène 16. Sa concentration s'exprime en  $\delta \text{ ‰ } O^{18}$ , calculé comme suit:

$$\delta \text{ ‰ } O^{18} = \left[ \frac{R \text{ échantillon}}{R \text{ standard}} - 1 \right] \times 1000 \quad \text{avec } R = \frac{O^{18}}{O^{16}}$$

Le standard de référence (SMOW) a un  $\delta O^{18}$  qui par définition est nul. Un  $\delta O^{18}$  négatif correspond à un appauvrissement en isotope lourd.

Le tableau n° 36 donne les résultats des mesures effectuées sur des échantillons récoltés fin Décembre 1984.

Point de mesure	$\delta \text{ ‰ } O^{18}$
Source minérale	-10.12
Source de Courtines	-10.09
Source de l'Oratoire	-10.21
Pluies au Perrin	-15.87

Tableau n°36 Teneur en oxygène 18 de quelques eaux de sources du Bugey-Savoyard.

L'étude de P. CALMELS (1985), dans les Hautes Alpes, a montré que les valeurs de  $\delta \text{ ‰ } O^{18}$  des pluies varient entre 0 et -18 au cours des années 1982 à 1984, les pluies d'hiver étant appauvries en isotopes lourds. L'homogénéisation des valeurs d' $O^{18}$  s'effectue au sein de l'aquifère, à l'exutoire les mesures présentent peu de variation.

Dans ce cadre, les données obtenues sur le Bugey Savoyard montrent l'appauvrissement en isotopes lourds des eaux de pluies au Perrin. Les trois valeurs de  $O^{18}$  obtenues sur les sources sont très proches, elles indiquent que l'altitude des impluviums des trois sources est comparable: comprise entre 550 et 700 m pour les sources de l'Oratoire et de Courtines, cette altitude doit être admise pour la source minérale, elle correspond justement à l'altitude des terrains molassiques.

Le dosage de l'oxygène 18 apporte donc un argument important sur l'origine locale de l'eau de la source minérale de la Bauche.

## 7 - LES BOUES ROUGES

A proximité du griffon s'observe des amas de boues rouges, celles-ci sont visqueuses, imbibées d'eau, de couleur rouille. Leur abondance a tendance à obstruer l'exurgence. L'analyse spectrométrique au rayons X de ces boues n'a montré aucune cristallisation, ces dépôts restent sous forme colloïdale.

L'analyse chimique de ces dépôts a donné la composition suivante (en pourcentage de masse): (tableau n°37).

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO
6.46	1.08	61.17	0.10	0.45
CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
5.75	1.47	0	0.04	2.70
Perte au feu				
19.72				

Tableau n°37 Analyse, en pourcentage de masse, des boues rouges de la source de La Bauche.

La présence de ces boues est due à la précipitation des éléments dissous lors de l'arrivée de l'eau à l'exurgence. Ces éléments sont témoins des terrains traversés par l'eau. La teneur la plus forte est la teneur en fer, ce fer provient de la précipitation du fer dissous lors de l'oxygénation du milieu. Le fer est présent dans l'eau sous forme réduite soluble: le fer ferreux, il s'oxyde au contact de l'air et précipite sous forme de fer ferrique. Les conditions de précipitations de ce fer varient et expliquent ainsi les variations de concentration rencontrées dans l'analyse de l'eau. (A. CRIAUD et al. 1984).

La forte teneur en silice indique le contact prolongé de l'eau avec un aquifère siliceux et la teneur en oxyde de calcium conduit à chercher l'origine de cette eau dans la molasse gréseuse .

## 8 - ELEMENTS REGIONAUX D'INTERPRETATION

Pour comprendre l'origine de l'eau de la Bauche des observations ont été faites à une échelle régionale.

- A St Alban de Montbel, au pied du tube pluviométrique du Soujet, s'écoule le ruisseau de Luzara. Lors de la sécheresse de septembre, octobre 1985 le ruisseau a tari, des boues rouges ont alors pu être observées en ce lieu, or ce ruisseau s'écoule uniquement sur de la molasse burdigalienne;

- Dans la galerie de reconnaissance du tunnel de l'Epine, aux P.K. 2880 et 2900 (à proximité de l'extrémité est de la galerie deux sources laissant des boues rouges ont été observées. Ces deux sources sont issues de deux ruisseaux distincts de la molasse burdigalienne. Le débit très faible n'a pu être jaugé, les températures de 9,1 et 9,4°C en Janvier 1985 correspondent à celle de la source de la Bauche à la même époque, la conductivité de 410 mhos.cm<sup>-1</sup> est légèrement inférieure à la valeur moyenne mesurée à la Bauche.

- A Seyssel (Haute Savoie) à l'Est immédiat du barrage, le long de la route RN 92, s'observe un affleurement de molasse de faciès gréseux à lentilles de lignite, ce terrain est attribué à l'ensemble indifférencié de du Burdigalien-Helvétien par la carte géologique 1/50000 de Seyssel.

Les lentilles de lignite sont bordées, principalement vers le bas d'un encroûtement de couleur rouille, des écoulements infimes montrent une relation entre les encroûtements et le lignite.

#### CONCLUSION: Origine de l'eau minérale de la Bauche

Les différents éléments décrits précédemment montrent que l'eau de la Bauche provient de la molasse helvétique ou burdigalienne, et que l'intervention de venues profondes est peu vraisemblable. Cette eau doit ses caractéristiques à la présence d'un aquifère à perméabilité réduite, l'eau s'approche de l'équilibre chimique avec son aquifère, d'où une minéralisation relativement importante.

La valeur minérale de cette eau est due principalement à la présence de fer et à un moindre niveau de manganèse. La présence de fer est due à l'existence de lentilles ligniteuses au sein de la molasse. Ces niveaux de matière organique provoquent le développement de milieux réducteurs dans lesquels le fer présent dans la molasse peut être mis en solution sous forme de fer ferreux. Puis, dans un milieu clos, l'eau achemine le fer vers l'exsurgence. C'est le système d'équilibre entre le Carbonate de fer ( $FeCO_3$ ) et un hydroxyde ferrique  $Fe(OH)_3$  ou  $FeOOH$  qui joue le rôle de tampon et maintient le Fer en solution.

L'oxygénation de l'eau au contact de l'air à l'exsurgence provoque l'oxydation du fer ferreux en fer ferrique qui précipite. Le système de tampon chimique limite la cinétique de la réaction de précipitation: une certaine quantité de fer est maintenue en solution sous forme de bicarbonate ferreux et donne à l'eau ses qualités thérapeutiques.

Le comportement du manganèse est proche de celui du fer, mais il semble moins sensible aux conditions de milieu, les teneurs observées étant plus constantes.

## CONCLUSION

- 1 - LES FORMATIONS CARBONATEES DU MESOZOÏQUE
- 2 - COMPORTEMENT DES TERRAINS DETRITIQUES DU CENOZOÏQUE
- 3 LE RÔLE HYDROGEOLOGIQUE DES TERRAINS QUATERNAIRES
- 4 - LES RELATIONS ENTRE LES AQUIFÈRES
- 5 - REMARQUES D'ENSEMBLE A PARTIR D'OBSERVATIONS SUR LE  
BASSIN DU GRENAND

## CONCLUSION

L'étude conduite dans le Bugey Savoyard a permis de connaître le comportement des eaux en l'abordant sous les différents thèmes. Dans la conclusion, les résultats vont être synthétisés en s'intéressant successivement aux différents aquifères.

### 1 - LES FORMATIONS CARBONATEES DU MÉSOSOÏQUE

Le Bugey Savoyard présente une structure synclinale à plongement vers le Sud, bordée par deux anticlinaux. Cette structure est la conséquence d'une tectonique multi-phasée due à l'ébauche de la chaîne jurassienne, sous forme de larges anticlinaux, puis à la collision entre les massifs de la Chartreuse et du Bugey. Les traits les plus marquants sont le chevauchement de la chaîne de l'Epine sur le versant oriental du synclinal et la rotation vers l'Ouest des structures de toute la partie située au Sud du lac d'Aiguebelette. A l'Ouest, des failles verticales tracent la limite entre le chaînon calcaire de St-Franc-Dullin et les plaines molassiques du Bas Dauphiné. L'ossature structurale est constituée des assises carbonatées de l'Oxfordien au Barrémien, dans lesquelles l'hydrogéologie permet de distinguer deux ensembles.

A la base, les calcaires anté-hauteriviens présentent une karstification ancienne, les conduits de faible dimension sont en partie colmatés par des argiles de décalcification. Les émergences issues de ces terrains présentent les caractéristiques des sources karstiques: grandes variations des débits jaugés, phénomène de piston-flow particulièrement sensible sur les valeurs des températures. La dolomitisation avancée de ces terrains et le séjour prolongé des eaux dans les fissures de l'aquifère, conduisent à une teneur des eaux en magnésium relativement élevée. Les argiles de décalcification sont entraînées par les écoulements et une forte concentration des eaux en silice peut être mesurée.

Séparé du karst inférieur par les marno-calcaires de l'Hauterivien, le karst supérieur se reconnaît par des conduits beaucoup plus vastes, principalement dans les calcaires urgoniens. Le chevauchement a conduit le karst de l'anticlinal de l'Epine à surmonter les assises karstifiées du synclinal médian. Ces deux ensembles communiquent localement entre eux par des gouffres et galeries qui se sont développés le long des wrench fault affectant le compartiment chevauchant. Le développement de conduits dans des terrains où le pendage est très marqué, permet des transits très rapides: le traçage effectué au Mont Beauvoir a montré une vitesse de circulation des eaux de 75 m/h. Les sources du karst supérieur sont moins chargées en silice que celles du karst anté-hauterivien. La dolomitisation peu prononcée et le transit rapide des eaux induisent des teneurs en magnésium faibles et relativement constantes.

Les karsts actifs de la chaîne de l'Epine sont en majeure partie d'origine récente; ils résultent de l'érosion qui a fait suite à la phase tectonique post-cortonienne. Une érosion karstique intense a eu lieu au Paléogène et une autre probablement au Portlandien, mais les contraintes tectoniques postérieures ont fortement réduit le rôle hydrogéologique de ces karstifications.

### 2 - COMPORTEMENT DES TERRAINS DETRITIQUES DU CENOZOÏQUE

Le coeur du synclinal d'Attignat-Oncin est formé d'assises détritiques miocènes qui évoluent entre un pôle silteux et un pôle gréseux. L'érosion des massifs alpins en voie de surrection a alimenté

les régions limitrophes en produits détritiques variés. La situation du Bugey Savoyard en bordure du Bas-Dauphiné explique l'hétérogénéité des terrains qui présentent des variations de faciès tant latérales que verticales. L'hétérogénéité lithologique de la molasse se traduit par un comportement hydrogéologique très variable. Les silts comme les grès sains, qui forment l'essentiel de la formation, sont pratiquement imperméables; tandis que l'altération superficielle des grès, par dissolution du ciment carbonaté permet le développement d'une porosité d'interstice notable. Les horizons altérés de la molasse peuvent ainsi contenir des nappes caractérisées par une faible minéralisation due à la solubilité réduite des éléments en présence. Le faible développement de l'altération ne permet cependant que l'existence d'aquifères peu productifs, les débits des sources présentant de fortes variations.

Un phénomène d'altération de la molasse gréseuse s'apparentant à la karstification a été observé dans plusieurs secteurs (puits rappelant les gouffres, drains analogues aux galeries karstiques). La tranche de terrain concernée par ces figures n'atteint que quelques mètres d'épaisseur, et c'est dans l'horizon le plus altéré de la molasse que ce phénomène se développe. Les eaux d'infiltration dissolvant le ciment carbonaté; les éléments figurés sont alors désolidarisés de leur matrice et ils peuvent être entraînés par les circulations souterraines vers l'exutoire où des dépôts de sables sont d'ailleurs observés (source de Courtines). Comme les sources karstiques, les exurgences des drains ainsi constitués présentent des débits très variables. La faible ampleur du phénomène ne permet pas d'obtenir une caractérisation chimique marquée. Seule la silice présente une concentration supérieure à celle dosée dans les aquifères non molassiques.

La présence de lits ligniteux au sein de la molasse permet le développement de milieux réducteurs qui favorisent la mise en solution du fer et du manganèse. Le fer peut atteindre des concentrations importantes dans les eaux et celles de la source minérale de La Bauche (autrefois exploitée) ou celles des sources du tunnel de l'Epine, témoignent de la forte minéralisation obtenue à l'aval des assises molassiques ligniteuses. Au griffon, l'oxygénation de l'eau au contact de l'air conduit à une oxydation du fer ferreux en fer ferrique qui précipite, une faible quantité se maintenant en solution sous forme de carbonate ferrique. Les précipitations conduisent à une importante production de boues rouges constituées essentiellement d'oxyde de fer mais aussi de chaux et de silice, l'ensemble restant sous forme colloïdale. L'intérêt thérapeutique de cette eau est limitée car les débits jaugés fûstent très faibles de l'ordre de 0,5 l/mn.

### 3 - LE RÔLE HYDROGÉOLOGIQUE DES TERRAINS QUATERNAIRES

L'ensemble du bassin étudié comporte une couverture quaternaire de nature très diversifiée, ce qui induit un comportement spécifique de chaque terrain.

Les formations gravitaires sont représentées par un écoulement de la falaise au dessus d'Aiguebelette et les éboulis de versants qui tapissent le pied de la chaîne de l'Epine. Leurs fortes perméabilités conduisent à une évacuation rapide vers l'aval des eaux infiltrées.

Les périodes glaciaires se sont traduites par du matériel à dominante argileuse constituant des arêtes morainiques ou des accumulations de fond de vallées entaillées par l'érosion torrentielle récente. Aux environs des Echelles, les dépôts glaciaires indiquent que les gorges

de Chailles se sont maintenues longtemps englacées obstruant ainsi le cours du Guiers provenant de la Chartreuse. Un lac s'est alors formé en amont; son émissaire s'écoulait par les gorges de Grossey, plus au Sud. Le lac d'Aiguebelette est la marque la plus visible de l'érosion quaternaire. Le glacier du Rhône, venant du Nord, a creusé une profonde cuvette, son action a été facilitée par la présence de niveaux peu résistants de la molasse (les sables de Pont-de-Beauvoisin). Ces différentes formations présentent un intérêt hydrogéologique modeste du fait de la prédominance des niveaux argileux. Au sein des dépôts glaciaires, certains horizons, par la présence de matériel graveleux, offrent une perméabilité plus élevée qui se traduit par des exurgences montrant soit une forte variation des paramètres physiques lorsque l'aquifère est peu développé (source du Collomb), soit une concentration chimique élevée et constante du fait du contact prolongé de l'eau avec l'aquifère lorsque la perméabilité est limitée (source de la Vieille Poste).

Le matériel graveleux des formations alluviales présente une perméabilité moyenne; une valeur de  $1,4 \cdot 10^{-5}$  m/s a été montrée par un essai de pompage dans la plaine du Guiers en amont des Echelles. De même à Attignat-Oncin, l'étude de l'écoulement du ruisseau de Quinze Sous a montré l'existence d'un important transit à travers la plaine du Bagné indiquant ainsi le développement de nappes d'accompagnement liées aux différents cours d'eau. Des ressources en eau intéressantes sont donc présentes dans les formations alluviales, mais jusqu'ici ces réserves n'étaient pas exploitées du fait de la préférence donnée aux eaux d'origine gravitaire. Leur situation en partie basse des vallées les rend toutefois plus sensibles aux pollutions (effluents des hameaux, nitrates agricoles...).

#### 4 - LES RELATIONS ENTRE LES AQUIFERES

Les relations entre les aquifères mésozoïques et cénozoïques sont très limitées du fait des discontinuités sédimentologiques et du caractère aquiclude dominant de la molasse. En effet, la communication entre les aquifères nécessite l'abouchement de la porosité de fissures du karst avec la porosité d'interstice de la molasse dont le développement ne concerne que la tranche superficielle altérée des terrains. Mais l'opération de traçage effectuée à St-Christophe-la-Grotte a montré que le karst sous-jacent peut localement se mettre en charge et alimenter de petites nappes situées dans la molasse surincombante. Lorsque les terrains molassiques présentent une altération en puits et drains, la probabilité d'intersection entre ces drains et les conduits karstiques est très faible et les deux aquifères réagissent indépendamment.

Le rôle des formations quaternaires de pente est souvent de masquer les exurgences karstiques, les apports en eaux diffusent à travers des terrains de perméabilité irrégulière et l'apport de chaque chenal karstique donne ainsi lieu à de nombreuses petites sources disséminées dans les éboulis (sources du Replat, sources de la Fauchère). En position plus basse dans les vallées, les formations alluviales reçoivent de façon inapparentes les écoulements des terrains surincombants: molasse altérée, calcaire karstifié, mais le mélange qui s'opère au sein de l'aquifère ne permet pas de reconnaître le terrain dans lequel l'infiltration des eaux a eu lieu.

## 5 - REMARQUES D'ENSEMBLE À PARTIR D'OBSERVATIONS SUR LE BASSIN DU GRENAND

Un bassin versant a été isolé au sein du Bugey Savoyard dont la structure complexe conduit des aquifères aux caractéristiques distinctes à se juxtaposer.

L'étude des courbes de tarissement des crues du ruisseau du Grenand a montré que le fonctionnement hydrogéologique peut être représenté par celui d'un ensemble de réservoirs distincts qui se vidangent les uns après les autres; chacun d'eux représente un volume d'eau voisin d'un demi million de mètres cubes et leurs vidanges progressives s'échelonnent dans le temps. Le tarissement montre l'arrivée à l'exutoire, tout d'abord des eaux provenant du réésuyage, puis de celles issues du karst, puis celles provenant des alluvions les plus grossières, et, enfin les eaux émergeant de la molasse qui alimentent les ruisseaux durant une période relativement étendue par la vidange successive des différents niveaux suivant la perméabilité décroissante des aquifères. Si l'on additionne l'ensemble des réserves, le volume total obtenu est important.

Les calculs menés pour établir le bilan hydrogéologique ont montré que les considérations topographiques ne sont pas suffisantes pour délimiter les bassins versants. Les limites du bassin du Grenand au niveau du massif calcaire ayant été déterminées par le traçage du Souhait, les perturbations observées lors du calcul du bilan, ne peuvent provenir que d'écoulements inapparents dans la molasse. La molasse altérée qui occupe le coeur du bassin permet l'existence de fuites vers le Sud, selon le plongement axial du synclinal. Ces fuites sont d'autant plus importantes que l'altération en chenaux de la molasse permet des transits rapides.

De ceci découle la difficulté de définir les périmètres de protection des sources captées, la seule observation de la ligne de crête n'est pas suffisante pour délimiter l'impluvium d'une émergence et la circulation dans des aquifères à chenaux ne permet pas une filtration des eaux. Cette difficulté connue pour les aquifères karstiques se retrouve ici dans la tranche de la molasse, tandis que l'essentiel des assises molassiques présente une porosité d'interstice favorisant la filtration.

La situation du Bugey Savoyard est donc paradoxale dans le sens où malgré des précipitations abondantes (précipitations moyennes annuelles à Novalaise de 1350mm, lame d'eau précipitée sur le bassin du Grenand de 1840mm), les quantités d'eau disponibles pour l'alimentation sont juste suffisantes et la qualité n'est pas toujours satisfaisante. Le transit rapide des eaux vers l'aval, ainsi que la multiplicité des ressources correspondant chacune à un faible volume, conduisent à une logistique coûteuse de l'approvisionnement en eau. Le dilemme qui se présente alors, est d'exploiter soit des ressources connues mais nécessitant un traitement, soit les eaux des aquifères des formations alluviales qui ont été délaissées, jusqu'à présent du fait de la contrainte d'un relevage, mais, dans ces dernières, la pollution bactérienne risque d'être remplacée par un excès en éléments d'origine agricole tels que les nitrates.

*D'un point de vue plus général, cette étude complète les travaux régionaux précédents, qui se sont consacrés aux terrains karstiques ou molassiques. Ayant abordé cette recherche en distinguant les terrains par leur nature lithologique, nous avons détaillé la genèse des réseaux karstiques. Les observations sur la molasse ont ensuite montré l'existence d'une altération s'apparentant à la karstification et qui joue un rôle dans l'hydrodynamique locale. La présence de sources minérales dont les caractéristiques ne sont liées qu'à des circulations au sein de la molasse est un autre aspect des particularités du Bugey Savoyard. Ces faits propres au domaine étudié devraient apporter une aide à la compréhension des phénomènes hydrauliques dans des lieux où les conditions d'observation ne sont pas aussi favorables.*

## ANNEXES

- ANNEXE 1 - CLIMATOLOGIE
- ANNEXE 2 - CLIMATOLOGIE
- ANNEXE 3 - LES ÉMERGENCES - COMPLÉMENT
- ANNEXE 4 - LES ÉMERGENCES-RÉSULTATS CHIFFRÉS
- ANNEXE 5 - LES PROGRAMMES INFORMATIQUES UTILISÉS
- ANNEXE 6 - REMARQUES SUR LA BACTÉRIOLOGIE

## ANNEXE 1

## CLIMATOLOGIE

Station		Le Soujet	Le Perrin	Le Michalet	La Fauchère	Le Saudeillan1	Le Saudeillan2	
1983	D	-	12.5	9.5	12			
1984	J	16.5	17	16	20.5	64	-	
	F	14.2	10	13	13			
	M	8	10.5	5	10.5			
	A	6.5	19	-	8			
	M	11.5		-	13.5	11		
	J	6.5	17.5	8	8.5	12		
	J	1		-	1.7	0		
	A	4.4		12.5	5.2	4		
	S	26.4		34	28.5	37		43.5
	O	14.2	13.6	19.5	21.7	19.2		
	N	9.1	38	30	26	10.5		
	D	14.1						
1985	J	6.1			12.5	49.5	61.5	
	F	11	9.5	9.5	10.7			
	M	14.3	15.5	17	16			
	A	8.5	11	9	11.8	11		15
	M	17.7	18.5	22	21	23		21
	J	17.8	21.2	21.3	21.5	30		30
	J	8.3	6.3	7.2	6	1		5
	A	11.7	12	15.3	15.3	15		22

Relevés mensuels des précipitations locales. (mm)

## ANNEXE 2

## Calcul de la lame d'eau précipitée

Tranche d' altitude	Lame d'eau mm	Volume précipité en $10^3 \text{ m}^3$		
		Grenand supérieur	Quinze Sous	Grenand
1400.1427	2330	135		135
1300.1400	2305	80	60	140
1200.1300	2275	110	120	230
1100.1200	2245	130	210	340
1000.1100	2215	260	290	540
900.1000	2180	300	410	710
800. 900	2145	335	580	920
700. 800	2080	805	1065	1870
600. 700	1815	990	1700	2690
500. 600	1735	2710	3040	5750
445. 500	1675	1990	970	2960
<b>TOTAL</b>		<b>7830</b>	<b>8440</b>	<b>16270</b>
Lame d'eau moyenne		1825	1948	1843

ANNEXE IIIETUDE DE QUELQUES SOURCES DU KARST ET DE LA MOLASSE1. LES SOURCES DES CALCAIRES KARSTIQUES1.1 - LA SOURCE DU MERDERET

L'exurgence se situe dans les calcaires urgoniens du bassin de St Christophe la Grotte à 710m d'altitude. L'exutoire étudié ne correspond qu'à un trop plein par où se vide le karst, c'est le débouché d'une fissure ouverte d'inter-banc. Elle a été choisie pour son accès facile et la possibilité de jaugeage à l'aval.

Paramètres physiques

Les débits: les jaugeages mensuels ont donné des débits de 0,25 l/mn à 3,6l/s (220 l/s): le débit de crue représente plus de 850 fois le débit d'étiage ce qui est le propre des exurgences karstiques. Le débit minimum s'observe en août, le maximum en octobre.

Les températures: les valeurs mesurées varient entre 7,0°C en avril 11,6°C en octobre, l'amplitude des écarts de 4,6°C est forte, ceci indique que l'eau de la source suit les variations de la température atmosphérique avec un retard important: un mois pour le minimum hivernal et deux mois pour le maximum estival. Un phénomène de piston-flow doit être invoqué pour expliquer ce retard. L'eau infiltrée est stockée dans le réservoir karstique où elle garde sa température, les apports successifs repoussent les venues antérieures vers l'exutoire sans qu'il y ait mélange.

Conductivité et pH:

La conductivité moyenne est de 370  $\mu$  mho/cm. Les fortes valeurs s'observent à l'étiage témoignant d'une minéralisation plus forte. Le pH moyen sur l'année est de 7,6 ce qui indique un caractère basique assez net.

Paramètres chimiques

La concentration en bicarbonate varie autour de la moyenne de 270mg/l. Le calcium est le cation le plus représenté, sa concentration moyenne est de 77,6mg/l, la faible valeur observée en juillet a été compensée par une valeur forte de la concentration en magnésium: 26mg/l. Malgré les exploitations agricoles situées en amont aucun excès en sulfate ou nitrate n'a été observé ce qui indique une bonne dilution des apports éventuels.

## Conclusion

*L'étude de la source du Merderet montre un comportement karstique typique de l'exutoire. Le phénomène de piston flow montré par l'analyse de l'évolution des températures indique l'existence de réservoirs intermédiaires.*

### 1.2 - la source de Miribel

La falaise urgonienne qui borde l'Ouest de l'anticlinal du Menuet domine des formations quaternaires de versant : des éboulis stabilisés pour la plupart. A une trentaine de mètres du pied de la falaise une source émerge des éboulis qu'elle a consolidé par le dépôt de tuf, sur une cinquantaine de mètres de dénivellation.

#### Paramètres physiques

Les débits: un seuil taillé dans le tuf a permis de jauger la source. Les débits mesurés varient entre 0,19 l/s en juillet et 5,5 l/s en octobre soit un débit de crue trente fois supérieur à celui d'étiage. Cet écart entre débit de crue et débit d'étiage est très inférieur à celui constaté sur la source du Merderet, ceci indique le rôle de tampon joué par les formations quaternaires surincombantes; mais, il est également probable qu'il existe un autre exutoire jouant le rôle de trop plein, éliminant ainsi les forts débits de l'excurrence surveillée.

La température: les relevés thermométriques montrent une variation entre 7,3°C en mars et 10,2°C en août. Le décalage entre la température de l'air ambiant et celle de l'eau est plus faible que celui constaté à la source du Merderet ce qui implique que le phénomène de piston-flow, si il existe ici, a des répercussions plus limitées.

#### Conductivité et pH

La conductivité moyenne est de 370  $\mu$  mho/cm, les conductivités élevées sont liées aux forts débits.

La valeur moyenne du pH de 7,7 renforce le caractère basique de l'eau.

#### Paramètres chimiques

La concentration moyenne en bicarbonate de 264 mg/l reste proche de celle obtenue à la source du Merderet. Les fortes concentrations sont observées plutôt en période de crue: si le phénomène de piston-flow thermique ne s'observe pas il semble plus net pour les paramètres chimiques.

Les autres anions ne présentent pas de variations de concentration significative, la concentration restant limitée : moins de 10mg/l. La teneur en calcium limitée à 75mg/l en moyenne est assez constante. Le sodium présente un excès lors de l'étiage: la concentration dépasse 20mg/l début septembre.

## Conclusion

*La source de Miribel présente les caractéristiques des exurgences karstiques mais temporisées par la présence de formations quaternaires entre le karst et le griffon. Les formations quaternaires ne semblent pas permettre l'existence d'une alimentation complémentaire de la source.*

### 1.3 - LES SOURCES DE LA FAUCHERE

Au lieu dit la Fauchère, la commune d'Attignat-Oncin a capté trois sources: Fauchère supérieure, Fauchère inférieure et Cerbazin. La qualité bactériologique déficiente de ces eaux a conduit la commune à faire réaliser une étude du vallon situé en amont (P. BERGERET 1982). Durant l'année 1984, j'ai suivi les caractéristiques physiques de ces trois sources et la source de la Fauchère inférieure a fait l'objet d'un suivi chimique également.

Les captages sont situés dans les éboulis de pied de versant au bas de la falaise du Crétacé basal. L'éloignement des captages du karst peut être estimé à plus de 700m. Les mesures ont été réalisées à l'arrivée des conduites au réservoir.

#### Débits

La source de la Fauchère inférieure a présenté un débit variant entre 1 l/s en août et 4 l/s en février, ce qui donne un coefficient bien faible pour une source karstique. Ceci est dû à l'influence de l'aquifère d'éboulis situé entre le karst et l'exurgence.

La source de la Fauchère supérieure a été jaugée à 0,5 l/s en septembre et 4 l/s en avril, mais il faut noter que au mois de février le jaugeage n'a pu être réalisé du fait du débit excessif de la source qui provoquait des coups de butoir dans la canalisation.

La source de Cerbazin a présenté des débits plus faibles, qui ont varié entre 0,4 l/s en janvier et 1,7 l/s en juin mais la position des canalisations dans le réservoir ne permet pas le jaugeage de cette source lorsque les venues sont abondantes car elle se trouve alors immergée.

#### Température

La température de la source de la Fauchère inférieure varie entre 5,6°C en mars et 9,5°C en septembre soit une amplitude approchant 4°C. La source de la Fauchère supérieure présente des variations tout à fait comparables 5,6°C en mars et 9,7°C en août. Par contre, les variations observées à la source de Cerbazin sont plus limitées puisque l'amplitude est de 3,2° entre 5,6°C en avril et 8,8° en août, cette faible amplitude est due à un moindre réchauffement des venues estivales.

#### Conductivité et pH de la source de Fauchère inférieure

La conductivité moyenne est de 372µmho /cm les variations sont peu significatives si ce n'est une valeur particulièrement basse en octobre: 224µmho /cm. Cette valeur est à relier au débit très important

mesuré qui correspond aux fortes pluies du mois de septembre

Le pH moyen de 7,5 est légèrement inférieur à celui des sources à caractères karstique plus renforcé.

#### Caractéristiques chimiques de la source de la Fauchère inférieure

La concentration en bicarbonate varie autour de la valeur moyenne de 268 mg/l donc toujours très proche de la valeur constatée pour les autres sources de ce groupe. Seule l'eau prélevée au mois d'octobre présente un déficit important avec près de 50% de bicarbonate en moins. Les concentrations observées pour les autres anions sont beaucoup plus modestes seule est à noter la valeur des sulfates obtenue en janvier qui approche les 20 mg/l.

Le cation le plus représenté est le calcium dont les variations de concentration suivent celles des bicarbonates. La concentration moyenne en calcium est de 62 mg/l ce qui est nettement inférieur aux valeurs observées sur les autres sources karstiques. Mais le déficit en calcium est compensé par le magnésium dont la concentration moyenne atteint 16,8 mg/l. Ceci pourrait être la marque de la dolomitisation avancée des calcaires du Berriasien et du Valanginien qui permet une dissolution de magnésium tandis que les calcaires urgoniens ne laissent que des gros chenaux peu dolomitisés où le magnésium n'est remobilisé que plus difficilement.

#### Conclusion

*Les sources de la Fauchère présentent les mêmes caractéristiques que les sources karstiques vues précédemment mais le volume d'éboulis quaternaires reposant entre le karst et l'exurgence peut modifier quelque peu le comportement. Une alimentation directe par les éboulis est la cause des faibles minéralisations de la source en octobre, ceci implique des risques de pollution de la source en particulier par entraînement de particules lors de périodes à fortes précipitations.*

#### 1.4 - LA SOURCE DE LA COTTARDIERE

A 500 m au Nord de la Fauchère, la commune d'Attignat-Oncin a capté une source pour l'alimentation en eau du hameau de la Cottardière. Le débit varie entre 0,1 l/s en août et 0,5 l/s en février, mais surtout les températures montrent un écart très important: de 4°C en mars elles passent à plus de 13°C en août. Toutefois, du fait de la situation semblable de cette source et de celle de la Fauchère il semble que ces variations de température soient plus dues à une influence des températures externes sur les canalisations entre le captage et le réservoir où les mesures ont été effectuées.

Cette source, de par sa situation, semble appartenir à la même famille que celles de la Fauchère mais la porosité moindre des éboulis stabilisés en a limité le débit et a pu influencer de manière plus nette la composition chimique.

1.5 - LA SOURCE DU TRIEU (Figure n°III.1)

En amont du vallon de la Combe à Aiguebelette, une exsurgence est visible au milieu d'un pré, aucun affleurement n'est visible à proximité mais les caractéristiques physico-chimiques montrent une concordance étroite avec les données des sources d'origine karstique. Le fond de vallée d'où émerge la source est bordé à l'Est de calcaire recouvert de lambeau de molasse et à l'Ouest de la colline molassique du Saujet.

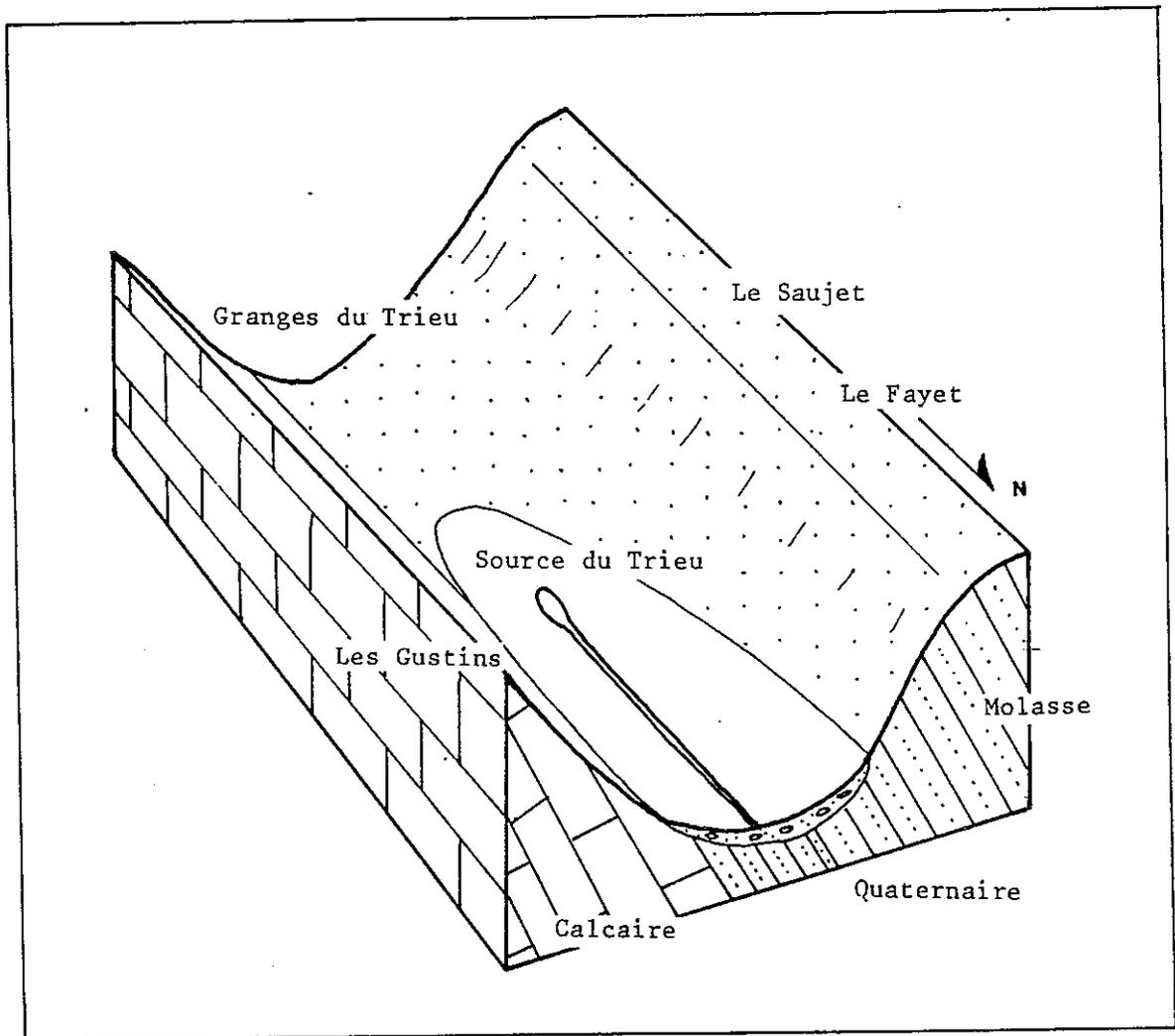


Figure n°III-1 Situation de la source du Trieu.

## Paramètres physiques

### Les débits

Les jaugeages effectués légèrement à l'aval ont fourni des débits de 0,18 l/s en août à l'étiage et de 20 l/s lors des hautes eaux d'avril, soit un débit de 100 fois supérieur à celui observé à l'étiage. Ceci montre le caractère karstique indiscutable de l'exurgence. Le quaternaire de fond de vallée ne joue qu'un rôle très limité.

### Les températures

Les températures mesurées varient entre 7,0°C en mars et 13,4°C en août, soit une amplitude de 6,4°C tout à fait caractéristique des exurgences karstiques. Les variations des températures de l'eau montrent un ajustement avec celles des températures de l'air proche de celui constaté à Miribel.

### Conductivité et pH

La conductivité moyenne s'établit à 413  $\mu$ mho/cm mais les variations sont très importantes. Lors des crues d'avril et de février des valeurs de 341  $\mu$ mho/cm et 351  $\mu$ mho/cm ont été mesurées tandis qu'en mai le débit de 0,69 l/s correspond à une conductivité de 473 mho/cm.

Le pH présente d'importantes variations entre 6,8 et 7,7, la moyenne s'établit à 7,38.

### Caractéristiques chimiques

La concentration en bicarbonate est élevée, la moyenne approche 390 mg/l. Les faibles valeurs s'observent lors des crues où les bicarbonates ne représentent plus que 200 à 250 mg/l. Les autres anions restent peu concentrés (moins de 10 mg/l).

Le cation le plus représenté est le calcium dont la concentration varie autour de 80 mg/l. La valeur faible observée en septembre est compensée par une concentration élevée en magnésium. Plus que la concentration en calcium c'est la dureté totale, qui représente calcium et magnésium, qui varie dans le même sens que le titre alcalimétrique qui correspond aux bicarbonates. La teneur moyenne en magnésium de 11 mg/l ne reflète pas certaines valeurs mesurées: 38 mg/l en septembre, 18 mg/l en mai et juin qui pourraient être la trace de venues de conduits dans les calcaires dolomitiques.

Le sodium présente un excès durant l'été, des valeurs supérieures à 20 mg/l sont mesurées, alors que durant le reste de l'année ces valeurs restent inférieures à 10 mg/l.

La concentration en silice est voisine de celle mesurée à la Fauchère 6 mg/l, cette valeur peut être la trace des terrains quaternaires situés entre le karst et l'exurgence.

## CONCLUSION

*La source du Trieu présente les caractéristiques des sources karstiques, la manifestation d'un aquifère quaternaire entre la source et le karst ne se marque que par une valeur de la teneur en silice légèrement plus forte.*

### 1.6 - LES SOURCES DU REPLAT

Au lieu dit le Replat, une source a été captée dans les éboulis stabilisés du Quaternaire par la commune d'Attignat-Oncin. Mais le débit ne suffisant plus aux besoins, une autre source a été captée en aval du premier captage. Il semble que la source inférieure ne corresponde en fait qu'à la partie des écoulements qui n'ont pas été captés par le premier ouvrage. Des apports locaux complètent l'alimentation de la deuxième exsurgence.

La première source captée sera nommée Replat supérieur et la seconde, Replat inférieur. L'intérêt de la source du Replat inférieur avant l'exécution du captage définitif a conduit à réaliser l'étude complète tandis que sur la source de Replat supérieur seuls les paramètres physiques ont été suivis.

#### Paramètres physiques

##### Débits

Le débit moyen de l'exsurgence de Replat inférieur atteint 4,1 l/s, ce qui est relativement important pour la région. La valeur minimale observée est de 0,9 l/s lors de l'étiage estival: en août. Le maximum qui a été observé est de 12 l/s en février. La source du Replat supérieur présente des variations plus limitées autour de la valeur moyenne de 3,4 l/s. En effet si aucun débit inférieur à 2 l/s n'a été enregistré le maximum mesuré en mai n'atteint que 6 l/s.

##### Température

Les variations de la température de la source du Replat inférieur atteignent 2,5°C entre la valeur de 6,3°C enregistrée en avril et celle de 8,8°C mesurée en septembre, la valeur moyenne obtenue est de 7,4°C. Bien que le captage de la source du Replat supérieur soit situé à une altitude supérieure la valeur de la température moyenne est plus élevée elle approche 7,6°C avec un minimum de 6,4 en avril et un maximum de 8,7 en août.

Ces observations sur la température indiquent le caractère plus superficiel de la source du Replat inférieur.

##### Conductivité et pH

La source du Replat inférieur présente une conductivité moyenne de 240 µmho/cm. Les variations constatées sont de faible ampleur, seule la mesure du mois d'octobre, en période de hautes eaux, présente une conductivité élevée: 403 µmho/cm. Cette valeur peut être rapprochée de la forte minéralisation observée pour cette même eau: 374 mg/l, alors que la moyenne calculée sur les autres valeurs est de 210 mg/l.

Le pH moyen s'établit à 7,8, ce qui est relativement élevé, dénotant par là, l'existence d'un milieu à caractère nettement basique.

#### Caractéristiques chimiques

L'anion majeur; le bicarbonate reste à une concentration modeste: voisine de 158 mg/l, seule la valeur d'octobre approche 280 mg/l. Les valeurs mesurées à l'étiage ne présentent pas de concentrations particulières. Les teneurs en sulfate varient autour de 5 mg/l tandis que les valeurs mesurées en nitrates et chlorures restent inférieures à 5 mg/l en moyenne.

Les cations ont un comportement proche de celui observé pour les eaux issues du karst urgonien tout en restant moins concentrés. Les valeurs mesurées pour le calcium varient entre 40 et 50 mg/l. Le sodium présente des valeurs plus élevées en été: de 11 à 15 mg/l. Tandis que le magnésium reste à une concentration inférieure à 10 mg/l et le potassium ne dépasse pas 2 mg/l.

Les fortes valeurs observées pour les bicarbonates en octobre entraînent des valeurs plus élevées pour la dureté totale, avec 16 mg/l de magnésium et 70 mg/l de calcium, faisant passer le rapport rMg/rCa de 0,1 à 0,4.

La concentration en silice reste faible: 3,05 mg/l.

#### CONCLUSION

*Au lieu dit le Replat supérieur une venue d'eau a été captée en partie. Le captage du Replat inférieur s'intéresse aux débits non captés en amont ce qui explique les fortes variations de débit observées. La circulation des eaux dans les formations de pente en aval du Replat supérieur se traduit par une eau à température moins élevée à l'émergence du Replat inférieur.*

*La composition chimique reste proche de celle observée pour les sources provenant directement du karst urgonien avec toutefois une dilution plus forte, traduisant ainsi l'importance des eaux précipitées sur le Quaternaire, elles circulent rapidement et n'ont ainsi pas le temps de se charger, ces eaux viennent diluer les apports du karst surincombant.*

*Les observations du mois d'octobre montrent un phénomène de "chasse" où les eaux précipitées massivement en septembre poussent vers l'exutoire des eaux fortement minéralisées qui avaient été stockées par l'aquifère durant l'étiage estival.*

## 1.7 - LA SOURCE DE FOURNET EST

L'intérêt de cette source réside en sa situation dans des éboulis à proximité d'un affleurement de la molasse d'où émerge une autre venue: la source de Fournet Ouest, étudiée avec le groupe suivant. Ces deux sources sont situées à moins de 10m l'une de l'autre, à une altitude de 1070m, elles sont surmontées par les calcaires urgoniens qui forment la falaise du Mont Beauvoir. Durant le mois de mars, les mesures n'ont pas été effectuées car l'abondance de l'enneigement n'a pas permis d'atteindre les exurgences.

### Paramètres physiques

#### Débits

Les jaugeages indiquent des débits inférieurs à 1 l/s, ils varient entre 0,005 l/s en août et 0,90 l/s en avril. La valeur moyenne est de 0,38 l/s.

#### Température

Les températures mesurées présentent d'importantes variations comprises entre la valeur de 2,5°C en février et 9,7°C en août soit une amplitude de 7,2°C. La température moyenne annuelle est de 6,3°C. Ces fortes variations sont dues aux circulations relativement superficielles de l'eau dans les éboulis en amont du griffon: les eaux souterraines sont fortement influencées par la température atmosphérique.

#### Conductivité et pH

Malgré les fortes variations de débit, la conductivité varie assez peu autour de la valeur moyenne qui s'établit à 293  $\mu$ mho/cm, correspondant à une minéralisation totale moyenne de 277 mg/l. Les débits faibles sont associés à des conductivités supérieures à 300  $\mu$ mho/cm.

Le pH moyen sur l'année est de 7,77; ceci indique le caractère alcalin du milieu, caractère renforcé en mai ou le pH vaut 8,1.

#### Caractéristiques chimiques

Les bicarbonates restent les anions les plus représentés avec plus de 200 mg/l. Les faibles valeurs, voisines de 180 mg/l, sont liées aux périodes de fort débit. La valeur la plus forte avoisinant 240 mg/l a été observée à l'étiage. Les sulfates présentent des teneurs limitées, mais une augmentation s'observe au cours de l'été, jusqu'à la valeur de 9,5 mg/l mesurée début septembre. Les teneurs en chlorures et nitrates restent inférieures à 5 mg/l et 1 mg/l respectivement.

Le calcium est le cation le plus représenté avec une moyenne de 54 mg/l mesurée en août fait suite une valeur de 39,5 mg/l en septembre. Mais la dureté totale reste plus constante étant donné que les baisses de concentration en calcium sont compensées par des augmentations des teneurs en magnésium. Les analyses des eaux de l'été montrent une augmentation de la teneur en sodium, si la valeur de 6,4 mg/l de sodium est la valeur moyenne sur l'année, de juillet à septembre la valeur de la concentration en sodium varie entre 13,7 et 14,1 mg/l.

La teneur en silicium s'établit à 2,6 mg/l soit 5,6 mg/l de silice.

CONCLUSION

La source de Fournet présente un comportement proche de celui des sources des calcaires les plus proches avec toutefois une moindre concentration signe d'apports extérieurs à l'aquifère karstique, en particulier une contribution de l'aquifère molassique voisin peut être invoquée pour expliquer la teneur relative élevée en silice.

2 LES SOURCES DE LA MOLASSE

La source de l'Oratoire et la source minérale de La Bauche ont été étudiées en détails, les exurgences étudiées ici issues de la molasse, sont celles des Courtines à St Franc, du Fournet Ouest à St Christophe et du Perrin à Attignat-Oncin.

2.1 - LA SOURCE DE COURTINES figure n° III.2

Cette exurgence située au Nord de St Franc se trouve au débouché d'un petit vallon. Une succession de cavités (décrite au chapitre N°II) s'observe en amont de la source. Divers affleurements de molasse gréseuse, devenant sableuse en surface, sont situés dans le talus de la route voisine. L'étude de cette source permet d'aborder les écoulements liés aux chenaux à forte perméabilité observés dans la molasse.

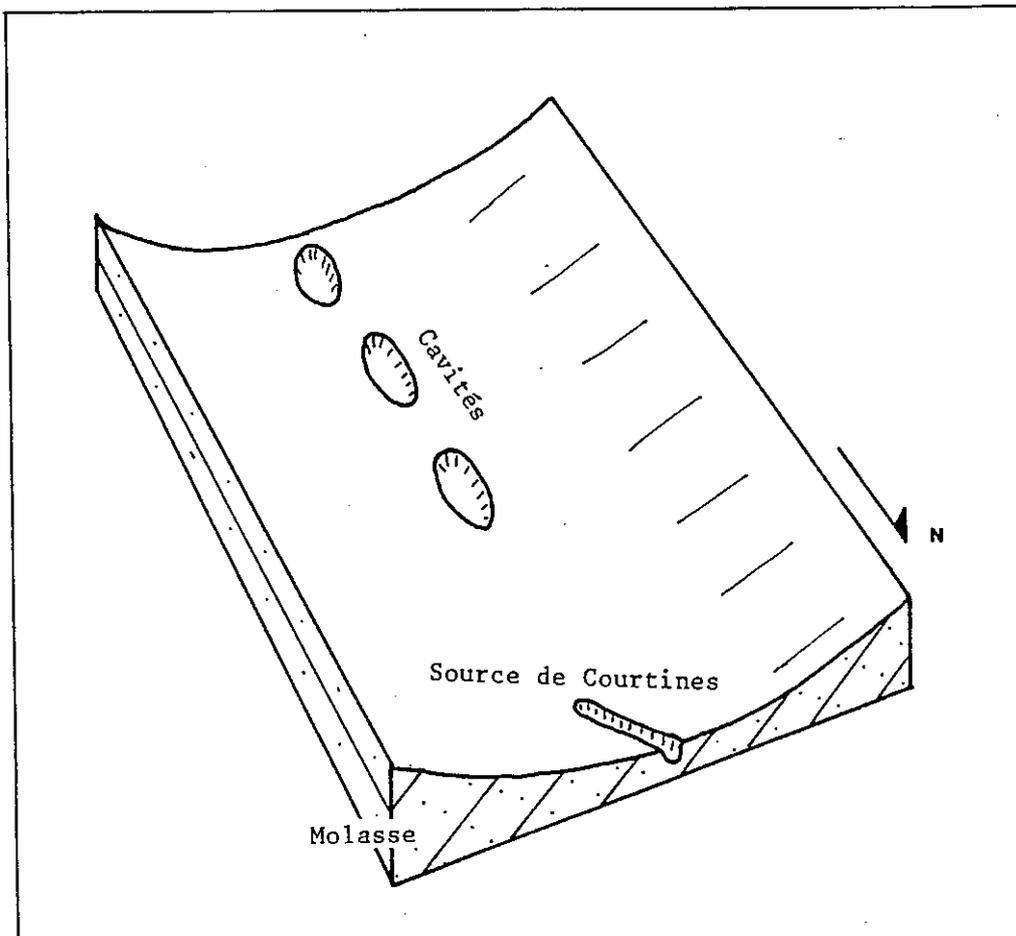


Figure n°III.2 Situation de la source de Courtines, St-Franc.

## Paramètres physiques

### Le débit

Les jaugeages effectués à l'aval de la source ont montré un débit très variable de 0,06 l/mn début août à 30 l/mn début octobre. La moyenne annuelle des débits s'établit à 10,2 l/mn.

### La température

Les écoulements de faible débit dans des chenaux largement ouverts, vers la surface, subissent une forte influence des températures atmosphériques, ainsi, une amplitude de 5°C s'observe entre la valeur de 5,3°C mesurée en mars et avril et celle de 10,3°C mesurée en septembre. La moyenne s'établit à 7,7°C.

Certaines sources ont présenté des amplitudes de température plus fortes que celle observée ici. En effet la température de l'eau est acquise au sein de l'aquifère molassique. Le transit rapide dans le drain modifie de façon limitée la température au griffon.

### Conductivité et pH

La conductivité moyenne annuelle vaut 220 µmho/cm. Les variations sont liées au débit: à l'étiage des valeurs voisines de 250 µmho/cm sont observées, tandis qu'en période de crue la conductivité baisse jusqu'à 150 µmho/cm en septembre.

Le pH n'est pas très élevé, la moyenne de 7,2 s'observe sur l'année, par deux fois un pH acide a été mesuré dont la valeur de 6,9 en octobre. Cette valeur faible de pH semble être due au sol forestier qui se développe dans le vallon couvert d'une forêt de résineux.

### Caractéristiques chimiques

La conductivité peu élevée est en liaison avec une minéralisation peu intense: 201 mg/l.

La minéralisation de cette eau est due principalement aux bicarbonates dont la valeur moyenne est de 144 mg/l; en crue, les teneurs mesurées sont particulièrement faibles: elles approchent 95 mg/l tandis qu'à l'étiage elles peuvent approcher 200 mg/l. La concentration en sulfate est légèrement inférieure à 10 mg/l. Les chlorures et nitrates restent limités: leur teneur moyenne est voisine de 1 mg/l.

Les cations sont représentés par le calcium dont la concentration moyenne est de 38,7 mg/l avec des valeurs basses associées aux forts débits 28 mg/l en février et en octobre. La concentration moyenne en magnésium est de 6,9 mg/l ceci donne un rapport rMg/rCa voisin de 0,2 ce qui est supérieur aux rapports obtenus sur les autres sources. Le sodium présente une concentration qui évolue entre 2,5 et 9,7 mg/l, les fortes valeurs s'observent lors de l'étiage estival.

La teneur en silice est relativement élevée 7,4 mg/l elle est l'empreinte de l'aquifère molassique.

## Conclusion

La source de Courtines est caractérisée par les fortes variations de débit, un rapport Mg/Ca voisin de 0,2 et la teneur en silice supérieure à 7 mg/l. La faible concentration est due à la solubilité limitée des constituants de l'aquifère molassique. De plus d'importants dépôts de sables s'observent à l'émergence.

### 2.2 - LA SOURCE DE FOURNET OUEST

Située à quelques mètres à l'Ouest de la source de Fournet Est cette émergence correspond à la coalescence d'un certain nombre de suintements provenant de la molasse gréseuse qui affleure ici. Les suintements ne donnent jamais de débit très élevé et le tarissement a été observé en août, tandis qu'en mars un enneigement abondant interdisait l'accès à l'émergence.

#### Paramètres physiques

##### Le débit

La moyenne annuelle des débits jaugés est de 3,5 l/mn, à l'étiage le tarissement de ces venues est observé. En période de hautes eaux le débit atteint 9 l/mn.

##### La température

Aux faibles débits sont associés les fortes variations de température l'amplitude vaut ici 7,1°C entre la valeur de 4,5°C observée en avril et celle de 11,6°C. Mais les valeurs de février et mars ne sont pas connues. La moyenne sur l'année est de 7,2°C.

##### Conductivité et pH

La conductivité moyenne annuelle est de 254  $\mu$ mho/cm. Si la valeur de 360  $\mu$ mho/cm a été mesurée en novembre, les autres mesures donnent des valeurs proches de la moyenne.

Le pH est très élevé la valeur moyenne étant très légèrement inférieure à 8 ceci indique un caractère alcalin prononcé du milieu.

##### Caractéristiques chimiques

La valeur moyenne de la concentration en carbonates atteint 162 mg/l, les analyses donnant des valeurs comprises entre 143 et 192 mg/l. Les sulfates sont peu concentrés toutefois en janvier la valeur de 14 mg/l a été mesurée. Les chlorures et nitrates restent à des concentrations proches de 1 mg/l.

Les cations sont représentés par le calcium à la concentration de 50 mg/l; le magnésium et le sodium sont tous deux à des concentrations proches de 4 mg/l. Ceci donne un rapport Mg/Ca légèrement inférieur à 0,1 (0,078) donc nettement inférieur à celui observé à Courtines. Le potassium reste à une concentration modeste: 0,4 mg/l en moyenne.

La teneur en silice est plus limitée que celle mesurée à Courtines: 5,6 mg/l.

### Conclusion

La source de Fournet Ouest issue de la molasse présente une composition chimique différente de celle observée à Courtines par un rapport  $Mg/Ca$  plus faible ainsi que par la concentration plus faible en silice, la nature de l'aquifère molassique peut être invoquée ainsi que un temps de séjour moins long dans l'aquifère qui ne permet pas de mettre en solution certains éléments peu solubles comme la silice.

### 2.3- LA SOURCE DU PERRIN (figure n°III.3)

Au lieu dit le Perrin au fond d'un thalweg divers suintements se rassemblent en un petit ruisseau. Une ancienne retenue ayant servi de lavoir a été utilisée comme seuil de jaugeage. Le versant sud-est du vallon est constitué de moraine glaciaire tandis qu'en amont et sur le versant nord-ouest du vallon des affleurements de l'ensemble molassique helvétique peuvent être reconnus.

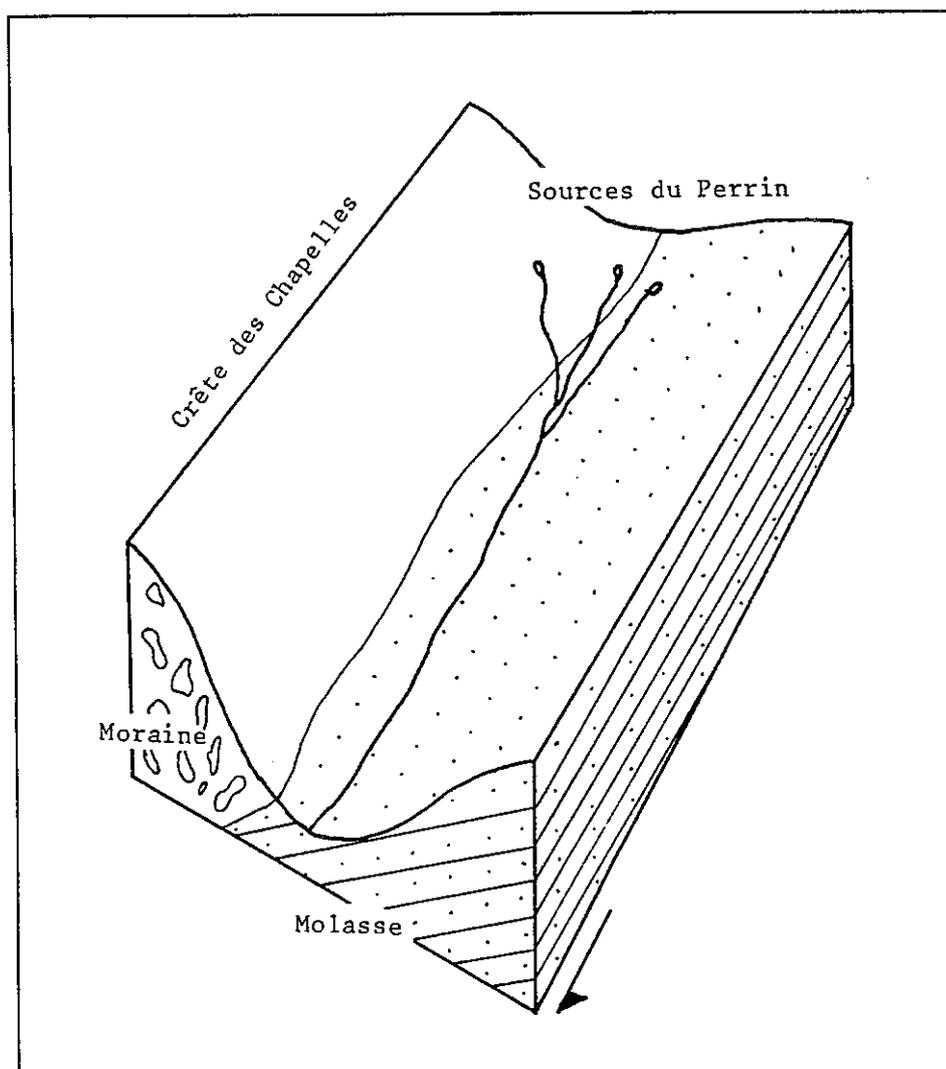


Figure n°III-3 Situation de la source du Perrin.

Paramètres physiquesDébit

Le débit moyen sur l'année est de 1,3 l/s mais les variations sont très importantes entre les valeurs mesurées à l'étiage qui restent voisines 0,1 l/mn (0,002 l/s) en juillet et août tandis qu'en période des hautes eaux des débits importants peuvent être mesurés: 7,5 l/s en février.

Température

Aux fortes variations de débit peuvent être associées de fortes variations de température: 3,7°C ont été mesurés en mars et 16,7°C en juillet, la moyenne annuelle s'établissant à 9,5°C. Les forts débits observés en février et octobre sont associés à des remontées de température.

Conductivité et pH

La conductivité de la source du Perrin est plus marquée par ses fortes variations que par la valeur moyenne annuelle: 288  $\mu$ mho/cm. Les forts débits de février sont associés à une conductivité basse: 152  $\mu$ mho/cm tandis que début septembre une conductivité de 401  $\mu$ mho/cm a été mesurée.

Le pH est relativement élevé : 7,6 de moyenne annuelle. Les valeurs les plus élevées dépassent 8 (8,1 en mai et en septembre).

Caractéristiques chimiques

La forte variation de la conductivité se retrouve sur la minéralisation totale qui varie de 134 à 379 mg/l, la moyenne étant de 267 mg/l.

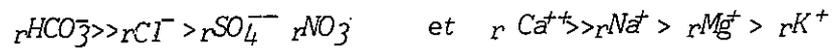
Les bicarbonates sont sensibles aux variations de débit, la valeur la plus basse est celle enregistrée lors de la crue de février: 91 mg/l la plus forte mesurée à l'étiage, début septembre est de 256 mg/l. la teneur moyenne en chlorure est de 5,3 mg/l, les valeurs montrent une augmentation l'été, la valeur maximale dépasse 12 mg/l elle s'observe en août. La teneur moyenne en sulfate est de 4,3 mg/l; le rapport  $r_{SO_4}/r_{CL}$  est donc inférieur à 1 sauf en février où il vaut 1,75 et en juin où la valeur de 1,1 est obtenue. Les nitrates dans leur ensemble sont à des concentrations inférieures à 0,7 mg/l seule la valeur d'octobre se distingue: 2,35 mg/l, le lessivage des sols par les précipitations abondantes de septembre a amené les nitrates à l'exurgence.

Les cations sont principalement représentés par le calcium qui a une concentration moyenne de 52 mg/l. Les fortes variations observées suivent celles constatées sur la teneur en bicarbonates avec 27 mg/l en février et 76 mg/l en septembre. La teneur en sodium moyenne est de 9,4 mg/l les valeurs mesurées suivent celles obtenues pour le calcium. Le dosage du magnésium a donné des résultats plus constants, la moyenne obtenue est de 8,1 mg/l. Les concentrations en potassium restent modestes: 2 mg/l en moyenne les valeurs obtenues à l'étiage étant légèrement plus fortes: 6 mg/l en août.

Le dosage de la silice a donné une concentration moyenne de 7,0 mg/l. L'analyse du strontium a donné la valeur de 0,13 mg/l.

### Conclusion

Les fortes variations de débit montrent l'origine mixte de l'eau à l'exurgence une partie provient de la molasse miocène l'autre du Quaternaire beaucoup plus sensible aux variations de débits. La formule chimique de l'eau montre la prépondérance des chlorures et du sodium comme deuxièmes ions par la concentration:



Emergence	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
La Fauchère	Q	1.28	?	1.18	4.0	1.5	2.1	0.66	0.49	1.0	3.0	0.88	2.6
supérieur	T	6.8	5.7	5.6	5.7	6.6	7.2	8.8	9.7	9.5	8.5	8.1	7.9
Cerbazin	Q	0.43	?	0.82	?	1.0	1.69	0.63	0.55	0.84	?	?	0.72
	T	7.3	?	6.6	5.6	7.1	7.5	8.5	8.8	8.7	8.7	8.1	8.0
La Cottardière	Q	0.22	0.52	0.23	0.44	0.21	0.46	0.15	0.10	0.22	0.25	0.22	0.14
	T	5.7	5.4	4.0	4.8	6.9	8.3	11.5	13.4	11.6	10.7	9.1	7.9
Replat	Q	4.9	2.0	2.5	3.0	6.0	3.3	2.8	2.75	2.5	5.0	4.0	3.5
supérieur	T	7.9	7.1	7.0	6.4	7.4	7.7	8.1	8.7	8.4	7.7	7.6	7.6

Q : débit en litres / secondes

T : température en degrés Celsius.

Tableau n° Suivi du débit et de la température des sources F's, Ce, Ct et Rs.

## ANNEXE 4

## Source du Perrin

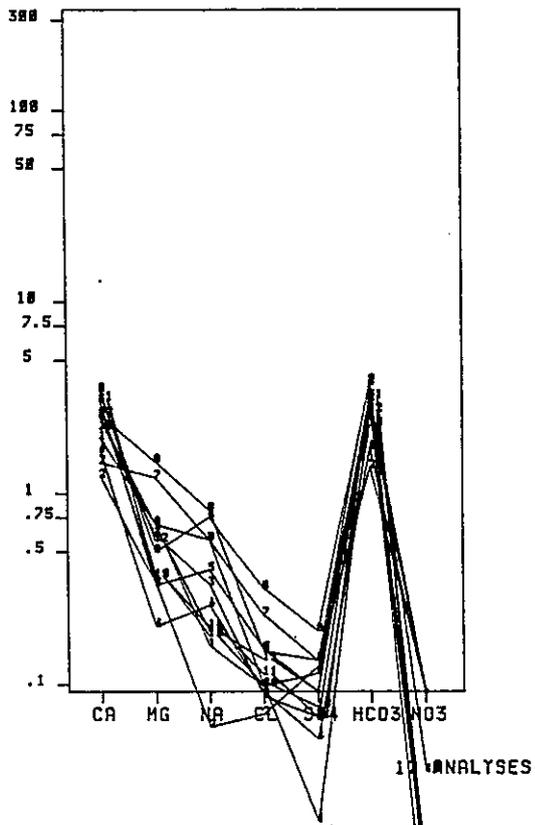
NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NOM	PERRIN	PERRIN	PERRIN	PERRIN	PERRS	PERR6	PERR7	PERR 8	PE9	PERR10	PERR11	PERR12
DATE	060184	080284	050384	030484	020584	120684	110784	090884	080984	071084	061184	041284
<b>C. PHYSIQUES</b>												
DB()	0.77	7.50	0.53	2.30	-	0.19	020	090	0.10	1.70	0.27	0.76
T(C)	5.00	6.00	3.70	5.00	7.90	10.30	16.70	13.2	10.60	12.7	11.30	9.2
PH	7.77	7.46	7.74	7.42	8.12	7.57	7.75	7.32	8.07	7.54	7.41	7.20
RS10	3502.00	8347.00	3309.00	5150.00	3763.00	3329.00	2667.00	2296.00	2324.00	2071.00	2290.00	2009.00
CO25	263.00	152.00	212.00	194.00	349.00	314.70	297.4	364.60	400.8	261.4	342.9	306.9
SI02	-	-	-	-	-	3.20	-	3.60	-	3.00	-	-
<b>CATIONS</b>												
UNIT	MG/L											
NA+	4.00	1.50	0.4	6.50	10.00	14.4	14.4	18.0	20.60	4.50	5.00	4.00
K+	0.45	0.60	0.50	0.20	2.20	0.65	3.00	6.00	4.35	1.70	2.1	1.20
MG++	9.24	4.49	0.02	2.67	4.30	9.10	16.01	6.56	19.42	4.06	4.06	7.54
CA++	42.40	26.85	54.10	36.47	66.53	55.70	31.66	75.75	56.50	40.10	68.13	56.90
SOMME	56.17	33.44	71.03	45.04	83.11	79.06	65.07	107.11	100.00	59.16	80.09	70.45
<b>ANIONS</b>												
UNIT	MG/L											
HCO3-	103.61	91.50	109.4	114.60	212.20	207.4	195.2	240.00	255.96	151.76	212.20	101.17
SO4-2	1.00	6.50	3.50	2.70	0.00	6.00	7.00	10.00	7.00	4.00	3.50	0.00
CL-	3.70	2.70	3.34	3.50	5.90	3.03	0.95	12.35	5.75	3.03	4.37	5.23
NO3-	-	-	-	-	-	0.25	0.50	0.60	0.60	2.35	0.60	0.60
SOMME	108.39	100.7	116.24	120.00	218.10	217.40	211.65	271.03	269.31	161.94	220.75	107
<b>RAPPORTS</b>												
MM TT	244.56	134.14	267.27	166.72	301.29	297.34	277.52	370.94	370.19	221.10	300.04	257.45
MG/CA	0.36	0.20	0.24	0.12	0.11	0.27	0.04	0.14	0.57	0.17	0.12	0.22
NA/CA	0.00	0.05	0.14	0.15	0.13	0.23	0.40	0.22	0.32	0.00	0.06	0.07
SO4/CL	0.10	1.75	0.70	0.60	0.00	1.09	0.60	0.60	0.94	0.73	0.50	0.00
NA/MG	0.22	0.19	0.56	1.27	1.19	0.04	0.40	1.52	0.56	0.50	0.55	0.34
S.A.R.	0.14	0.00	0.29	0.20	0.32	0.47	0.52	0.56	0.61	0.17	0.16	0.16
I.E.B.	0.05	0.03	-0.03	-0.05	0.03	-0.07	0.03	0.12	-0.07	0.02	0.04	0.07
ERR.	1.2%	2.32	6.92	6.62	6.62	7%	.32	6.42	9.12	5.62	5%	0.32

## Source du Replat Inférieur

NO	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
NOM	REPL 1	REPL 2	REPL 3	REPL4	REPL5	RE6	RI7	RI0	RI9	REPL10	REPL11	REPL12
DATE	070185	080285	050385	030485	020584	120684	120784	060884	100984	041084	031184	021284
<b>C. PHYSIQUES</b>												
DB()	2.34	12.00	2.70	5.00	5.00	3.70	1.50	0.91	1.20	7.50	3.40	3.60
T(C)	7.30	7.00	6.40	6.30	6.7	7.1	7.60	8.2	0.00	7.00	7.90	7.00
PH	0.27	7.06	0.10	0.07	7.97	7.04	7.60	7.50	7.77	7.27	7.60	7.56
RS10	3695.00	5162.00	4630.00	4710.00	4699.00	4157.00	4414.00	4611.00	4121.00	4460.00	4216.00	4093.00
CO25	219.00	211.00	200.00	223.00	226.00	215.00	210.7	216.00	232.7	403.3	230.10	244.50
SI02	-	-	-	-	-	1.40	-	1.20	-	3.00	-	0.10
<b>CATIONS</b>												
UNIT	MG/L											
NA+	2.30	2.60	5.1	4.90	2.90	5.00	11.4	14.00	15.10	3.30	2.40	2.40
K+	0.25	1.35	0.20	0.20	0.21	0.45	0.25	0.15	0.25	0.70	0.60	1.60
MG++	4.30	3.20	3.11	2.31	4.62	0.27	9.40	2.92	2.43	16.29	0.97	1.22
CA++	41.62	45.29	45.09	45.69	41.20	44.09	36.47	47.69	52.90	70.14	50.30	52.10
SOMME	40.55	52.52	53.5	53.1	49.01	50.61	57.6	64.76	70.69	90.43	54.27	57.32
<b>ANIONS</b>												
UNIT	MG/L											
HCO3-	151.16	136.64	135.22	143.96	142.64	154.94	142.7	140.04	165.00	275.30	145.10	153.72
SO4-2	1.50	7.00	2.70	3.00	2.00	2.00	5.00	0.00	4.00	4.00	4.00	2.00
CL-	1.44	6.66	2.33	1.46	1.20	1.20	5.96	1.92	1.60	0.43	0.50	2.77
NO3-	-	-	-	-	-	0.42	0.30	0.70	0.00	0.22	0.55	0.13
SOMME	154.1	150.3	140.25	140.42	145.92	150.64	153.96	159.46	171.4	204.03	150.23	150.62
<b>RAPPORTS</b>												
MM TT	202.65	202.02	193.75	201.52	194.93	217.25	211.56	224.22	242.09	374.46	204.50	215.94
MG/CA	0.17	0.12	0.12	0.00	0.10	0.30	0.43	0.10	0.00	0.30	0.03	0.04
NA/CA	0.05	0.05	0.10	0.09	0.06	0.10	0.27	0.26	0.25	0.04	0.04	0.04
SO4/CL	0.75	0.79	0.06	1.50	1.00	1.00	0.59	3.40	1.60	0.00	0.20	0.50
NA/MG	0.20	0.41	0.05	1.11	0.34	0.32	0.44	2.54	3.30	0.10	1.25	1.00
S.A.R.	0.09	0.10	0.20	0.19	0.12	0.10	0.44	0.53	0.55	0.09	0.09	0.09
I.E.B.	0.00	0.13	-0.03	-0.05	-0.02	-0.04	-0.04	-0.10	-0.19	-0.02	-0.04	0.00
ERR.	0%	1.72	7.72	4.52	3.22	9%	0.72	9.52	10.62	3.42	4.42	3.62

DIAGRAMME SCHOELLER-BERKALOFF

Source LE PERRIN



REPLAT INFERIEUR

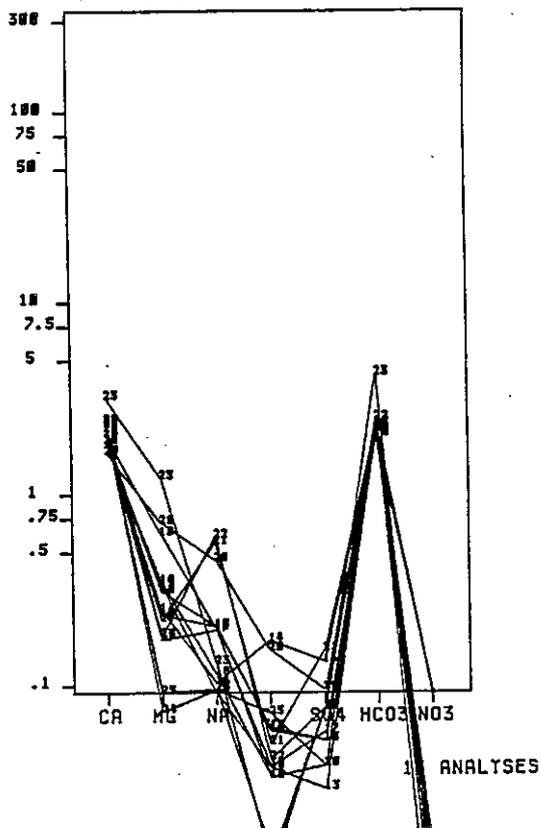


DIAGRAMME SCHOELLER-BERKALOFF

BORBOLLION

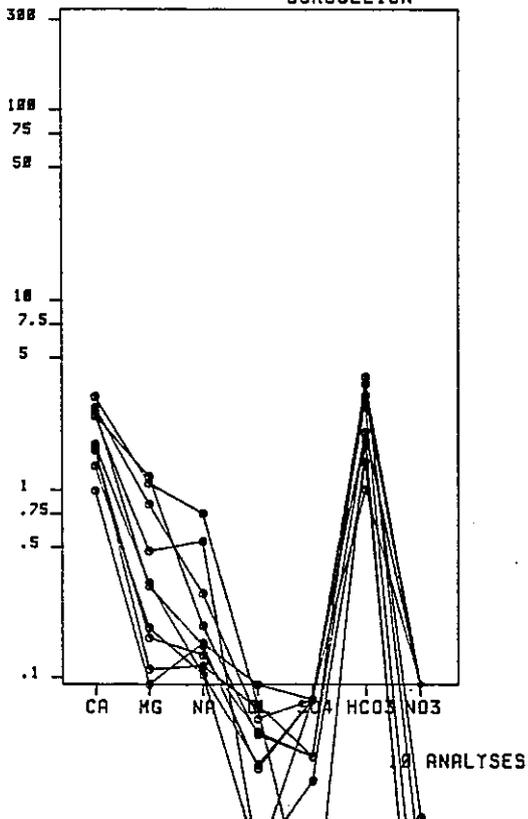
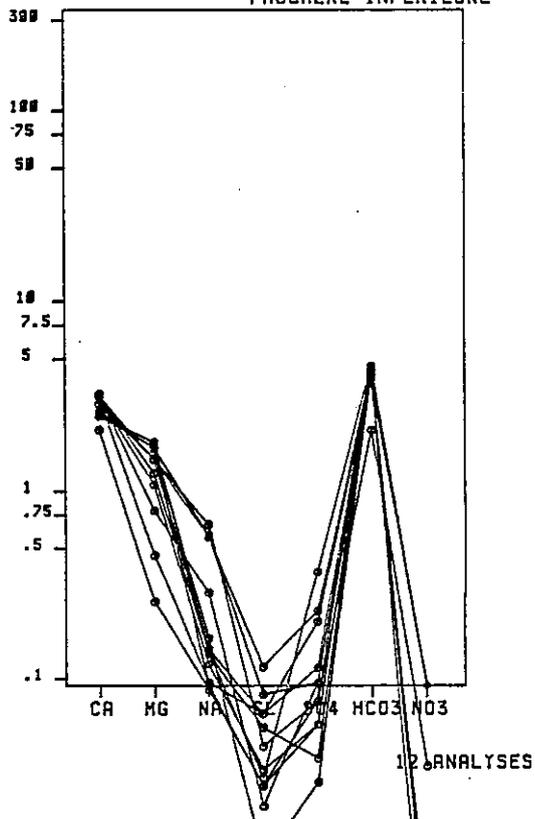


DIAGRAMME SCHOELLER-BERKALOFF

FAUCHERE INFERIEURE



## Source de Borbollion

NO	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
NOM	B01	B0B2	B0B3	B0B4	B0B5	B0B6	B0B9	B0B10	B011	B0B12
DATE	080184	130284	040384	022484	020584	120684	110884	071084	061184	031284
<b>C. PHYSIQUES</b>										
DB(I)	0.94	0.49	0.17	3.00	0.055	0.10	0.02	1.30	0.00	0.66
T(C)	7.60	6.00	4.50	5.50	8.10	9.00	10.30	12.00	13.9	10.00
PH	7.02	7.60	7.77	6.00	8.00	7.51	8.16	6.54	7.25	6.64
RS10	5704.00	5249.00	3119.00	0060.00	3320.00	3537.00	3625.00	5609.00	3206.00	4055.00
CO25	173.00	203.00	291.00	116.00	349.00	285.4	350.9	153.2	301.50	161.7
S102	-	-	-	-	-	3.20	2.40	2.60	-	2.70
<b>CATIONS</b>										
UNIT	MG/L									
NA+	3.30	2.60	7.00	3.00	4.7	13.4	18.8	2.60	3.70	2.90
K+	0.60	0.65	0.50	0.60	0.50	0.60	1.00	0.70	0.60	0.60
MG++	2.15	4.25	11.10	1.22	15.56	6.32	14.34	2.43	4.05	1.45
CA++	35.26	38.00	59.32	21.64	54.50	53.30	67.74	29.26	57.70	36.57
SOMME	41.31	45.50	70	27.26	75.27	73.63	101.88	34.99	65.06	41.03
<b>ANIONS</b>										
UNIT	MG/L									
HCO3-	132.7	135.42	211.06	67.1	241.56	192.76	263.52	93.33	243.4	123.22
SO4-2	2.00	4.00	4.00	4.00	2.00	4.00	2.00	1.50	4.00	2.50
CL-	1.90	1.34	2.34	3.54	1.92	4.423	2.77	0.43	1.20	2.66
NO3-	-	-	-	-	-	0.17	0.60	0.07	1.25	3.05
SOMME	136.60	140.76	217.4	74.64	245.40	197.353	268.89	95.33	249.93	126.13
<b>RAPPORTS</b>										
MN TT	177.99	186.34	295.4	101.90	320.75	270.90	370.77	130.32	315.99	167.46
MG/CA	0.10	0.10	0.31	0.09	0.47	0.20	0.35	2.14	0.11	0.37
NA/CA	0.08	0.06	0.10	0.16	0.07	0.22	0.24	0.00	0.26	0.27
SO4/CL	0.67	2.00	1.14	0.00	0.00	0.00	0.50	3.00	2.20	0.20
NA/MG	0.70	0.31	0.33	1.70	0.16	1.12	0.69	0.55	0.40	1.23
S.A.R.	0.14	0.10	0.22	0.22	0.14	0.46	0.54	0.12	0.13	0.13
I.E.B.	-0.01	-0.02	-0.02	-0.06	0.00	-0.10	-0.11	-0.07	0.00	0.01
ERR.	4.1%	.8%	7.4%	3.4%	1.9%	7.5%	9.7%	6.5%	7.5%	.2%

## Source de la Fauchère Inférieur

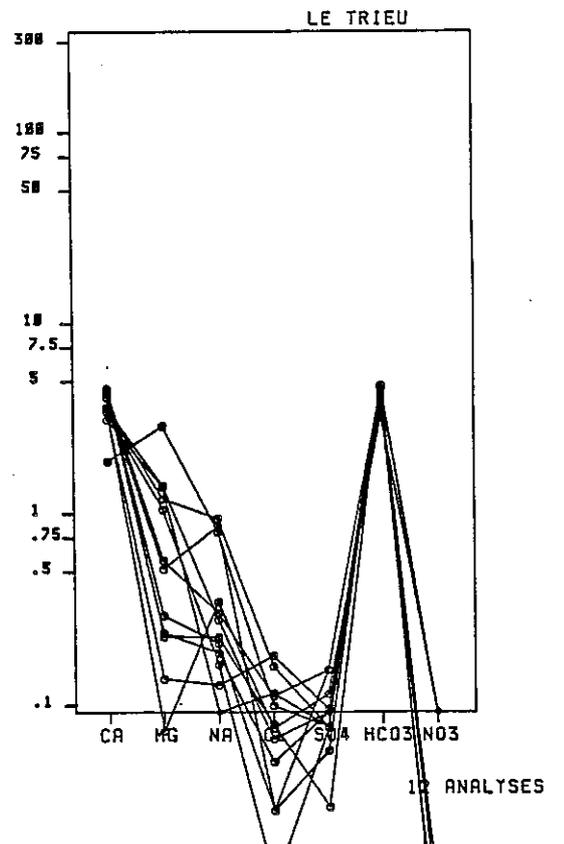
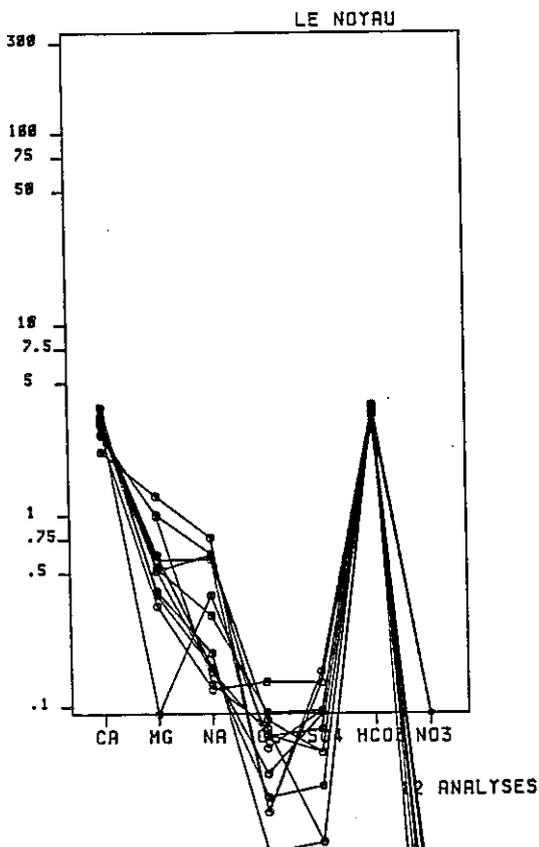
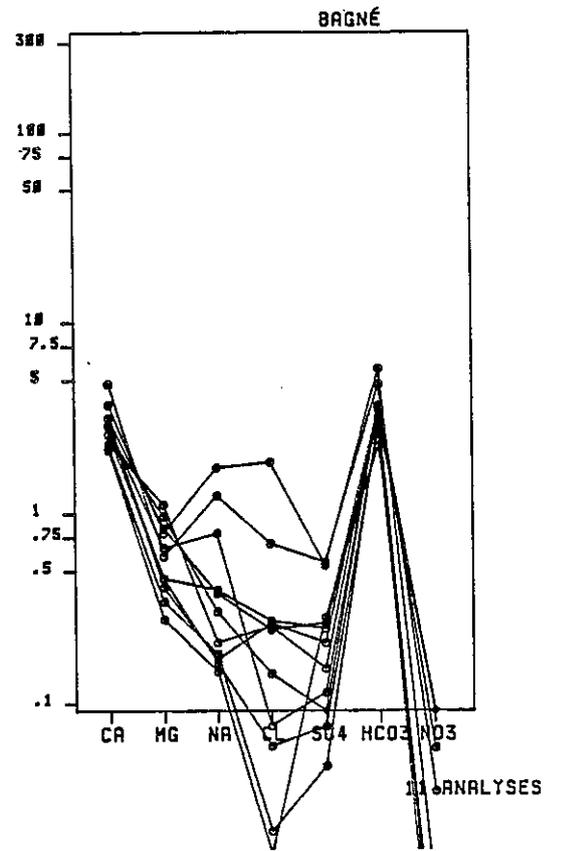
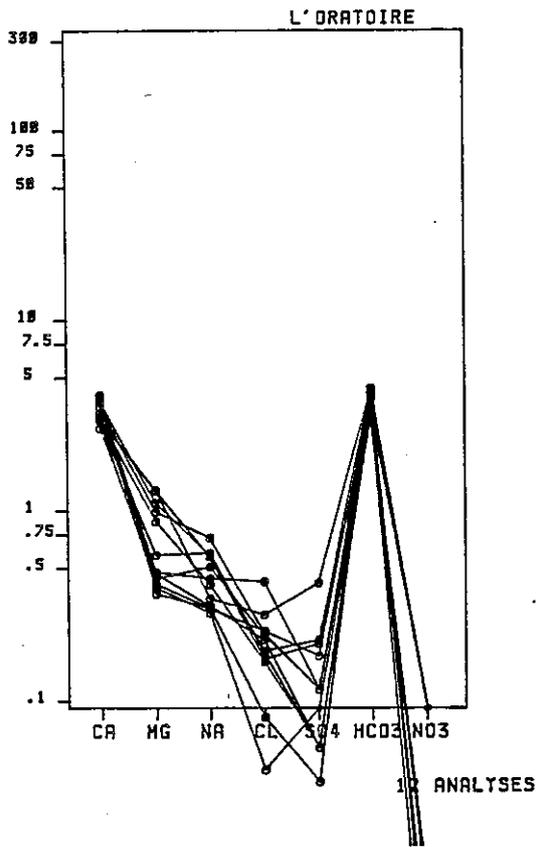
NO	30	40	21	25	27	30	31	32	33	34	35	36
NOM	FAUCH1	FAUCH2	FAUCH3	FAUCH4	FAUCH5	FAUCH6	FAUCH7	FAUCH8	FAUCH9	FAUCH10	FAUCH11	FAUCH12
DATE	070184	080284	060384	030484	020584	120684	120784	060884	100984	041084	031184	021284
<b>C. PHYSIQUES</b>												
DB(I)	2.00	4.00	1.70	3.00	2.20	2.1	1.20	1.04	1.20	3.50	1.20	3.40
T(C)	7.7	7.1	5.60	5.90	7.1	7.40	7.00	8.00	9.50	9.10	8.30	8.2
PH	7.70	7.62	7.72	7.40	7.50	7.55	7.50	7.52	7.37	7.64	7.40	7.16
RS10	2670.00	2700.00	3200.00	2690.00	2636.00	2525.00	2471.00	2426.00	3292.00	2746.00	2533.00	2457.00
CO25	391.00	371.00	300.00	391.00	407.00	392.70	370.9	357.00	370.10	223.9	390.20	393.50
S102	-	-	-	-	-	3.40	-	-	3.30	0.00	-	-
<b>CATIONS</b>												
UNIT	MG/L											
NA+	3.50	2.40	3.60	7.2	4.1	-	14.60	14.4	16.70	2.20	3.00	3.40
K+	0.65	1.00	0.70	0.40	0.60	-	0.75	0.65	0.70	0.10	0.70	0.90
MG++	24.07	6.00	19.45	10.45	22.60	22.60	22.36	19.69	19.57	3.40	14.34	16.53
CA++	54.90	60.93	69.33	71.34	55.70	54.50	57.70	63.33	62.93	46.00	69.33	70.54
SOMME	83.13	79.21	93.00	89.39	83.22	77.12	95.42	90.07	99.9	51.79	87.37	91.37
<b>ANIONS</b>												
UNIT	MG/L											
HCO3-	302.56	261.00	294.50	273.52	273.20	270.00	270.16	201.02	207.31	139.69	260.4	203.65
SO4-2	19.50	10.50	6.00	5.00	1.50	3.00	5.00	12.00	4.00	4.00	3.00	2.00
CL-	1.17	2.52	2.52	0.03	0.43	1.06	3.19	4.47	1.70	1.065	1.20	2.13
NO3-	-	-	-	-	-	0.32	0.10	0.25	0.30	2.35	0.30	0.23
SOMME	323.23	274.1	303.02	279.35	275.21	275.22	286.45	290.54	293.314	147.105	272.90	200.01
<b>RAPPORTS</b>												
MN TT	406.36	353.31	396.10	360.74	350.43	352.34	301.07	396.61	393.21	190.9	360.35	379.30
MG/CA	0.72	0.15	0.46	0.24	0.67	0.60	0.64	0.51	0.51	0.12	0.34	0.39
NA/CA	0.05	0.03	0.05	0.09	0.06	0.00	0.22	0.20	0.23	0.04	0.04	0.04
SO4/CL	13.67	3.14	1.71	5.00	3.00	2.00	1.11	1.92	1.60	2.67	1.50	0.67
NA/MG	0.00	0.20	0.10	0.36	0.10	0.00	0.34	0.39	0.45	0.36	0.11	0.11
S.A.R.	0.10	0.07	0.10	0.21	0.12	0.00	0.41	0.41	0.47	0.09	0.09	0.10
I.E.B.	0.00	0.04	0.03	-0.05	-0.03	0.03	-0.05	0.00	-0.11	-0.01	0.01	0.02
ERR.	5%	5.5%	2.1%	1.5%	3.4%	.4%	6.1%	4.1%	6.4%	4.7%	3.1%	3.1%

## Source de l'Oratoire

NO	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
NOM	ORAT1	ORAT 2	ORAT3	ORAT4	ORAT5	ORAT6	ORAT7	ORAT8	OR9	ORAT10	ORAT11	ORAT12	ORAT-TH
DATE	080184	130284	050384	030484	020584	120684	120784	090884	080984	031084	031184	031284	120784
<b>C. PHYSIQUES</b>													
DB(I)	0.45	0.85	0.58	1.98	0.33	0.55	0.20	0.30	0.07	1.30	0.07	1.25	0.20
T(C)	9.00	8.50	8.10	7.50	8.60	9.00	12.2	13.60	13.7	13.30	12.2	11.00	12.2
PH	7.85	7.44	7.50	7.17	7.34	7.16	7.05	7.36	7.39	6.88	7.30	6.75	-
RS18	1786.00	2507.00	2210.00	2630.00	2026.00	2404.00	2818.00	3281.00	2931.00	3024.00	2826.00	2282.00	2818.00
CD25	417.00	415.00	458.00	395.00	410.00	427.60	321.00	287.10	323.10	337.3	421.50	432.10	321.00
S102	-	-	-	-	-	3.20	-	-	2.90	3.1	-	-	5.90
<b>CATIONS</b>													
UNIT	MG/L												
NA+	8.7	7.7	14.60	11.10	10.30	18.10	14.4	12.80	15.10	7.30	7.90	7.7	2.82
K+	0.40	1.00	0.50	0.20	0.40	0.60	0.45	0.32	0.90	0.50	0.70	0.90	0.31
MG++	17.02	4.86	14.59	6.32	11.67	13.13	16.80	5.83	7.77	5.23	6.2	5.47	5.26
CA++	67.33	83.77	82.16	70.94	67.74	76.95	67.33	59.72	65.33	65.93	86.57	80.37	81.80
SOMME	93.45	90.13	111.85	88.56	90.11	100.78	99.06	78.67	89.1	70.96	101.37	102.44	89.39
<b>ANIONS</b>													
UNIT	MG/L												
HCO3-	291.50	264.74	292.06	231.00	257.42	276.94	228.14	201.90	210.99	211.06	272.06	280.53	256.70
SO4-2	22.00	9.00	11.00	6.00	3.00	6.00	10.50	6.00	3.00	0.00	3.00	2.00	6.00
CL-	11.00	9.00	7.07	16.43	6.10	8.73	6.39	0.52	6.02	1.70	0.09	3.19	5.90
NO3-	-	-	-	-	-	0.25	0.10	0.65	0.55	0.10	0.25	0.10	0.35
SOMME	324.50	282.74	310.13	254.23	266.6	291.92	245.13	217.08	229.36	212.064	283.4	293.9	269.75
<b>RAPPORTS</b>													
NK TT	418.03	300.07	421.98	342.79	356.71	400.70	344.19	295.75	310.46	291.02	304.77	396.34	359.14
NS/CA	0.42	0.10	0.29	0.15	0.20	0.20	0.41	0.16	0.20	0.13	0.12	0.10	0.11
NA/CA	0.11	0.08	0.15	0.14	0.13	0.21	0.19	0.19	0.20	0.10	0.09	0.07	0.02
SD4/CL	1.40	0.76	1.15	0.26	0.35	0.40	1.22	0.50	0.32	0.00	0.26	0.44	0.02
NA/MG	0.27	0.03	0.52	0.92	0.47	0.73	0.45	1.17	1.03	0.74	0.67	0.73	0.21
S.A.R.	0.25	0.22	0.39	0.34	0.31	0.50	0.41	0.43	0.47	0.23	0.22	0.21	0.06
I.E.B.	0.24	0.17	0.07	0.34	0.06	0.00	0.02	0.07	0.00	-0.05	0.15	0.02	0.15
ERR.	3.71	1.02	6.51	1.91	3.01	7.71	13.11	4.51	0.71	7.12	4.41	3.51	.91

## Source du Bagné

NO	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
NOM	BAG1	BAG2	BAG3	BAG4	BAG5	BAG6	BAG8	BAG9	BAG10	BAG11	BAG12
DATE	080184	130284	050384	030484	020584	110684	080884	080984	031084	031184	021284
<b>C. PHYSIQUES</b>											
DB(I)	1.20	1.60	0.97	6.60	0.20	0.17	0.022	0.10	10.00	1.70	5.40
T(C)	6.1	5.2	4.00	6.40	8.30	10.30	15.4	14.50	12.7	10.2	9.00
PH	7.52	7.49	7.56	7.56	7.65	7.60	7.40	8.2	7.10	7.1	6.99
RS18	2105.00	2460.00	2670.00	2950.00	2945.00	2869.00	1139.00	1672.00	39.06	2673.00	3330.00
CD25	360.00	372.00	380.00	373.00	361.00	350.60	084.20	549.3	249.30	364.4	293.20
S102	-	-	-	-	-	2.40	5.50	-	3.30	-	2.50
<b>CATIONS</b>											
UNIT	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L							
NA+	5.30	4.30	9.60	10.00	7.7	19.0	44.00	31.20	3.70	4.60	4.1
K+	0.30	9.10	6.40	9.00	2.40	6.1	123.2	27.20	1.10	1.20	0.90
MG++	14.03	5.47	11.10	6.00	12.00	8.75	10.45	7.94	3.70	4.60	6.07
CA++	51.3	69.74	69.33	63.73	57.30	63.73	01.36	104.20	47.29	49.29	57.70
SOMME	79.73	88.61	96.51	89.61	80.29	90.30	259.01	170.55	55.79	59.69	68.70
<b>ANIONS</b>											
UNIT	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L							
HCO3-	246.44	233.02	241.36	213.50	236.92	235.46	379.42	315.34	151.20	209.97	104.22
SO4-2	8.00	11.00	14.00	13.00	0.00	6.00	20.00	29.00	15.00	2.50	4.00
CL-	9.9	10.26	9.54	10.60	5.54	2.90	72.20	26.92	0.64	0.05	2.34
NO3-	-	-	-	-	-	0.15	0.60	2.40	0.20	0.20	0.10
SOMME	268.34	254.28	264.9	237.11	242.46	244.59	400.23	373.66	167.12	213.52	190.66
<b>RAPPORTS</b>											
NK TT	340.07	342.09	361.41	326.72	322.75	342.97	739.24	544.21	222.91	273.21	259.44
NS/CA	0.40	0.13	0.27	0.16	0.37	0.23	0.21	0.13	0.13	0.15	0.17
NA/CA	0.09	0.05	0.12	0.14	0.12	0.27	0.47	0.26	0.07	0.08	0.06
SD4/CL	0.61	0.79	1.07	0.90	0.00	1.50	0.20	0.79	15.50	2.50	1.14
NA/MG	0.19	0.42	0.46	0.06	0.31	1.19	2.22	2.09	0.53	0.53	0.36
S.A.R.	0.17	0.14	0.20	0.32	0.24	0.62	1.22	0.00	0.14	0.17	0.14
I.E.B.	0.10	0.19	0.13	0.12	0.06	-0.10	1.30	0.41	-0.05	-0.05	0.01
ERR.	3.01	.11	4.61	3.41	3.21	9.61	0.11	9.31	.71	6.71	6.11





## Source de Fournet Est

NO	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127
NOM	PIS0	PIS02	PIS04	PIS05	PIS06	PIS07	PIS08	PIS09	PIS010	PIS011	PIS012
DATE	060184	140284	040484	030584	120684	130784	080884	100984	051084	051184	041284
<b>C. PHYSIQUES</b>											
DB(1)	8.40	8.80	8.90	8.30	8.10	8.85	8.50	8.15	8.60	8.15	8.10
TIC)	5.00	2.50	2.60	5.1	6.40	8.60	9.7	8.9	7.7	7.1	5.7
PH	7.90	7.97	7.90	8.89	7.84	7.60	7.45	7.77	7.57	7.53	7.80
RS10	3490.00	3500.00	3710.00	3677.00	3482.00	3183.00	2629.00	3207.00	3472.00	2689.00	3054.00
CO25	289.00	283.00	268.00	288.00	290.0	300.0	321.3	283.70	275.60	319.20	303.00
SI02	-	-	-	-	2.40	-	2.90	-	2.50	-	2.50
<b>CATIONS</b>											
UNIT	MG/L										
NA+	2.70	2.30	5.00	3.90	-	13.7	14.10	13.7	2.70	2.80	2.80
K+	1.55	0.85	0.20	0.35	0.50	0.40	0.50	1.00	0.60	0.90	0.60
MG++	6.80	3.34	7.05	3.89	7.05	18.47	4.13	18.00	7.78	14.10	6.32
CA++	56.50	60.12	48.90	56.10	54.50	44.49	73.35	39.48	50.50	50.10	64.13
SOMME	67.57	66.41	61.15	64.25	62.86	77.86	92.80	72.18	61.58	67.9	73.85
<b>ANIONS</b>											
UNIT	MG/L										
HCO3-	215.94	181.78	175.00	180.56	189.10	222.04	239.12	212.20	179.34	210.45	210.45
SO4-2	0.00	6.00	4.00	0.00	5.00	0.00	6.00	9.50	4.00	2.50	1.00
CL-	1.90	2.52	1.04	1.20	1.49	4.47	0.852	0.213	0.213	0.85	0.213
NO3-	-	-	-	-	0.15	0.10	0.30	0.35	0.05	0.20	0.15
SOMME	217.92	190.3	180.04	181.84	195.74	234.61	246.272	222.343	183.603	214	211.813
<b>RAPPORTS</b>											
MM TT	285.49	256.71	241.99	246.89	257.8	311.67	330.35	294.52	245.18	281.9	285.66
MG/CA	0.20	0.09	0.24	0.11	0.21	0.60	0.09	0.75	0.25	0.46	0.16
NA/CA	0.04	0.03	0.09	0.06	0.00	0.27	0.17	0.30	0.05	0.05	0.04
SO4/CL	0.00	1.71	2.67	0.00	2.50	1.31	6.00	20.00	0.00	2.50	2.00
NA/MG	0.21	0.37	0.38	0.53	0.00	0.39	1.79	0.41	0.19	0.10	0.23
S.A.R.	0.09	0.09	0.18	0.14	0.00	0.44	0.43	0.46	0.10	0.09	0.09
I.E.B.	0.01	0.03	-0.05	-0.02	0.04	-0.03	-0.13	-0.16	-0.04	-0.02	-0.03
ERR.	0.02	3.42	4.22	4.82	1.12	4.92	6.52	4.92	4.32	3.82	5.22

## Source du Collomb

NO	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
NOM	ALB1	ALB2	ALB3	ALB4	ALB5	ALB6	ALB7	ALB8	CL9	ALB10	ALB11	ALB12
DATE	040184	080284	050384	020484	020584	100684	110784	060884	080984	021085	021184	011284
<b>C. PHYSIQUES</b>												
DB(1)	0.225	2.00	0.24	0.00	0.05	0.165	0.00	0.30	0.70	1.00	0.23	0.36
TIC)	7.00	5.50	5.2	6.30	9.50	11.30	17.20	16.50	14.4	15.30	12.00	10.00
PH	7.52	-	7.63	7.60	7.51	7.27	7.30	7.2	7.40	7.32	6.99	6.85
RS10	3850.00	18695.00	3190.00	1256.00	2793.00	2459.00	1913.00	1500.00	2110.00	4934.00	2544.00	3490.00
CO25	324.00	110.00	314.00	164.00	376.00	398.10	400.60	644.20	430.60	200.50	407.3	313.0
SI02	-	-	-	-	-	2.20	-	-	4.30	3.30	-	2.70
<b>CATIONS</b>												
UNIT	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L
NA+	3.60	1.90	7.1	4.50	9.00	14.60	7.60	03.2	37.20	3.40	7.80	6.2
K+	0.40	0.45	0.35	0.20	1.50	0.65	2.70	18.00	5.40	0.30	3.1	1.10
MG++	4.06	3.20	0.99	1.94	16.77	8.27	11.55	14.93	0.97	3.16	6.60	4.30
CA++	58.52	10.04	62.93	33.27	50.90	66.93	89.30	56.10	66.53	41.20	75.55	62.52
SOMME	67.30	23.67	79.37	39.91	70.97	90.45	111.23	172.14	110.1	40.14	93.13	74.2
<b>ANIONS</b>												
UNIT	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L
HCO3-	241.56	56.12	207.64	112.24	247.66	259.06	300.66	301.34	262.70	135.42	264.74	200.69
SO4-2	0.00	2.00	3.00	6.00	0.50	7.00	6.00	9.00	9.00	7.00	4.50	2.00
CL-	1.71	13.32	2.25	0.00	3.19	4.90	3.19	67.94	4.60	0.64	4.05	2.76
NO3-	-	-	-	-	-	0.90	1.20	4.30	3.00	0.50	0.10	0.00
SOMME	243.27	71.44	220.52	118.24	251.35	272.66	319.05	382.50	280.26	143.56	273.47	206.25
<b>RAPPORTS</b>												
MM TT	310.65	95.10	299.89	150.15	330.32	363.11	430.20	554.72	390.36	191.7	366.60	280.45
MG/CA	0.14	0.30	0.24	0.10	0.54	0.20	0.21	0.44	0.02	0.13	0.15	0.12
NA/CA	0.05	0.09	0.10	0.12	0.17	0.19	0.07	1.29	0.49	0.07	0.09	0.09
SO4/CL	0.00	0.11	1.00	0.00	0.11	1.07	1.33	0.10	1.46	7.50	0.82	0.50
NA/MG	0.40	0.30	0.42	1.25	0.31	0.93	0.35	2.97	20.25	0.50	0.62	0.75
S.A.R.	0.12	0.10	0.22	0.21	0.31	0.44	0.20	2.55	1.24	0.14	0.23	0.20
I.E.B.	0.01	0.14	-0.03	0.00	-0.03	-0.01	0.01	1.14	-0.26	-0.05	0.02	-0.01
ERR.	6.92	3.12	7.12	1.82	2.72	1.22	4.72	6.42	4.02	1.62	2.22	52

DIAGRAMME SCHOELLER-BERKALOFF

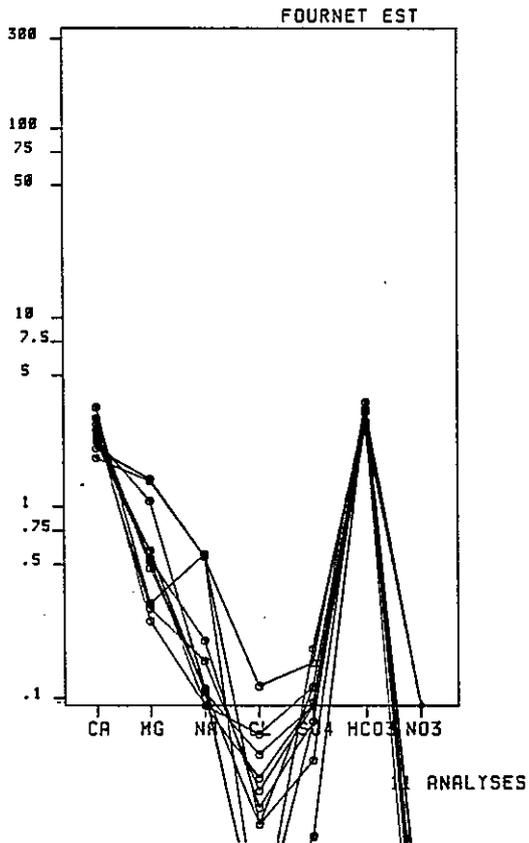


DIAGRAMME SCHOELLER-BERKALOFF

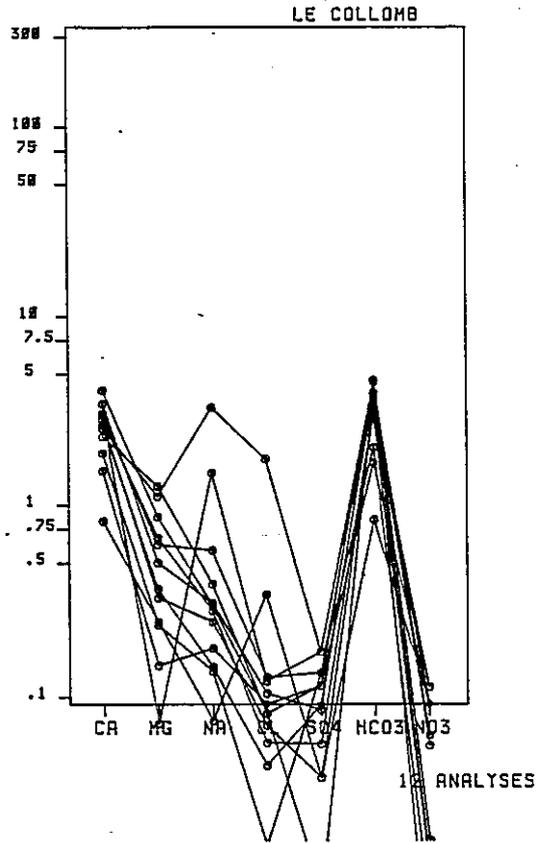


DIAGRAMME SCHOELLER-BERKALOFF

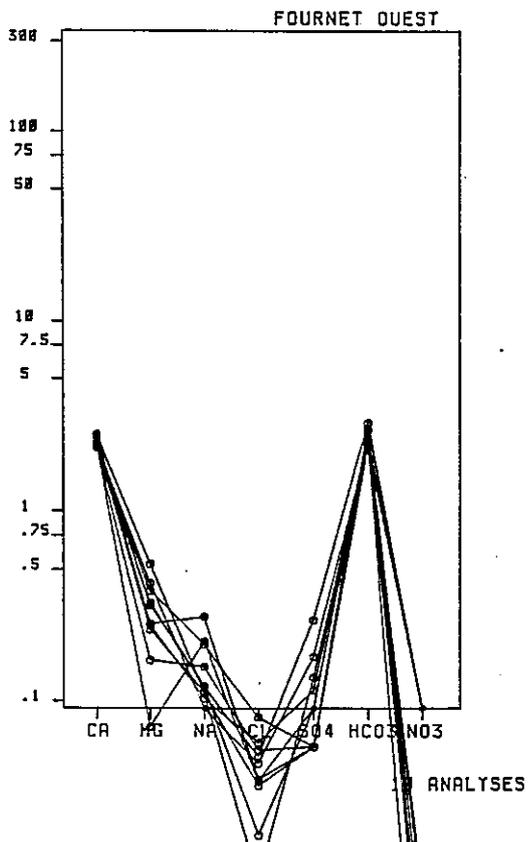
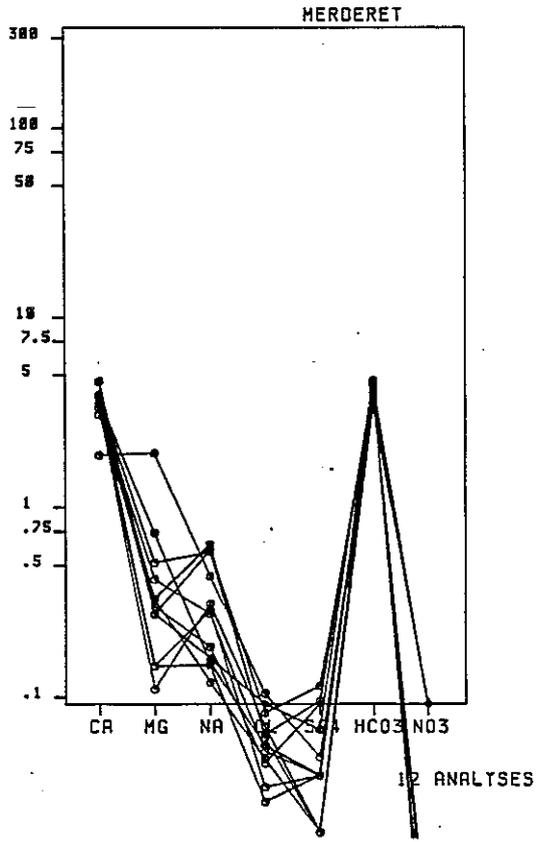


DIAGRAMME SCHOELLER-BERKALOFF



## Source de Fournet Ouest

NO	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116
NOM	PISE1	PISE2	PISE4	PISE5	PISE6	PISE7	PISE9	PISE10	PISE11	PISE12
DATE	060104	140204	040404	030504	120604	130704	100904	051004	051104	041204
C. PHYSIQUES										
DB(I)	0.10	0.20	0.15	0.04	0.04	0.30	0.03	0.05	0.01	0.02
T(C)	5.00	-	4.50	4.00	7.40	11.00	9.4	7.40	6.80	6.30
PH	7.90	8.15	8.00	8.30	7.97	7.80	8.16	7.89	7.77	7.68
RS10	3490.00	-	4310.00	4315.00	4234.00	4300.00	3866.00	3939.00	3495.00	3677.00
CO25	253.00	245.00	228.00	241.00	230.4	245.00	249.9	223.10	360.0	253.9
SI02	-	-	-	-	-	-	2.40	2.90	-	2.50

CATIONS										
UNIT	MG/L									
NA+	3.00	2.60	5.2	3.00	-	5.00	7.00	2.00	3.00	2.00
K+	0.30	0.65	0.20	0.20	-	0.32	0.57	0.50	0.50	0.50
MG++	4.30	3.34	0.97	2.19	5.59	5.10	3.40	3.16	4.25	7.05
CA++	52.1	50.90	40.50	47.29	40.90	47.69	55.40	49.70	50.70	55.30
SOMME	59.70	57.49	54.87	53.40	54.49	50.11	66.30	56.16	50.45	65.66

ANIONS										
UNIT	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L						
HC03-	192.76	153.72	157.30	143.93	150.06	149.04	175.96	153.72	161.65	179.7
SO4-2	14.00	6.00	0.00	3.00	9.00	3.00	3.00	7.00	0.00	3.00
CL-	1.90	2.34	1.46	2.13	1.81	3.19	1.491	0.43	0.75	1.30
NO3-	-	-	-	-	0.70	0.05	0.60	0.20	0.42	0.26
SOMME	208.74	162.06	158.04	149.06	161.57	156.00	181.051	161.35	162.82	184.34

RAPPORTS										
NM TT	200.52	219.55	213.71	202.54	216.06	214.19	247.43	217.31	221.27	250.00
MG/CA	0.14	0.11	0.03	0.00	0.19	0.10	0.10	0.10	0.14	0.21
NA/CA	0.05	0.04	0.10	0.07	0.00	0.09	0.11	0.05	0.05	0.04
SO4/CL	4.03	1.71	0.00	1.00	3.00	0.67	1.50	15.00	0.00	1.50
NA/MG	0.36	0.41	2.07	0.94	0.00	0.52	1.07	0.46	0.37	0.21
S.A.R.	0.11	0.09	0.21	0.15	0.00	0.19	0.24	0.10	0.11	0.09
I.E.B.	0.02	0.02	-0.05	-0.01	0.05	0.00	-0.07	-0.04	-0.03	0.00
ERR.	6.2%	4.1%	2.2%	4.6%	3.4%	7.4%	5.7%	3.4%	6%	6.4%

## Source du Merderet

NO	120	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139
NOM	MER1	MER2	MER3	MER4	MER5	MER6	MER7	MER8	MER9	MER10	MER11	MER12
DATE	060104	140204	060304	040404	030504	120604	130704	080804	100904	051004	051104	041204
C. PHYSIQUES												
DB(I)	0.42	1.00	0.70	1.20	0.75	0.10	0.00	0.013	0.075	3.60	0.23	0.02
T(C)	9.2	7.60	7.7	7.00	0.10	0.60	0.00	11.4	9.2	11.60	10.2	10.2
PH	8.09	8.07	7.75	7.73	0.06	7.13	7.30	7.50	7.35	7.17	7.53	7.36
RS10	2490.00	3112.00	2720.00	3030.00	2717.00	2376.00	2600.00	2595.00	2522.00	2926.00	1927.00	2419.00
CO25	345.00	329.00	327.00	337.00	390.00	410.3	357.0	353.4	370.0	369.20	430.50	400.50
SI02	-	-	-	-	-	1.60	-	1.90	-	1.70	-	2.22

CATIONS												
UNIT	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L
NA+	4.60	3.00	6.90	7.00	7.2	14.7	11.00	15.10	16.10	3.70	4.00	3.00
K+	0.25	1.10	0.20	0.20	0.20	0.00	0.50	0.25	0.32	0.70	0.90	0.90
MG++	4.01	4.37	5.59	1.46	1.94	6.00	25.60	3.64	4.30	1.94	3.65	9.72
CA++	72.54	67.33	77.35	73.75	77.35	84.57	41.20	83.76	84.30	85.37	100.6	83.39
SOMME	81.4	75.0	90.04	83.21	86.69	106.00	70.30	102.75	105.10	91.71	109.15	97.01

ANIONS												
UNIT	MG/L	MG/L	MG/L									
HC03-	269.62	241.56	249.12	226.92	263.52	291.50	256.20	270.04	289.14	265.96	311.71	290.9
SO4-2	0.00	1.00	2.00	1.00	2.00	5.00	2.50	6.00	1.00	2.00	3.50	2.00
CL-	1.71	1.00	1.90	2.70	1.20	2.45	4.05	3.19	2.34	1.065	0.00	2.13
NO3-	-	-	-	-	-	0.30	0.00	0.25	0.15	0.00	0.10	0.00
SOMME	271.33	244.36	253.1	230.62	266.0	299.33	262.75	280.20	292.63	269.025	315.31	303.03

RAPPORTS												
NM TT	352.73	320.16	343.14	313.03	353.49	405.41	341.13	303.03	397.01	360.74	424.46	400.04
MG/CA	0.09	0.11	0.12	0.03	0.04	0.13	1.02	0.07	0.09	0.04	0.06	0.19
NA/CA	0.06	0.04	0.00	0.09	0.00	0.15	0.23	0.16	0.17	0.04	0.03	0.04
SO4/CL	0.00	0.40	0.67	0.25	1.00	1.43	0.45	1.33	0.29	1.33	0.00	0.67
NA/MG	0.61	0.36	0.65	2.03	1.94	1.14	0.23	2.20	1.94	1.00	0.57	0.21
S.A.R.	0.14	0.10	0.20	0.25	0.22	0.41	0.33	0.44	0.46	0.11	0.10	0.11
I.E.B.	0.00	0.01	-0.02	-0.01	-0.03	-0.06	-0.01	-0.06	-0.00	-0.01	0.00	0.02
ERR.	3.6%	1.9%	5.1%	4.1%	7%	4.5%	3.3%	5.1%	4.5%	1.9%	3.1%	1.5%

## Source de Miribel

NO	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163
NOM	BK1	BK2	BK3	BK4	BK5	BK7	BK6	BK8	BK9	BK10	BK11	BK12
DATE	080184	130284	060384	030484	020584	140784	120684	080884	110984	071084	051184	031284
C. PHYSIQUES												
DB(I)	2.00	1.60	0.60	3.60	0.70	0.19	1.40	5.1	0.65	5.50	1.20	4.00
T(C)	8.00	7.7	7.30	7.50	8.00	9.10	8.30	10.2	9.2	8.7	8.50	8.4
PH	7.7	7.33	7.00	7.80	8.01	7.80	7.68	7.65	7.59	7.93	7.41	7.68
RS18	2464.00	2777.00	2600.00	2810.00	2741.00	2704.00	2556.00	2566.00	2538.00	2143.00	1898.00	2329.00
CO25	390.00	364.00	367.00	372.00	383.00	350.20	398.70	311.10	376.4	413.9	398.6	400.70
SI02	-	-	-	-	-	-	1.90	-	1.40	2.30	-	-

CATIONS												
UNIT	MG/L											
NA+	3.30	3.30	7.7	8.60	9.7	13.9	14.4	15.00	21.50	3.50	3.40	3.20
K+	1.20	0.65	0.50	0.55	0.80	0.56	0.50	0.45	0.60	1.20	1.10	1.50
MG++	3.89	2.96	4.74	8.75	6.56	6.55	7.47	9.30	3.64	14.32	10.94	2.67
CA++	86.17	79.36	79.76	70.14	62.93	60.94	76.76	61.12	67.73	75.35	74.95	97.00
SOMME	94.56	86.27	92.7	80.04	79.99	89.95	99.13	86.67	93.47	94.37	90.39	104.37

ANIONS												
UNIT	MG/L											
HC03-	290.90	245.22	256.20	242.70	240.34	233.30	269.42	240.34	279.30	292.19	275.72	297.60
SO4-2	12.00	2.00	6.00	6.00	8.00	9.00	1.00	8.00	4.00	3.00	4.00	2.00
CL-	1.89	2.70	3.86	1.04	1.49	4.85	1.60	1.20	2.77	1.92	0.85	0.213
NO3-	-	-	-	-	-	0.15	0.35	0.35	0.65	0.30	0.25	0.00
SOMME	312.79	249.92	265.26	249.82	241.83	246.5	272.57	249.97	286.0	297.41	280.82	299.893

RAPPORTS												
NM TT	487.35	336.19	357.96	337.86	321.82	336.45	371.70	336.64	300.27	391.70	371.21	404.26
MG/CA	0.07	0.06	0.10	0.21	0.17	0.16	0.16	0.25	0.09	0.31	0.24	0.05
NA/CA	0.03	0.04	0.08	0.11	0.13	0.17	0.16	0.23	0.20	0.04	0.04	0.03
SO4/CL	5.00	0.50	1.33	4.00	0.00	1.73	0.40	4.25	1.00	1.20	4.00	4.00
NA/MG	0.44	0.50	0.85	0.51	0.70	1.11	1.03	0.91	3.1	0.13	0.17	0.64
S.A.R.	0.09	0.10	0.22	0.25	0.31	0.43	0.42	0.50	0.69	0.10	0.10	0.09
I.E.B.	0.02	0.04	0.01	-0.06	-0.07	-0.04	-0.09	-0.13	-0.12	0.01	-0.02	-0.03
ERR.	4.1%	2.6%	3.3%	5.4%	1.7%	5.4%	6.1%	4%	1.3%	2.2%	2.1%	3%

## Source de Courtines

NO	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151
NOM	SFR1	SFR2	SFR3	SFR4	SFR5	SFR6	SFR7	SFR8	SFR9	SFR10	SFR11	SFR12
DATE	080184	130284	060384	030484	020584	110684	120784	060884	110984	041084	011184	031284
C. PHYSIQUES												
DB(I)	0.15	0.32	0.09	0.42	0.07	0.13	0.00	0.10	0.01	0.50	0.15	0.19
T(C)	6.60	5.40	5.30	5.30	6.40	8.00	8.60	9.7	10.30	9.30	8.60	8.2
PH	7.79	7.26	7.37	7.20	7.56	7.40	7.15	7.16	7.30	6.87	7.17	6.93
RS18	3467.00	5751.00	2720.00	5020.00	4361.00	4090.00	3920.00	3964.00	3625.00	5064.00	3018.00	4162.00
CO25	232.00	172.00	223.00	192.00	241.00	232.30	232.9	220.9	260.3	152.60	250.7	225.10
SI02	-	-	-	-	-	3.70	-	3.00	-	2.90	-	3.33

CATIONS												
UNIT	MG/L											
NA+	3.20	2.45	5.40	5.00	4.90	6.60	7.7	7.30	9.7	2.50	3.50	3.30
K+	0.45	1.15	0.35	0.35	0.40	0.60	0.50	0.40	0.57	0.60	0.70	0.90
MG++	6.32	4.55	9.67	4.13	6.32	7.29	7.29	6.32	12.75	5.10	6.93	6.69
CA++	41.60	28.45	39.20	34.07	40.40	40.00	41.20	44.09	43.60	27.65	42.20	41.00
SOMME	51.65	36.6	54.7	43.55	52.1	54.57	56.77	50.11	66.7	35.85	53.41	51.97

ANIONS												
UNIT	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L								
HC03-	150.06	96.30	150.10	113.46	149.64	146.64	193.04	153.10	191.54	97.96	142.74	140.30
SO4-2	11.50	2.70	8.00	7.00	8.00	9.00	8.00	6.00	0.00	2.00	3.50	2.00
CL-	1.35	5.00	2.34	1.66	1.20	1.10	1.49	1.49	0.213	0.213	0.74	3.40
NO3-	-	-	-	-	-	0.70	1.10	1.50	-0.27	0.65	0.20	0.35
SOMME	162.91	104.00	160.52	122.12	150.92	157.44	203.63	162.09	193.023	100.823	147.10	146.06

RAPPORTS												
NM TT	214.56	140.60	215.22	165.67	203.02	212.01	260.4	220.2	259.72	136.67	200.59	190.03
MG/CA	0.25	0.26	0.41	0.20	0.26	0.30	0.29	0.24	0.40	0.30	0.27	0.27
NA/CA	0.07	0.08	0.12	0.13	0.10	0.15	0.16	0.15	0.19	0.09	0.07	0.07
SO4/CL	6.00	0.43	2.43	3.00	0.00	6.33	4.25	3.00	0.00	4.00	3.50	0.40
NA/MG	0.27	0.30	0.29	0.65	0.40	0.40	0.55	0.62	0.40	0.26	0.26	0.25
S.A.R.	0.12	0.12	0.20	0.22	0.19	0.25	0.29	0.27	0.33	0.12	0.13	0.12
I.E.B.	-0.02	0.05	-0.02	-0.06	-0.05	-0.09	-0.06	-0.00	-0.13	-0.07	-0.05	0.03
ERR.	2%	4%	5.3%	4.0%	5.1%	5.1%	6.1%	6.3%	7.2%	7.2%	0%	6%

DIAGRAMME SCHOELLER-BERKALOFF

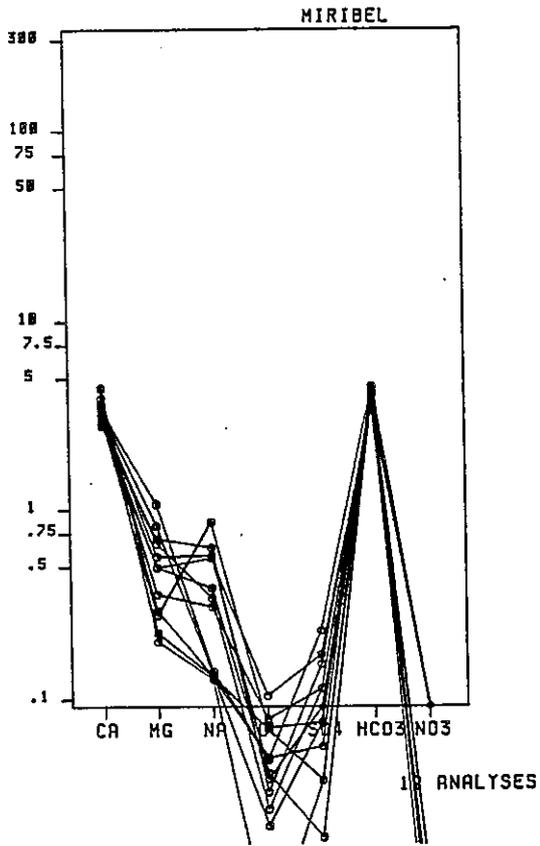


DIAGRAMME SCHOELLER-BERKALOFF

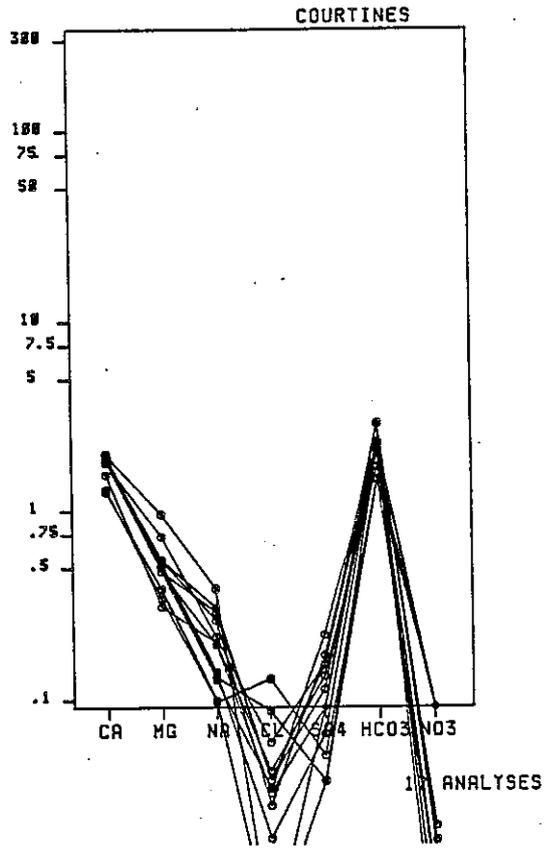


DIAGRAMME SCHOELLER-BERKALOFF

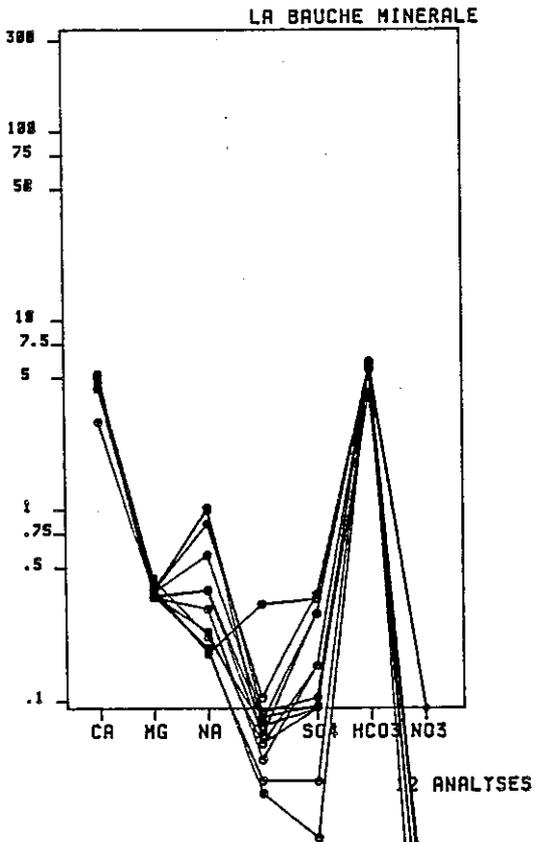
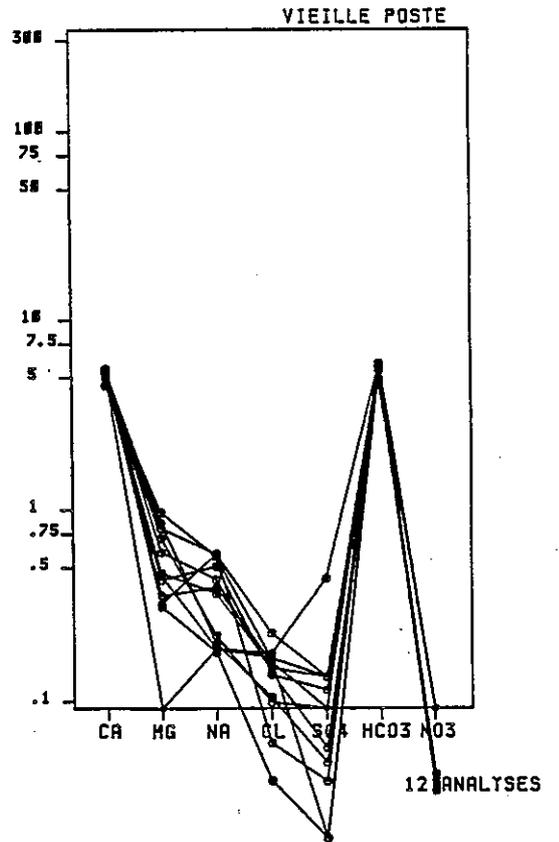


DIAGRAMME SCHOELLER-BERKALOFF



Source de la Vieille Poste

NU	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
NOR	ECH1	ECH2	ECH3	ECH4	ECH5	ECH6	ECH7	ECH8	ECH9	ECH10	ECH11	ECH12
DATE	050194	140204	060304	040404	030504	120604	120704	090804	110904	051004	061104	041204

C. PHYSIQUES

DB(I)	0.56	0.79	0.74	0.90	0.77	0.65	0.60	0.61	0.50	0.56	0.69	0.66
T(C)	9.60	9.50	9.60	9.9	10.4	10.60	10.9	10.9	10.9	10.7	10.30	10.2
PH	7.59	7.28	7.43	7.33	7.43	7.45	-	7.45	7.30	7.32	7.15	6.92
RS10	1533.00	1867.00	1760.00	1910.00	1831.00	1704.00	1833.00	1800.00	1800.00	1706.00	1652.00	1730.00
CO25	546.00	557.00	532.00	560.00	583.00	562.3	500.8	513.90	528.6	546.40	561.1	539.20
SI02	-	-	-	-	-	3.90	-	3.00	-	4.00	-	-

CATIONS

UNIT	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L
NA+	4.7	4.7	9.2	10.9	9.9	14.4	14.00	12.00	14.00	4.50	5.00	5.50
K+	0.70	1.20	0.90	0.90	1.00	1.00	0.85	1.00	1.05	0.90	1.50	1.60
MG++	0.00	6.02	6.2	0.022	4.75	12.00	10.67	5.70	4.29	4.13	11.43	9.40
CA++	116.23	114.23	117.43	110.24	115.43	99.40	98.60	109.32	120.24	120.64	110.24	116.63
SOMME	121.63	126.15	133.73	130.062	131.00	127.60	124.92	120.03	140.30	130.17	136.17	133.21

ANIONS

UNIT	MG/L	MG/L	MG/L	MG/L								
HC03-	394.06	372.10	369.66	363.56	364.70	370.00	324.52	320.10	375.76	366.00	360.44	360.44
SO4-2	23.00	7.00	7.00	3.00	0.00	1.00	7.00	6.00	2.00	1.00	2.50	0.00
CL-	6.04	6.40	5.76	5.41	6.10	6.39	0.73	5.32	2.343	1.49	4.05	3.03
NO3-	-	-	-	-	-	2.60	2.40	2.45	2.00	2.30	2.35	0.00
SOMME	423.9	385.50	382.42	371.97	370.96	380.07	342.65	341.95	382.903	370.79	377.34	372.27

RAPPORTS

NN TT	545.53	511.73	516.15	510.03	502.04	500.55	467.57	470.70	523.20	500.96	513.50	505.40
MG/CA	0.00	0.09	0.09	0.11	0.07	0.21	0.10	0.09	0.06	0.06	0.16	0.13
NA/CA	0.03	0.04	0.07	0.00	0.07	0.13	0.13	0.10	0.11	0.03	0.04	0.04
SO4/CL	2.53	0.03	0.94	0.40	0.00	0.11	0.60	0.00	0.57	0.50	0.45	0.00
NA/MG	0.00	0.40	0.70	0.71	1.10	0.59	0.73	1.19	1.03	0.59	0.23	0.31
S.A.R.	0.12	0.11	0.22	0.26	0.25	0.36	0.30	0.33	0.36	0.11	0.12	0.13
I.E.B.	0.16	0.14	0.09	0.07	0.09	0.07	0.13	0.04	-0.04	0.00	0.07	0.06
ERR.	0.4%	0%	3.2%	6.7%	3.6%	2.0%	5.7%	6.0%	5.2%	3.0%	6.4%	5.6%

## ANNEXE 5

## Programme MOULINET P. LAMY 1984

```

10 HOME
20 PRINT "TRAITEMENT DES JAUGEAG
   ES AU MOULINET": PRINT
30 PRINT : PRINT "   PIERRE L
   AMY 1984   "
35 PRINT : PRINT
40 CLEAR
50 DIM P(20),Z(20,20),T(20,20),V
   (20)
60 DIM U(20,20),W(20,20)
70 PRINT "LES MESURES, EXPRIMEES
   EN CENTIMETRES,": PRINT
80 PRINT "SERONT ENTREES ORDONNE
   ES DU FOND VERS LA   "
   : PRINT "SURFACE .": PRINT "
   "
85 PRINT : PRINT "   Au maxi
   mum 19 profils ! "
100 PRINT "   et 19 mesures pa
   r profil !"
105 PRINT " "
110 PRINT "HAUTEURS D'EAU COMPTE
   ES A PARTIR DU FOND (F) ,
120 PRINT "DU"
130 PRINT "PROFONDEURS MESUREES
   A PARTIR DE LA   SURFACE (
   S) ?"
140 INPUT K$
150 PRINT : INPUT "NUMERO DE L'H
   ELICE ? ";Y$
155 A1 = 0:B1 = 0:A2 = 0:B2 = 0:C
   = 0:X = 0:S = 0
160 PRINT : PRINT : INPUT " 1 OU
   2 EQUATIONS 1/2 ";X
170 IF X = 2 THEN GOTO 210
180 IF X = 1 THEN GOTO 260
190 GOTO 160
210 PRINT : INPUT "1E EQUATION (
   SOUS LE SEUIL) Y=A1*X+B1
   A1 ";A1
220 INPUT "   B1 ";B1: PRINT
230 INPUT "2E EQUATION (AU DESSU
   S DU SEUIL) Y=A2*X+B2
   A2 ";A2
240 INPUT "   B2 ";B2: PRINT
250 INPUT "NOMBRE DE TOURS CRITI
   QUES ";C: GOTO 290
260 PRINT : INPUT "EQUATION Y=A1
   *X+B1   A1 ";A1
270 INPUT "   B1 ";B1: PRINT
280 C = 1000000
290 INPUT "TEMPS DE REFERENCE EN
   SECONDES ";S
300 IF S = 0 THEN GOTO 290
310 PRINT : INPUT "OK POUR LES D
   ONNEES GENERALES O/N ";D$
320 IF D$ = "N" THEN GOTO 150
330 HOME
340 N = 0:P(0) = 0:P(N + 1) = 0:Q
   = 0
350 PRINT : INPUT "COURS D'EAU :
   ";A$
360 PRINT : INPUT "DATE : ";B$
370 PRINT : INPUT "HAUTEUR ECHEL
   LE ";E
380 IF E = 0 THEN HOME : PRINT
   : PRINT : PRINT "Attendre la
   prochaine pluie !": PRINT :
   GOTO 820
400 INPUT "NOMBRE DE PROFILS ";N
410 PRINT : INPUT "Abacisses des
   berges B1:";P(0)
420 INPUT "
   B2:";P(N + 1)
430 INPUT "OK POUR LES DONNEES D
   U COURS D'EAU O/N ";D$
440 IF D$ = "N" THEN GOTO 330
450 HOME
452 FOR I = 1 TO N
454 V(I) = 0
456 FOR J = 1 TO M + 1
458 Z(I,J) = 0:T(I,J) = 0
460 NEXT J: NEXT I
462 M = 0
470 FOR I = 1 TO N
480 PRINT : PRINT "PROFIL ";I
485 PRINT : INPUT "NOMBRE DE MES
   URES ";M
486 IF M > 19 THEN GOTO 485
490 INPUT "ABSCISSE DU PROFIL ";
   P(I)
500 INPUT "HAUTEUR TOTALE D'EAU
   ";Z(I,M + 1)
520 FOR J = 1 TO M
530 PRINT : PRINT "   MESU
   RE ";J
540 PRINT : INPUT "HAUTEUR DE LA
   MESURE ";Z(I,J)
550 IF K$ = "S" THEN Z(I,J) = Z(
   I,M + 1) - Z(I,J)
560 INPUT "NOMBRE DE TOURS
   ";T(I,J)
570 IF T(I,J) / S > C THEN GOTO
   590
580 T(I,J) = A1 * T(I,J) / S + 01
   : GOTO 600
590 T(I,J) = A2 * T(I,J) / S + B2
600 NEXT J
610 PRINT : INPUT "OK POUR CE PR
   OFIL O/N ";D$
620 IF D$ = "N" THEN GOTO 480
630 HOME
640 T(I,0) = T(I,1) / 2:T(I,M + 1
   ) = T(I,M)
650 Z(I,0) = 0
660 FOR J = 1 TO M + 1
670 V(I) = V(I) + (T(I,J) + T(I,J
   - 1)) / 200 * ABS (Z(I,J) -
   Z(I,J - 1))
680 NEXT J
690 PRINT : PRINT "PROFIL ";I
700 PRINT : PRINT "DEBIT PARTIEL
   ";V(I)
710 NEXT I
720 FOR I = 1 TO N + 1
730 V(0) = V(I) / 2
740 V(N + 1) = V(N) / 2
750 Q = 0 + (P(I) - P(I - 1)) * (
   V(I) + V(I - 1)) / 200
760 NEXT I
770 PRINT : PRINT
780 PRINT : PRINT "DEBIT Q=";Q;"
   M3/S"
790 PRINT : PRINT
800 PRINT "SORTIE SUR IMPRIMANTE
   ? "
802 PRINT : PRINT "pas d'impress
   ion --> N"
804 PRINT "impression simplifiee
   --> S"
806 PRINT "impression complete
   --> C"
808 PRINT : INPUT D$
810 IF D$ = "N" THEN GOTO 820
812 GOTO 870

```

## Programme HYDROCHIMIE P. LAMY 1985

```

020 INPUT "UN AUTRE PROFIL O/N "
    ;D$
030 IF D$ = "N" THEN GOTO 1040
040 INPUT "LA MEME HELICE O/N ";
    F$
050 IF F$ = "O" THEN GOTO 330
060 HOME : GOTO 40
070 PRINT CHR$(4);"PR#1"
080 PRINT CHR$(15); PRINT CHR$(
    9);"SON"
090 PRINT "JAUGEAGE DU ";A$
100 PRINT : PRINT "LE ";B$
110 PRINT : PRINT "HAUTEUR LIMNI
    GRAPHE ";E;" CM"
120 PRINT "HELICE NUMERO ";Y$
125 IF D$ = "S" THEN GOTO 290
130 FOR I = 1 TO N
140 PRINT : PRINT "PROFIL ";I;"
    DEBIT PARTIEL ";V(I)
150 NEXT I
160 PRINT CHR$(4);"PR#0"
170 PRINT : PRINT
180 PRINT CHR$(4);"PR#1"
190 PRINT : PRINT "DEBIT Q=";Q;
    " M3/S"
200 PRINT : PRINT
210 PRINT CHR$(4);"PR#0"
220 GOTO 020
230 END

10 HOME
12 PRINT "TRAITEMENT DES ANALYSE
    S CHIMIQUES " : PRINT : PRINT
14 PRINT "PIERRE LAMY LE 29 JUIN
    1984 " : PRINT : PRINT
15 PRINT "ENTREES DES DONNEES EN
    MG/L (1) "
17 INPUT "OU ENTREES DIRECTES DE
    S MESURES DU LABO (2) ";W
20 IF W = 1 THEN GOTO 620
20 PRINT "METHODE AU NITRATE MER
    CURIQUE "
30 INPUT "ENTRE LES VALEURS V ET
    C UTILISEES POUR LE DOSAGE
    DES CHLORURES. V";V
40 INPUT " C ";K
70 INPUT "NOM DE LA SOURCE ";A$
80 INPUT "DATE DE PRELEVEMENT ";
    B$
90 INPUT "DEBIT MESURE ";C$
100 INPUT "TEMPERATURE DE L'EAU
    ";D$
110 INPUT "NA+ EN MG/L ";A
120 INPUT "K+ EN MG/L ";B
130 INPUT "THCA ";C
140 INPUT "THT ";D
150 INPUT "TAC ";E
160 INPUT "SO4-- EN MG/L ";F
170 INPUT "CL- MESURE AU NITRATE
    MERCURIQUE ";G
180 INPUT "NO3- EN MG/L ";H
190 D = (D - C) * 2.431
200 C = C * 4.000
210 E = E * 12.2
220 G = K * (G - V)
230 A1 = A / 23.0; B1 = B / 39.1; C1 =
    C / 20.04
240 D1 = D / 12.16; E1 = E / 61.01

250 F1 = F / 48.03; G1 = G / 35.5;
    H1 = H / 62.01
260 S = A + B + C + D + E + F + G
    + H
270 R1 = A1 + B1 + C1 + D1
280 R2 = E1 + F1 + G1 + H1
285 IF C1 = 0 THEN GOTO 302
290 R3 = D1 / C1
300 R4 = A1 / C1 : GOTO 305
302 R3 = 0; R4 = 0

305 IF H1 = 0 THEN GOTO 312
310 R5 = F1 / H1 : GOTO 320
312 R5 = 0
320 R6 = ((R1 - R2) / (R1 + R2)) *
    100
325 IF B1 = 0 THEN GOTO 332
330 R7 = A1 / B1 : GOTO 350
332 R7 = 0
350 INPUT "SORTIE SUR IMPRIMANTE
    ? O/N ? ";X$
360 IF X$ = "N" THEN GOTO 370
365 PRINT CHR$(4);"PR#1"
366 PRINT CHR$(9);"SON"
370 PRINT A$
375 PRINT
380 PRINT B$
390 PRINT "DEBIT = ";C$;D$;"C"
400 PRINT "ELEMENT", "MG/L", "MEQ/
    L"
410 PRINT " NA+", A, A1
420 PRINT " K+", B, B1
430 PRINT " CA++", C, C1
440 PRINT " MG++", D, D1
445 PRINT
450 PRINT "HCO--- ", E, E1
460 PRINT " SO4--", F, F1
470 PRINT " CL-", G, G1
480 PRINT " NO3-", H, H1
490 PRINT "MINERALISATION TOTALE
    ";S;"MG/L"
500 PRINT "SOMME DE R+ ";R1
510 PRINT "SOMME DE R- ";R2
520 PRINT "BALANCE IONIQUE % ";R
    6
530 PRINT : PRINT "R MG/CA ";R3
540 PRINT "R NA/CA ";R4
545 PRINT "R NA/K ";R7
550 PRINT "R SO4--/CL- ";R5
555 PRINT " " : PRINT
560 IF X$ = "N" THEN GOTO 570
565 PRINT CHR$(4);"PR#0"
570 INPUT "UNE AUTRE SOURCE ? O/
    N ? ";Y$
580 IF Y$ = "N" THEN GOTO 1000
585 IF W = 1 THEN GOTO 620
590 INPUT "DOIS-JE GARDER LES CO
    NSTANTES DES CHLORURES ? O/N
    ?";Z$
600 IF Z$ = "N" THEN GOTO 30
610 GOTO 70

```

## Programme GALERIE H. DONDEY 1985

```

615 GOTO 1000
620 INPUT "NOM DE LA SOURCE ";A$

625 INPUT "DATE DE PRELEVEMENT "
;B$

630 INPUT "DEBIT MESURE ";C$
635 INPUT "TEMPERATURE DE L'EAU
";D$

650 INPUT "NA+ EN MG/L ";A
660 INPUT "K+ EN MG/L ";B
670 INPUT "CA++ ";C
680 INPUT "MG++";D
690 INPUT "HCO3-";E
700 INPUT "SO4-- EN MG/L ";F
710 INPUT "CL- ";G
720 INPUT "NO3- EN MG/L ";H
730 GOTO 230
1000 END

```

```

10 REM ** FAILLES****
20 REM ****
30 REM ** TRAITEMENT **
40 REM ** DE DIRECTION DE PLAN
50 REM ** DE FAILLES **
60 REM ****
70 REM ** ENTREE DES DONNEES **

80 HOME : PRINT "*****
*****"

90 PRINT "***          TRAITEMENT
DE          ***"

100 PRINT "***          DIRECTION
DE PLAN          ***"

110 PRINT "***          DE FAI
LLES          ***"

120 PRINT "***          H. DONDEY 1985
***"

130 PRINT "*****
*****"

140 VTABLE (15): DIM D(200)
150 PRINT "1) CREATION DE FICHIE
R"

160 PRINT "2) LECTURE DE FICHIE
R"

170 PRINT "3) CALCUL DES POURCENT
TAGES"

180 PRINT "4) IMPRESSION PAPIER"

190 PRINT "5) ROSACE DE DIRECTIO
N"

200 PRINT "6) FIN"

210 GET R$: IF R$ = "" THEN 210
220 IF R$ = "1" THEN 1670
230 IF R$ = "2" THEN 1810
240 IF R$ = "3" THEN 420
250 IF R$ = "4" THEN 720
260 IF R$ = "5" THEN 910
270 IF R$ = "6" THEN 710
285 REM **MODULE ENTREE DE DONNE
ES**

290 PRINT "ENTREE DES DONNEES"
300 INPUT "Largeur des classes e
n degre p=";P

310 N = 180 / P
320 DIM B(N)
330 FOR I = 1 TO N
340 B(I) = 0
350 NEXT I

```

```

355 PRINT "Longueur de galerie p
sur les classes"
360 FOR I = 1 TO N
365 INF = P * (I - 1);SUP = P * I

370 PRINT "Classe ";INF"-";SUP: INPUT
D(I)

380 A = A + D(I)
390 IF D(I - 1) < 0 THEN 370
400 NEXT I
410 GOTO 1710

420 REM ** CALCUL DES % **
425 INPUT "Largeur des classes e
n degre P=";P
426 N = 180 / P
430 DIM PC(N)
440 FOR I = 1 TO N
450 PC(I) = D(I) * 100 / A
460 NEXT I
460 HOME : PRINT "CLASSE";
470 HTAB (13)
480 PRINT "LONGUEUR";
490 HTAB (31)
500 PRINT "%";
510 PRINT "-----"

520 FOR I = 1 TO N
530 INF = P * (I - 1);SUP = P * I

540 PRINT INF"-";SUP;
550 HTAB (13)
560 PRINT D(I);
570 HTAB (31)
580 V = INT (PC(I) * 100) / 100:
PRINT V
590 NEXT I
600 HTAB (13): PRINT "AFFICHAGE
TERMINE": PRINT : GOTO 150
610 END
620 REM **IMPRESSION PAPIER**
630 PR# 1
640 HOME : PRINT "CLASSE";
650 HTAB (13)
660 PRINT "LONGUEUR";
670 HTAB (31)
680 PRINT "%";
690 PRINT "-----"

700 FOR I = 1 TO N
710 INF = P * (I - 1);SUP = P * I

```

```

820 PRINT INF="-";SUP;
830 HTAB (13)
840 PRINT D(1);
850 HTAB (31)
860 V = INT (PC(I) * 100) / 100;
      PRINT V
870 NEXT I
880 PRINT "% max circonference="
;U: PRINT "Galerie ";NOM$: PRINT
"Longueur totale de galerie="
";A
890 PR# 0
900 GOTO 1370
910 REM *** ROSA2 *****

920 REM *****
930 REM MODULE D'IMPRESSION
940 REM *****
950 HOME
960 INVERSE : VTAB (23): PRINT "
MODULE D'IMPRESSION": NORMAL

970 C = 140:D = 80:X = 0:Y = 0:PI
= 3.1415927:Z = .8387
980 X1 = Y1:X2 = Y2
990 INPUT "RAYON DE LA ROSACE (1
0<R<70), R=";R
1000 HGR
1010 HCOLOR= 3
1011 PRINT CHR$(4)"BLOAD#73"
1020 REM **CALCUL DES POINTE**
1030 J = 0.5:G = 0:H = 90:R1 = R
1040 GOSUB 1390
1050 C1 = C + (Z + R):C2 = C - (Z
* R):D1 = D + R:D2 = D - R
1060 HPLOT C,D TO C,D2
1070 HPLOT C,D TO C,D1
1080 HPLOT C2,D TO C1,D
1090 FOR M = 0 TO 3
1100 R1 = R1 + 1:J = P:G = 0:H =
90
1110 GOSUB 1390
1120 NEXT M
1130 REM *****
1140 REM RACCORDE AU MODULE
1150 REM DE
1160 REM CALCUL, VOIR 320
1170 REM *****
1180 INPUT "% affecte a la circo
nferece";U
1190 FOR I = 1 TO N
1200 RM = PC(I) * (R / U)
1210 INF = P * (I - 1):SUP = P *
I
1220 IF INF = 180 THEN 1320
1230 G = INF:H = SUP:J = .5
1240 IF INF > = 90 THEN 1500
1250 FOR J = 6 TO H STEP 0.5
1260 Y = COS (J * PI / 180) * RM
1270 X = Z * SQR ((RM ^ 2) - (Y ^
2))
1280 X1 = X + C:Y1 = - Y + D
1290 HPLOT C,D TO X1,Y1
1300 NEXT J
1310 NEXT I
1320 INPUT "A quelle echelle vou
laz-vous iaprimier,(1 ou 2)";
K
1330 IF K = 0 OR K > 2 THEN 1320
1340 ON K GOSUB 1590,1630
1350 TEXT : HOME : PR# 1
1360 GOTO 740
1370 PRINT : FLASH : PRINT "IMPR
SSION TERMINEE": NORMAL
1380 GOTO 150
1390 REM **TRACAGE DU CERCLE**
1400 FOR I = 6 TO H STEP J
1410 Y = COS (I * PI / 180) * R1
1420 X = Z * SQR ((R1 ^ 2) - (Y ^
2))
1430 X1 = X + C:Y1 = Y + D:X2 = -
X + C:Y2 = - Y + D
1440 HPLOT X1,Y1
1450 HPLOT X1,Y2
1460 HPLOT X2,Y2
1470 HPLOT X2,Y1
1480 NEXT I
1490 RETURN
1500 REM **IMPRESSION N>90***
1510 INF = 180 - INF:G = INF:H =
INF - P
1520 FOR J = 6 TO H STEP -.5
1530 Y = COS (J * PI / 180) * RM
1540 X = Z * SQR ((RM ^ 2) - (Y ^
2))
1550 X1 = X + C:Y1 = Y + D
1560 HPLOT C,D TO X1,Y1
1570 NEXT J
1580 GOTO 1310
1590 REM *****IMPRESSION ECHELLE
1***
1600 PRINT CHR$(4);"PR#1" + CHR$(
13) + CHR$(9);"G"
1610 PRINT CHR$(4);"PR#0"
1620 RETURN
1630 REM *****IMPRESSION ECHELLE
2***
1640 PRINT CHR$(4);"PR#1" + CHR$(
13) + CHR$(9);"SE"
1650 PRINT CHR$(4);"PR#0"
1660 RETURN
1670 REM *** CREATION DE FICHIER
S**
1680 D$ = CHR$(4)
1690 HOME : VTAB (3): HTAB (10):
INPUT "NOM DU FICHIER=" ;NO
M$
1700 GOTO 290
1710 PRINT "Le nombre de classes
N=";N: PRINT " notez-le !!"
1720 PRINT D$
1730 PRINT D$;"OPEN";NOM$
1735 PRINT D$;"WRITE";NOM$
1740 FOR I = 1 TO N
1750 PRINT D(I)
1760 NEXT I
1770 PRINT D$;"CLOSE";NOM$
1780 PRINT "LE FICHIER EST DANS
LA DISQUETTE, N'OUBLIEZ PAS
DE LE NOTER"
1790 FOR I = 1 TO 7999: NEXT I
1800 HOME : GOTO 150
1810 REM *** LECTURE DE FICHIER*
**
1820 D$ = CHR$(4)
1830 HOME : VTAB (3): HTAB (10):
INPUT "NOM DU FICHIER=" ;NO
M$
1840 INPUT "NOMBRE DE CLASSES, N
=";N
1850 PRINT D$
1860 PRINT D$;"OPEN";NOM$
1865 PRINT D$;"READ";NOM$
1870 FOR I = 1 TO N
1880 INPUT D(I)
1885 A = A + D(I)
1890 NEXT I
1900 PRINT D$;"CLOSE";NOM$
1910 GOTO 150

```

ANNEXE VIOBSERVATIONS SUR LA BACTERIOLOGIE

Les quelques observations énoncées ici, se basent sur les données de la Direction des Affaires Sanitaires et Sociales de la Savoie (DASS) qui effectue le suivi bactériologique des eaux captées par les communes (situation figure n°VI.1), ainsi que sur quelques échantillons que j'ai prélevés à la demande des élus locaux. Les analyses sont effectuées aux laboratoires d'Analyses des Eaux de Chambéry, Grenoble ou Lyon.

Les contrôles bactériologiques périodiques ont pour but de cerner l'existence éventuelle d'une pollution, les prélèvements sont donc réalisés lors de périodes à risque élevé de contamination: durant les périodes de sécheresse, se développe dans le sol une intense activité bactériologique, les premières pluies qui lessivent le sol entraînent les germes du sol jusqu'à l'exsurgence, ces germes venant à haut risque qui sont prélevés pour l'analyse bactériologique.

Les germes surveillés sont les Escherichia Coli et les Streptocoques Fécaux. Ces germes sont d'origine animale ou humaine, ils sont particulièrement sensibles à la température, les coliformes ne sont pas résistants, ils disparaissent si le trajet souterrain est prolongé tandis que les Streptocoques résistent mieux, leur présence seule peut indiquer une contamination lointaine.

Les observations de la D.D.A.S.S indiquent que 69,4% de la population permanente du département dispose d'une eau d'alimentation de bonne qualité (90% des analyses sont conformes aux normes usuelles). Mais, globalement, la qualité de l'eau distribuée diminue avec la taille des réseaux. Ainsi, dans notre région de communes à population peu importante, les difficultés existent, elles sont renforcées par la fréquentation estivale, principalement à Aiguebelette.

Le tableau n°VI.1 donne les résultats des analyses de notre secteur en détaillant chaque captage. La mauvaise qualité de certaines eaux a conduit à installer des systèmes de chloration de l'eau. Le chiffre du pourcentage d'eau conforme n'a alors plus guère de signification car il est le résultat de la moyenne entre les eaux mauvaises avant le traitement et les eaux traitées dont la qualité a été améliorée.

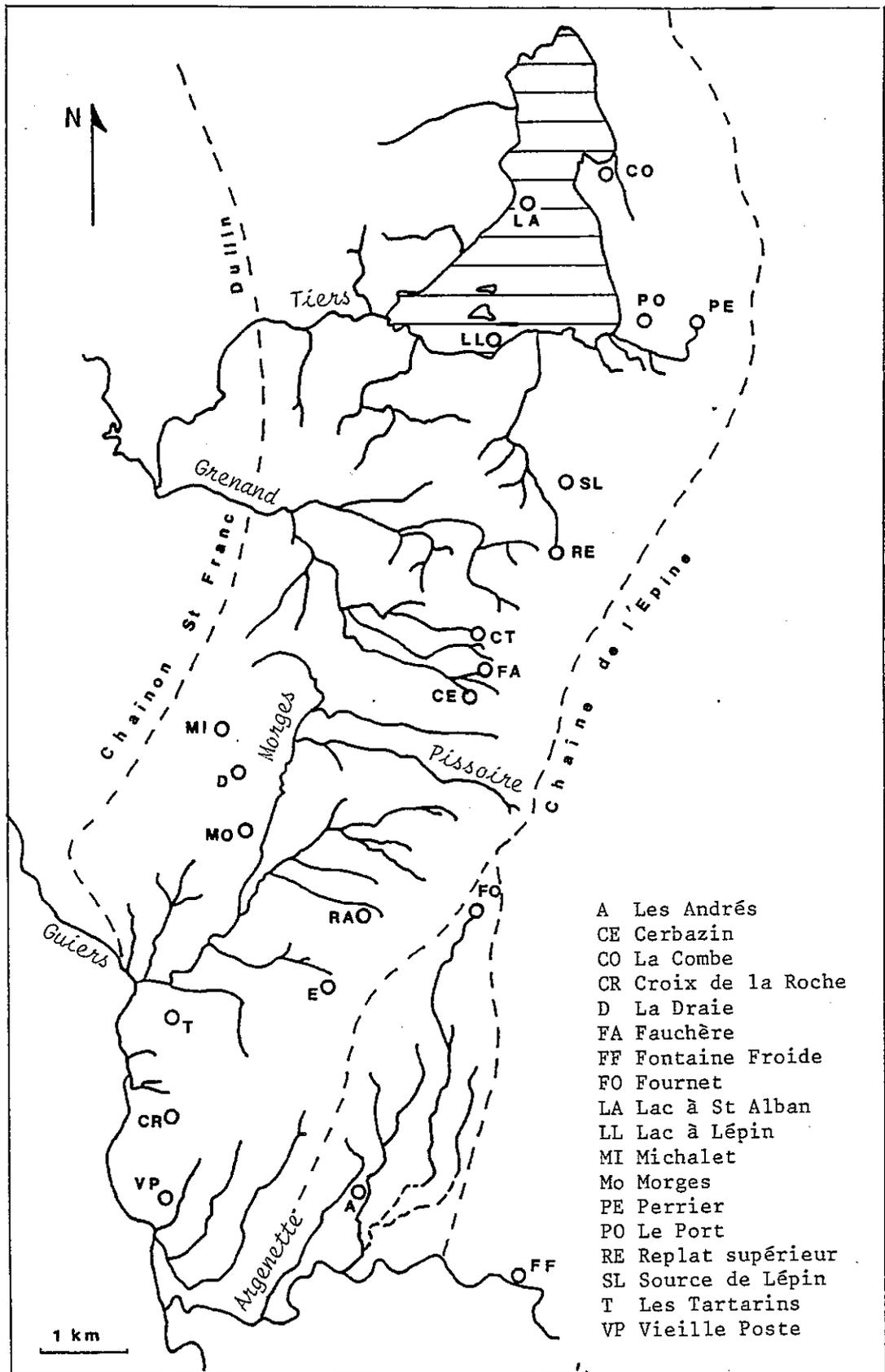


Figure n° VI-1 Situation des sources captées.

Communes	Sources utilisées	Pourcentages d'eaux conformes	Traitement en 1982
Aiguebelette	La Combe	74%	C12
	Perrier	10%	C12
	Le Port	47%	
Attignat-Oncin	Replat sup.	78%	
	Cottardière	61%	
	Fauchère	33%	
La Bauche	Raizière	66%	
Les Echelles	Fontaine Froide	33%	C12
	Vieille Poste	15%	
	Croix de la Roche	26%	
	Les Tartarins	12%	
Lépin le Lac	Source de Lépin	94%	
	Lac	100%	C12
St Alban de Montbel	Lac	94%	C12
St Christophe la Grotte	Les Andrés	75%	C12
St Franc	La Draie + Michalet	22%	
	Morges	100%	
St Pierre de Genebroz	Epernières	50%	
	Carrels	100%	
	Fournet	66%	

Tableau n° VI-1 Situation bactériologique des eaux communales du Sud du Bugey Savoyard, sur la période 1976-1982.

Il est à remarquer que sur la période 1976-1982, 55% des analyses d'eau sont conformes aux normes de potabilité. Avec une situation particulièrement préoccupante aux Echelles où seulement 22% des eaux sont conformes.

Ces chiffres montrent que l'effort consenti à la recherche d'eau doit être poursuivi. Mais les sources situées en altitude, si elles présentent un risque de contamination moindre, offrent des débits faibles et une qualité bactériologique pas toujours idéale: des analyses effectuées sur les sources des Gustin, de Margereau, de Colbert et en Carraz à St-Christophe - la -Grotte ont montré une contamination bactériologique (il est vrai que certains captages sommaires n'offrent pas les garanties nécessaires à proximité des griffons).

L'étude du comportement hydrogéologique des terrains a montré que les perméabilités rencontrées sont fortes, elles ne permettent pas une filtration des eaux. Seuls les dépôts d'alluvions de la vallée du Guiers peuvent former des aquifères intéressants mais la nécessité d'un pompage a fait préférer les eaux gravitaires. D'autre part, sur les alluvions de la vallée du Guiers, le développement de communes sans réseau d'évacuation des eaux usées ainsi que l'existence d'une agriculture font craindre une contamination de l'aquifère par des eaux usées et des nitrates. Il faudrait connaître le rôle des limons argileux

de la vallée du Guiers qui limitent l'infiltration verticale, ainsi que le comportement de la nappe phréatique.

## LISTE DES FIGURES

Figure hors texte n°1: Carte taxonomique de la région étudiée	
Figure hors texte n°2: Situation géographique des principaux lieux cités dans le texte.	
Figure n°1 Situation géographique du Bugey-Savoyard et du domaine étudié .....	11
Figure n°2 Colonne stratigraphique des terrains mésozoïques .....	16
Figure n°3 Colonne stratigraphique des terrains miocènes .....	20
Figure n°4 Carte des terrains quaternaires .....	23
Figure n°5 Etude géophysique de la vallée du Guiers en aval des Echelle .....	24
Figure n°6 Etude géophysique de la plaine de St-Christophe-La-Grotte .....	26
Figure n°7 Coupe géologique du forage n°2 - St-Christophe-La-Grotte .....	27
Figure n°8 Schéma interprétatif de la structure alluviale à la confluence du Guiers Vi et du Guiers Mort, d'après F. BAUDOIN, 1974 .....	28
Figure n°9 Etude géophysique du vallon de la Combe à Aiguebelette .....	30
Figure n°10 Carte des terrasses du lac d'Aiguebelette .....	32
Figure n°11 Structure en deux seuils du versant sud du bassin du lac d'Aiguebelette ....	34
Figure n°12 Rapports structuraux entre le Jura et les massifs subalpins, d'après la carte géologique de Grenoble au 1/50 000, 1978 .....	36
Figure n°13 Arguments sédimentologiques des variations de directions structurales au cours de la dernière phase tectonique, d'après C. LAMIRAUX, 1977 .....	37
Figure n°14 Coupe géologique du Mont du Chat, faille chevauchante frontale. In P. ANTOINE et al., 1978 .....	38
Figure n°15 Bloc diagramme de la structure géologique du vallon de St-Christophe-La-Grotte .....	40
Figure n°16 Carte structurale du Bugey-Savoyard .....	42
Figure n°17 Situation géologique de la source karstique des Andrés et de son trop plain "Le Grand Trous".....	47
Figure n°18 Situation des principales cavités du Bugey-Savoyard .....	48
Figure n°19 Rosaces des orientations des galeries karstiques .....	50
Figure n°20 Carte de la galerie du Trou du Four à Fontaine Froide et rosace des orientations de la galerie .....	51
Figure n°21 Relation entre les différentes directions tectoniques .....	53
Figure n°22	
Figure n°23 Traçage de St-Christophe-La-Grotte, carte de situation et circulation mise en évidence .....	59
Figure n°24 Relation karst-molasse rencontrée par le traçage de St-Christophe-La-Grotte. ....	61
Figure n°25 Modélisation des écoulements du vallon de St-Christophe-La-Grotte.....	62
Figure n°26 Schématisation de la relation karst-molasse:cas d'une molasse imperméable... ..	64
Figure n°27 Schématisation de la relation karst-molasse: cas d'une molasse à drains.....	64
Figure n°28 Schématisation de la relation karst-molasse: cas d'une molasse altérée en surface.....	65
Figure n°29 Carte du réseau hydrographique du Sud du Bugey-Savoyard.....	73
Figure n°30 Carte isohypse des bassins versants de Quinze-Sous et du Grenand.....	75
Figure n°31 Courbes hypsométriques des bassins du Grenand et de Quinze-Sous.. ..	77
Figure n°32 Rectangles équivalents des bassins étudiés.....	78
Figure n°33 Traçage du Souhait. Situation des points de prélèvement et circulations mises en évidence .....	82
Figure n°34 Situation des stations météorologiques et des tubes totalisateurs de la région étudiée.....	88
Figure n°35 Ajustement des précipitations aux lois statistiques.....	92
Figure n°36 Probabilité des précipitations mensuelles de Novalaise .....	94
Figure n°37 Relation des précipitations locales avec l'altitude .....	100
Figure n°38 Températures moyennes mensuelles à Novalaise .....	103

Figure n°39	Situation des stations limnimétriques du bassin du Grenand.....	110
Figure n°40	Courbe de tarage de la station du Grenand supérieur .....	112
Figure n°41	Courbe de tarage de la station du Grenand inférieur .....	112
Figure n°42	Limnigramme annuel de la station du Grenand supérieur.....	114
Figure n°43	Limnigramme annuel de la station du Grenand inférieur.....	115
Figure n°44	Courbe des débits classés des stations du Grenand supérieur et du Grenand inférieur .....	117
Figure n°45	Jaugeage différentiel du ruisseau de Quinze-Sous.....	118
Figure n°46	Analyse du tarissement du Grenand supérieur, crue du 24 mars 1984.....	120
Figure n°47	Analyse du tarissement du Grenand inférieur, crue du 7 mai 1985.....	120
Figure n°48	Analyse du tarissement du Grenand supérieur, crue du 6 juin 1985.....	122
Figure n°49	Analyse du tarissement du Grenand supérieur, crue du 25/8/85.....	122
Figure n°50	Modélisation du bilan hydrogéologique du bassin du ruisseau du Grenand...	134
Figure n°51	Situation des sources étudiées.....	138
Figure n°52	Relation à minéralisation totale conductivité.....	142
Figure n°53	Comportement hydrogéologique de la vallée du Noyau .....	146
Figure n°54	Situation de la source de l'Oratoire .....	150
Figure n°55	Conditions d'émergence de la source de la Vieille Poste .....	152
Figure n°56	Conditions d'émergence de la source du Collomb .....	153
Figure n°57	Etude des paramètres physiques de la source minérale de La Bauche .....	160
Figure n°58	Variations des concentrations chimiques des principaux éléments de l'eau minérale de la Bauche.....	162
Figure n°59	Représentation de la composition chimique de l'eau de La Bauche .....	163

-----

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Pages
n°1 - Principaux réseaux souterrains décrits par les spéléologues .....	49
n°2 - Résultats du traçage de St-Christophe-La-Grotte .....	60
n°3 - Répartition hypsométrique des bassins versants .....	76
n°4 - Superficie et altitude moyenne des bassins étudiés .....	79
n°5 - Indices caractéristiques des bassins versants .....	79
n°6 - Résultats du traçage du Souhait .....	84
n°7 - Pluviométrie régionale .....	91
n°8 - Station de Novalaise. Etude des précipitations, en millimètres, sur la période 1964-1984 .....	95
n°9 - Etude des précipitations saisonnières à Novalaise-les-Gois .....	96
n°10 - Etude des précipitations mensuelles à Novalaise-les-Gois .....	98
n°11 - Précipitations annuelles locales .....	99
n°12 - Gradient "saisonnier" des précipitations .....	101
n°13 - Volume et lame d'eau précipités .....	102
n°14 - Températures au Perrin .....	104
n°15 - Températures du bassin du Grenand .....	105
n°16 - Etude de l'insolation, en heures par mois, à Voglans .....	105
n°17 - Dépouillement des limnigrammes du Grenand amont, année 1984-1985 .....	116
n°18 - Dépouillement des limnigrammes du Grenand aval, année 1984-1985 .....	116
n°19 - Résultats des analyses des courbes de tarissement .....	121
n°20 - Calcul de l'ETP, bassin du Grenand supérieur, calcaire .....	124
n°21 - Calcul de l'ETP, bassin du Grenand supérieur, molassique .....	124
n°22 - Calcul de l'ETP, bassin du Grenand total, calcaire .....	124
n°23 - Calcul de l'ETP, bassin du Grenand total, molassique .....	124
n°24 - Calcul du bilan, bassin du Grenand supérieur, calcaire .....	128
n°25 - Calcul du bilan, bassin du Grenand supérieur, molassique .....	128
n°26 - Calcul du bilan, bassin du Grenand total, calcaire .....	128
n°27 - Calcul du bilan, bassin du Grenand total, molassique .....	128
n°28 - Termes de l'équation du bilan, selon C.W. Thornthwaite .....	130
n°29 - Calcul de l'ETR, selon la méthode de L. Turc .....	131
n°30 - Calcul du bilan hydrogéologique, selon la méthode de L. Turc .....	131
n°31 - Récapitulation des résultats des calculs de bilans .....	131
n°32 - Etude des éléments traces de quelques sources du Bugey-Savoie .....	143
n°33 - Analyse des éléments traces de la source minérale de La Bauche .....	165
n°34 - Composition chimique moyenne de l'eau de la source de La Bauche .....	165
n°35 - Teneurs en tritium des eaux de pluies à Thonon-Les-Bains .....	166
n°36 - Teneurs en oxygène 18 de quelques eaux de sources du Bugey-Savoie .....	167
n°37 - Analyse chimique des boues rouges de la source de La Bauche .....	168

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRE H., AUDINET M., MAZERAN G., RICHER C. (1976).- Hydrométrie pratique des cours d'eau. Editions Eyrolles, Paris.
- ANTOINE P., CHOQUET C. & PAIRIS J.L. (1978).- Sur une particularité structurale du Mont du Chat, révélée par la galerie du Bourget-du-Lac (Savoie). C. R. Ac. Sc. Paris, t. 286, série D, pp. 1241-1244.
- ARMAND C., DELAQUAIZE B. (1977).- Analyse physico-chimique des eaux. Mémento pratique. Laboratoire d'Hydrogéologie. Institut Dolomieu, Grenoble, 22 p.
- BATON A. (1926).- Le lac d'Aiguebelette. 46 pages. Editions Buscoz Les Echelles.
- BAUDOIN F. (1984).- Hydrogéologie de l'avant-pays de Chartreuse (Isère). Hydrodynamique karstique et alluviale. Thèse 3e cycle, Grenoble 1984, 264 pages.
- BERGERET P. (1982).- Etude hydrogéologique sur les sources du vallon des Favières. Commune d'Attignat-Oncin. Inédit.
- BERGERET P. (1981).- Infiltrations et circulations des eaux en milieu calcaire. Hydrogéologie du secteur nord occidental du massif de la Chartreuse (Savoie-France). Thèse spécialité, Grenoble 1981, 194 pages.
- BLAKE G., LASCOMBE C. (1978).- Le lac d'Aiguebelette - Etat de la qualité des eaux et évolution. Ann. du Centre d'enseignement supérieur de Chambéry, 1978 p. 95-120.
- BOIS Ph. (1980).- Hydrologie générale. Institut Polytechnique de Grenoble. 175 pages.
- X BOURDIER F. (1961).- Le bassin du Rhône au Quaternaire. Géologie et Préhistoire. 2 vol. Edition C.N.R.S., Paris.
- BOZONAT J.P. (1980).- Infiltration et circulation des eaux dans les calcaires fissurées. Hydrogéologie et bilan hydrique du secteur septentrional du massif de la Chartreuse. Thèse 3ème cycle, Grenoble, 353 pages.
- CABINET JAMIER-VIAL (1980).- Prospection par sondages électriques de la vallée du Guiers entre St Christophe La Grotte - St Christophe sur Guiers (Savoie) Commune les Echelles. D.D.A de la Savoie.
- CALLOUD Ch. (1863).- Analyse de l'eau ferrugineuse de La Bauche. Imp. Pouchet, Chambéry 64 pages.
- CALNELS P. (1985).- Application de l'analyse système à l'exploitation des données hydrométriques et isotopiques en hydrologie. Thèse Univ., Grenoble 1985, 255 p.
- CARRET J.P., FOURNEAUX J.C. (1979).- Analyse des facteurs influents sur l'infiltration dans les cônes de déjection  
104e Congrès des Sociétés Savantes, Bordeaux, 1979, Sciences fasc.III p. 135 - 145.
- CASTANY G. (1967).- Traité pratique des eaux souterraines. Edition Dunod, Paris, 662 p.
- CHARVET A. (1984).- Les pays du Guiers. 160 p., Montmélian. Collection Trésor de La Savoie.
- CHOQUET C. (1978). Tunnel du Bourget. Aspects géologiques, géotechniques et hydrologiques (Note après percement). Inédit 21 p.
- CHOUTEAU A.F., FOURNEAUX J.C. (1969).- Contribution à l'étude du problème du fer dans les eaux de la nappe de la plaine du Grésivaudan. Journées H.SCHOELLER, Bordeaux 1969, Mémoires du B.R.G.M., n°76, p.533 - 539.
- CHRISTIN R. (1967).- Le climat du synclinal de Novalaise. T.E.R. I.G.A., Grenoble.
- COMMISSION METEOROLOGIQUE DEPARTEMENTALE DE L'ISERE.- Observations météorologiques dans le Département de l'Isère. 1980 à 1985.

- COMMISSION METEOROLOGIQUE DEPARTEMENTALE DE SAVOIE. Bulletin climatologique mensuel, 1982-1983;-1984-1985.
- C.G.P.F. (1975).- Prospection électrique complémentaire de la zone de Le Bellet - St Pierre de Genebroz. Inédit.
- COMPAGNIE DE PROSPECTION GEOPHYSIQUE FRANCAISE (1977).- Etude géologique de La Combe - Aiguebelette. Rapport n° 1603, inédit 8 pages.
- COMPAGNIE DE PROSPECTION GEOPHYSIQUE FRANCAISE (1974).- Prospection électrique des alluvions du Guiers - Saint-Pierre-de-Genebroz.
- CONRAD G., GEZE B. et PALOC H. (1967).- Observations sur les phénomènes karstiques du Sahara. Rev. Géog. Phys. et Géol. Dyn. (2), vol.IX, fasc.5, pp.357-370, Paris 1967.
- CRIAUD A. (1983).- Phénomènes d'oxydoréduction et métaux en traces dans les eaux minérales carbogazeuses du Massif Central. Thèse de spécialité, Paris VII, 1983, 181 pages.
- CRIAUD A., FOUILLAC C. (1985).- Etude des eaux thermominérales carbogazeuses du Massif Central français. I/ Potentiel d'oxydo-réduction et comportement du fer. Géochimica. Cosmochimica Acta, à paraître.
- CRUCHET M. (1983).- Relations entre l'hydrogéologie, le thermalisme et les circulations d'eaux uranifères dans les roches fissurées. Les massifs cristallins de Basse Maurienne (Savoie). Thèse Doctorat de Spécialité. Grenoble 235 p.
- CUELLO F., GRIOT P., MARCHAND D., NICOUUD G., BLAKE G. (1980).- Etude du lac d'Aiguebelette. Université de Savoie, 87 p.
- DEBELMAS J. (1963).- Plissement paroxysmal et surrection des Alpes franco-italiennes. T.L.G. T. 39, p. 125-172.
- DEHAYS H. (1980).- Paléomorphologie et circulation des eaux souterraines. Etude hydrogéologique des ressources en eau de la haute-vallée de La Fure et ses relations avec les bassins de Paladru et de l'Ainan (Bas-Dauphiné oriental). Thèse de Dr. de Spécialité Grenoble-Dolomieu.
- DELAQUAIZE B. (1979).- Etude géologique, hydrogéologique et limnologique dans une région de moyenne montagne: le bassin versant des lacs de Laffrey et Petichet (Isère). Thèse de spécialité, Grenoble, 1979, 279 pages.
- DONZE P. (1958).- Les couches du passage du Jurassique au Crétacé dans le Jura français et sur les pourtours de la "fosse vocontienne". Trav. Lab. Géol. Fac. Sc. Lyon, Nouv. série, n°3 (Thèse).
- DOUDOUX B. (1966).- Rapport sur les conditions géologiques d'une source destinée à l'alimentation en eau potable de la commune de St-Christophe La Grotte, Savoie Inédit.
- DUPARC L. et DELEBECQUE A. (1892).- Analyse des eaux et des vases des lacs de Paladru, d'Aiguebelette, de Nantua et de Sytan. Archives Sc. Phys. et Nat., 3e période, t.27, p. 569-574.
- FOURNEAUX J.C. (19??).- Rapport géologique sur un projet d'alimentation en eau potable. Les Echelles, Savoie. Inédit
- FOURNEAUX J.C., SARROT-REYNAULD J. (1977).- Déficit d'écoulement et évapotranspiration dans les Alpes du Nord. 102e Congrès des Sociétés Savantes. Limoges.
- GAY-LANCERMIN L. (1982).- Novalaise et son histoire. 182 p. Novalaise 1982.
- GIDON M. (1964).- Nouvelle contribution à l'étude du massif de la Grande Chartreuse et ses relations avec les régions avoisinantes. T.L.G., t.40, p.187-205.
- GIGOUT M., PIERRE G., RAMPNOUX J.P. (1975).- Sur la géologie des confins de la Savoie et du Bas-Bugey. Annales du C.U.S., t.II, p.131-146.

- GRAVEROT R. (1959).- Etude géologique d'un chaînon jurassien de la Chartreuse: l'anticlinal des Chailles, de la Bridoire à Miribel-Les-Echelles. D.E.S. Grenoble.
- GUERIN R. (1973).- Un exemple du rôle de la tectonique et de la microtectonique dans la géométrie des écoulements karstiques fossiles et actuels: le Bas Vivarais calcaire. Thèse 3e cycle, Montpellier, 105 p.
- GUIGON F. (1976).- Géologie et travaux souterrains. Etude d'avant projet du tunnel du Bourget. Bilan des observations sur cinquante tunnels ferroviaires dans la région Rhône-Alpes. Thèse 3e cycle. Grenoble.
- HUBERT P., MARCE A., OLIVE Ph., SIWERTZ E. (1970).- Etude par le tritium de la dynamique des eaux souterraines. Hydrogéologie isotopique. C.R.A.Sc., Paris t. 270, 16/2/1970.
- INTRAFOR-COFOR (1975).- Commune de St-Pierre-de-Genèbroz (73). Etude hydrogéologique des alluvions du Guiers. Inédit 3 p.
- JARGOT M., LOUP J. (1983).- Un cas particulier de pollution lacustre du lac d'Aiguebelette (Savoie). R.G.A., Tome LXXI, 4, p.399-405.
- JEANNOLIN F. (1985).- Sédimentologie et hydrogéologie du Néogène de l'Est valentinois et du bassin de Crest (Drôme-France). Thèse de Doctorat de l'U.S.M. Grenoble, 253 p.
- KILIAN W. (1898).- Sur la découverte des restes d'un Lophiodon dans les sables siliceux des Echelles. Ann. Univ. de Grenoble, t.X, n°2.
- LANIRAUX Ch. (1977).- Géologie du Miocène des chaînons jurassiens méridionaux et du Bas-Dauphiné Nord Occidental entre Chambéry et La Tour du Pin. Thèse 3e cycle Grenoble.
- LAMY (1870).- Découverte archéologique. La Bauche. Le courrier des Alpes, 23 juin 1870.
- LAMY P. (1984).- Karst et bassin versant géologique. Traçage du Souhait. Chaîne de l'Epine. (Savoie). Inédit A.G.S.E., 1984, 7p.
- LAMY P. (1985).- Etude hydrogéologique de la source des Andrés. St Christophe La Grotte. Savoie. Inédit 5 pages.
- LATREILLE G. (1971).- Direction et provenance des apports dans le Miocène du Bas-Dauphiné. Comparaison avec la Savoie et la Suisse. Doc. Lab. Géol. Univ. Lyon H.S., p. 191-199.
- LATREILLE G., DEMARCO G. (1971).- Formes et figures de sédimentation dans la "molasse" miocène de la vallée du Rhône. Doc. Lab. Géol. Univ. Lyon, H.S., p. 171-190.
- LEPILLER M. (1980).- Contribution de l'hydrochimie à la connaissance du comportement hydrogéologique des massifs calcaires. Etude de quelques systèmes karstiques du massif de Semnoz de la région d'Annecy (Savoie, Haute-Savoie). Thèse 3ème cycle. Grenoble, 478 p.
- LEPILLER M., NICOU D. G. (1984).- Le contexte hydrogéologique des aquifères karstiques savoyards du Jura méridional et des massifs subalpins des Bornes et des Bâuges. Inédit A.G.S.E., 1984, 21 pages.
- MALLESARD G. (1983).- Sur la présence de fer et de manganèse dans l'aquifère alluvial de la plaine d'Avignon (Vaucluse). Thèse 3e cycle-Avignon, 122 pages.
- MARSILY de G. (1981).- Hydrogéologie quantitative. Masson éd., Paris, 215 pages.
- MICHEL R. (1961).- Aperçu d'ensemble sur la structure géologique du département de l'Isère dans ses rapports avec l'hydrogéologie souterraine. R.G.A., t.XLIV, p.129-142.
- NICOU D. G. (1976).- Rapport sur les conditions hydrogéologiques d'implantation d'un puits destiné à l'alimentation en eau potable de la commune d'Aiguebelette le Lac (Savoie). Inédit, 10 pages.

- NICOUD G. (1976).- Rapport sur les conditions hydrogéologiques d'implantation d'un puits destiné à l'alimentation en eau potable de la commune de Lépin-Le-Lac (Savoie). Inédit 7 pages.
- NICOUD G. (1977) - D.D.A (Savoie).- Rapport sur les conditions hydrogéologiques des sources destinées à l'alimentation en eau potable d'Attignat-Oncin-Savoie. Inédit.
- NICOUD G. (1978).- Hydrogéologie de la vallée de Couz (Savoie). Ann. du Centre Univ. de Savoie. Tome III, 1975, Sc. nat., page 1 à 35.
- PARIS M. (1933) in F. MONTANDON.- Chronologie des éboulements alpins. Le Globe. Société de Géographie de Genève n°4.
- RAMPNOUX J.P. (1974).- Rapport géologique sur les problèmes d'alimentation en eau potable de la commune de St-Pierre-de-Genèbroz (Savoie). Inédit 11 pages.
- RECOULES A. (1984).- Evolution des teneurs en fer et en manganèse dans la nappe alluviale de la Saône aux environs de Gray (Hte Saône). Thèse 3e cycle, Besançon 1984, 153 pages.
- ROUSSELOT D., GUDEFIN H., PUTALLAZ J. (1978).- Etude hydrogéologique de la molasse du Bas-Dauphiné entre le Rhône et l'Isère. Rapport préliminaire, B.R.G.M., 78 S.G.N., 225 J AL.
- RUSSO Ph. (1943).- Observations sur les terrasses du lac d'Aiguebelette. Essai d'interprétation de leur évolution. Les études rhodaniennes t.18, p.243-248.
- SAPEY-TRIOMPHE Y. (1984).- Géomorphologie et hydrogéologie de la région d'Aoste (Isère). Thèse de spécialité, Grenoble, 308 pages.
- SPELEO-CLUB de SAVOIE (1976).- Massif de l'Epine. Grotte de Savoie, n°6, 1976, Chambéry, 40 pages.
- STEINFATT E. (1975).- Géologie de la feuille de Voiron au 1/50.000e. Etudes sur le Miocène et le Quaternaire de l'avant-pays alpin. Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- TALOUR B. (1976).- Hydrogéologie karstique du massif du Grand Som (Chartreuse, Isère). Thèse 3ème cycle, Grenoble, 166 pages.
- VUATAZ F.D., SCHNEIDER J.F., JAFFE F.L., MAZOR E. (1983).- Hydrogeochemistry and extrapolation of end members in a mixed thermal water system, Vals, Switzerland. Eclogae Geologicae Helvetiae, Vol.76, n°2, 1983, p.431-450.
- CARTE GEOLOGIQUE DETAILLEE DE LA FRANCE 1/50.000e:  
 Feuille de Chambéry: 1969  
 Feuille de Grenoble: 1978  
 Feuille de Montmélian: 1969  
 Feuille de Seyssel: 1972  
 Feuille de la Tour-du-Pin: 1976  
 Feuille de Voiron: 1970

-----

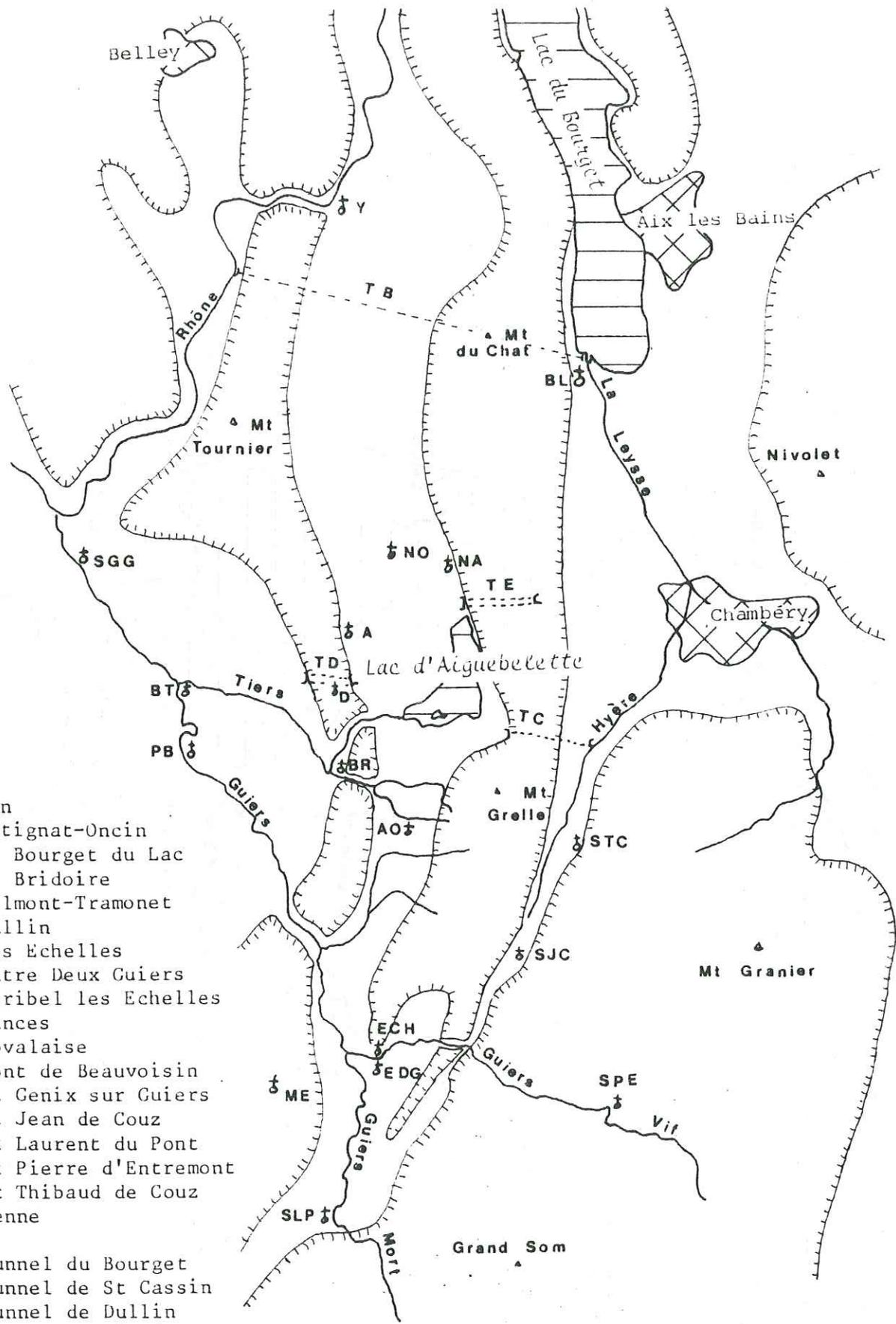
TABLE DES MATIERES

Avant propos .....	4
INTRODUCTION .....	9
I - Origine de l'étude .....	10
II - Cadre géographique .....	10
III - Cadre géologique .....	12
CHAPITRE I: Géologie du Sud du Bugey-Savoyard .....	15
I - La série stratigraphique .....	17
I.1 - Les formations carbonatées mésozoïque.....	19
I.2 - Les formations détritiques tertiaires.....	19
I.2.1 - Les dépôts anté-miocènes: le sidérolithique .....	19
I.2.2 - Les formations miocènes .....	19
I.3 - Les terrains quaternaires .....	22
I.3.1 - Les formations de pentes .....	22
I.3.1.1 - Les éboulis .....	22
I.3.1.2 - L'éroulement .....	22
I.3.2 - Les formations torrentielles .....	25
I.3.3 - Les formations alluviales .....	25
I.3.3.1 - Le bassin du Guiers .....	25
a) Géophysique du Nord des Echelles .....	25
b) Géophysique dans la plaine de St-Christophe-La-Grotte ....	25
c) Les forages de la vallée du Guiers .....	29
d) Interpétation .....	29
I.3.3.2 - Le bassin du lac d'Aiguebelette .....	29
a) Etude du vallon de la Combe à Aiguebelette .....	29
b) Les terrasses du lac d'Aiguebelette .....	31
I.3.4 - Les formations glaciaires .....	33
I.3.4.1 - Les différentes formations rencontrées .....	33
I.3.4.2 - Structuration du Sud du lac d'Aiguebelette .....	34
2 - Histoire tectonique du Bugey-Savoyard .....	34
2.1 - Les grandes phases .....	34
2.2 - La faille chevauchante frontale .....	39
2.3 - Synthèse des structures rencontrées .....	41
Conclusion .....	41
CHAPITRE II - Comportement hydrogéologique des terrains rencontrés...	45
I - Karstification des calcaires mésozoïques .....	46
I.1 - Les périodes d'émersion .....	46
I.2 - Le modelé karstique .....	46
I.3 - Karstification quantitative .....	49
I.4 - Les époques de karstification .....	51
I.5 - Les dépôts liés à la karstification .....	54
Conclusion .....	54
2 - Comportement hydrogéologique des terrains miocènes .....	55
2.1 - Les terrains peu ou pas perméables .....	55
2.2 - Particularité hydrogéologique de la molasse .....	56
a) Les faits de terrains .....	56
b) Genèse des structures .....	57
3 - Les relations entre karst et aquifères molassiques .....	58
3.1 - Etude par traçage de la relation .....	58

3.1.1 - Mise en oeuvre .....	58
3.1.2 - Résultats .....	58
3.1.3 - Modélisation des relations hydrauliques .....	63
3.2 - Généralisation des relations hydrauliques observées .....	63
4 - Comportement hydrogéologique des terrains quaternaires .....	66
4.1 - Les formations de pentes .....	66
4.2 - Les formations torentielles .....	66
4.3 - Les formations alluviales .....	66
4.4 - Les formations glaciaires .....	67
Conclusion .....	67
<b>CHAPITRE III - Les bassins versants étudiés .....</b>	<b>71</b>
I - Le réseau hydrographique .....	72
I.1 - Le réseau antéglaciaire .....	72
I.2 - Mise en place du réseau actuel .....	72
I.3 - Structures des bassins hydrographiques .....	74
2 - Le bassin du Grenand .....	76
3 - Le bassin du lac d'Aiguebelette .....	80
4 - Les bassins du Sud du Bugey-Savoyard .....	80
4.1 - Le bassin de Morges .....	80
4.2 - Les autres bassins .....	80
5 - Etude par traçage de la limite orientale des bassins versants....	81
5.1 - Mise en oeuvre du traçage .....	81
5.2 - Résultats .....	81
5.3 - Interprétation hydrogéologique .....	81
5.4 - Conséquences sur la qualité des eaux.....	83
5.5 - Conclusion .....	85
<b>CHAPITRE IV - Etude climatologique .....</b>	<b>87</b>
Introduction .....	89
I - Le réseau hydrométéorologique .....	89
I.1 - La pluviométrie .....	89
I.2 - La thermométrie .....	90
2 - La pluviométrie .....	91
2.1 - A l'échelle régionale .....	91
2.2 - Les précipitations à Novalaise les Gois .....	93
2.2.1 - Etude de la période 1964-1984 .....	93
2.2.2 - Etude de la période janvier 1984 - août 1985 .....	97
2.3 - Les précipitations locales .....	99
2.3.1 - Relations des précipitations avec l'altitude .....	101
2.3.2 - Calcul de la lame d'eau précipitée .....	101
3 - Les températures .....	102
3.1 - Les données de la station de Novalaise .....	102
3.2 - Les données de la station du Perrin .....	104
3.3 - La température du bassin du Grenand .....	104
4 - Insolation .....	105
Conclusion .....	106
<b>Chapitre V - Hydrologie, hydrodynamique et approche du bilan</b>	
<b>hydrogéologique .....</b>	<b>109</b>
1 - Origine des données .....	110
2 - Les débits mensuels, les débits annuels .....	113
3 - Etude de la relation nappe/cours d'eau le long du ruisseau de Quinze-Sous .....	117
4 - Hydrodynamique .....	119
4.1 - Les méthodes d'analyse des débits .....	119
4.2 - Les crues du bassin du Grenand amont .....	119
5 - L'évapotranspiration .....	123
5.1 - Méthode de calcul .....	125
5.2 - Les résultats .....	125
6 - La sublimation .....	126
7 - Le bilan .....	126
7.1 - L'expression du bilan .....	126

7.2 - Incertitudes liées aux calculs .....	127
7.3 - Le bilan hydrique selon C.W. Thornthwaite .....	127
7.4 - Calcul de l'évapotranspiration réelle selon L. Turc et le bilan..	130
7.5 - Interprétation du bilan .....	131
Conclusion .....	135
<b>Chapitre VI - Les exurgences-caractérisation physique et chimique.....</b>	<b>137</b>
1 - Méthode d'étude .....	139
2 - Caractères généraux des émergences .....	140
2.1 - Les débits .....	140
2.2 - La température .....	140
2.3 - Minéralisation totale .....	140
2.4 - Relation minéralisation totale conductivité .....	141
2.5 - Les éléments traces .....	143
3 - Les différents types d'émergences .....	144
3.1 - Les sources des calcaires karstiques .....	144
3.1.1 - Grands traits des sources karstiques .....	144
3.1.2 - Un exemple de source karstique: la source du Noyau à Aiguebelette .....	147
3.2 - Les sources de la molasse .....	148
3.2.1 - Caractères communes des sources de la molasse .....	148
3.2.2 - Exemple de source issue de la molasse: la source de l'Oratoire à Attignat-Oncin .....	149
3.3 - Les sources des formations quaternaires .....	151
3.3.1 - Une source émergeant au sein des formations glaciaires: la source de la Vieille Poste aux Echelles .....	152
3.3.2 - Les exurgences situées à la base des formations quaternaires..	153
Conclusion .....	155
<b>Chapitre VII - La source minérale de la Bauche .....</b>	<b>157</b>
1 - Situation .....	158
2 - Historique .....	158
3 - Etude des paramètres physiques .....	159
3.1 - Le débit .....	159
3.2 - La température .....	159
3.3 - La résistivité .....	159
3.4 - Le pH .....	161
4 - Chimie de l'eau.....	161
4.1 - Remarques .....	161
4.2 - Eléments majeurs .....	161
4.3 - Eléments traces .....	164
4.4 - Composition chimique moyenne .....	165
5 - Les venues gazeuses .....	165
6 - Etude isotopique .....	165
6.1 - Le tritium .....	166
6.2 - L'oxygène 18 .....	167
7 - Les bues rouges .....	167
8 - Eléments régionaux d'interprétation.....	168
Conclusion .....	169
Conclusion générale .....	171
1 - Les formations carbonatées du Mésozoïque .....	172
2 - Comportement des terrains détritiques du Cénozoïque.....	173
3 - Rôle hydrogéologique des terrains quaternaires .....	174
4 - Les relations entre les aquifères .....	175
5 - Remarques d'ensemble à partir d'observation sur le bassin du Grenand .....	176
<b>ANNEXES</b>	
Annexe 1 - Climatologie .....	180
Annexe 2 - Climatologie .....	181

Annexe 3 - Les émergences compléments .....	182
Annexe 4 - Les émergences résultats chiffrés .....	198
Annexe 5 - Les programmes informatiques utilisés .....	210
Annexe 6 - Remarques sur la bactériologie .....	214
Liste des figures .....	219
Liste des tableaux .....	221
Bibliographie	
Table des matières .....	229

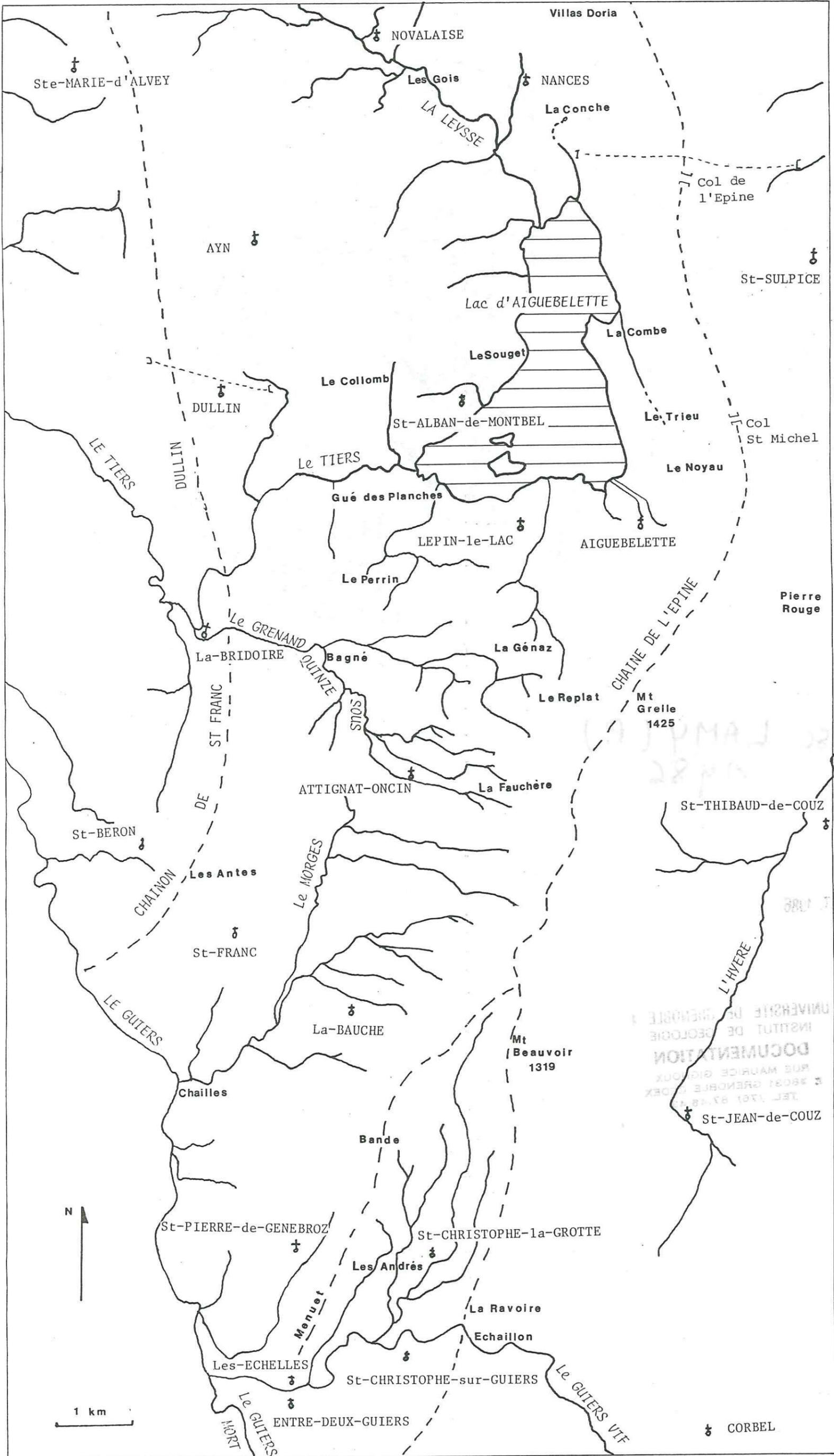


- |     |                       |
|-----|-----------------------|
| A   | Ayn                   |
| AO  | Attignat-Oncin        |
| BL  | Le Bourget du Lac     |
| BR  | La Bridoire           |
| BT  | Belmont-Tramonet      |
| D   | Dullin                |
| ECH | Les Echelles          |
| EDG | Entre Deux Guiers     |
| ME  | Miribel les Echelles  |
| NA  | Nances                |
| NO  | Novalaise             |
| PB  | Pont de Beauvoisin    |
| SGG | St Genix sur Guiers   |
| SJC | St Jean de Couz       |
| SLP | St Laurent du Pont    |
| SPE | St Pierre d'Entremont |
| STC | St Thibaud de Couz    |
| Y   | Yenne                 |
|     |                       |
| TB  | Tunnel du Bourget     |
| TC  | Tunnel de St Cassin   |
| TD  | Tunnel de Dullin      |
| TE  | Tunnel de l'Epine     |

5 km

Figure hors texte n°2 Situation géographique des principaux lieux cités dans le texte.

Figure hors texte n°1 Carte taxonomique de la région étudiée.



LA PMAJ 22 21T  
28 PA  
UNIVERSITÉ DE GRENOBLE  
INSTITUT DE GÉOLOGIE  
DOCUMENTATION  
RUE MAURICE GIGNOUX  
38031 GRENOBLE CEDEX  
TEL 1361 87 48 41

✚ CORBEL

THESE de DOCTORAT de l'U.S.M.G.  
spécialité Géologie Appliquée

*Titre de l'ouvrage :*

**COMPORTEMENT HYDROGÉOLOGIQUE  
DES TERRAINS KARSTIQUES ET MOLASSIQUES  
DU SUD DU BUGEY SAVOYARD**

*Auteur :* Pierre LAMY

*Établissement :* Université Scientifique et Médicale de Grenoble

15 OCT. 1988

**UNIVERSITE DE GRENOBLE 1  
INSTITUT DE GEOLOGIE  
DOCUMENTATION  
RUE MAURICE GIGNOUX  
E 38031 GRENOBLE CEDEX  
TEL (76) 87.46.43**

**RÉSUMÉ**

Situé à l'extrémité sud du massif jurassien, au contact de la Chartreuse et du Bas Dauphiné, le Bugey Savoyard est constitué de formations carbonatées mésozoïques et de terrains détritiques du Tertiaire et du Quaternaire.

La tectonique compressive de cette région a conduit les karsts urgoniens et antéhauteriviens à chevaucher le synclinal médian. Deux périodes de karstifications ont été distinguées, l'une antémiocène a été occultée par la tectonique miocène qui a refermé les galeries. La seconde, s'est développée le long des fractures méridiennes ouvertes lors de la surrection alpine.

Le comportement hydrogéologique de la molasse est essentiellement celui d'un aquiclude de grès compacts. Mais, localement la dissolution du ciment carbonaté a permis le développement de nappes aquifères et même par entraînement des particules siliceuses vus l'exutoire une morphologie rappelant le karst peut-être obtenue, des horizons argileux formant le niveau de base, le développement de ce faciès reste limité à la tranche superficielle des terrains.

Le Quaternaire est représenté par des faciès très diversifiés dont le rôle hydraulique est de masquer les exutoires du karst. Les formations glaciaires sont à dominante aquiclude tandis que dans les formations alluviales des nappes aquifères alimentées par les cours d'eau sont bien développées.

Les traçages ont montré que les relations hydrauliques entre karst et molasse sont très limitées du fait du caractère aquifère réduit de la molasse.

Le calcul du bilan hydrogéologique a montré que cette région très arrosée (1400 mm/an, en moyenne) présente une lame d'eau écoulee fortement perturbée à l'exutoire des bassins naturels du fait de transits latéraux.

La source ferrugineuse de la Bauche présente une minéralisation due à des circulations internes à la molasse. La durée du transit montrée par les isotopes est de quelques années, le fer étant mis en solution dans des milieux réducteurs qui se développent à proximité de lits ligniteux.

**MOTS-CLÉS**

Hydrogéologie karstique et molassique ; Géomorphologie de la molasse ; Hydrochimie ; Traçage ; Bilan ; Source ferrugineuse ; Bugey ; Savoie.