



HAL
open science

Les eaux minérales et thermominérales dans le département des Hautes-Alpes- Alpes françaises.

Pierre Andre Poulain

► **To cite this version:**

Pierre Andre Poulain. Les eaux minérales et thermominérales dans le département des Hautes-Alpes-Alpes françaises.. Hydrologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1977. Français. NNT : . tel-00605719

HAL Id: tel-00605719

<https://theses.hal.science/tel-00605719>

Submitted on 4 Jul 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.

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE DE GRENOBLE

pour obtenir

LE GRADE DE DOCTEUR D'UNIVERSITÉ

Spécialité : hydrogéologie

par

Pierre-André POULAIN

LES EAUX MINÉRALES ET THERMOMINÉRALES DANS LE DÉPARTEMENT DES HAUTES-ALPES

Soutenue le Septembre 1977, devant la Commission d'Examen :

<i>MM. R. MICHEL</i>	<i>Professeur, U.S.M.G.</i>	<i>Président</i>
<i>J. SARROT-REYNAULD</i>	<i>Professeur, U.S.M.G.</i>	<i>Rapporteur</i>
<i>G. CASTANY</i>	<i>Professeur, Paris VI</i>	<i>Examineur</i>
<i>B. LEMAIRE</i>	<i>Ingénieur</i>	<i>Examineur</i>

REMERCIEMENTS

Au terme de cette étude, qu'il me soit permis d'exprimer mes sincères remerciements aux membres du jury qui ont accepté de siéger à cette soutenance.

C'est grâce à Monsieur le Professeur R. MICHEL et à Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAULD que la réalisation de ce travail a été possible.

Je les prie de trouver ici un témoignage de ma reconnaissance et de mes respectueux sentiments.

Je me dois d'exprimer ma gratitude au Bureau de recherches géologiques et minières et en particulier à Monsieur G. CASTANY et Monsieur B. LEMAIRE qui ont su m'aider dans les périodes difficiles, au cours de l'élaboration de ce travail.

L'aide précieuse et les conseils que m'a apporté le Laboratoire des isotopes en la personne de Ad. MARCE et B. BOSCH ont largement contribué à rendre attrayant le problème des eaux thermominérales des Hautes-Alpes.

Je remercie particulièrement le département Banque des données du Sous-Sol : Melle LHEUREUX, Monsieur DESOIGNIES, Monsieur BERAULT, de l'aide morale et matérielle qui m'a particulièrement touché.

Enfin mes remerciements s'adressent également à Mme LAMBIN documentation, à Monsieur LOPOUKHINE du service Géothermie, enfin à Mme BRISSARD Central dactylographique et à Monsieur AUDOYER pour la mise en page.

Pour terminer je n'aurai garde d'oublier que ce mémoire a pu être mené à bien grâce aux encouragements continus de toute ma famille à laquelle je dédie affectueusement ces pages.

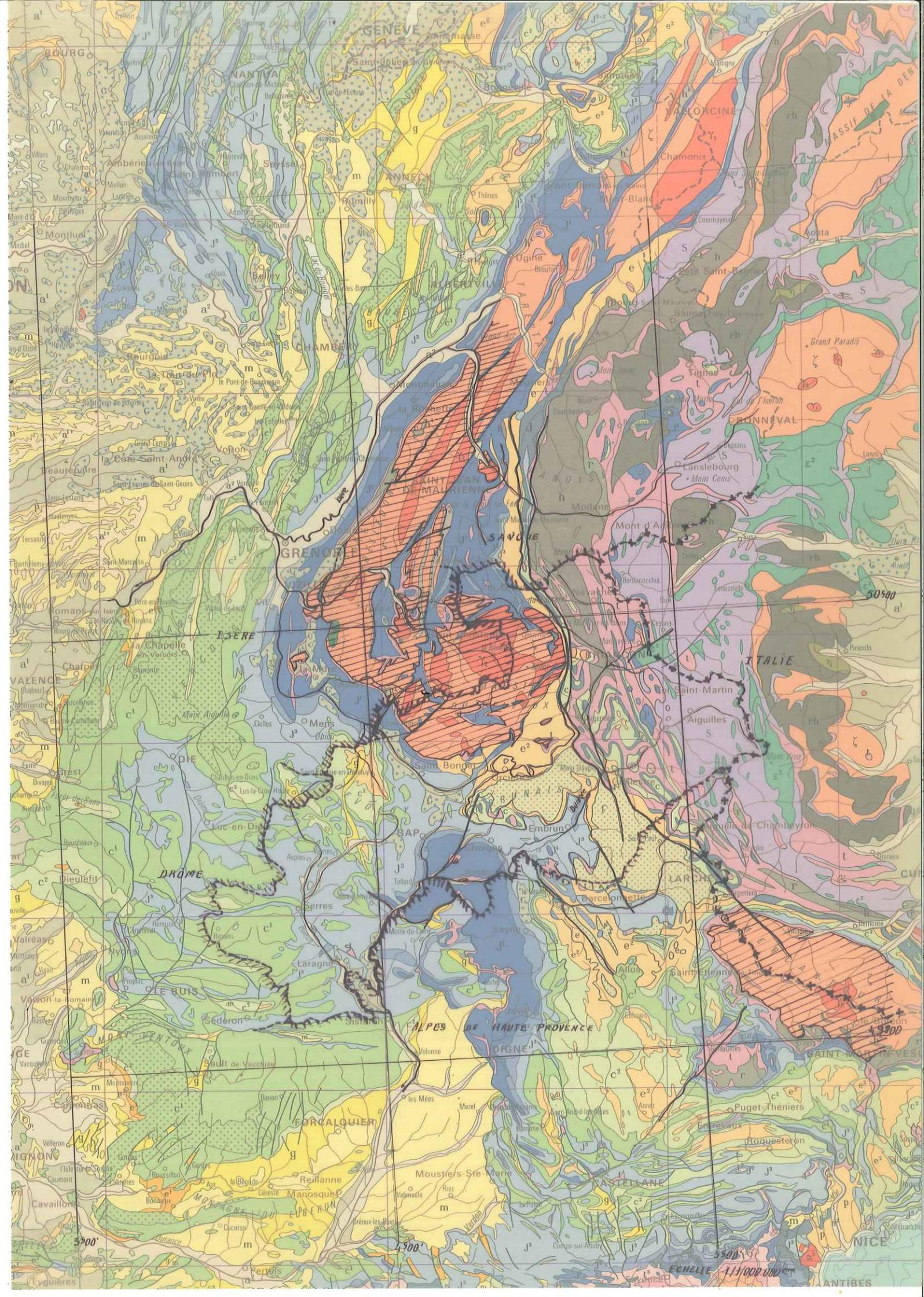
SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
1 - INTRODUCTION	1
1.1 - BUT DU MEMOIRE	4
1ère PARTIE : Données de terrain	7
1.1 - GEOGRAPHIE - CLIMATOLOGIE	8
1.2 - GEOLOGIE	10
1.3 - TECTONIQUE	13
1.4 - SEISMES	16
1.5 - VOLCANISME	20
1.6 - ISOSTASIE	22
1.7 - TEMPERATURE ET MINERALISATION DES EAUX	25
1.7.1 - Origine de la t° des eaux thermales	25
2ème PARTIE : Rappel de quelques données	27
2.1 - DONNEES PHYSIQUES	28
2.2 - DONNEES CHIMIQUES	28
2.2.1 - Méthodes	28
2.3 - DONNEES ISOTOPIQUES	29
2.4 - ANALYSES ANCIENNES	31
2.5 - SOURCES ETUDIEES	33
2.6 - PRELEVEMENTS	35
3ème PARTIE : Etudes des sources	37
3.1 - BRIANÇONNAIS	38
3.1.1 - Région de Monétier	41
3.1.1.1 - La Liche-des-Chamois	44
3.1.1.2 - La Rotonde - Font Chaude	52
3.1.2 - Plan de Phazy	63
3.1.2.1 - Les Suisses	70
3.1.2.2 - La Rotonde	73
3.1.2.3 - La Salce	74
3.1.2.4 - Etude des sources du Plan de Phazy	76
3.1.2.5 - Possibilité d'avenir	79
3.2 - LE DÔME DE REMOLLON	81
3.2.1 - Géologie générale	81
3.2.2 - Géologie locale	85
3.2.3 - Etude de la source de Font Salée	86
3.2.4 - Hypothèse origine des eaux thermales	99
3.3 - SOURCES LIEES AUX "TERRES-NOIRES"	101
3.3.1 - Font Vineuse	103
3.3.2 - La Bergère et l'Aigle	111
3.4 - SOURCES LIEES AU TRIAS	113
3.4.1 - Font-Chaude	116
3.4.2 - Aurouze	120
4ème PARTIE : Etude des résultats d'analyses	125
4.1 - ETUDES CHIMIQUES	127
4.2 - ETUDES ISOTOPIQUES	136
4.2.1 - Isotopes ³ H	136
4.2.2 - Isotope ² H	139
4.2.3 - Isotope ¹⁸ O	141
4.2.4 - Isotope ³⁴ S	143

Plan de situation de la région étudiée



Echelle



GENEVE

ANNECY

CHAMBERY

GRENOBLE

VALENCE

GAP

EMBRUN

ALPES DE HAUTE PROVENCE

FORCALQUIER

Moustiers-Sainte-Marie

CASTELLANE

NICE

ECHELLE 1/1 000 000

ANTIBES

5500'

4500'

5500'

5050'

4530'

SAVOIE

SAINTE-BLANCHE

ISERE

DROME

ALPES

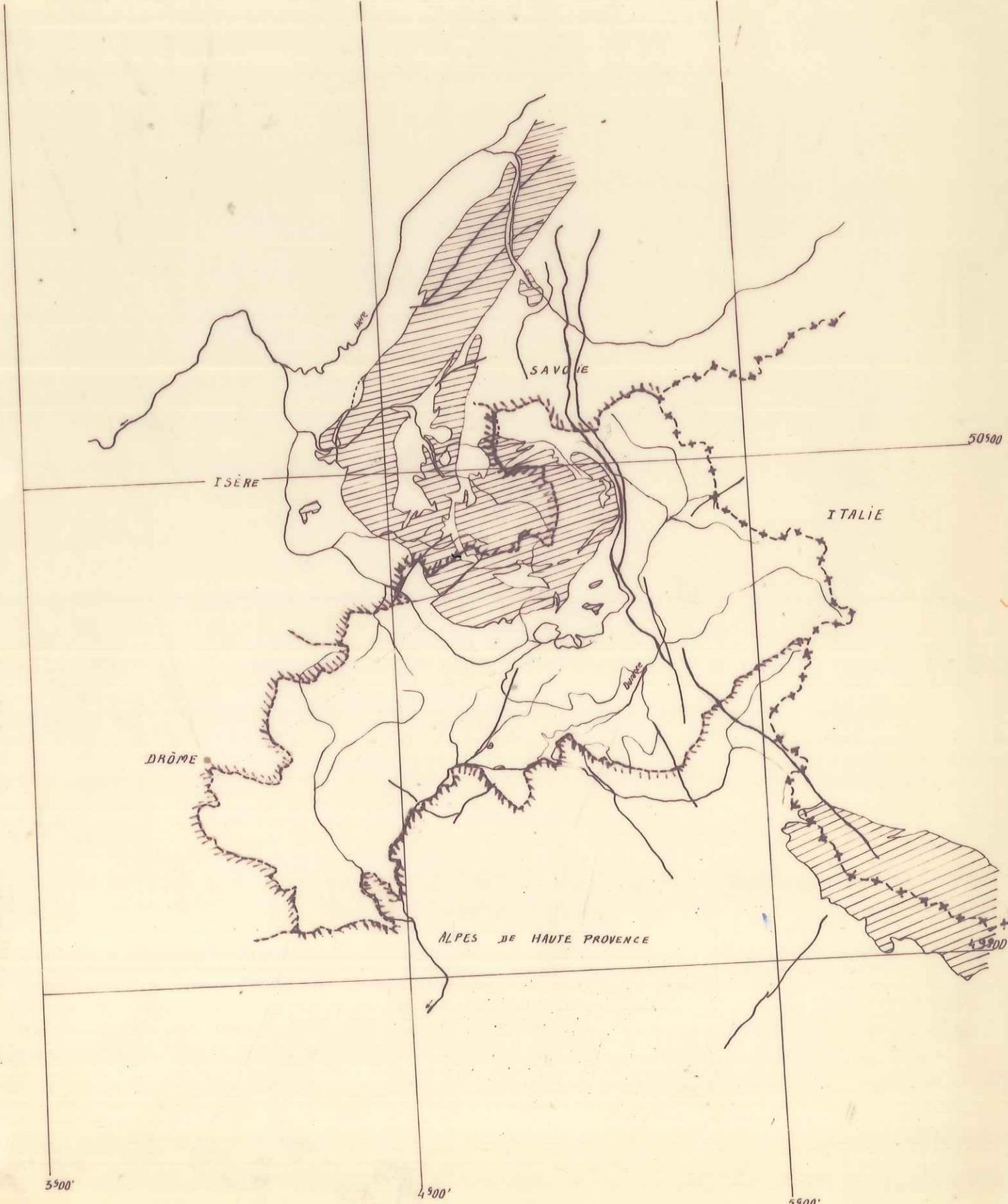
PROVENCE

ALPES

ALPES

ALPES

MASSIF DE LA DENT

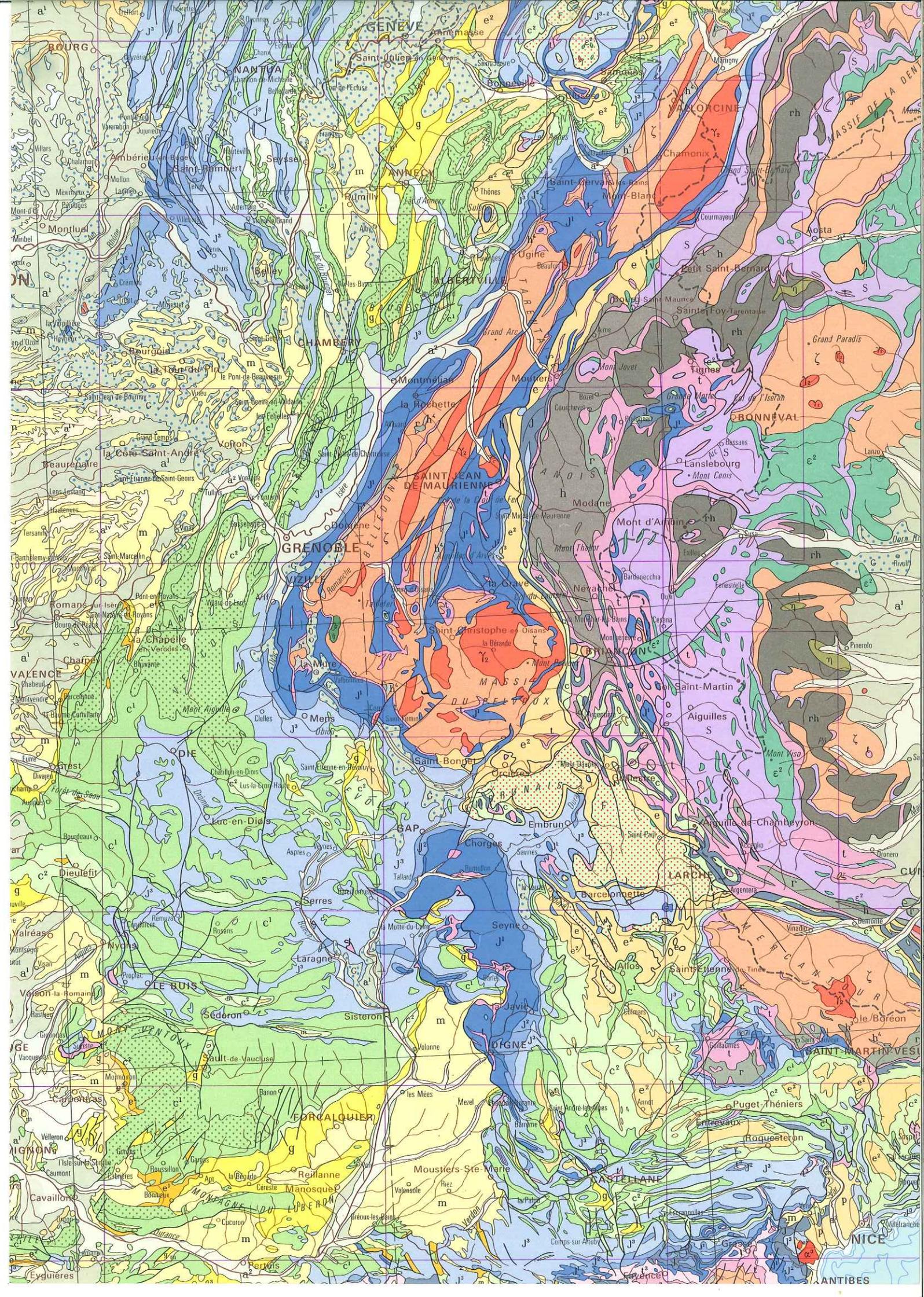


5500'

4500'

5500'

Echelle 1/1.000.000



INTRODUCTION

Il n'existe plus actuellement dans le département des Hautes-Alpes qu'une activité balnéaire réduite, dans le domaine des eaux thermominérales.

A Monétier-les-Bains, il subsiste deux piscines en fonctionnement, alimentées par la source de "Font Chaude des Prés Bagnols", au Sud du village* alors qu'au XIXème siècle deux établissements thermaux fonctionnaient, surtout à l'usage des militaires des garnisons de Briançon et de Mont-dauphin.

Un lent dépérissement, puis un abandon quasi-total laisse maintenant, malheureusement s'écouler un volume d'eau à propriétés thérapeutiques certaines, reconnues et confirmées par des médecins contemporains.

En dehors des deux groupes de sources de Monétier et du Plan de Phazy, il faudrait ajouter Font-Salée de Rousset aujourd'hui disparue sous le barrage de la retenue de Serre-Ponçon. Le département des Hautes-Alpes n'offre à d'éventuels utilisateurs que des eaux sulfatées souvent à faible thermalité, et souvent d'origine triasique parfois fortement minéralisées ou à température ambiante et d'origine karstique, parfois utilisées pour l'irrigation.

Dans l'Ouest du département, de nombreuses petites sources sont encore utilisées pour des usages domestiques, malgré des teneurs en sels élevées, ou la présence d'hydrogène sulfuré, à défaut d'autres ressources (ex : village de Fouillouse).

Des sources salées sont connues par des noms de lieux ou la tradition. Malgré de faibles débits, elles étaient exploitées au XVIIIème siècle en vue de l'extraction du sel. Elles ont été détruites et comblées par les gabelous avant la révolution.

L'objet de ce mémoire est consacré à l'étude des sources minérales chaudes ou froides qui pourraient : soit faire l'objet d'une exploitation, soit être retenues à titre de comparaison dans le cadre d'études plus générales.

* Propriétaire actuel : Louis COUCHOUD. "le Puget" Allée des Pins
13009 - Marseille.

1.1 - BUT DU MEMOIRE

Le département des Hautes-Alpes se situe entre les massifs cristallins du Pelvoux au Nord, et le massif de l'Argentera au Sud-Est. Vers l'Est, la frontière suit la ligne de crêtes entre la France et l'Italie. Au Centre, la vallée de la Durance s'ouvre largement vers le Sud-Ouest sur les Préalpes et les Baronnies.

La flexure de l'Arc Alpin présente une amplitude maximale dans notre région et les nappes d'origine briançonnaise ont largement débordé vers l'Ouest dans la vallée de la Durance.

Vers le Nord, de nombreuses sources thermominérales sont encore exploitées avec succès en Savoie :

l'Echaillon, 30° dans la vallée de l'Arc (St Jean-de-Maurienne)
La Léchère, 55° dans la vallée de l'Isère
Brides-les-Bains - 34-35° près de Moutiers

Vers le Sud, dans les Alpes de Haute-Provence

Digne 35-43°
Gréoux 35°5

Plus au Sud - sur le versant SW de l'Argentera

Berthemont-les-Bains 30°

- sur le versant italien :

Bani di Vinadio	Terme di Vinadio	55°
	Terme di Valdieri	65°

Dans les Hautes-Alpes le relais était assuré par deux groupes de sources qui ont fait l'objet d'exploitation mais sont maintenant en sommeil.

Il paraît donc séduisant d'étudier les émergences connues, de préciser leurs caractéristiques physiques, chimiques et isotopiques, et de rechercher les possibilités d'améliorer leur débit, leurs caractéristiques et d'estimer les réserves possibles dans leurs contextes géologiques et tectoniques.

De nombreux géologues ont parcouru la région et de nouvelles hypothèses de mise en place des massifs et des nappes qui donnent une géomorphologie particulière au département, ont été avancées. En dehors de quelques organismes tels que l'E.D.F., ou le Génie Rural, rares sont ceux qui se sont intéressés aux problèmes du thermalisme. Citons toutefois la thèse de médecine du docteur LESBROS - 1947 - sur le groupe des sources du Plan de Phazy.

Notre étude qui s'inscrit arbitrairement dans les limites administratives du département, offre un échantillonnage quasi complet des possibilités de sources de qualités différentes représentatives des sources des Alpes centrales françaises. Intéressant une région quasi vierge de travaux sur des sources retournées à l'état sauvage, elle présente donc un intérêt pour la connaissance de ce milieu particulier.

Il a été fait un large appel à la bibliographie générale, et en particulier aux documents relatifs aux sources thermominérales encore exploitées vers le Nord et vers le Sud, objet de thèses plus ou moins récentes.

- Au XVII^{ème} siècle, la présence de troupes, soit au repos, soit en défense dans les forts protégeant les crêtes frontalières et les cols avaient incité des études sommaires sur des moyens naturels afin d'alléger ou guérir les maux de ces troupes cantonnées aux environs.

Ces premières études sérieuses -après les guérisons enregistrées par les autochtones depuis des temps immémoriaux- ont surtout été faites par des pharmaciens militaires. Quelques noms nous sont restés : médecins NICOLAS, CHARMEUIL chirurgien de l'hôpital militaire de Mont Dauphin, FODERE, VIMART, pharmacien militaire TRIPIER.

GUETTARD en 1779, parle déjà de la valeur thérapeutique des eaux du briançonnais.

Par suite E. GUEYMARD et LEROY, sollicités par un officier de santé à Guillestre, donnent des chiffres qui, sans être concordants avec les analyses modernes, restent dans les limites caractéristiques ponctuelles de ces eaux, les chlorures et les sulfates étant très abondants.

Un ouvrage de grand intérêt quant aux eaux thermales de France, paraît en 1896: "Les Eaux Minérales de France" par E. JACQUOT et WILLM. Il cite de nombreuses sources thermominérales et minérales, et en donne la composition. Malheureusement si certains points offrent des résultats comparables avec les analyses récentes, d'autres n'ont aucun rapport avec ce que nous connaissons actuellement.

Au début du siècle, ces dernières données sont reprises par différents auteurs, en particulier pour le département des Hautes-Alpes, par l'abbé F. ALLEMAND qui laisse une monographie intéressante*, reprise d'ailleurs en partie A. VAN GENNEP. "Les littératures populaires de toutes les nations, le Folklore des Hautes-Alpes", 1948.

* F. ALLEMAND, "Notice sur les sources minérales, les fonts saintes et les fonts bénites dans les Hautes-Alpes" Bull. Soc. Etudes des H.A..

Une seule thèse récente a été réalisée en 1947. "Une station thermoclimatique oubliée des Hautes-Alpes : le Plan de Phazy" par le docteur M. LESBROS, thèse médecine Lyon 1946-1947 n° 171. Les résultats des analyses chimiques offrent quelques différences avec les analyses récentes. Les différences peuvent provenir soit des méthodes d'analyses, soit de variabilités dans la composition possible dans ces types de sources "sauvages" où des mélanges avec les eaux de surface sont courants.

A Monétier-les-Bains aucune analyse sérieuse récente n'a été réalisée à ma connaissance malgré certains pourparlers de remise en état de la station.

Au Plan de Phazy des stations de sports d'hiver se sont créées à proximité sans que l'intérêt thermal soit mis en valeur.

A Rousset l'implantation du barrage de Serre-Ponçon a permis d'avoir quelques données sur les eaux chaudes sous-alluviales de la vallée de la Durance.

Dans l'Ouest du département deux stations d'embouteillage commercialisaient les eaux de deux petites sources à faible débit : Aspres-sur-Buech : la Bergère et Saint-Pierre-d'Argençon : Font Vineuse.

La documentation géologique, tectonique, séismique est beaucoup plus complète. L'évolution des idées et hypothèses sur la région y est très rapide.

Les sources qui ont fait l'objet d'exploitation sont étudiées à nouveau avec extension aux sources proches présentant un intérêt thermominéral ou encore aux sources issues de formations susceptibles de présenter un caractère particulier. Ces dernières sources seront étudiées pour permettre des comparaisons.

Les caractères physiques reconnus sur le terrain sont complétés par des études géochimiques et isotopiques.

Nous essayerons par des études géologiques et tectoniques liées à l'environnement et surtout de reconnaître l'origine des eaux thermominérales, les caractéristiques des bassins d'alimentation, les possibilités de récupération des eaux intéressantes et d'amélioration des débits sans altération de la composition chimique aux ou à proximité des émergences actuelles.

Nous nous estimerions satisfait si cette étude entraînait un regain d'activité hydrothermale dans le département ou le développement de recherches d'énergie géothermique.

1ère PARTIE

1 - DONNEES DE TERRAIN

1.1 - GEOGRAPHIE - CLIMATOLOGIE

Le département des Hautes-Alpes est traversé par la limite climatique qui sépare les Alpes du Nord, humides et vertes des Alpes du Sud, ensoleillées et sèches jusqu'aux plus hautes altitudes.

Cette limite, également géographique, individualise deux bassins versants :

1 - Le Bassin de la Durance à l'Est, au Sud et au Sud-Ouest contourne le massif du Pelvoux avec la rivière la Guisane. Celle-ci rejoint la Durance naissante à Briançon.

La Durance recoupe les formations briançonnaises jusqu'à son confluent avec le Guil, rive gauche. Son régime torrentiel s'assagit, et avec l'Ubaye, rive gauche, alimente le lac de la retenue de Serre-Ponçon. Entièrement domestiquée, elle coule alors dans une large vallée où elle est rejointe hors du département par le Buech, rive droite, à l'amont de Sisteron.

Le bassin de la Durance est en totalité intéressé par les influences du climat méditerranéen. Sec et ensoleillé, celui-ci est tempéré par l'altitude. Il permet des cultures fruitières au-dessus de 1000 m. Dans le Queyras, à l'Est du département, la forêt de mélèzes domine, au col du Lautaret (2050 m) la lavande se reproduit naturellement.

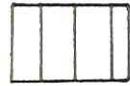
La Durance et tous ses affluents, sauf le Buech, sont caractérisés par une suite de "biefs" où les eaux divaguent dans une vallée élargie, à remplissage fluvio-glaciaire, jusqu'à un seuil ou resserrement de vallée d'origine géologique et tectonique où le courant devient plus rapide.

C'est en général sur, ou directement à l'amont de ces seuils qu'apparaissent les émergences thermominérales.

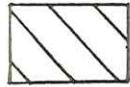
2 - Le Bassin de l'Isère au Nord et au Nord-Ouest. Au Nord, la Romanche draine la partie nord du massif du Pelvoux. Elle prend sa source à proximité du Col du Lautaret et se dirige d'Est en Ouest.

Au Sud-Ouest et à l'Ouest du département, le Drac d'abord Est-Ouest dans le Champsaur se dirige ensuite vers le Nord-Ouest. Il reçoit la Séveraisse, rive droite, venant du coeur du Pelvoux, puis au sortir du département forme avec la Souloise issue du Dévoluy, rive gauche, la retenue du Sautet.

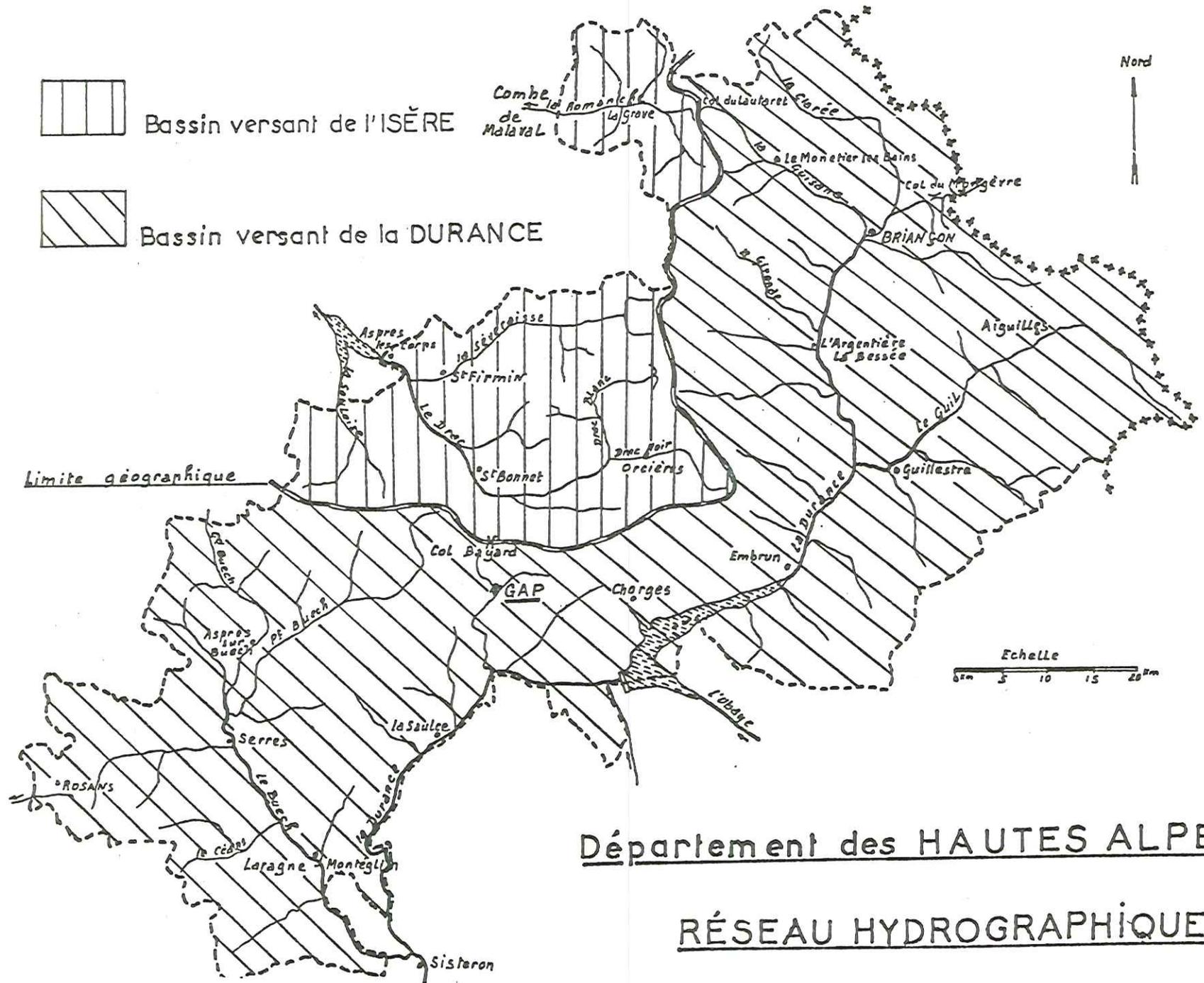
Aucune source thermominérale n'existe dans ce bassin.



Bassin versant de l'ISÈRE



Bassin versant de la DURANCE



Département des HAUTES ALPES

RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

1.2 - GEOLOGIE

Le département est grossièrement axé sur la dépression de la vallée de la Durance et de ses affluents. La vallée est profondément érodée surtout dans la partie amont et la rivière reçoit toutes les eaux du secteur est du département depuis la frontière italienne.

Cette dépression située entre les massifs cristallins du Pelvoux au Nord et de l'Argentera au Sud-Est appartient au domaine des nappes qui, elles-mêmes, se développent vers le Sud-Ouest à partir de structures profondes du Briançonnais.

a - Zone externe

Dans le Sud-Ouest, l'Ouest et le centre du département, la "Fosse Vocontienne" a donné lieu, du Bathonien au Crétacé inférieur, à de puissants dépôts marins en eaux calmes, dont les plus importants ont le faciès "Terres-Noires". Cette sédimentation se réduit fortement en puissance dans l'avancée est de la fosse.

Les formations Ultradauphinoises, reposent sur les massifs cristallins à l'Est du Pelvoux, repoussées vers l'Ouest par le Subbriançonnais et le Briançonnais des zones internes.

Quelques minuscules lambeaux cristallins apparaissent à la base des nappes, accompagnés de séries gypseuses triasiques et de Lias.

Les orogénèses : pyrénéenne et alpine, ont profondément marqué la région et la tectonique y est vigoureuse.

Les massifs du Pelvoux et du Combeynot, formés de granites, granulites et migmatites et de formations volcano-sédimentaires peu métamorphiques, sont d'âge hercynien, peut-être calédonien avec reprises par les orogénèses suivantes, particulièrement alpine.

b - Zones internes

Elles sont représentées :

1 - par le flysch de l'Embrunais qui recouvre la zone externe. Il est d'origine piémontaise.

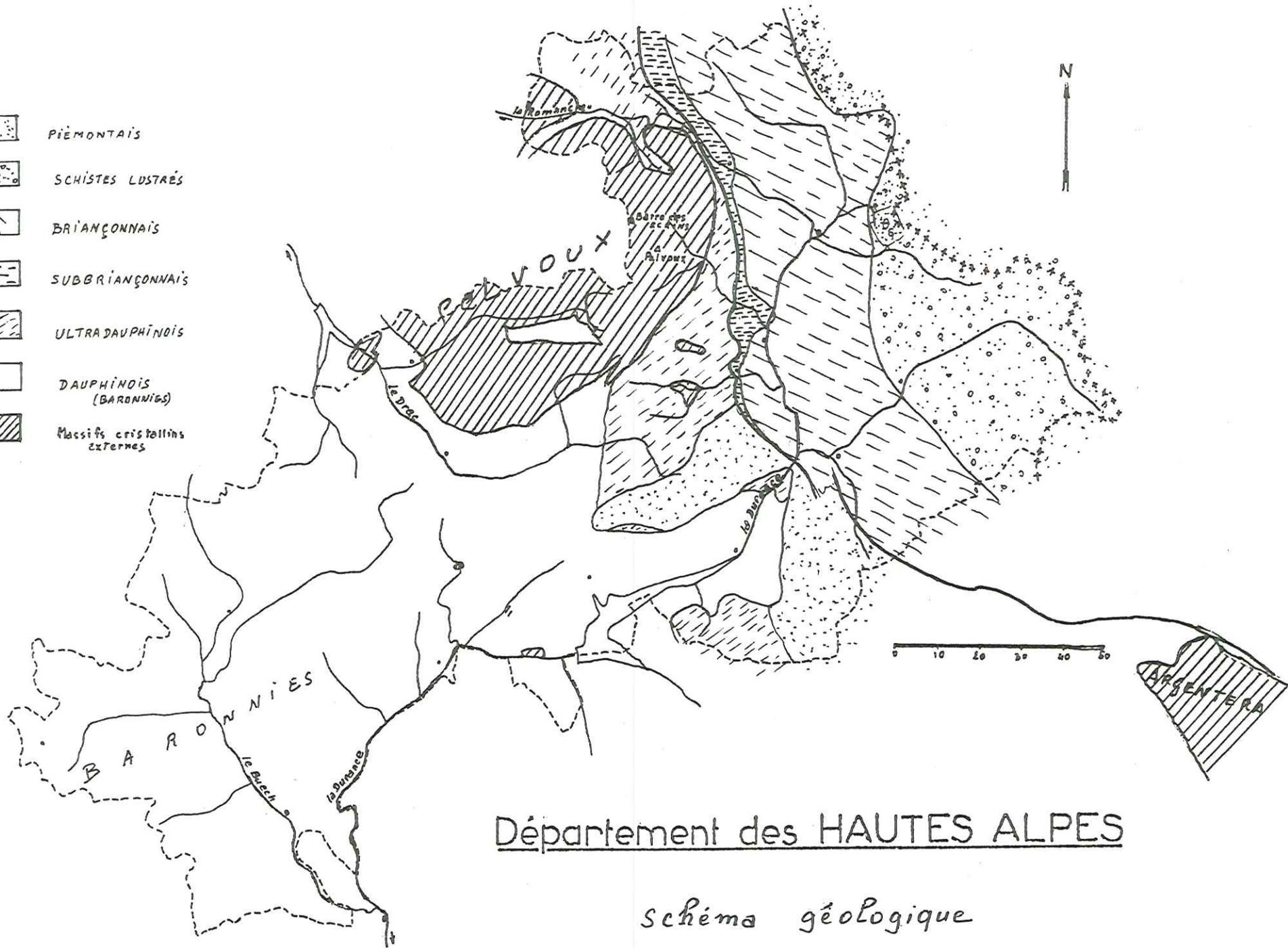
2 - vers le Nord-Est d'énormes masses houillères et triasiques du briançonnais se développent du Nord vers le Sud sous forme de nappes charriées vers le Sud-Ouest. Le contact avec la zone externe forme l'"Arc briançonnais".

3 - plus à l'Est, les "Schistes Lustrés" métamorphiques débordent la frontière vers l'Italie. Des "Roches Vertes", serpentines et gabbro, s'y intercalent en massifs lenticulaires.

c - Quaternaire

Le Quaternaire est bien représenté en basse et moyenne montagne. Des moraines anciennes ou récentes, et des éboulis forment des placages importants dans les hautes vallées.

- | | | |
|------------------|---|---------------------------------|
| ZONE PIÉMONTAISE |  | PIÉMONTAIS |
| |  | SCHISTES LUSTRÉS |
| ZONE INTERNE |  | BRIANÇONNAIS |
| |  | SUBBRIANÇONNAIS |
| ZONE EXTERNE |  | ULTRA DAUPHINOIS |
| |  | DAUPHINOIS
(BARONNIÉS) |
| |  | Massifs cristallins
externes |
| |  | |



Département des HAUTES ALPES

Schéma géologique

En basse montagne et dans les vallées, des épandages fluvio-glaciaires, des remplissages de surcreusements glaciaires à l'amont des verrous et des seuils, constituent de bons réservoirs ou des pièges entre les niveaux graveleux et argileux pour des eaux thermominérales, lesquelles apparaissant parfois à la base des alluvions à la faveur de fractures.

1.3 - TECTONIQUE

Plusieurs orogénèses sont reconnues dans le massif du Pelvoux : calédonienne, hercynienne, mais la géomorphologie est surtout le fait de l'orogénèse alpine dont les déformations se poursuivent actuellement.

Dans la zone sédimentaire, les grands ensembles géologiques sont caractérisés par la succession des nappes dont l'origine briançonnaise est indéniable.

La base du front de ces nappes peut se suivre sur plusieurs dizaines de kilomètres, parallèlement à l'Arc briançonnais dans la partie est et sud-est, sur une dizaine de kilomètres au centre, formant ainsi des chevauchements successifs avec le Briançonnais, le Subbriançonnais et l'Ultra-dauphinois. Des écailles reliques apparaissent à Serre-Chevalier.

Perpendiculairement à ces formations de direction nord-est/sud-ouest les failles d'Aspres-les-Corps, de la Séveraisse inférieure, du Champsaur, de la vallée de l'Avance, qui affectent le cristallin et le sédimentaire, puis celles de la vallée de la Durance (la Saulce, Embrun-Châteauroux), ou la faille à l'amont de Monétier-les-Bains, parmi les plus caractéristiques, forment un réseau de fractures parallèles que de nombreuses rivières et torrents ont remodelé en morphologie superficielle.

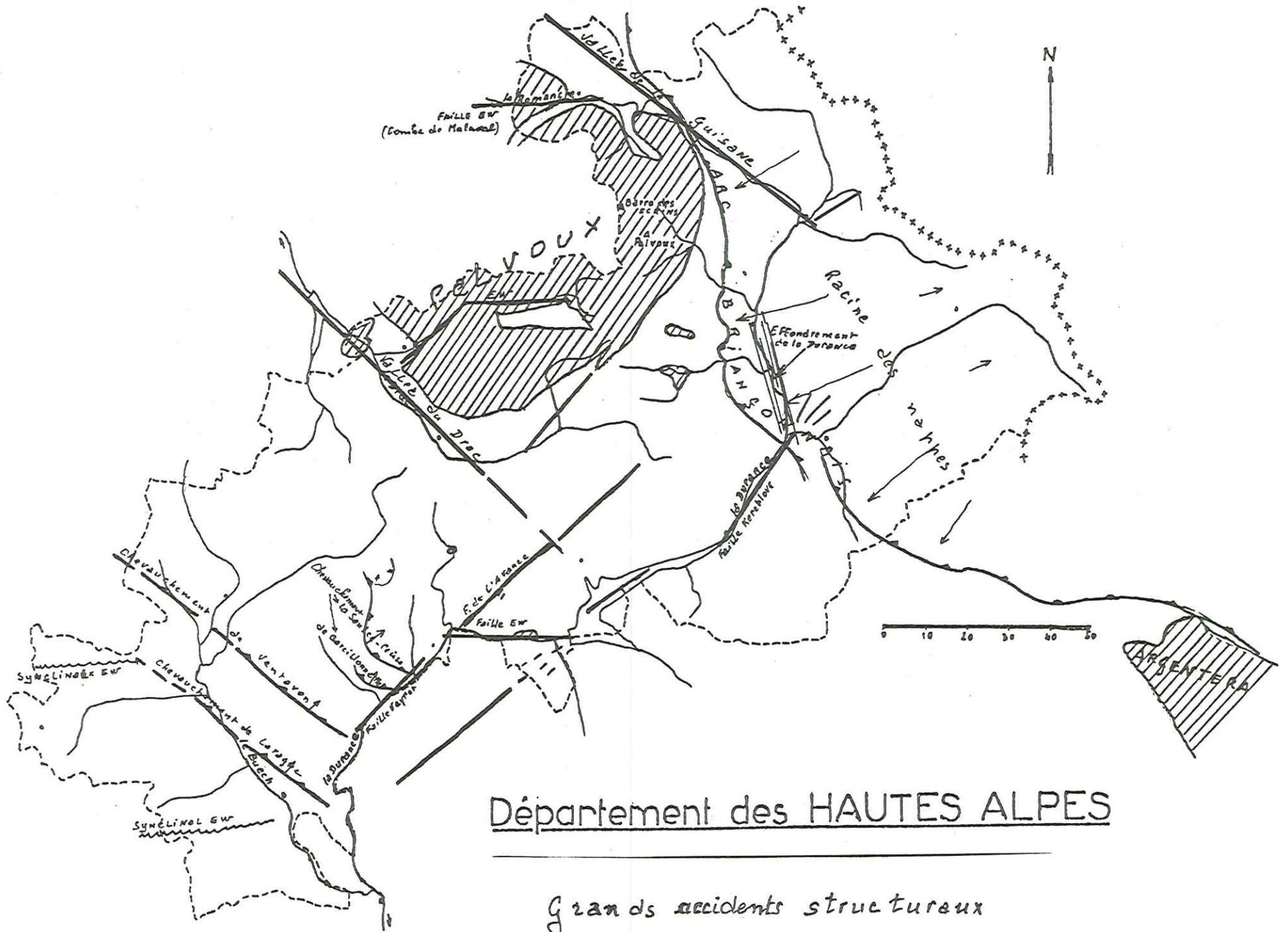
Ces fractures sont d'origine profonde et s'observent particulièrement bien dans la zone externe et au front des nappes du Briançonnais. Quand elle pénètrent dans les zones internes elles s'estompent et disparaissent rapidement. Ces failles coulissantes, déplacent le panneau sud-est vers le Sud-Ouest.

Quelques fractures profondes de direction est-ouest : Combe de Malaval (vallée de la Romanche), faille de la Séveraisse, vallée de la Durance dans le Dôme de Remollon, n'affectent que le socle et sa couverture immédiate.

Par contre l'accident cassant dit "faille de la Durance" est emprunté par la rivière entre l'Argentière-la-Bessée et Montdauphin. Il est de direction N 350° et représente un effondrement tardif à l'"intérieur" des zones internes isolant ainsi le front des nappes.

Il est à remarquer que la vallée de la Guisane au NE du Pelvoux et la vallée du Drac au SW, forment de larges et profondes dépressions rigoureusement parallèles recoupant les différentes formations de plusieurs nappes surtout dans la vallée de la Guisane. L'existence de grandes fractures dans des vallées est probable mais n'a pas pu être démontrée.

La phase des plissements pyrénéens a laissé quelques traces, en particulier dans les Baronnies, au Sud-Ouest du département sous la forme de larges anticlinaux et synclinaux de direction EW contre lesquels des "nappes" à semelle de gypse se sont heurtées sans les recouvrir, comme dans la région de Aspres-Laragne.



Département des HAUTES ALPES

Grands accidents structureux

Les nappes de charriage du Briançonnais et du Subbriançonnais se sont écoulées dans l'échancrure entre Pelvoux et Argentera. Elles sont elles-mêmes extrêmement brisées, tant en raison de leur écoulement sur des surfaces plus ou moins rugueuses ou ondulées, que par les diverses réactions entre les sédiments qui les composent.

Ces nappes se sont décollées de leur substratum au niveau des gypses du Trias. Celui-ci a parfois subi, localement, un léger métamorphisme au niveau de la surface de friction, mais les dissolutions anciennes et récentes entraînent, encore maintenant, des réajustements importants et le Trias constitue un milieu encore très actif, très favorable à la pénétration des eaux à de grandes profondeurs.

Notons enfin que l'Arc Briançonnais subit, à Montdauphin, une flexure ou plutôt une cassure au niveau de la faille transverse d'Embrun-Châteauroux empruntée par la Durance.

1.4 - SEISMES

La partie orientale du Département des Hautes-Alpes est le siège d'assez nombreux tremblements de terre.

Le maximum d'activité séismique se situe dans l'ensellement entre les massifs du Pelvoux et de l'Argentera.

Deux épicentres apparaissent d'après les éphémérides du Professeur J.P. ROTHE (Strasbourg).

- a - l'un à l'extrémité sud de la branche nord de l'Arc briançonnais dans la zone du Plan de Phazy ;
- b - l'autre dans la vallée de l'Ubaye à l'amont de St Paul-sur-Ubaye (Alpes-de-haute-Provence), aux Serennes près de l'extrémité septentrionale de la branche sud de l'Arc, en direction des Montagnes de Vars et de Guillestre (Hautes-Alpes) (entre les Serennes et Guillestre il existe peu de points d'observations).

Dans une période récente, 1940-1942, quelques séismes sont apparus plus à l'Est, dans la zone briançonnaise : de Ceillac à Briançon.

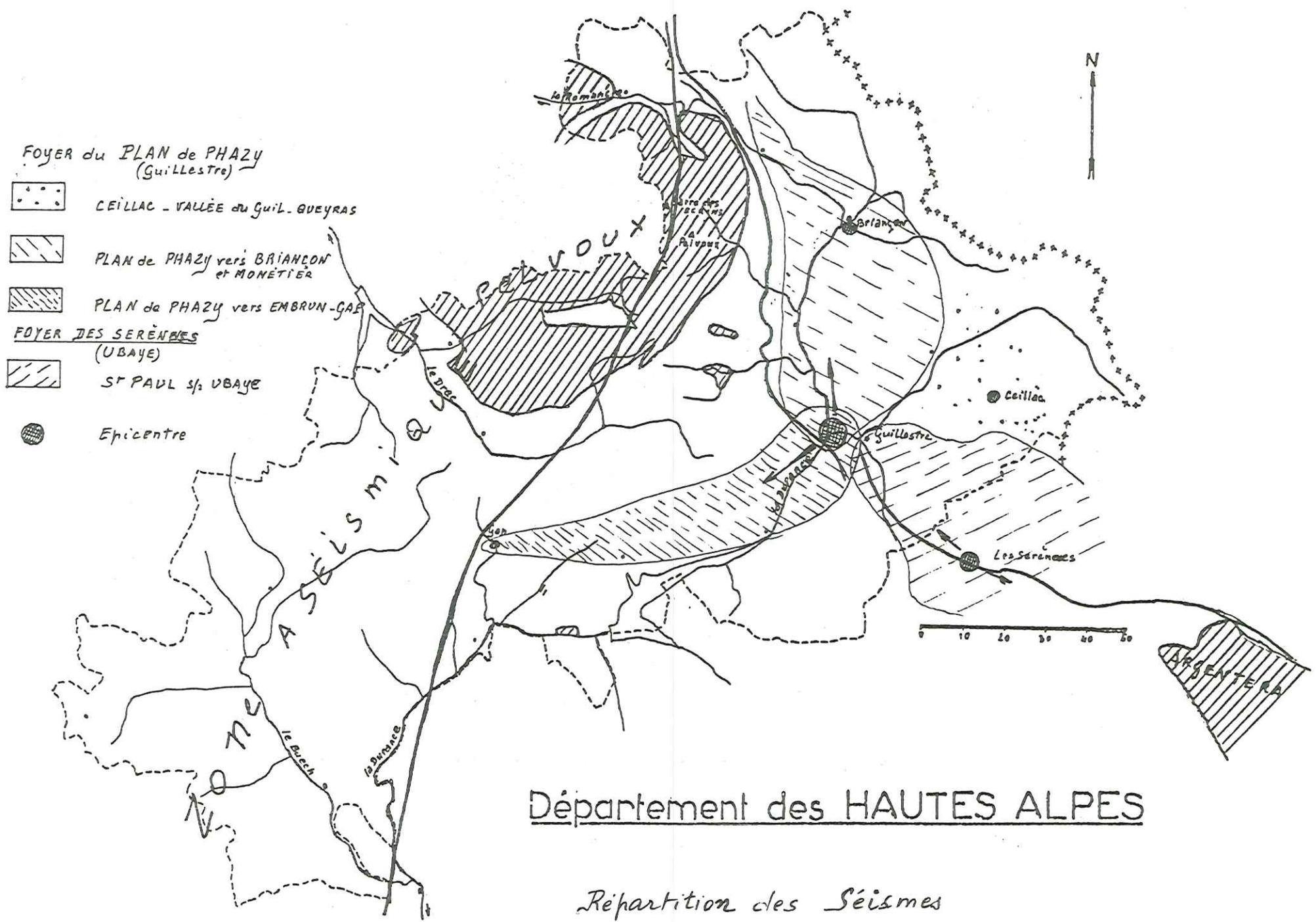
La zone active se prolonge vers le Nord depuis Plan de Phazy jusqu'à Monétier en passant par l'Argentière-la-Bessée mais en perdant de l'intensité.

La littérature fait état de séismes récents suivant l'axe de la vallée de la Durance moyenne à l'aval de Plan de Phazy. Les secousses enregistrées paraissent jalonner une importante fracture de cisaillement de direction NE/SW reconnue par Cl. KERCKLOVE (1969), passant par Châteauroux Embrun, Chorges et s'amortissant à Gap. Mais peut-être la localisation des observations suivant l'axe de la vallée n'est-elle due qu'à la densité de la population, les montagnes environnantes étant inhabitées. Cette observation est également valable pour la zone briançonnaise.

La profondeur des foyers serait de l'ordre de 30 à 50 km.

Des études récentes sur les "séismes artificiels", en particulier ceux attribués aux surcharges locales dues aux mises en eau des grands barrages ont démontré l'instabilité séismique fréquente des zones faillées sous-jacentes. Aucun séisme important n'a été enregistré dans le voisinage de la retenue de Serre-Ponçon (1. 300 millions de m³). Cette aséismicité apparente pourrait être due à la plasticité de la roche en place : Trias gypseux, Jurassique inférieur calcaro-marneux.

Il est très intéressant de noter que les séismes axés sous la zone de Plan de Phazy-Montdauphin diminuent rapidement d'intensité vers le Sud et vers Guillestre : les lignes d'égaux forces se prolongent soit par l'aval de la vallée de la Durance, soit surtout vers le Nord et le Nord-Est.



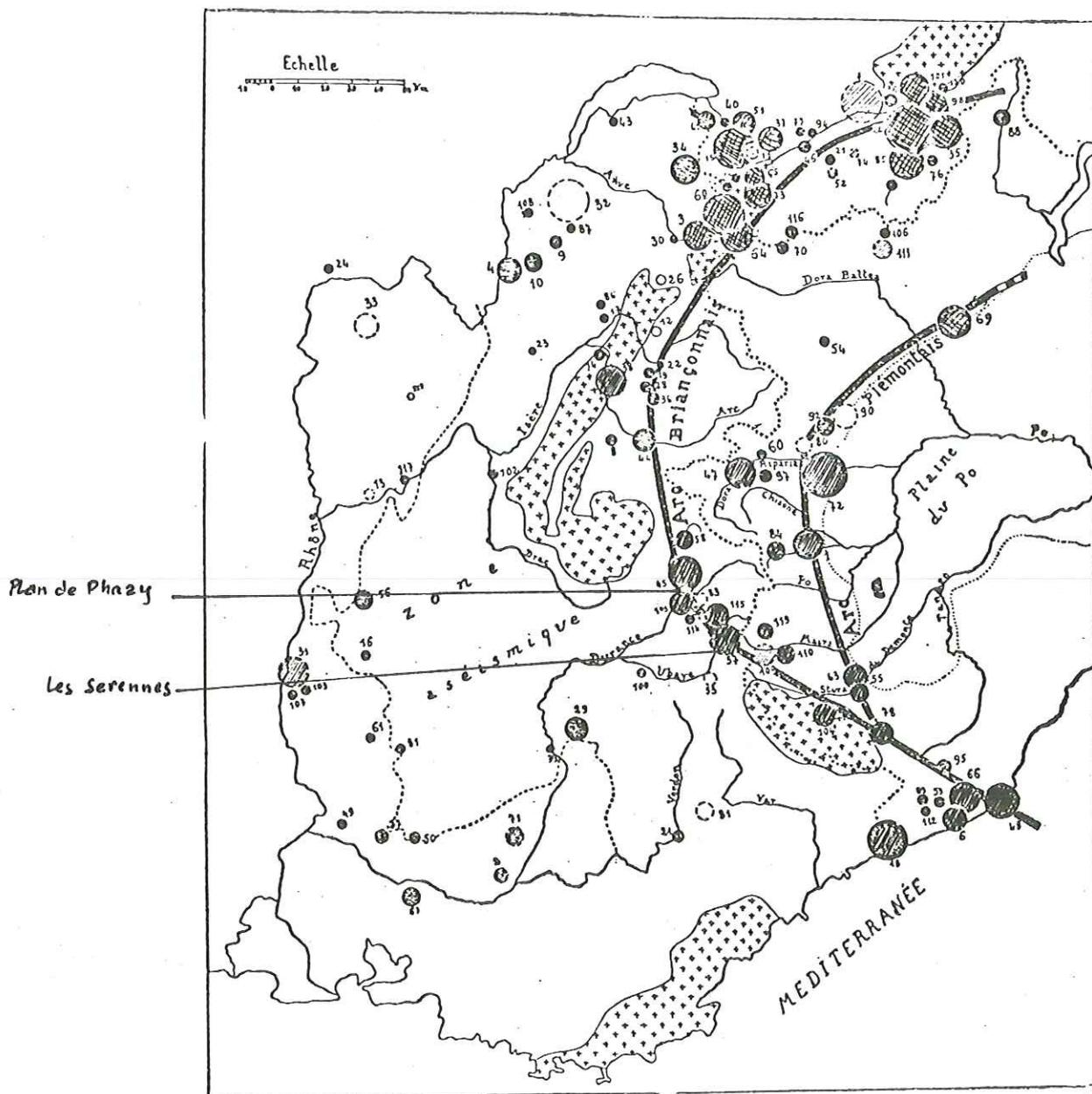


FIG. 14. — La séismicité des Alpes occidentales.

Le rayon du cercle représentatif de chaque séisme est proportionnel au facteur K (voir p. 29); lorsque le rayon de l'aire macro-séismique ou l'intensité à l'épicentre sont mal connus le cercle est tracé en pointillé et sa surface est hachurée; si l'épicentre lui-même est incertain la surface du cercle est laissée en blanc.

D'après: Les séismes des Alpes Françaises en 1938
et la séismicité des Alpes Occidentales J.P. ROTHE
Annales IPG de Strasbourg TOME III 3e partie 1941

Les séismes des Serennes à l'amont de St Paul-sur-Ubaye atteignent la région de Guillestre sans la dépasser et s'étalent beaucoup plus vers le Sud et l'Est.

Les deux foyers seraient alors distincts.

L'Ouest du département : le Dévoluy, les Baronnies, la basse vallée de la Durance sont totalement aséismiques.

1.5 - VOLCANISME

Aucun signe de volcanisme actif récent n'apparaît dans le département.

Aucune source ne semble avoir un lien avec les manifestations volcaniques anciennes reconnues dans les différents niveaux géologiques si ce n'est un éventuel lessivage, à la faveur de diaclases, de la série volcanosédimentaire datée du Viséen du massif du Combeynot, des andésites permien-nes de la vallée du Guil ou encore des andésites Tertiaires du Goléon.

Les roches volcaniques reconnues dans le Houiller briançonnais, les spilites du sommet du Trias ou encore les niveaux de tufs volcaniques des Grès du Champsaur (Priabonien), ne sont en rapport avec aucune des sources thermominérales connues.

D'après la notice de la carte magnétique de la France au 1/1 000 000 partie sud, deux anomalies énigmatiques existent au Sud du département à la base des puissants dépôts Pliocènes du plateau de Valensole (Alpes-de-Haute-Provence). Ces anomalies très localisées pourraient provenir d'un volcanisme local au fond de la fosse : volcanisme géosynclinal et ne semblant pas en relation non plus avec les sources thermominérales des Hautes-Alpes.

1.6 - ISOSTASIE

Des levés récents ont été effectués par I.G.N. sur plusieurs profils perpendiculaires à l'axe des Alpes en 1970, en Autriche, en Suisse et en France.

L'un d'eux, le plus méridional, a repris les points côtés de différents ouvrages édifiés lors de la construction de la ligne de chemin de fer de Livron à Briançon, prévue à l'époque -1900- jusqu'en Italie.

Les tronçons à l'amont de Veynes et à l'aval de Briançon ont été retenus pour ces levés.

Ceux-ci accusent depuis 80 ans un léger affaissement des structures géologiques dans la première partie du trajet : de Veynes à Chorges.

Par contre, la vallée de la Durance, d'Embrun à Briançon réagit par une surrection sensible atteignant 1,5 mm par an.

Cette surrection actuelle se superpose à la partie tectoniquement la plus active et la plus séismique de la région étudiée.

Ce mouvement isostatique positif se combine à un approfondissement des rivières, au surcreusement des alluvions torrentielles et à la formation de cheminées de fées abondantes dans certains secteurs.

26.798 I.G.N./2
10 1-03-1974

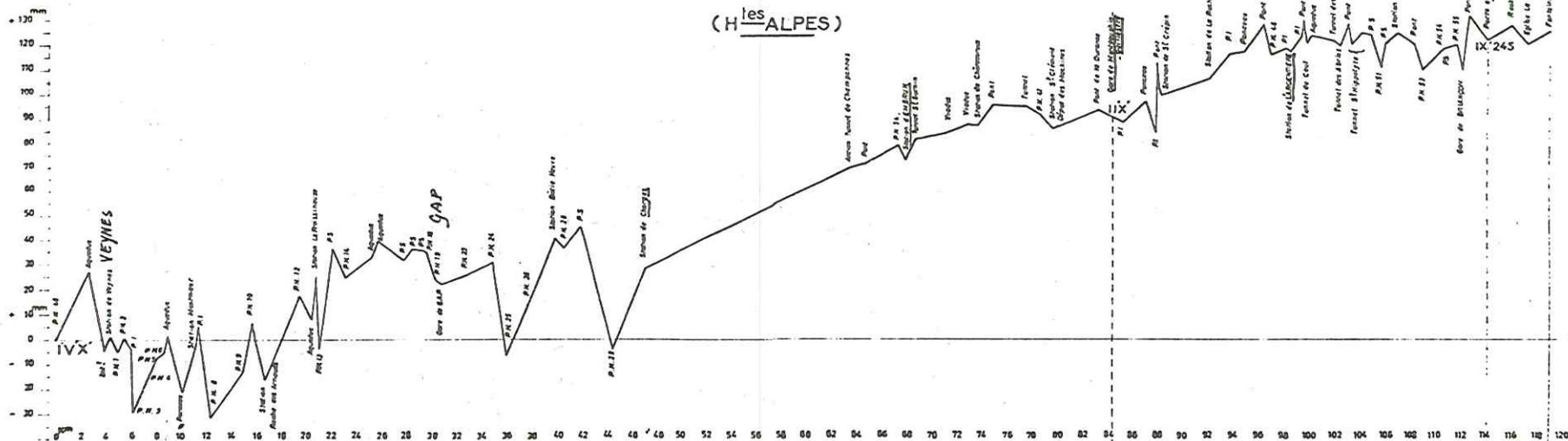
QUEST

COMPARAISON des NIVELLEMENTS de 1^{er} ORDRE et 2^{eme} ORDRE 1890_1969_
— Entre La Beaumette (C^{ne} d'OZE) et La Fontaine de Crêtet (C^{ne} de MONTGENEVRE)
(H^{les} ALPES)

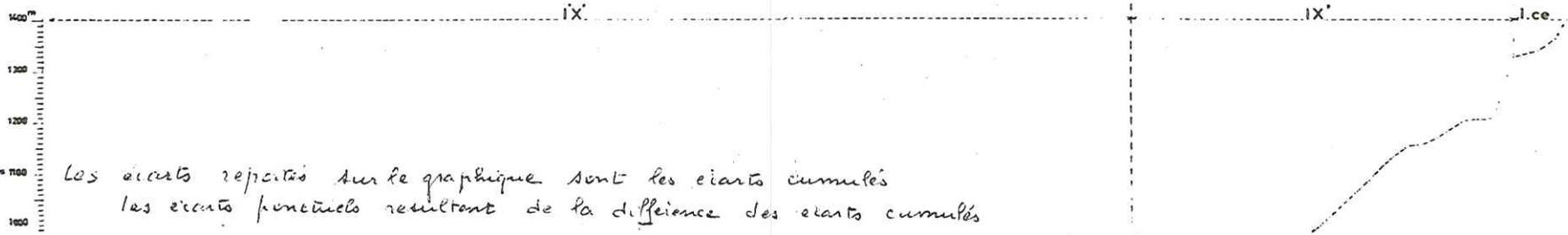
EST

Profil des écarts à l'échelle VI
entre les opérations des années
1890 et 1969.

Echelle des longueurs 1/200000



Tracé en profil des Sections aréolées 1/100
échelle des hauteurs 1/5000
échelle des longueurs 1/200000



Les écarts reportés sur le graphique sont les écarts cumulés
les écarts ponctuels résultant de la différence des écarts cumulés

d'après : Levallois M. Bulletin géodésique n°505 - 1^{er} sept 1972

Département des Hautes-Alpes

ISOSTATIE

1.7 - TEMPERATURE ET MINERALISATION DES EAUX

Une eau de source dont la température moyenne, est supérieure de 5 à 6°C à la température moyenne annuelle de l'air du site, est considérée comme une eau thermale.

Le thermalisme, entre autres disciplines scientifiques et médicales, étudie les propriétés des eaux thermales ou thermominérales.

1.7.1 - Origine de la température des eaux thermales

La thermalité peut avoir pour origine plusieurs processus.

- gradient géothermique. L'origine primordiale de la température des eaux thermales est le gradient géothermique. Les eaux s'infiltrant à des profondeurs plus ou moins grandes, acquièrent une température élevée. L'écoulement à faible vitesse de l'eau souterraine, par gravité dans un haut massif fissuré, voire karstifié peut suffire pour produire le thermalisme dans l'Est et le centre du département.
- radioactivité. La désintégration des minéraux radioactifs provoque un dégagement de chaleur.
- processus chimiques. Les réactions chimiques exothermiques résultant de l'oxydation des pyrites ou de l'hydratation de l'anhydrite, peuvent provoquer une élévation de la température non négligeable localement.
- friction tectonique. Le déplacement relatif de masses importantes (charriages) entraîne des frictions à la base des nappes accompagnées d'un léger métamorphisme local dans certains niveaux et de la formation de chlorite et de séricite fossile dans les klipptes détachées de leurs racines. Ces phénomènes sont actifs dans les écoulements où une légère sismicité attesterait la présence de mouvements actuels.

1.7.2 - Origine des eaux thermominérales

Plusieurs hypothèses ont été émises sur l'origine des eaux thermominérales.

- origine météorique. Les eaux d'infiltration descendent par gravité dans les couches profondes. Cet enfouissement s'effectue plus ou moins profondément, en fonction de la perméabilité des roches due généralement dans les régions étudiées, à l'intensité de la fracturation ouverte. Il peut être considérable dans les régions tectoniquement très disloquées : plusieurs milliers de mètres.

C'est l'origine la plus fréquente.

- origine juvénile. Dans certains cas, les circulations d'origine météorique ne suffisent pas à expliquer le thermalisme et surtout les caractéristiques physico-chimiques des eaux thermominérales. Il est alors nécessaire de faire appel à des sources profondes d'eaux juvéniles ou endogènes.

Cette origine est peu fréquente et n'est jamais exclusive.

- origine fossile. Il peut être envisagé, du moins dans la région étudiée, une production d'eau provenant de la "compaction" d'anciennes vases marines qui se sont accumulées, en particulier dans la "Fosse vocontienne" avec le faciès des "Terres-Noires". Il s'agit d'"eaux connées" contemporaines de la sédimentation.
- origine mixte. La plus fréquente, elle fait intervenir, à des degrés divers, les trois mécanismes cités. C'est la plus vraisemblable pour les sources sauvages où des mélanges importants ont été constatés.

2ème PARTIE

2 - RAPPEL DE QUELQUES DONNEES

2 - RAPPEL DE QUELQUES DONNEES

2.1 - DONNEES PHYSIQUES

Les températures aux émergences et les débits ont été mesurés. Au cours des prélèvements sur le terrain.

Le pH et la résistivité évalués sur place ont été contrôlés à nouveau à l'arrivée au laboratoire.

La résistivité a été calculée à 20°

2.2 - DONNEES CHIMIQUES

2.2.1 - Méthodes

Les analyses chimiques ont été effectuées par le laboratoire d'analyses des eaux du B.R.G.M. suivant le protocole ci-après :

par colorimétrie : Azote sous forme NH_4^+ NO_2^- NO_3^-

par volumétrie : TA - TAC.

par absorption atomique : les éléments majeurs, les traces et les infra-traces : Li.

par électrodes spécifiques : les halogènes tels que Cl^- et F^-

2.3 - DONNEES ISOTOPIQUES

La détermination des teneurs en isotopes de l'hydrogène ^3H - ou tritium -, de l'oxygène ^{18}O , et du soufre ^{34}S , abondants dans la plupart des eaux des sources haut-alpines analysées, est une méthode récente.

Les analyses des éléments majeurs, très intéressantes en elles même ne peuvent cependant nous donner que des valeurs représentant les compositions actuelles, fluctuant dans le temps, à un griffon donné. Par contre les isotopes de certains éléments stables ou instables permettront de connaître l'évolution qui s'est accomplie depuis le moment où l'eau de source - considérée *a priori* comme d'origine météorique - a commencé à s'infiltrer, jusqu'au moment où elle sort à l'émergence.

Le tritium H^3 et l'oxygène 18 font partie intégrante de la molécule d'eau.

Nous pouvons ainsi déterminer avec l'isotope de l'hydrogène ^3H (tritium), le temps que les eaux de précipitation ont mis pour accomplir un certain trajet.

Le tritium était quasi absent de l'atmosphère avant 1956. Depuis 1956 les fluctuations de son abondance sont liées aux explosions atomiques, et se reflètent dans la composition des eaux pluviales et nivales.

Avec l'isotope de l'oxygène = ^{18}O , dont la concentration dans les précipitations est fonction de la température, l'altitude moyenne des précipitations nous est connue compte tenu de l'époque de l'année -les précipitations d'hiver et d'été étant différentes- et de la région étudiée (climat atlantique - climat méditerranéen).

Le rapport entre les isotopes 32 et 34 du soufre des sulfates ou des sulfures dissous dans les eaux nous renseigne sur la nature des niveaux géologiques traversés, ou lessivés. Son maniement est assez délicat et il nous est nécessaire de nous reporter à des tableaux encore peu nombreux, en particulier en rapport avec notre région. La multiplication de ces déterminations isotopiques ne pourra que cerner davantage le problème.

Malgré un petit nombre de déterminations sur les eaux de sources très dispersées, du département des Hautes-Alpes, il nous a été possible de reconnaître des "mélanges" d'eaux de diverses origines, tant en durée de parcours que de provenances différentes, et de suggérer sur ces points intéressants des hypothèses compatibles avec les données physiques et chimiques.

2.4 - ANALYSES ANCIENNES

Nous avons résumé sur le tableau suivant la plupart des analyses anciennes et en particulier toutes celles que l'ouvrage "Les eaux minérales de France" de E. JACQUOT et WILLM 1896 avait pu recueillir.

Malheureusement dans cet ouvrage il n'existe aucune certitude quant à la localisation de la source citée. Une analyse donnée peut n'avoir aucun rapport avec la source décrite et certaines analyses sont données d'après un auteur anonyme.

En outre certaines analyses sont très anciennes : TRIPIER 1838.

D'autre part, les études sont très dispersées dans le temps, et les méthodes et la précision des analyses sont évolués. C'est pourquoi elles ne sont données qu'à titre indicatif.

Nous les avons comparées avec les déterminations récentes réalisées au laboratoire du B.R.G.M. à Orléans au début de l'année 1974.

Analyses anciennes (et récentes)

Document relatif à l'analyse de la Source	Date	Minéralisation totale grs/litre	Cations ou ions +						Anions ou ions -			SiO ₂
			Ca	Mg en	Na mgrs/litre	K mgrs/litre	Fe	Al	CO ₃ + HCO ₃ en mgrs/litre	Cl	So ₄	

Aspres sur Buech

la Bergère

Will	1895		31,2	30,8	611,5			33,7		823,5	3,0		20
JACQUOT et Will	1895	5,930	573,3	80,0	1473,					349,8	2089,2	1384,3	10
Truchot	"1904"	1,498	469,6	318,8	35,8	T		33,7		1572,8	3,4		64
B.R.G.M. 1973	1974		458,0	16,6	11,5	2,3		5600		1454,8	1,9	12	19

Fouillouse

Font Chaude

	1954							0,41		219,6	3,9	541,78	
--	------	--	--	--	--	--	--	------	--	-------	-----	--------	--

Gap

Source de Bise

Rapport I. WILHELM	1902		46,4	2,9	0,4					13,4	0,6	10,6	+ Fe = 6
--------------------	------	--	------	-----	-----	--	--	--	--	------	-----	------	----------

Source Marcellin

Rapport I. WILHELM	1902		69,3	4,7	0,4					103,3	0,6	20,4	+Fe = 7
--------------------	------	--	------	-----	-----	--	--	--	--	-------	-----	------	---------

Lardier

Source Aurouze

B.R.G.M.	1974		514	96,5	332	13,3	≤ 100			301,9	511,2	1360	22
----------	------	--	-----	------	-----	------	-------	--	--	-------	-------	------	----

Monétier-les-Bains

La Liches des Chamois

B.R.G.M.	1974		554	136	994	40,6	5400			454,4	862,6	2600	44
----------	------	--	-----	-----	-----	------	------	--	--	-------	-------	------	----

La Rotonde

JACQUOT et WILLM	1896	1,1584	229,	14,8	108,9			2310		122,4	146,0	496,7	36
Allemand	1904		570,4	89,4	186,1			190,0		600,8	264,6	830,9	20,4
B.R.G.M.	1974		492	50,0	224	14		290,		497,1	333,7	1100	23

du Midi ou Font-Chaude

JACQUOT et WILLM	1896	3,1360	646,2	52,0	317,1					305,3	380,1	1382,6	
Abbé Allemand	1904		293,4	66,1	246,8	23,4				599,2	374,6	582,9	24,6
B.R.G.M.	1974		514	55	260	15,4	≤ 100			451,4	351,4	1180,0	25

les Guibertès

WILLM	1896	1,456	314,5	78,0	123,7					474,7	276,3	188,8	
-------	------	-------	-------	------	-------	--	--	--	--	-------	-------	-------	--

Plan-de-Phazy

Risoul

Tripier	1838		151,6	140,3	2138,8			7,8	Mn 23,8	474,4	3131,6	2080,8	
---------	------	--	-------	-------	--------	--	--	-----	------------	-------	--------	--------	--

les Suisses

D'Abonnec	1835	6,34	630,8	130	1286	52,8	2			689	2018	1537	22
Gueymard	1853		693,4	109,8	1086,7	5		1,2	271,1	1602,4	1768,1		
Pr Drevon	1947		730		1570,0	43,0				2029,	1500		
Dr LESBROS	1947												
B.R.G.M.	1974		740	90,0	1028,	25,9	2170			634,4	1469,7	1840	21

Analyses anciennes (et récentes)

Document relatif à l'analyse de la Source	Date	Minéralisation totale grs/litre	Cations ou ions +						Anions ou ions -			SiO ₂
			Ca	Mg en	Na mgrs/	K litre	Fe	Al	CO ₃ + HCO ₃ en	Cl mgrs/litre	So ₄ ⁻ litre	

La Rotonde

Gueymard	1853		619,4	221,7	1545,7					408,7	2368,5	1778,4	
Pr Morel	1928		677,3	133,	1569,3	65,7	1,6			911	2443,	1566	24
Dr LESBROS	1946		730		1570	430				2	2290	1500	
B.R.G.M.	1974		658	107	1614,	40				957,7	2328,8	1440	23

Réotier

La Salse

Allemand	1905		535	112	925	50,2	T	1	503	1149	1368	23
B.R.G.M.	9-1973		560	78,5	789	21,6			298,9	1146,6	1450	
B.R.G.M.	12-1974		600	78,3	746	19,1	2170		433,1	1079,2	1120	20

Remollon

Fontaine-de-l'Ecluse

JACQUOT et WILLM (sité à "Remollon")	1896	7,437	2086,3	277,6				46,8	704	2853,7		1363,8	
--------------------------------------	------	-------	--------	-------	--	--	--	------	-----	--------	--	--------	--

Rousset

Serre-Ponçon

Avancement puits	1913		499,8	181,8	2737,7					1132	3947,5	2121,2	(3 %)
puits (recherches)	1913		390,	120,	2700,		31			265	2480	1500	31,

St-Firmin-en-Valgaudemar

Fontaine-sous-la-Roche

Labo ?	1967		44,8	13,87	7,05	05				213,57	2,84	9,6	10
--------	------	--	------	-------	------	----	--	--	--	--------	------	-----	----

St-Pierre-d'Argençon

Font-Vineuse

JACQUOT et WILLM	1896	1,367	363,8	24	31,6					551	19,4	170,4	140
Allemand	1904			50,9	645,4	69,1	9,6			855,1	208,4		20
Col vers 1969	1969	0,170	505,6	38,0	161,5	74,7	1,6			1030,8	103,8	47	11
B.R.G.M.	1974		364,	29,1	147	16	2560			1403,0	120,7	11	12

Saléon

Font-Salée

JACQUOT et WILLM	1896	4,468	153,5	169,5	1303,7					177,2	4995,2	350	
------------------	------	-------	-------	-------	--------	--	--	--	--	-------	--------	-----	--

La Saulce

Font-Salée

JACQUOT et WILLM	1896	2,516	120	11,2	839	4,9				152,9	1367,9		19
Communes	1945		271	46,8							3,54	561,6	
B.R.G.M.	1974		208	47,5	10,2	2,1	≤ 100			314,1	2,5	510	13

Sources dont la position est imprécise.

St Bonnet

Niepce (cité par JACQUOT et WILLM)	1896	0,933	192,4	8,9	98,1					218,2	127,	181,3	
------------------------------------	------	-------	-------	-----	------	--	--	--	--	-------	------	-------	--

Champoléon

Fontaine-de-lait

Dr NIEPCE (cité par JACQUOT WILLM)	1896	0,170	31,6		11,4	3,1				11,5	12,7	22,5 sulfates	
------------------------------------	------	-------	------	--	------	-----	--	--	--	------	------	---------------	--

2.5 - SOURCES ETUDIEES

L'objectif de notre travail était de reconnaître toutes les sources thermominérales et minérales du département mais nous avons été limités dans le nombre d'études complètes des prélèvements.

Il nous a paru nécessaire de revoir les anciennes exploitations thermales de Monétier-les-Bains, 2 sources sur le même site dans la haute vallée de la Guisane et du Plan de Phazy, 2 sources sur le même site, rive gauche de la Durance, une source sur la rive droite dans le même contexte géologique que les 2 précédentes.

Dans le Nord-Ouest du département, deux petites stations d'embouteillage, maintenant abandonnées, à Font-Vineuse, commune de St Pierre-d'Argençon et la Bergère commune d'Aspres-sur-Buech se situent dans un contexte totalement différent et sont froides et peu minéralisées.

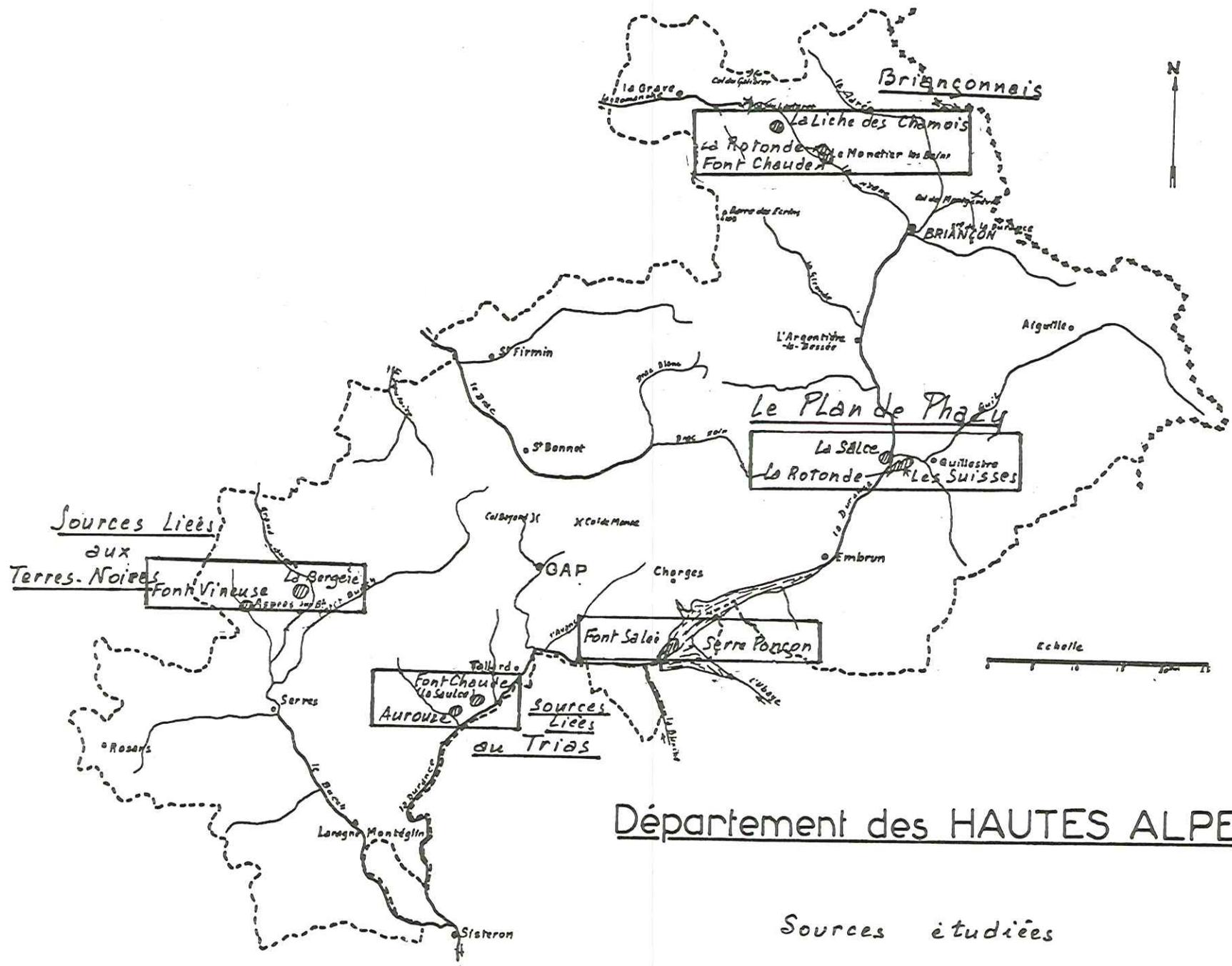
La source de la Liche-des-Chamois à Monétier nous a paru très intéressante par sa température et sa minéralisation.

Dans la vallée moyenne de la Durance, plusieurs sources issues de massifs gypseux, à la base de nappes de chevauchement, paraissent *a priori* intéressantes, avec des températures au-dessus des moyennes locales et très sulfatées :

Le Moulin : Remollon
Font-chaude : la Saulce
Aurouze : Lardier

Quelques sources d'origine triasique du Briançonnais, très séléniteuses nous serviront de comparaison.

Sur le site de Serre-Ponçon et à l'emplacement du barrage une source chaude et minéralisée existait : Font-Salée. Une bonne description en a été donnée par David MARTIN en 1885. Les différents travaux réalisés depuis 1857 en vue de maîtriser le régime de la Durance ont montré des veues thermales dans les puits et galeries de recherches, et dans les sondages récents avec présence d'une nappe thermominérale dans les alluvions. Celle-ci a été bien étudiée lors des reconnaissances en vue de la construction du barrage et les diverses analyses aimablement fournies par E.D.F. ont été utilisées à titre comparatif. Les prélèvements sont désormais exclus sur ce site.



Département des HAUTES ALPES

Sources étudiées

2.6 - PRELEVEMENTS

Dix sources ont été retenues pour des analyses complètes. Les prélèvements sont numérotés à partir du secteur nord-est, le plus élevés, vers le Sud-Ouest, où se trouvent les zones les plus basses du département.

1 - la Liche-des-Chamois	Monétier-les-Bains	1950 m
2 - la Rotonde	"	1502 m
3 - Font-Chaude des Près Bagnols	"	1455 m
4 - les Suisses	Plan-de-Phazy Risoul	890 m
5 - la Rotonde	"	890 m
6 - la Salce	" Réotier	895 m
7 - Font-Vineuse	St Pierre-d'Argençon	791 m
8 - la Bergère	Aspres-sur-Buech	920 m
9 - Font-Chaude	la Saulce	650 m
10 - Aurouze	Lardier-Valança	610 m

Les prélèvements ont été effectués à deux périodes de l'année : novembre 1973 et juillet 1974.

- novembre 1973 : 11 sources avaient été échantillonnées après une longue période de sécheresse ; la source Querlies, commune de Vitrolles n'a pas été analysée

Les dosages des éléments majeurs et des isotopes ont été réalisés aux laboratoires du B.R.G.M. à Orléans.

- juillet 1974 : 25 émergences ont été reconnues et décrites après une nouvelle période de sécheresse. Seules les mesures de température, de débit, de résistivité et de pH ont été faites, les 11 sources vues en 1973 sont comprises dans le bilan.

Différentes analyses réalisées sur des échantillons prélevés par les entreprises lors du chantier de Serre-Ponçon et provenant de sondages de reconnaissance dans les alluvions de la Durance sont prises en considération à titre de comparaison. Elles apportent des précisions fort intéressantes sur une "nappe thermominérale" bien délimitée et bien reconnue grâce à de multiples travaux.

- Puits et galerie 1913
- Profils 47-48 et sondages
- Profils A et D.

La totalité des prélèvements est considérée comme provenant d'une région à régime méditerranéen. Les bassins de réception susceptibles d'alimenter les sources étudiées s'abaissent de 3000 m au Nord-Est à 1000 m dans l'Ouest du département.

TABLEAU		PRELEVEMENTS			novembre 1973				
Commune	Source	n°	date - heure		t° air	t° eau	résistivité ohms/cm	pH	débit estimé
Monétier-les-Bains	la Liche-des-Chamois	1	21.11.73	10h00	4°5	24°	156	7,1	1 l/s
"	Torrent de la Liche	-	21.11.73	10h00	"	5,2°	3000	8,0	0,5 l/s
"	La Rotonde	2	20.11.73	15h30	9,8°	35,4°	255,6	6,4	15 l/s
"	Font Chaude	3	20.11.73	17h00	9°	34,5°	256	7,0	8 l/s
Risoul	les Suisses	4	21.11.73	14h30	7,2°	26,8°	128	6,6	5 l/s
"	la Rotonde	5	21.11.73	15h30	10,2°	27,4°	102	6,4	5 l/s
Réotier	la Salce	6	21.11.73	16h30	12,2°	21,2°	185	6,7	10 l/s
St Pierre-d'Arg.	Font Vineuse	7	22.11.73	17h00	10°	10°	639	5,9	0,2 l/s
Aspres-sur-Buech	la Bergère	8	22.11.73	15h00	10°	10°	497	6,0	0,2 l/s
La Saulce	Font Chaude	9	22.11.73	8h00	4°	16,2°	852	7,7	3 l/s
Lardier	Aurouze	10	22.11.73	10h00	5°	18,8°	312	8,1	1 l/s
Vitrolles	les Querlies	11	22.11.73	13h00	7,2°	9,6°	1846	7,6	2 l/s

3ème PARTIE

3 - ETUDE DES SOURCES

3 - ETUDES DES SOURCES

3.1 - BRIANÇONNAIS

Deux groupes de sources thermominérales sont situées sur ou à proximité de la base des nappes du Briançonnais et de l'Ultradauphinois en relation avec une fracture de socle perpendiculaire au front de ces nappes.

Région de Monétier-les-Bains

- source de la Liche-des-Chamois
- Sources de Monétier - la Rotonde
 - Font-Chaude

Région du Plan-de-Phazy

- Sources de Risoul
 - la Rotonde
 - les Suisses
- Source de Réotier
 - la Salce

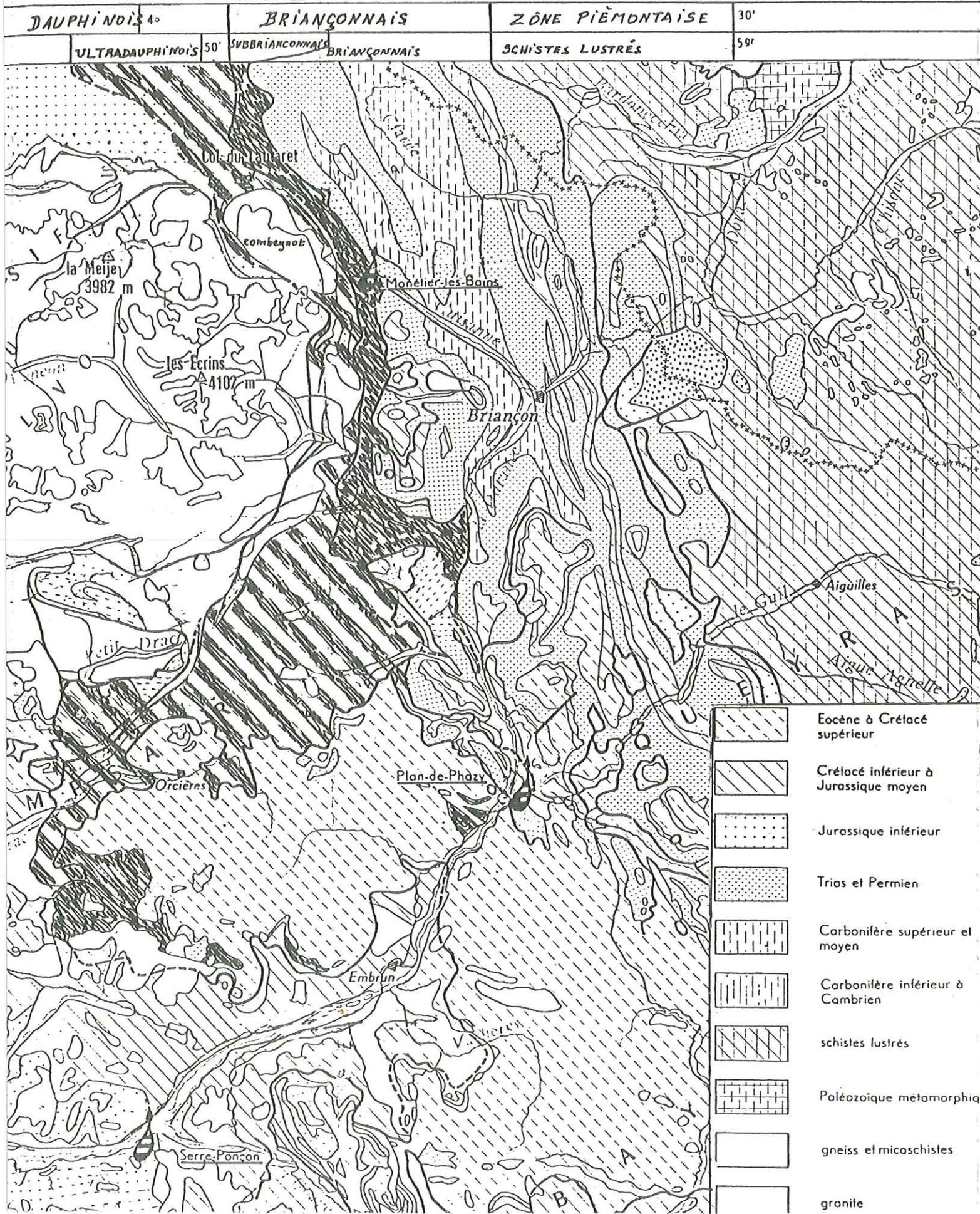
Les deux groupes sont séparés par d'importants massifs montagneux, et seul un alignement de sources "ordinaires" relie ces émergences situées en fond de vallées.

Les vallées de la Guisane, puis de la Durance empruntent des dépressions d'origine tectonique recoupant souvent les ensembles structuraux régionaux.

BRIANÇONNAIS

SCHEMA STRUCTURAL

Echelle 1/320000ème

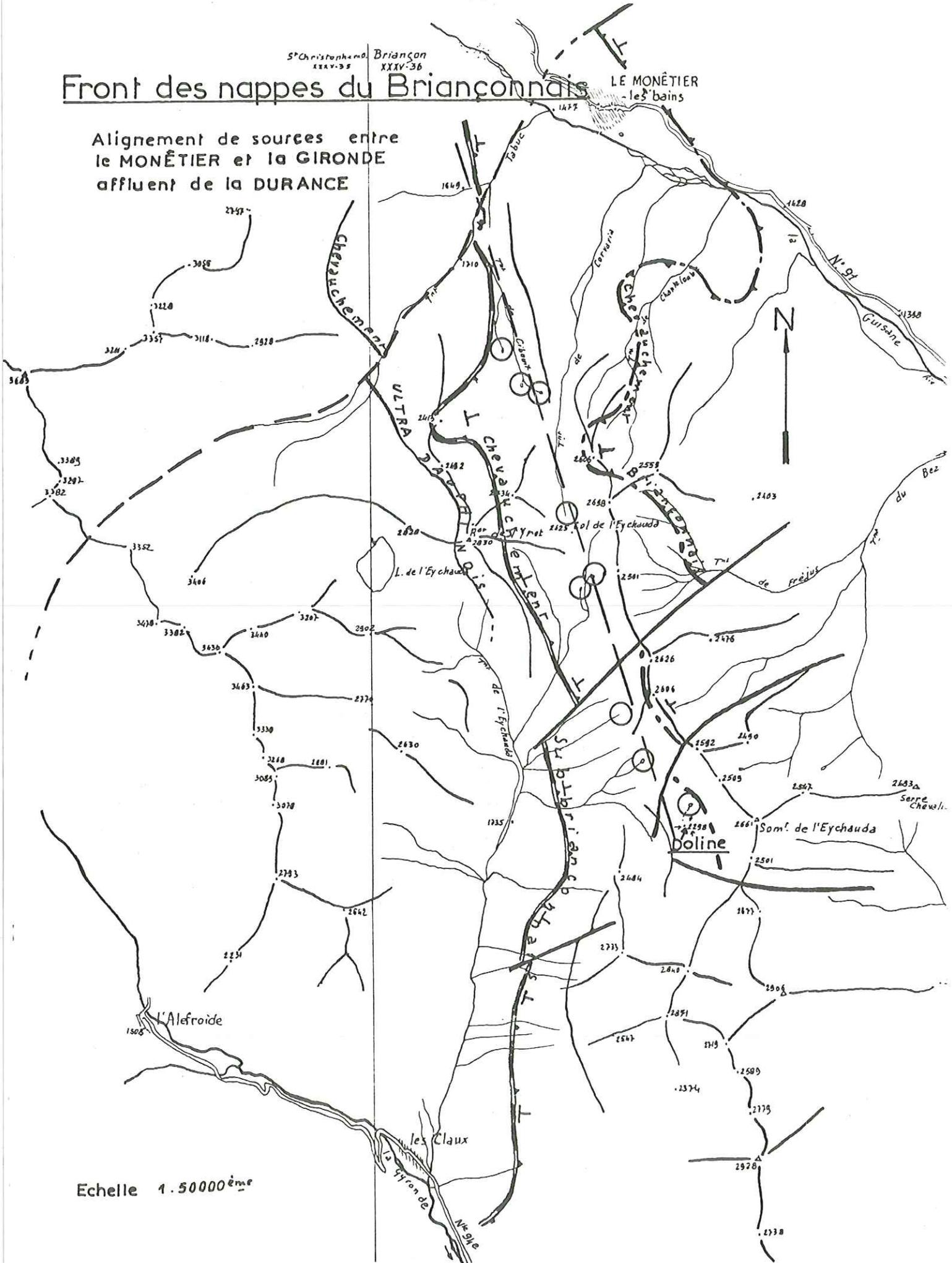


- Ecène à Crétacé supérieur
- Crétacé inférieur à Jurassique moyen
- Jurassique inférieur
- Trias et Permien
- Carbonifère supérieur et moyen
- Carbonifère inférieur à Cambrien
- schistes lustrés
- Paléozoïque métamorphique
- gneiss et mioschistes
- granite

S^t Christophe
1847-35
Briançon
XXIV-36

Front des nappes du Briançonnais

Alignement de sources entre
le MONËTIER et la GIRONDE
affluent de la DURANCE



Echelle 1:50000^{ème}

3.1.1 - Région de Monétier

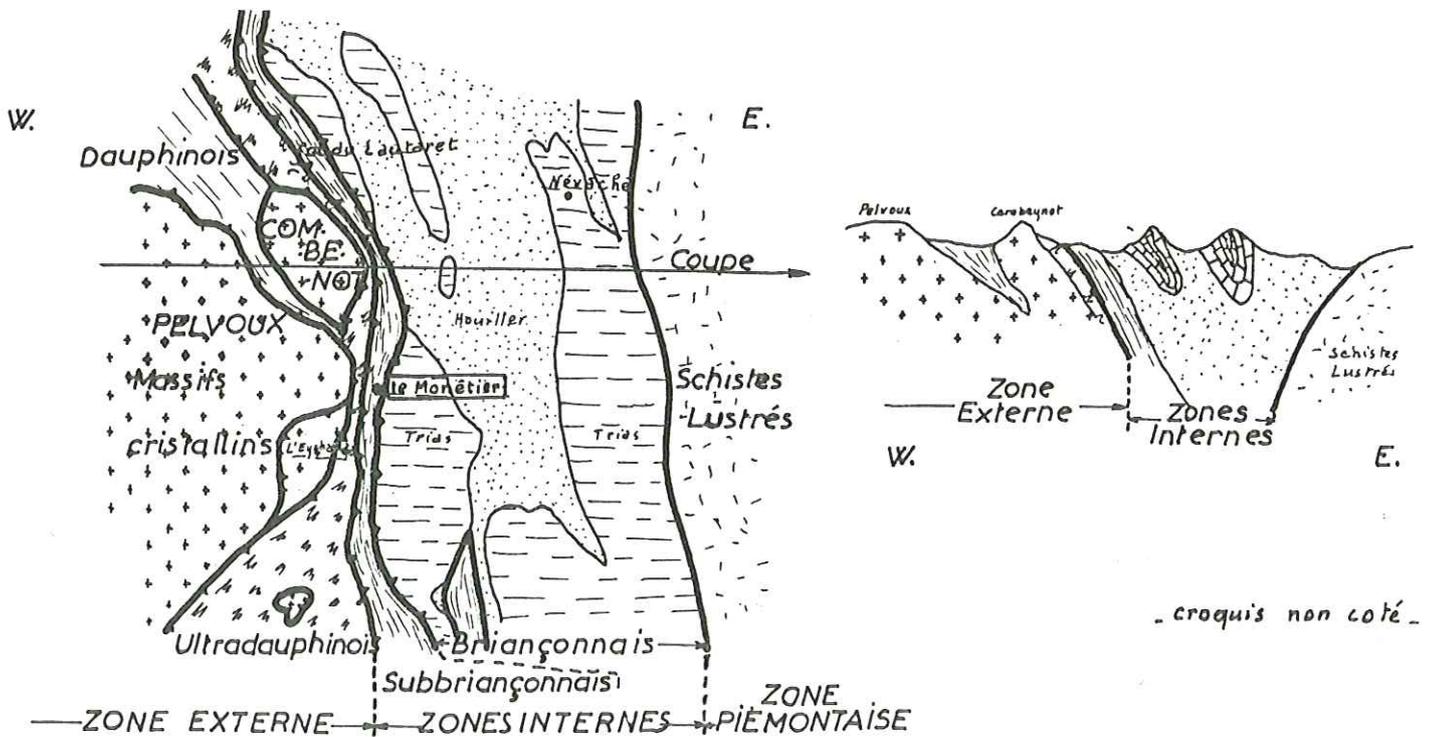
Sur la commune de Monétier, la haute vallée de la Guisane recoupe le front de différentes nappes, l'Ultradauphinois, le Subbriançonnais et le Briançonnais. Elle offre diverses manifestations d'émergences minéralisées :

Ce sont du Nord vers le Sud, les dépôts de tufs ferrifères de part et d'autre du col du Lautaret avec les eaux minéralisées, froides de l'Ultradauphinois.

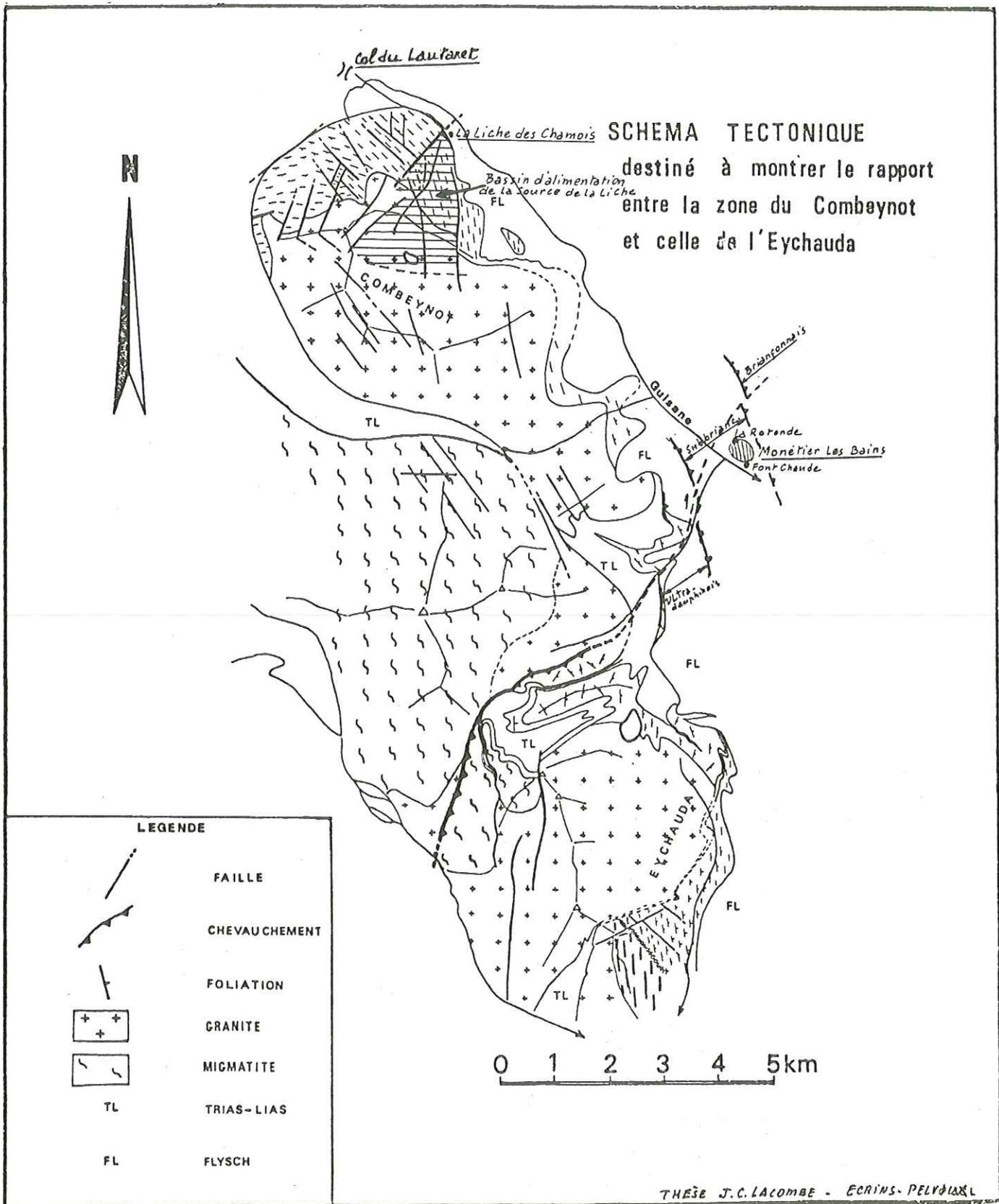
Puis sur la rive droite, sur le flanc Est du massif du Combeynot la source thermominérale de la Liche des Chamois jamais exploitée, au contact de l'Ultradauphinois et du socle cristallin.

A Monétier, un massif de "tufs" calcaires au milieu de la vallée supporte le village. Sur la bordure nord du massif de "tufs" naît la source de la Rotonde ; au Sud et au pied du village apparaît la source de Font-Chaude-des-Près-Bagnols. On se trouve là dans les assises du subbriançonnais dominé à l'Est par le briançonnais.

La vallée rectiligne se poursuit vers Briançon en recoupant obliquement le front du Briançonnais et les unités qui le constituent : Houiller, Trias.



GÉOLOGIE du NORD-EST du DÉPARTEMENT



3.1.1.1 - La-Liche-des-Chamois n° 1

Position : 1/50 000, La Grave n° 8, x : 922,94, y : 311,09, z : 1975 ;
(2 sources à quelques mètres l'une de l'autre, au même niveau)
Source nord t° 24,5°, pH 6,85, résistivité 190 ohms/cm

en mg/l : Ca 554, Mg 136, Na 994, K 40,5,
HCO₃ 454,4, Cl 862,6, SO₄ 2600, NO₃ 9,
F 1,35, S₂ 11,5, SiO₂ 44, Li 1,6, Fe 5,4 -

Source Sud : t° 22°, pH 6,7, résistivité 180 ohms/cm.

Les deux griffons de la source sont situés de part et d'autre d'une plate-forme, à la même cote, à la base d'un important massif gréseux conglomératique attribué au Priabonien. Les eaux déposent un cône calcaréo-ferrugineux dans les éboulis qui descendent jusqu'au niveau de la Guisane -à 1770 m- Ceux-ci masquent en grande partie les différentes formations de l'Ultradauphinois, redressées sur le massif ancien du Combeynot.

La plate-forme des sources est située sur la rive droite du torrent de la Liche, débouché d'un ancien glacier maintenant remplacé par des éboulis meubles. Dans le lit du torrent aucune source ou suintement n'apparaît au niveau des sources de la Liche ou même plus haut au niveau de la semelle à lambeaux triasiques de la base de l'Ultradauphinois sur le socle.

Le vallon ouvert vers le Nord-Est et très étroit, a de 100 à 300 m de large. Il est limité sur sa rive droite par une falaise rectiligne correspondant à une fracture dont le panneau sud est relevé.

Les pics de Combeynot (3145,3 m) dominent les grands éboulis qui débutent vers 2900 m.

Ce vallon pierreux recoupe les formations suivantes du sommet vers la base :

Pics de Combeynot : granite rose à grands éléments daté du Viséen supérieur (330 à 310 MA), intrusif dans une série volcano-sédimentaire, formée de porphyroïdes arkosiques, de gneiss, de tufs rhyolithiques à rubanements micacés, recoupés de bancs massifs de rhyolites saines formant des reliefs importants dans la pente d'âge dévono-dinantien (thèse J.C. LACOMBE 1970, Grenoble, "Etudes pétrographiques de la partie orientale du massif Ecrins-Pelvoux". Le complexe volcano-sédimentaire).

A quelques cent mètres au Sud, sur un replat Priabonien, situé environ 50 m plus haut que les sources minéralisées, des sources abondantes, froides, non minéralisées coulent dans des prairies, sans caractéristiques communes avec la Liche. Ces sources ressemblent, par leurs températures, leurs pH et leurs résistivités à la source de la Guisane, au-dessus de la bergerie des Couchettes, (Col du Lautaret),

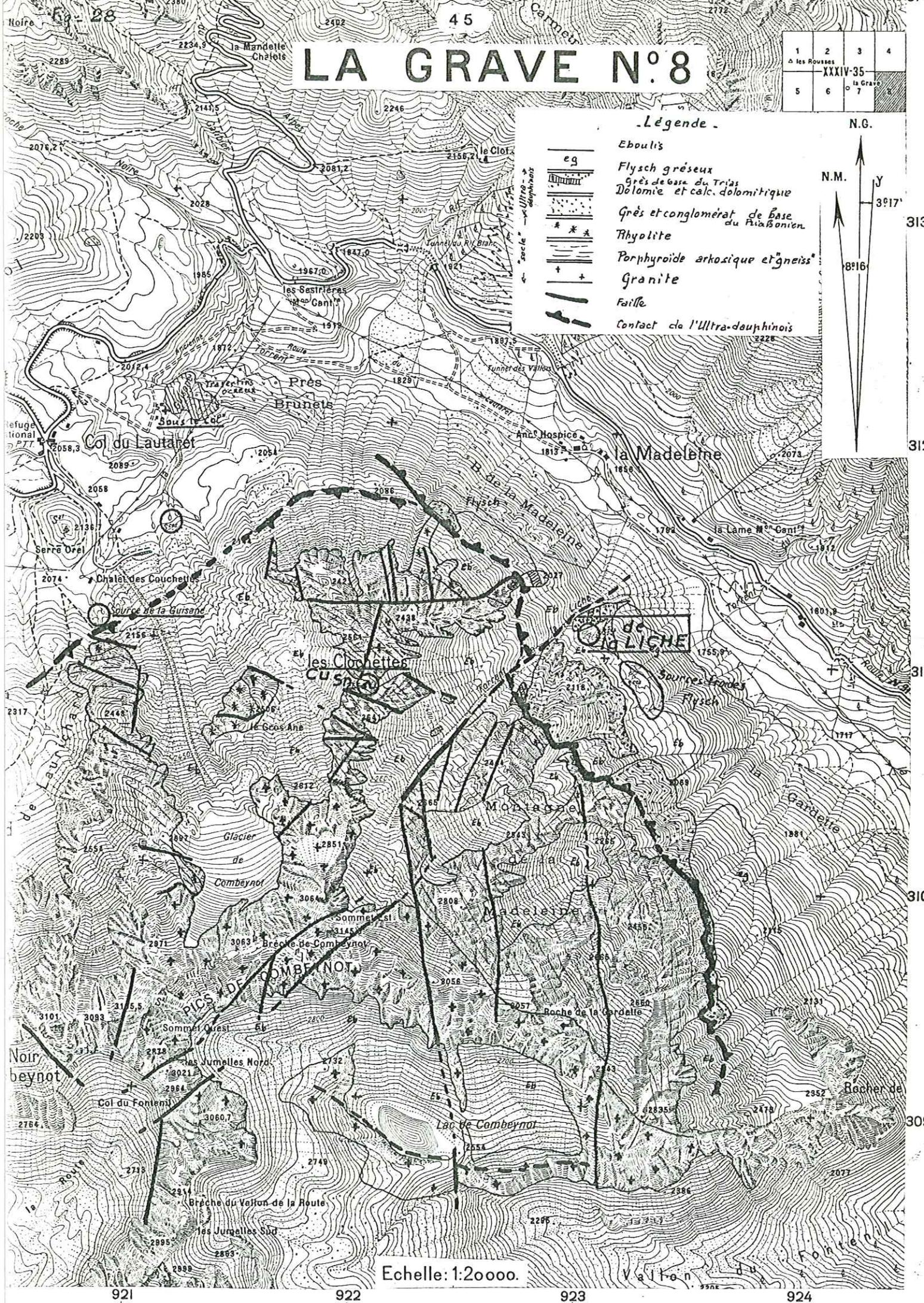
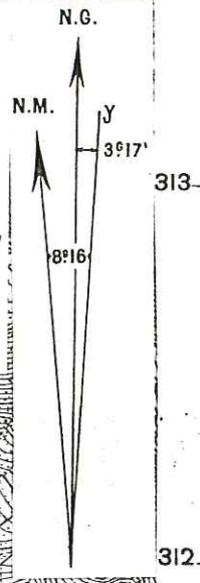
Position : la Grave n° 8, 1/20 000, x 920,75, y 311,04, Z 2100.
Au 17.07.74, t° de l'eau 3°, pH 7,6, résistivité 12 000 ohms/cm.

LA GRAVE N°8

1	2	3	4
XXXIV-35			
5	6	7	8

Légende

- Ecoulements
- Flysch gréseux
- Grès de base du Trias
- Dolomie et calc. dolomitique
- Grès et conglomérat de base du Trias
- Rhyolite
- Porphyroïde arkosique et gneiss
- Granite
- Faille
- Contact de l'Ultra-dauphinois



Echelle: 1:20000.

Seules les eaux de la source nord de la Liche des Chamois ont été analysées. La résistivité de 140 ohms/cm à 20° place cette source parmi les plus minéralisées du département. Les teneurs en sulfates et en chlorures sont élevées. Ce sont les eaux les plus magnésiennes de la région.

Il est regrettable que l'alumine n'ait pas été dosée car cette donnée nous aurait permis de déceler une éventuelle hydrolyse des feldspaths et des autres minéraux du granite qui s'accompagnerait d'une libération de fluor, de lithium et de fer que les eaux contiennent en abondance, ceci à un degré variable avec la température atteinte en profondeur.

Les résultats des analyses isotopiques en tritium dans les eaux (4 U.T.) montrent des valeurs anormalement faibles et nous pouvons considérer les eaux analysées comme antérieures aux retombées de tritium des années 1952-53. Des infiltrations locales d'eaux de surface se mélangeant aux eaux d'origine profonde, peuvent expliquer la présence d'un peu de tritium dans l'eau prélevée à l'émergence.

Une première hypothèse était de considérer ces eaux comme l'émergence de circulations d'origine profonde et lointaine venant de régions septentrionales (Col du Lautaret), à la faveur d'un plan de chevauchement. Cette origine pouvait être confirmée par leur température élevée et leurs minéralisations de type triasique.

Quatre autres hypothèses sont par ailleurs justifiées :

a - les eaux auraient cheminé longtemps et très profondément à l'abri d'apports "récents". Cette hypothèse est peu vraisemblable car les eaux devraient être très minéralisées et de température très élevée.

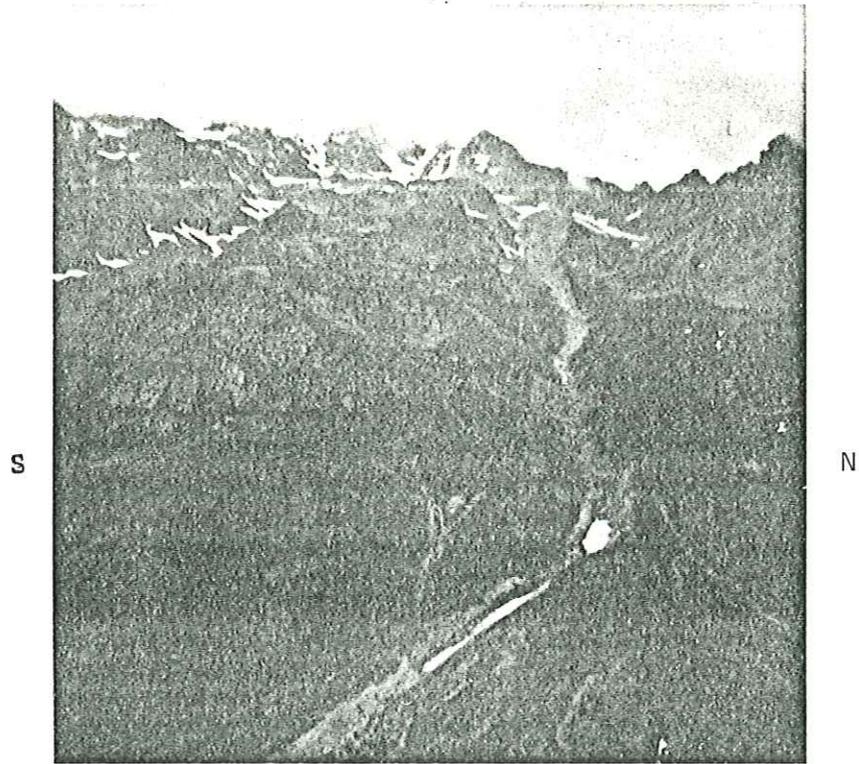
b - les eaux auraient cheminé très lentement à la suite d'un enfouissement "profond" dans les moraines et éboulis du vallon de la Liche (dénivelée de plus de 1000 m) mais alors les minéralisations ne seraient pas importantes.

c - les eaux de la source de la Liche-des-Chamois pourraient être des "eaux reliques" provenant de masses de glace encore enfouies sous des éboulis rocheux du sommet du vallon, masses solides protégées des influences extérieures par des niveaux argileux ou fins, parallèles à la topographie du vallon.

(Il faut signaler que ce vallon, encaissé entre d'importantes falaises, a son ouverture vers le Nord-Est, donc à l'abri des vents dominants et reçoit de ce fait des masses d'eau ou de neige, relativement peu importantes et des eaux moins tritiées : sécheresse estivale).

Devant l'hypothèse de la présence d'un glacier fossile à l'amont des sources, il a été envisagé le dosage de l'isotope ^{14}C afin de déterminer l'âge d'éventuelles "reliques glaciaires", mais comme cet âge serait de quelques centaines d'années au maximum, les résultats n'auraient pas été probants et l'étude a été abandonnée.

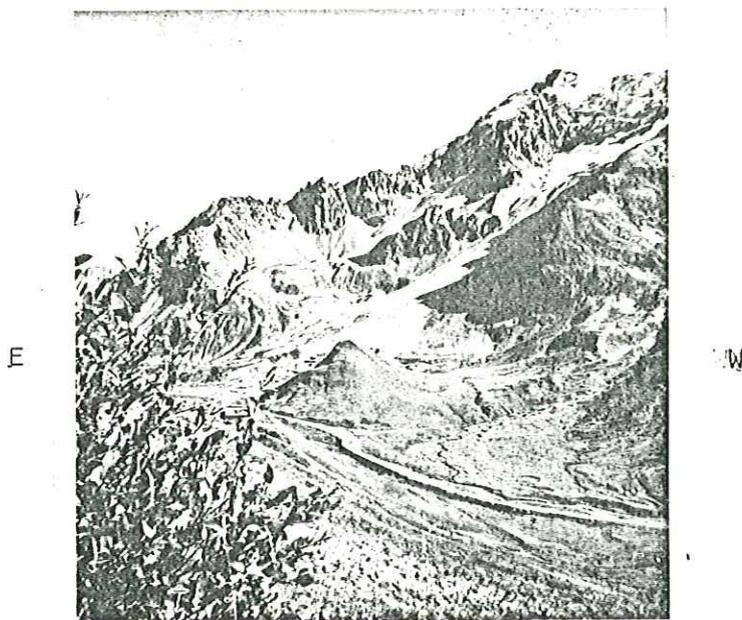
d - Le débit des sources dépasse largement, sur plus de 25 ans au minimum la "réserve" glaciaire possible dans le haut vallon. Il devrait être canalisé par la fracture de la rive droite du vallon, et les eaux devraient réapparaître dans le torrent de la Liche.



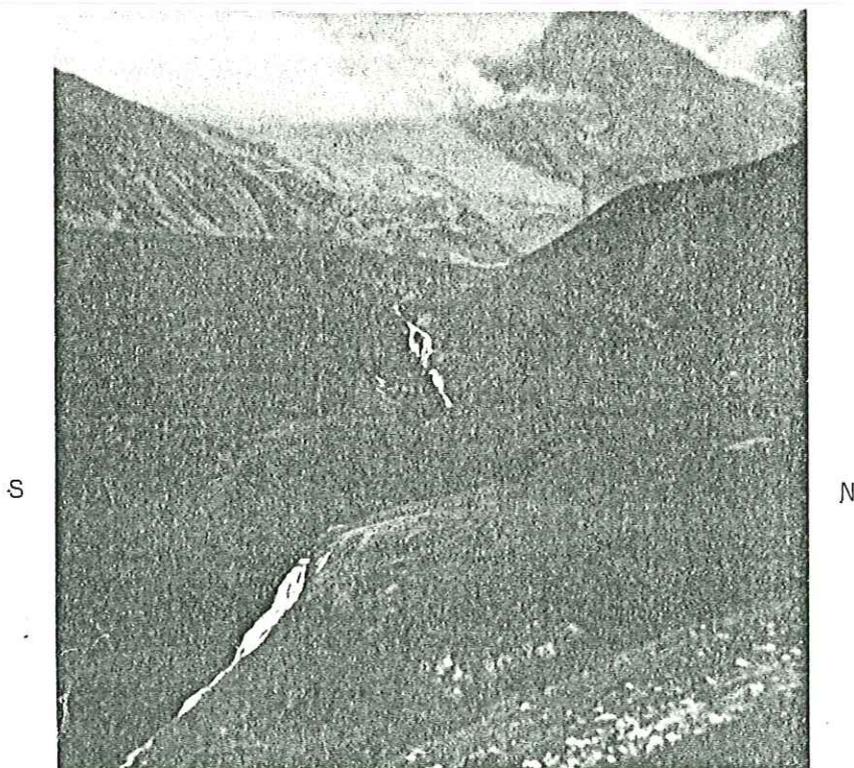
Site de la Liche des Chamois - vue de RN91
entre Monétier les Bains et le Col du Lautaret.
A l'arrière plan le massif du Combeynot.
Au centre ravin de la Liche.



Vue de la source Sud vers la source Nord.
Au fond la vallée de la Guisane et la
route RN 91 vers le col du Lautaret.



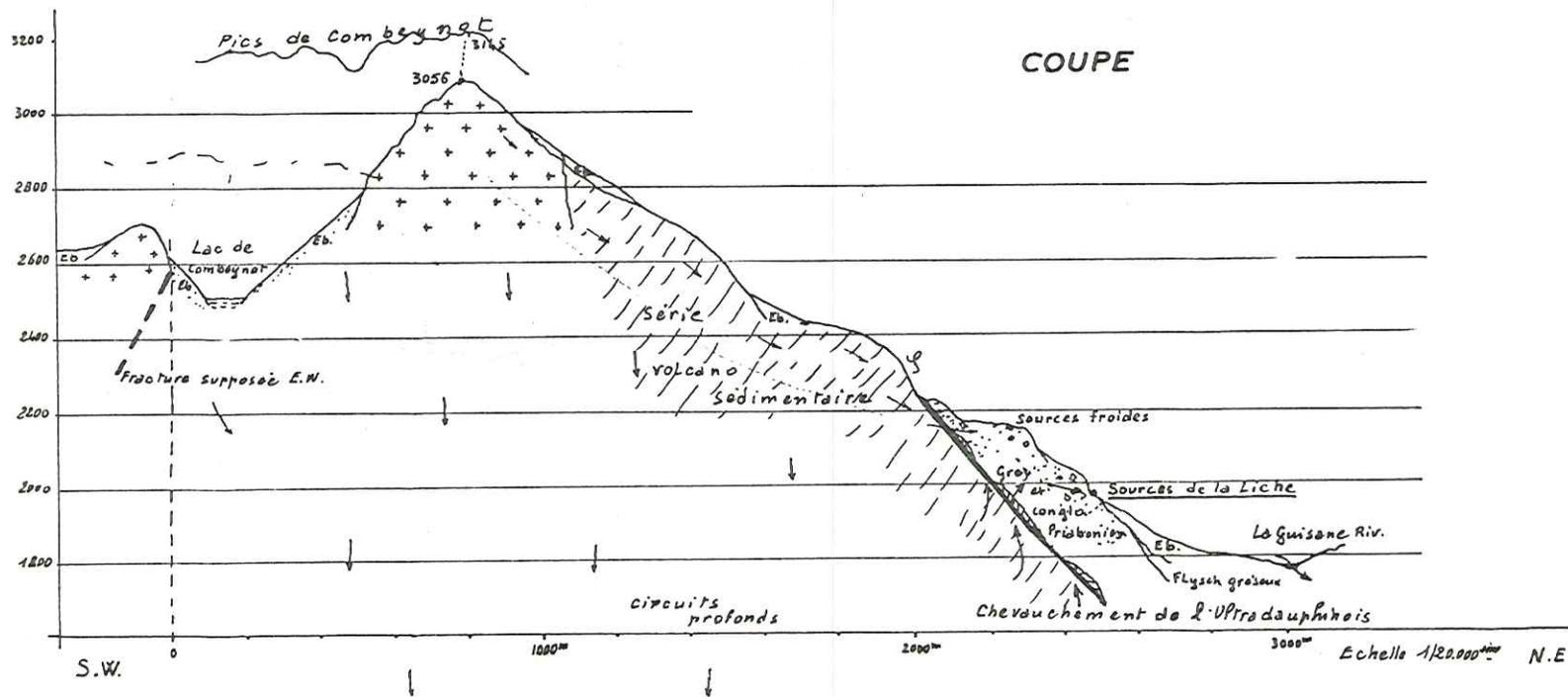
Source de la Guisane sur la face Nord
du massif du Combeynot - Route N91
vers le col du Lautaret. à gauche
vue de la route du Galibier.
x820,75 y311.04 z2100



Massif de "tufs" ferrugineux.
Au fond face Nord du massif du Combeynot
et le glacier pierreux.
A l'extrême droite Col du Lautaret.
x8211,00 y312,00 z1970

MONETIER les BAINS

la LICHE des CHAMOIS



Or, le débit paraît constant à l'échelle de plusieurs années et si en novembre 1973 il s'abaissait à 1 l/s, fin juillet 1974 il atteignait de 5 à 7 l/s et l'eau s'écoulait sur le cône de dépôts ocreux pratiquement jusqu'à sa base en s'infiltrant progressivement (débit maximal). Ces différences de débit pourraient provenir de la mise en charge de la partie supérieure du système et il serait alors nécessaire d'étendre la zone d'alimentation à une zone beaucoup plus vaste bien que des crêtes importantes, culminant au-dessus de 3000 m, limitent le bassin versant.

La structure du massif du Combeynot, bien étudiée par J.C. LACOMBE (1970), montre une fracturation importante tant dans le granite que dans la série volcano-sédimentaire suivant deux directions : Nord-Sud \approx et Nord-Est/Sud-Ouest. Les mêmes fractures reconnues sur le flanc nord-est du Combeynot - Montagne de la Madeleine - se retrouvent sur le flanc sud dans le haut vallon du Fontenil. Les pics de Combeynot et la crête est qui leur fait suite vers la vallée de la Guisane, dominant de vastes éboulis à la base desquels une dorsale parallèle de direction est-ouest retient un lac : le lac de Combeynot à la cote 2554 m. Il faudrait voir dans cette disposition une réplique de la faille est-ouest qui limite le massif de Combeynot vers le Nord : et qui serait liée au plissement arvinche daté du Crétacé supérieur-Paléocène.

Il est possible que les eaux recueillies dans ce haut vallon exposé au Sud : sur une superficie approximative de 0 km² 750, s'écoulent, drainées par les fractures de direction nord-sud, d'abord dans le granite, puis au-delà de la crête, dans la série volcano-sédimentaire de la montagne de la Madeleine dont la surface est d'environ 2 km² \approx .

L'écoulement des eaux souterraines serait alors arrêté par une (ou des) fractures de direction nord-est/sud-ouest, en bordure du vallon pierreux de la Liche et par la base du chevauchement de l'Ultradauphinois à lames de Trias basal. Elles trouveraient alors un exutoire dans les niveaux gréseux et conglomératiques du Priabonien.

La fracture de la bordure sud à la base du vallon de la Liche, est un accident du socle dont le panneau sud est relevé. Cette fracture qui affecte les formations Utradauphinoise se perd rapidement dans la vallée de la Guisane.

- il apparaît alors un circuit d'écoulement très lent - dans de fines fissures - qui caractérise cette source, exutoire de deux bassins versants. L'abondance des sulfates, liée à la faible teneur en tritium milite en faveur de cette hypothèse. L'enfouissement des eaux peut être important. Il permet d'expliquer une thermalité atteignant 24°, grâce à l'absence de mélange avec les eaux de surface.
- la valeur de δ^{18} = -13,8, correspond à l'altitude moyenne reconnue des précipitations dans le haut vallon de la Liche et dans le haut vallon du Fontenil \approx 2700 m. Il paraît alors difficile de rechercher l'origine de ces eaux dans une autre région ; l'emplacement de l'émergence sur le flanc d'une montagne isolée à partir de l'altitude de 2050 m (au Nord : col du Lautaret, au Sud : col d'Arsine, à l'Ouest la Romanche) l'interdit totalement.
- la valeur de $\delta^{34}\text{S}$ = +15 caractérise des eaux ayant lessivé les évaporites du Trias. Le lent cheminement au travers du massif aboutit à la base d'une nappe à semelle triasique. Le lessivage des évaporites s'effectue de bas en haut, en dehors des niveaux superficiels et les eaux émergent dans un niveau sédimentaire Eocène, cependant très proche de la base de la nappe.

Conclusions

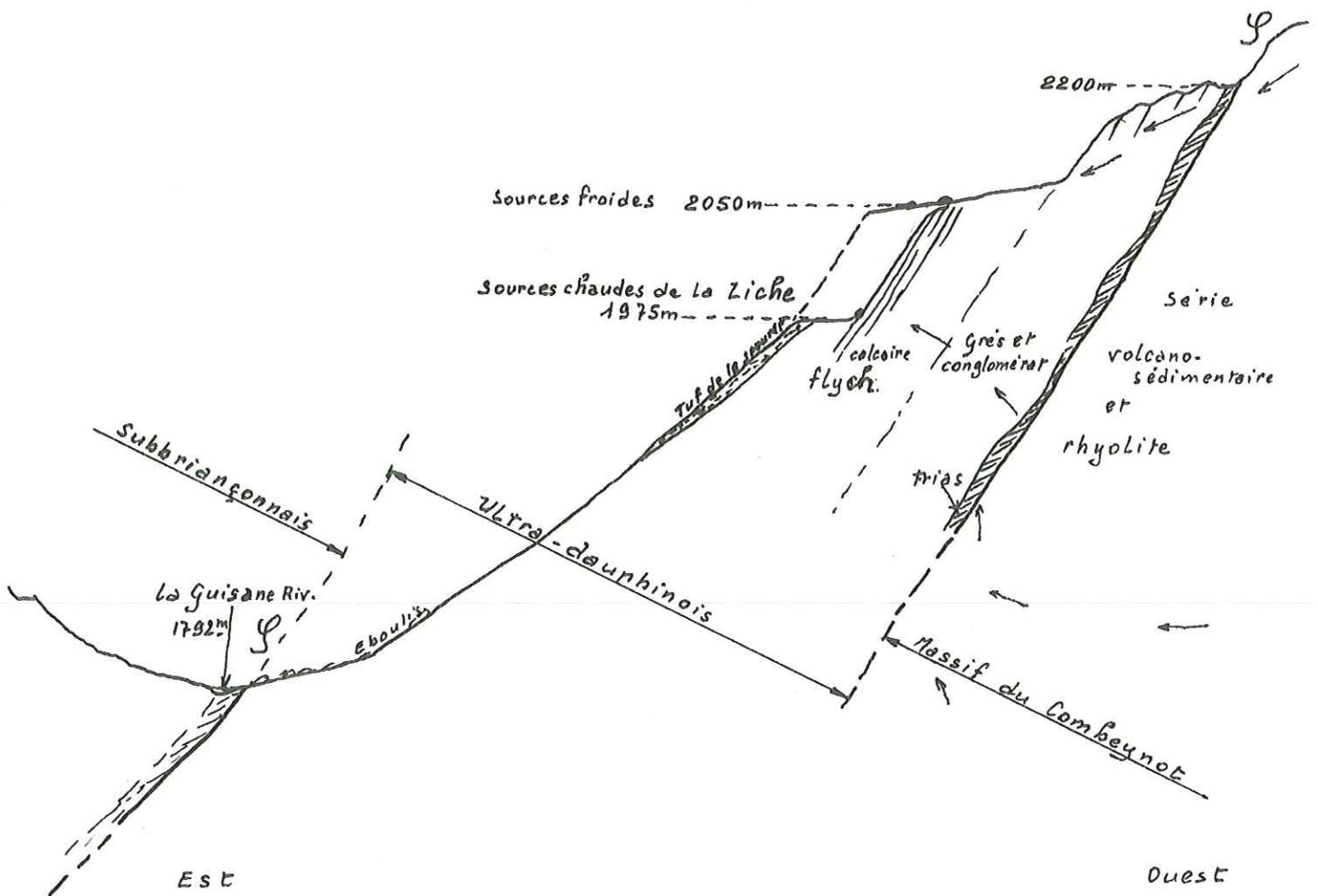
Les eaux thermominérales de la Liche-des-Chamois émergent à grande altitude à proximité d'un contact anormal des sédiments Ultradauphinois sur le massif cristallin et ancien du Combeynot. Ce massif étant isolé, les eaux thermales ne peuvent avoir qu'une origine locale. Le bassin d'alimentation situé à grande altitude est alimenté par des eaux froides ou nivales. La température enregistrée aux griffons ne peut être acquise que par un enfouissement profond et lent.

Il est intéressant de noter la possibilité de deux circuits distincts superposés topographiquement.

1 - sources émergeant au-dessus de la Liche cote 2050 m ≈ (source de la Guisane : col du Lautaret 2100 m ≈), lessivage superficiel.

2 - source de la Liche cote 1975 m lessivage profond.

Altitude	Source de la Guisane	Source au-dessus de la Liche	Source de la Liche-des-Chamois	
			griffon sud	griffon nord
	2100 m	2050 m	1975 m	
t°	3°	identique (non mesurée)	22°	24,5°
pH	7,6	très acide	6,7	6,85
résistivité	12000 ohms/cm	" "	180 ohms/cm	190 ohms/cm
débit	15 l/s	> de 15 l/s	débit total = 5-6 l/s	



croquis non coté

Sources de la Ziche des Chamois
et les sources froides

3.1.1.2 - La Rotonde - Font-Chaude
Commune de Monétier-les-Bains

La Rotonde n° 2 au Nord du village

Position 1/50 000 Briançon n° 1 x 928,75 ; y 305,89 ; z 1502 (prélèvement dans le canal à la sortie du bâtiment)

t° 30°, pH 6,45, résistivité 410 ohms/cm (1974)

en mg/l : Ca 492, Mg 50, Na 224, K 14
HCO₃ 497,1 Cl⁻ 333,7, SO₄ 1100, NO₃ 4,7,
F 1,35, S₂ 7,8, SiO₂ 23, Li 0,69, Fe 0,29.

Font-Chaude n° 3, au Sud et au pied du village, niveau de la Guisane

Position 1/50 000 Briançon n° 1, x 929,17 ; y 305,37 ; z 1455

t° 37°, pH 6,55, résistivité 350 ohms/cm (1974).

en mg/l : Ca 514, Mg 55, Na 260, K 15,4
HCO₃ 451,4, Cl⁻ 351,4, SO₄ 1180, NO₃ 6,2,
F 1,5, S₂ 8,7, SiO₂ 25, Li 0,72, Fe ≤ 100.

Monétier-les-Bains, Monestier-de-Briançon avant le décret de 1894, est construit sur un massif de "tuf" calcaire, dans la large vallée de la Guisane, affluent rive droite de la Durance sur la route nationale n° 91, qui relie Grenoble à Briançon par le col du Lautaret, puis vers l'Italie par le col de Montgenève.

Les romains, certainement après d'autres occupants du territoire, exploitaient cette station mais on n'y a pas, jusqu'à ce jour, rencontré d'objets antiques* ou de constructions de cette époque. Cette station est inscrite sur la carte de Peutinger sous le nom de Stabatio, que le géographe de RAVENNE orthographie Savatio.

En 739, dans le testament d'Abbon, le Monétier figure sous le nom d'*Aque Leve* attestant que les sources étaient appréciées.

Le nom de Monastérium apparaît dès 1020 en raison de la fondation d'un prieuré de moines de la Novalaise.

Au XVème siècle, dans la chronique de la Novalaise, il est encore question de ces eaux bienfaisantes. En 1756 on parle de la station balnéaire de Monétier-les-Bains. Une requête des habitants nous apprend que plusieurs sources "d'eaux vives et minérales restées ensevelies dans le centre de la terre et qui ne se montraient que pendant deux mois de l'année" avaient été captées et réunies en l'année 1715. Les eaux deviennent plus abondantes et plus tièdes et un établissement de bains fut construit. Les propriétaires demandaient sa transformation en hôpital militaire.

L'aménagement des bains ne paraît guère avoir progressé depuis deux siècles et leur installation demanderait de sérieuses améliorations. Ce sont Joseph BERTRAND docteur en médecine et Alexis CAFFER, maître apothicaire, tous deux nés et résidant dans le pays, qui firent construire le petit établissement des bains tel qu'il existe encore aujourd'hui. Une transaction de mars 1715 passée entre eux et la commune de Monétier leur accordait la propriété de la source des Près-Bagnols (Font chaude) sous réserve de faire construire et alimenter un bassin particulier qui serait la propriété des habitants du lieu et destiné à leur usage seul.

Les propriétaires de l'établissement déjà existant accordaient à leurs concitoyens la faculté de venir se baigner chez eux sans rétribution en attendant la réalisation de leur promesse. Cet usage subsiste encore, le réservoir projeté n'ayant pas été construit.

Un document de 1867, nous apprend que le propriétaire de l'époque, Pierre-Antoine ARMAND, se voit accorder un polygone de protection de fouilles de 101051,25 m² pour les sources de Font Chaude.

Depuis le mémoire de 1835, le petit établissement, s'il a gardé dans sa partie centrale, son allure de 1736, a été, toutefois agrandi. On peut compter maintenant 6 bassins ayant chacun sa source propre. Ceci, pour la bonne raison, que chaque piscine est construite sur la source. L'établissement comporte, en plus, deux baignoires et une douche alimentée directement par un bassin.

Cette installation vétuste n'est pas à notre avis très utile car, lors du pompage, l'eau se refroidit et ne peut que perdre de son efficacité tandis que dans les piscines l'eau se renouvelle sans cesse (débit 4 l/s en été). L'établissement est bâti sur un terrain de près 5000 m².

De nos jours, de nombreuses personnes atteintes de rhumatismes, d'arthrite ou de certaines maladies de peau viennent trouver le soulagement de leurs maux dans les bains des Près-Bagnols. Ces eaux possèdent également de réelles vertues cicatrisantes**.

Les deux sources anciennement exploitées à Monétier, coulent l'une au Nord, l'autre au Sud du bourg. Leurs débits subissent d'importantes variations aux époques de pluies et fonte des neiges.

La source du Nord : Source de la Rotonde ou Près-Bagnols appartient à la commune. Elle a, d'après E. GUEYMARD -1830- "Sur la minéralogie et la géologie du département des Hautes-Alpes".

Un débit de 80 l/mn à une température de 40°C, et était surtout employée en boisson. Cette source très abondante est reçue dans un grand réservoir circulaire abrité d'un toit de chaume. C'est dans ce réservoir que les malades vont prendre leurs bains. Ces eaux sont ensuite canalisées et alimentent la roue d'une forge où elles arrivent encore fumantes.

***La source du Sud : source de Font chaude ou Thermale est aux mains d'un particulier. Elle est surtout utilisée pour les bains : XIXème siècle. Elle a un débit de 70 l/mn à une température de 42°C.

** Brochures éditée par le propriétaire de la Source 07.1974.

*** Dans la brochure précitée existe la confusion des deux sources Font chaude-Près Bagnols.

De E. GUEYMARD = le bâtiment qui est en mauvais état, deux piscines, l'une pour les hommes, et l'autre pour les femmes.

La meilleure description recueillie sur l'activité de ces sources date de 1863 "Itinéraires du Dauphiné - Drôme - Pelvoux - mont Viso - Vallée Vaudoises" par Adolphe JOANNE p.131.

Deux sources thermales connues peut être depuis l'époque romaine jaillissent près du Monétier. Une chronique écrite au XIème siècle parle d'un établissement thermal qui aurait existé depuis une époque reculée, mais les vestiges de ces anciens thermes auraient complètement disparu lorsqu'au commencement du 18ème siècle on éleva deux établissements thermaux d'une simplicité toute rudimentaire, l'un sur la source du Midi ou Font-chaude, l'autre sur celle du Nord -ou Rotonde-. Pendant tout le cours du 18ème siècle les eaux du Monétier furent très fréquentées surtout par les militaires malades, de la garnison de Briançon. Mais les propriétaires des thermes n'ayant apporté aucun soin à l'entretien de leurs modestes établissements, ceux-ci se dégradèrent de plus en plus et vers 1856, ils étaient à peu près en ruines. Dix huit malades allaient cette année demander la santé aux eaux de -Briançon-. Enfin sur l'emplacement des anciennes constructions de Font-Chaude, Messieurs ARMAND et BRUN ont élevé un établissement spacieux et bien distribué où 150 malades sont traités chaque année.

Pendant les jours de l'été, l'établissement du Monétier devient le rendez-vous de la bourgeoisie briançonnaise. En 1862, l'affluence des baigneurs a dépassé les prévisions. La source de Font Chaude est la seule qui soit utilisée en bains. On prend l'eau de la Rotonde en boisson.

Les boeufs et les chevaux sont très avides de cette eau. L'annuaire des Eaux Minérales de France, range les source du Monétier parmi les salines fraîches. M. DURAND-FARDEL les classe parmi les sulfatées calcaires. Elles sont bonnes aussi pour les embarras gastriques et particulièrement recommandées pour les paralysies et les fractures.

Ces eaux sont considérées par L. MORET comme chlorosulfatées, calcaïques et sodiques, identiques aux eaux du Plan de Phazy.

Les sources de Monétier : la Rotonde et Font chaude ont été autorisées par les arrêtés préfectoraux du 03.06.1808 et du 03.06.1880, autorisation suspendue par un arrêté ministériel du 15.10.1957.

GEOLOGIE

Le site de Monétier-les-Bains se situe dans la zone subbriançonnaise, entre l'Ultradauphinois à l'Ouest, et le Briançonnais à l'Est, dans la plaine alluviale de la Guisane. La dépression suivie par la Guisane recoupe au Sud de Monétier, aux Guibertès, le front du Briançonnais qui entaille le Trias et le Houiller jusqu'à Briançon.

Les chevauchements des nappes du Subbriançonnais et du Briançonnais qui sont de direction N.NW/S.SE., se retrouvent tant au Nord sur la rive gauche de la Guisane, qu'au Sud sur la rive droite. D'importantes masses de gypse, bien visibles sur les deux flancs de la vallée, lubrifient la base de celles-ci.

A l'amont de Monétier, une fracture perpendiculaire au front des nappes de direction nord-est/sud-ouest, affecte toutes les formations. Sur la rive gauche de la Guisane, le front du Briançonnais est recoupé par la fracture. Le panneau sud-est est relevé et déplacé vers le Sud-Ouest. A-delà, vers l'Est, la fracture disparaît dans le houiller et le Trias.

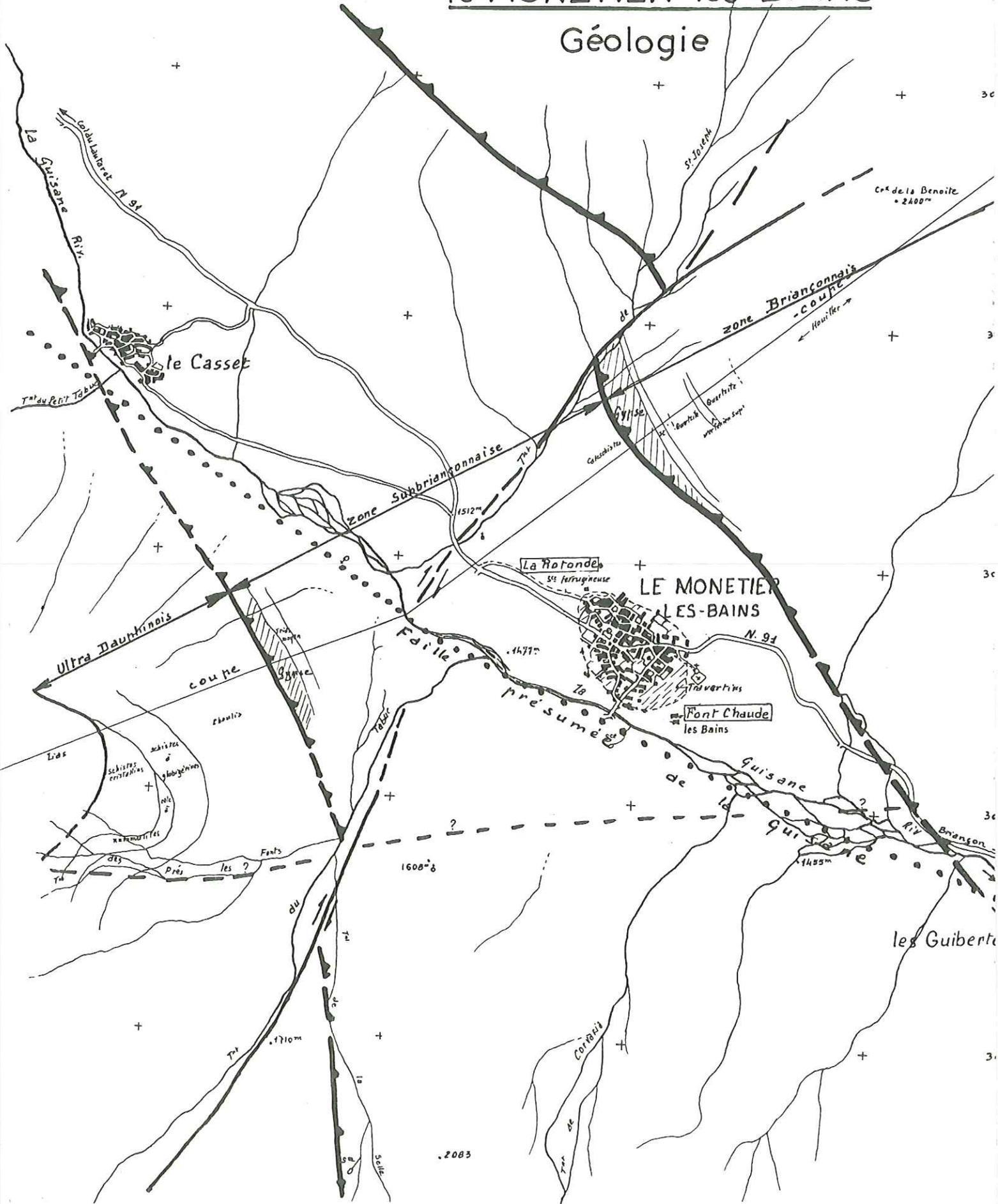
Sur la rive droite, le Subbriançonnais et l'Ultradauphinois sont affectés dans les mêmes proportions.

Vers le Sud-Ouest, la fracture se poursuit et est empruntée par le torrent de Tabuc qui correspond à un important accident de socle visible jusque dans la vallée d'Aile Froide.

Il ne serait pas impossible qu'un accident ancien de direction est-ouest, lui même recoupé par la fracture précédente, prenne en écharpe la vallée de la Guisane au hameau des Guibertès (WILLM y signale une émergence minéralisée, non retrouvée), contribuant ainsi à remonter le panneau sud de la faille de l'amont de Monétier.

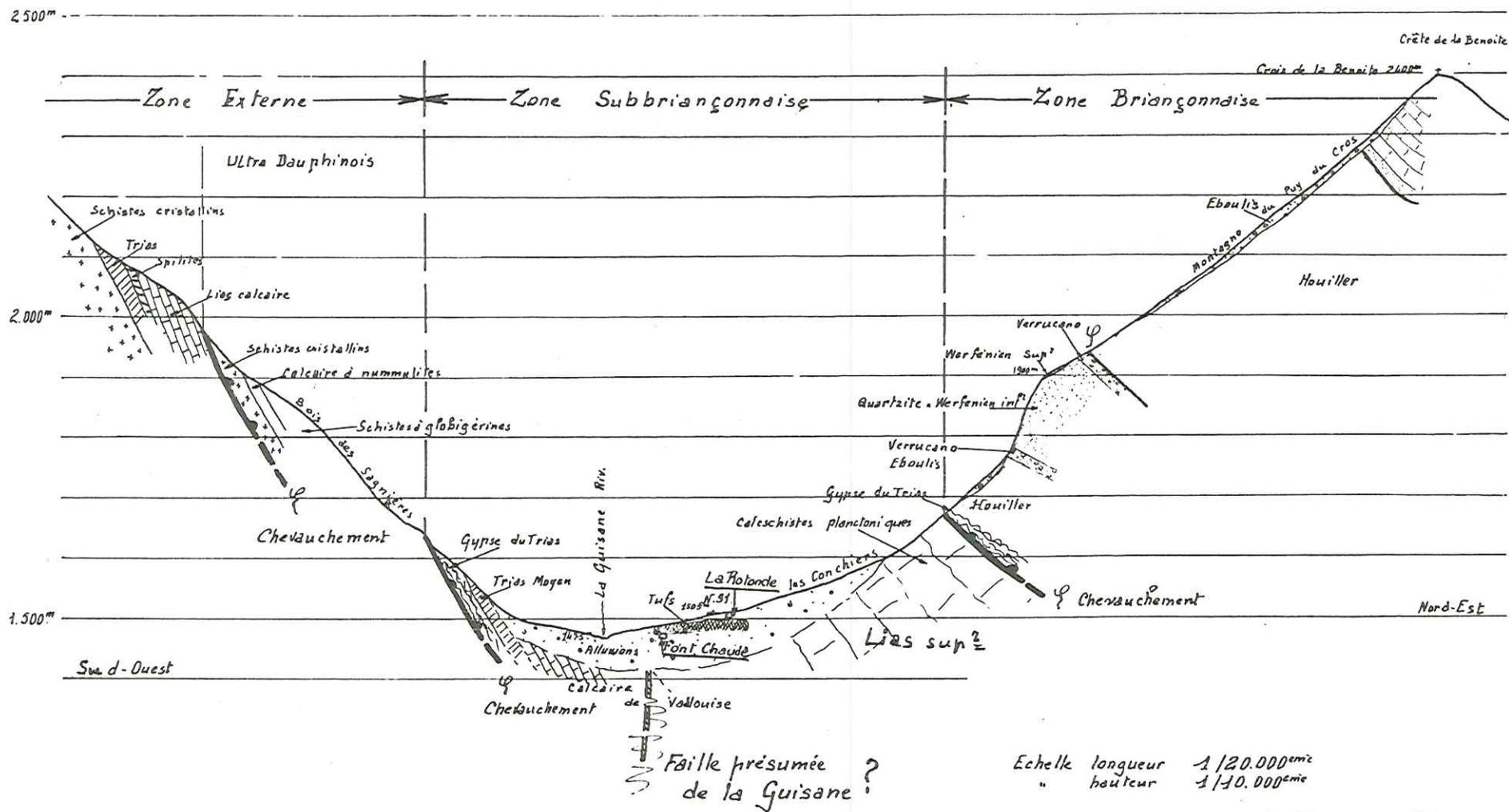
le MONETIER les BAINS

Géologie



le MONETIER les BAINS

Coupe perpendiculaire à la vallée



La vallée de la Guisane rectiligne sur 25 km coïnciderait avec un accident ancien de type effondrement en rapport avec la surrection du Pelvoux, et sans rapport avec les nappes, mais les accidents cassants transversaux y sont bien marqués.

HYDROGEOLOGIE

La venue thermale se situe dans les alluvions, à l'aval de la faille récente transversale. Le "griffon" d'origine nous est inconnu et les eaux minéralisées se répandent dans les dépôts fluviatiles avant d'émerger au pourtour des dépôts de travertins calcaires dont elles sont responsables.

La salinité des deux sources actives de Monétier-les-Bains est pratiquement la moitié de la salinité des autres sources du Briançonnais : la Liche ou Plan-de-Phazy, lessivant les mêmes niveaux, tant pour les sulfates que pour les chlorures ou les carbonates. Les teneurs en sulfates s'établissent à 1100-1180 mg/l. (1840 et 1440 mg/l au Plan-de-Phazy), et les chlorures à 340-351 mg/l (1470 et 2328 mg/l). Quant au sodium sa teneur est de 224 et 260 mg/l au Monétier contre 1028 et 1614 mg/l au Plan de Phazy.

Le fluor est relativement abondant avec 1,3 mg/l (les normes de potabilité tolérées actuellement sont de l'ordre de 1 mg/l). Il provient vraisemblablement des séries lagunaires triasiques lessivées ou de la décomposition des micas ou des chlorites de néoformation à la base d'une nappe où existerait un léger métamorphisme de friction.

Le lithium (0,7 mg/l) pourrait provenir du même processus. Cependant l'effet de dilution dont il sera parlé plus bas, indiquerait, en l'absence d'analyses d'eaux courantes de la Guisane, soit une eau d'origine profonde aussi riche en Li que celle de la Liche ou du Plan-de-Phazy mais à teneur fortement atténuée par un mélange avec des eaux de surface, soit une eau de lessivage de niveaux triasiques, chaude mais pauvre en Li, mélangée à des eaux de surface provenant de massifs cristallins : Combeynot en particulier riche en lithium.

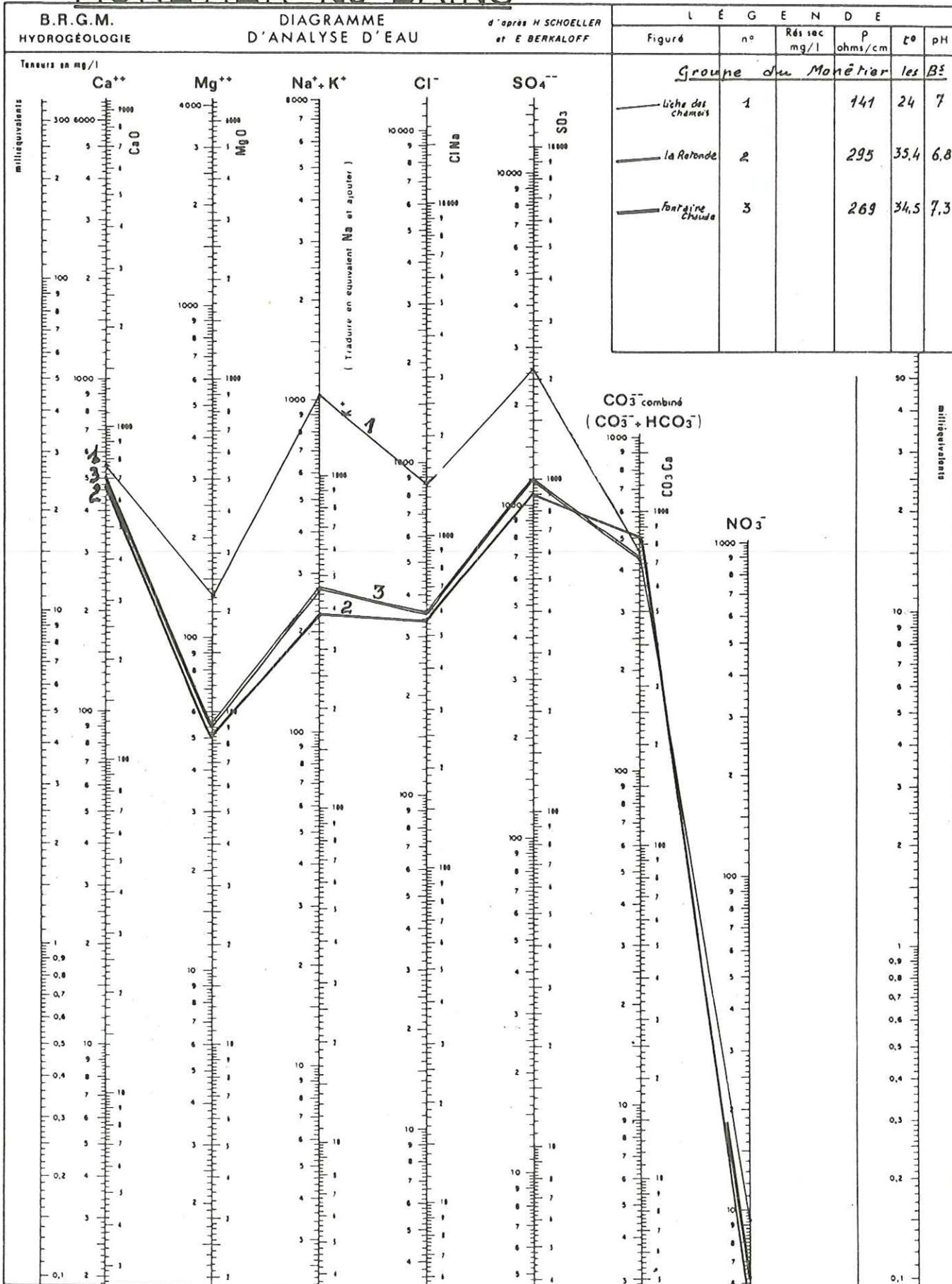
Le problème ne peut être résolu par comparaison avec les résultats obtenus au Plan-de-Phazy car les sources de la rive gauche de la Durance peuvent être en rapport avec l'écaïlle cristalline proche des émergences.

Les eaux des deux sources de Monétier dont la température approche 40°C, présentent un effet de dilution important au titre des éléments majeurs contenus.

Le mélange des eaux thermominérales avec les eaux de ruissellement apparaît très nettement par les mesures isotopiques du tritium. Nous notons 80 UT à la source de la Rotonde et encore 61 UT à la source de Font-Chaude. Cette valeur paraît élevée en raison des températures reconnues aux griffons. Il faut donc admettre des températures originelles et des minéralisations extrêmement fortes avant mélange avec des eaux de surface.

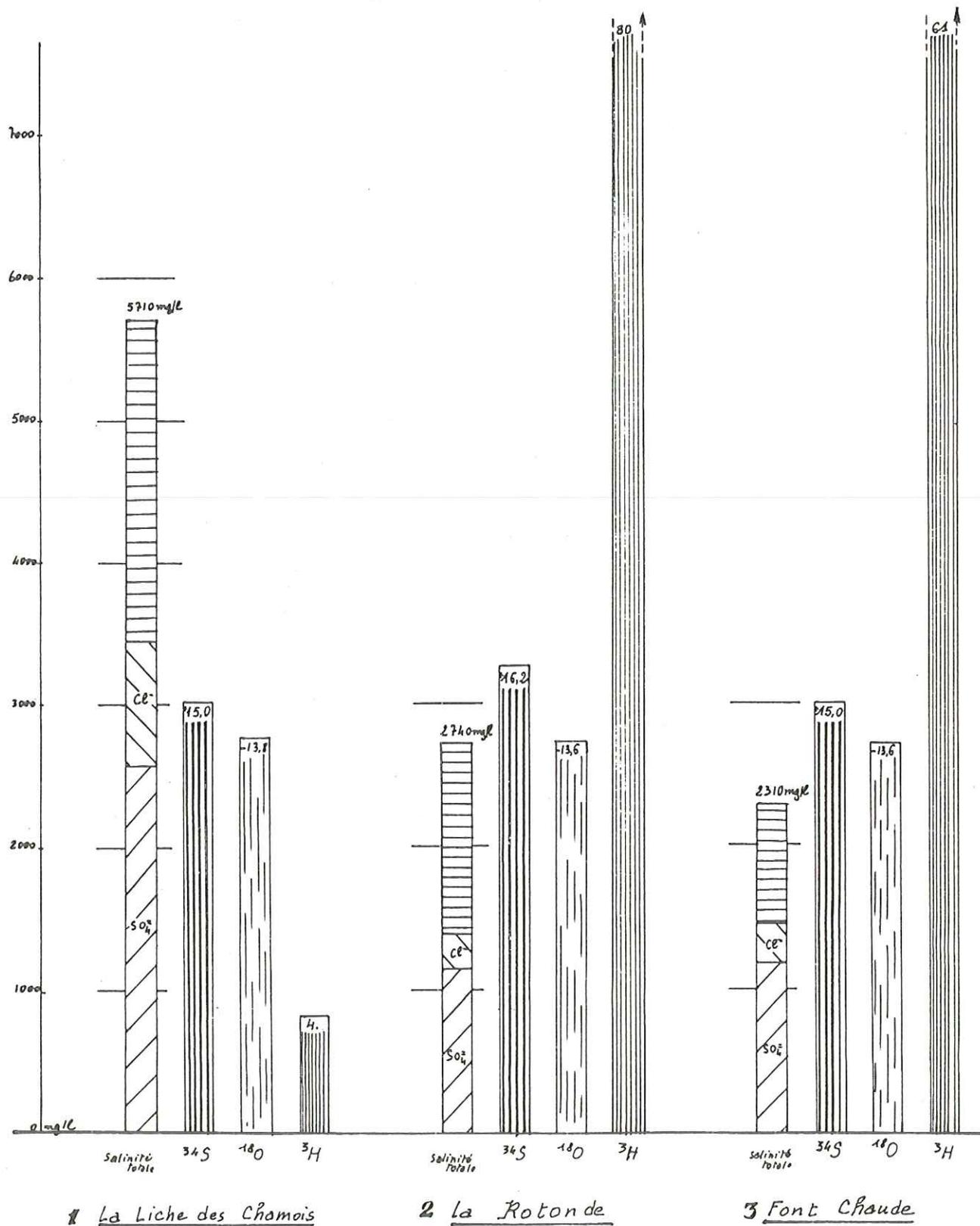
Lors des pompages aux piscines (communication orale de Monsieur COUCHOUD) de l'établissement thermal de Font-Chaude, l'eau se refroidit. Un débit thermominéral constant peut donc être supposé au griffon sous-alluvial, le pompage accélérant surtout les venues d'eaux froides de surface.

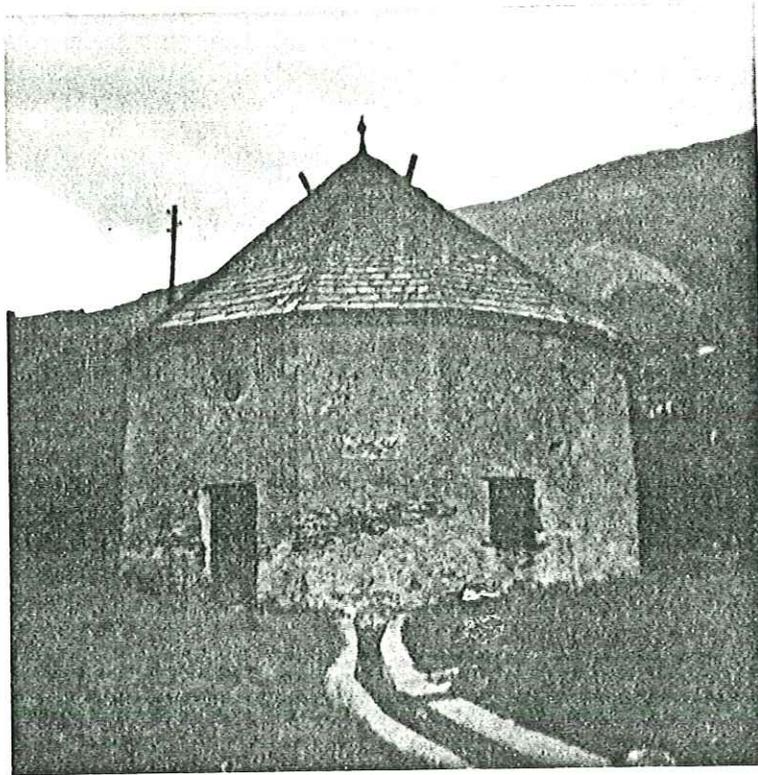
MONETIER les BAINS



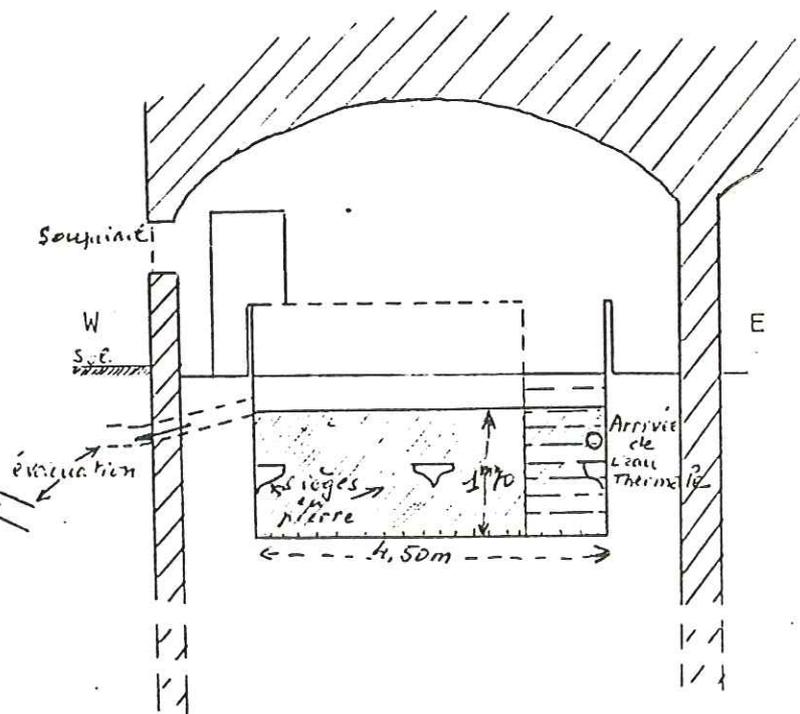
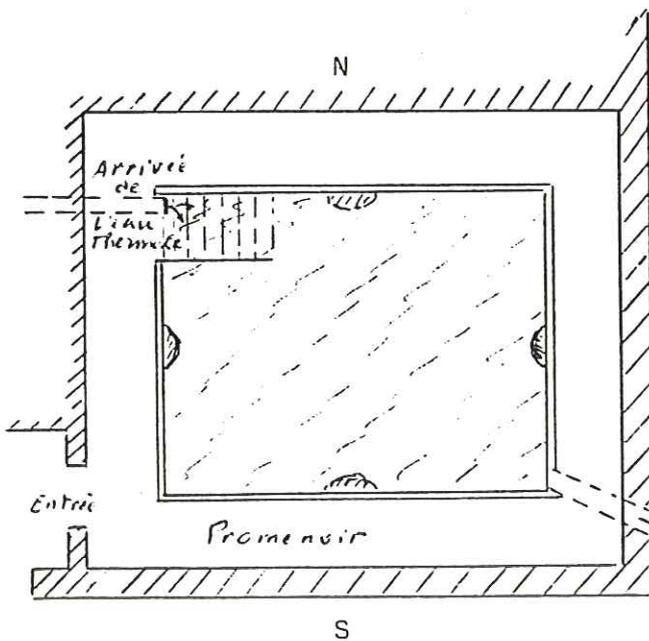
Sources de MONETIER les BAINS

Eléments majeurs et isotopes





Source de la Rotonde bâtiment de la buvette -
trop plein de la source qui s'écoule vers le village



Font-Chaude - Monétier les Bains
Piscine encore en activité

plan de la piscine

coupe de la piscine

L'origine des eaux thermominérales est à rechercher dans un bassin versant de grande altitude. La rive gauche de la Guisane depuis le col du Galibier nous offre de larges surfaces où les cheminements d'eaux météoriques peuvent se minéraliser et pénétrer jusqu'aux bases des chevauchements par des circuits profonds.

L'altitude moyenne des précipitations nous est donnée par l'isotope ^{18}O avec $\delta \approx - 13,5 - 13,7 \%$ qui correspond à l'altitude de 2300 m. les eaux thermominérales, à circulation profonde, et les eaux de surface étant alimentées par des précipitations de même altitude et de même origine, ces chiffres sont cependant peu significatifs.

Il serait très intéressant de reconnaître par des études géophysiques de thermométrie, l'importance de la nappe chaude sous-alluviale à partir de griffons situés apparemment au niveau de la fracture transverse à la vallée, et de situer les chenaux qui aboutissent aux sources actuelles. Ainsi, on pourrait capter efficacement les eaux avec une abondante minéralisation et une thermalité importante avant leur dilution et leur refroidissement par les eaux de surface.

3.1.2 - Le Plan de Phazy

Historique

Comme les eaux de Monétier-les-Bains, les sources thermominérales du Plan de Phazy sont connues depuis une date ancienne. Elles se trouvent sur la rive gauche de la Durance au pied du rocher de Barbein. Une ancienne voie "romaine" ou voie "Dornitia" passait à proximité et fut suivie jusqu'à la fin du XVIème siècle, époque où des ébranlements survenus sur le flanc de la montagne obligèrent à transporter la route sur la rive droite de la Durance à proximité de l'emplacement actuel de la source de la Salce. Fontaine Pétrifiante.

La Salce

Les eaux de cette source devaient avoir des propriétés thérapeutiques fort en honneur à l'époque romaine. Lors de la construction du chemin de fer un nombre impressionnant de pièces de monnaies fut recueilli dans un espace restreint, attestant l'objet d'un culte. On ne connaît pas la divinité-objet du culte, aucun édifice religieux ou thermal ne semble avoir été élevé aux environs.

Les dépôts de "tufs" actuels sont l'objet d'une curiosité touristique facile d'accès.

Plan de Phazy (sensu stricto)

D'après l'abbé F.ALLEMAND : Quatre sources alimentent les eaux minérales, gazeuses, ferrugineuses du Plan de Phazy. Elles coulent du Sud au Nord dans des canaux anciennement creusés où elles déposent des carbonates fortement ferrugineux. La dernière tombait dans deux bassins elliptiques et découverts où l'on prenait des bains. Les eaux du Milieu se boivent dans une maison voisine. L'une des sources porte le nom de Font-les-bains. Deux autres sont actuellement utilisées en thérapeutique : celle dite la Ronde et celle dite les Suisses.

L'une et l'autre donnent une eau claire, transparente, inodore, d'une saveur salée, dégageant à leur sortie du sol de grosses bulles de gaz.

Le nom de Plan de Phazy -ou Plan de Phazi- vient de BONIFACE, daterait du XVIIIème siècle. Il serait le nom du premier exploitant des eaux minérales déjà fréquentées par les malades des hôpitaux voisins. C'est de cette époque que date les premières analyses de ces eaux qui triomphaient des affections les plus rebelles.

En 1824 le Baron ASSELIN, préfet des Hautes-Alpes fait construire à l'endroit même de l'émergence des sources un établissement thermal sommaire connu sous le nom de Ronde. En 1853 il est procédé à l'analyse de la source de la Vigne dite des Suisses.

L'exploitation de la source n'a jamais été très suivie. Des difficultés administratives datant de 1830 ont empêché jusqu'à aujourd'hui l'établissement d'un centre thermal important, bien que des curistes l'aient toujours plus ou moins fréquenté. De 1853 à 1928 aucune vérification chimique ou bactériologique ne fut pratiquée.

De 1828 à 1935 bien que très sommairement installées et exploitées, les sources du Plan de Phazy sont assez fréquentées mais leur réputation ne dépasse pas le cadre régional.

Le 19 mars 1935 un séisme devait en arrêter l'exploitation, la Rotonde fut ébranlée et il ne subsista qu'un mince filet d'eau. Un nouveau captage devait rétablir le griffon à un niveau un peu inférieur, avec une température moindre. Déjà un "ébranlement" de montagne au XVIème siècle, avait déjà affecté cette région de même que le tremblement de Lisbonne 1755.

C'est une région très sensible à ce sujet.

Les débits cumulés des sources, la Rotonde, les Suisses, atteignent 170 l/mn à une température comprise entre 28° et 30° (M. LESBROS en 1947 donne 375 l/mn).

Les indications de la cure au Plan de Phazy s'adressent d'abord à l'arthristisme : affections rhumatismes chroniques, dermatoses, affections hépatiques, affections rénales, affections respiratoires ; ici le climat joue un rôle important : pédiatrie, également gynécologie.

Les eaux ont été autorisées par arrêté préfectoral du 27.01.1860.

SITUATION

Le confluent Durance-Guil se situe sous le fort de Montdauphin près de Guillestre. Il forme une large plaine appelée Plaine-de-Barbein, terminaison sud de la dépression tectonique de la faille d'effondrement de la Durance. Au-delà, vers le Sud-Ouest, la Durance, après un coude brusque, recoupe la zone frontale briançonnaise et entre dans la Zone Externe, localement recouverte par la série piémontaise du flysch de l'Embrunais, d'origine Interne.

Sur la rive gauche à l'amont du confluent et au niveau de la zone frontale apparaissent les émergences du Plan-de-Phazy.

- les Suisses
 - la Rotonde
- commune de Risoul

Sur la rive droite

- la Salce
- commune de Réotier

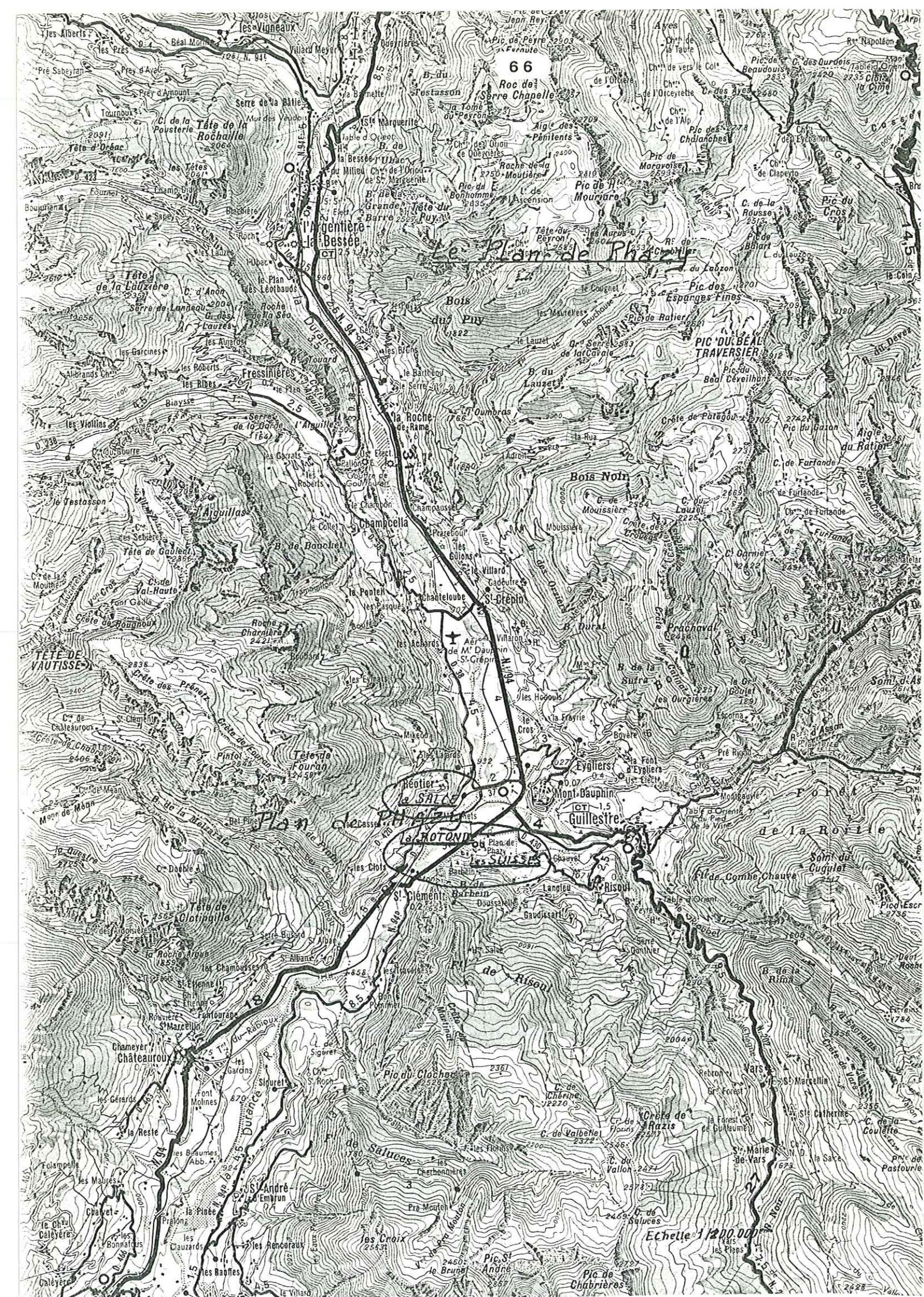
Géographie : La plaine de Barbein, large de 800 mètres environ est un remplissage de vallée glaciaire, formé d'alluvions fluvioglaciales déposées par la Durance et surtout par le Guil et ses affluents dont les régimes torrentiels ont souvent inquiété les riverains. Le remplissage s'est fait jusqu'au niveau de la cluse de St Clément, partie très resserrée à quelques kilomètres à l'aval du Plan-de-Phazy.

Le site correspond à la partie la plus basse altimétriquement du front des nappes d'origine briançonnaise, entre le massif du Pelvoux au Nord et le massif de l'Argentera plus au Sud. La trouée contribue à offrir un exutoire tant superficiel que sous-alluvial à toutes les eaux collectées sur l'Est du Pelvoux, dans le Briançonnais et dans la zone des Schistes Lustrés (bassin du Guil), depuis les confins frontaliers du département.

Géologie : Une coupe sommaire depuis l'aval du confluent Durance-Guil montre la complexité de la mise en place des différentes unités qui se succèdent et se superposent sur quelques kilomètres.

La zone frontale briançonnaise, très tectonisée et laminée, localement écrasée, formée d'écaillés du Subbriançonnais et du Briançonnais de différentes origines : nappe de Champcella, nappe de roche Charnière (J. DEBELMAS) apparaît tout d'abord. Sur les deux rives de la Durance, les mêmes formations recoupées perpendiculairement à la stratification par la vallée, se montrent avec des faciès et des puissances différentes.

- sur la rive gauche, les calcaires dolomitiques du Trias prennent un grand développement au-dessus de la source de la Rotonde (rocher de Barbein). Une lame de granite du Pelvoux affleure, enveloppée de houiller et de quartzite du Trias au-dessus de la source des Suisses.
- sur la rive droite le Houiller et le Crétacé très laminés, se côtoient avec des quartzites et des intercalations de calcaires dolomitiques. Ceux-ci très redressés vers l'Ouest, sont accolés à l'Est à un massif de gypse caverneux d'où sort une source abondante sé-



66

Le Phazay

PIC DU BEAU TRAVERSIER
2612

LA SALLE

LA ROTONDE

LES SUISSES

Guillestre
ICT-1,5

Echelle 1/200,000

le PLAN de PHAZY

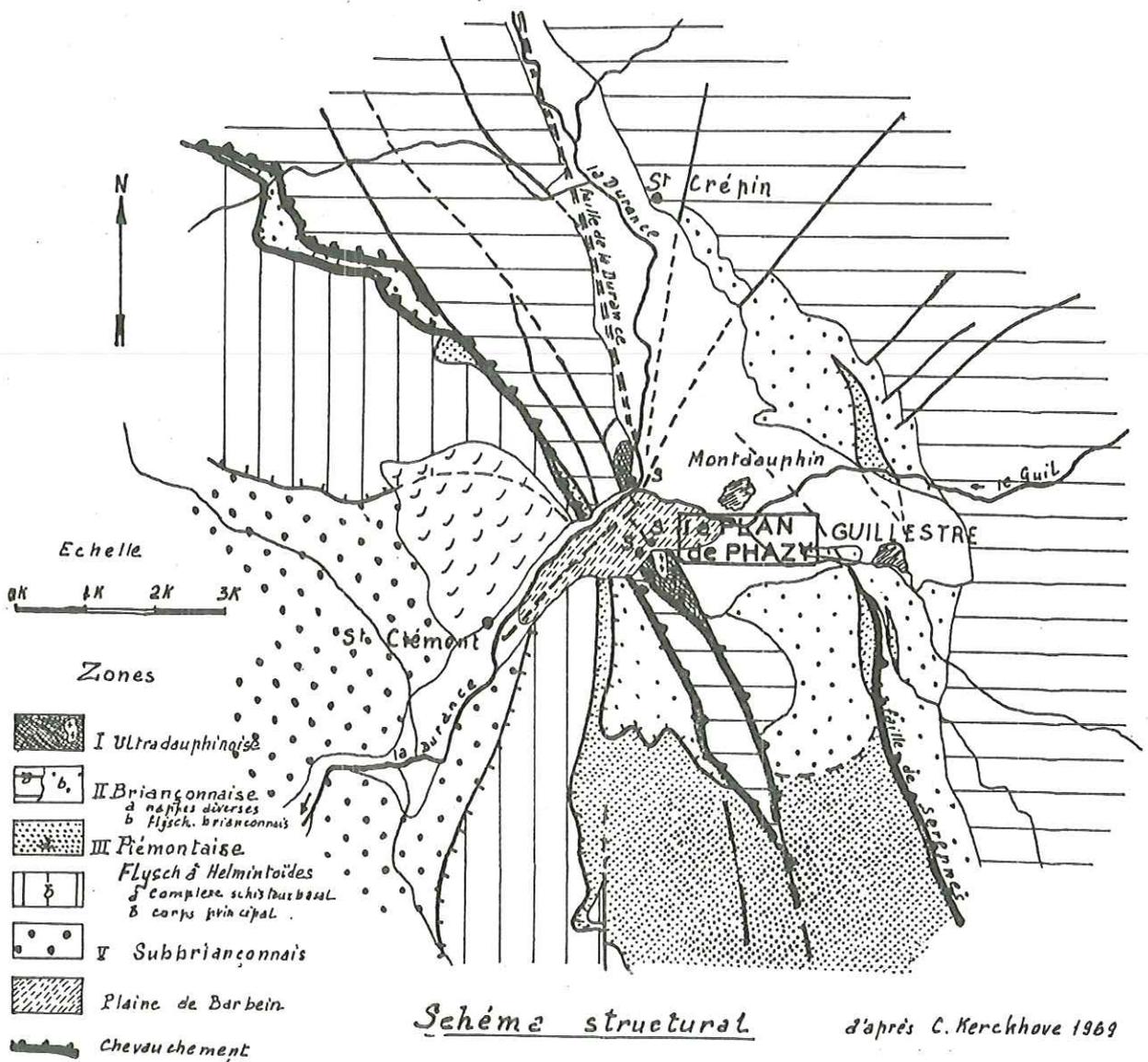


Schéma structural

d'après C. Kerckhove 1969

léniteuse (source Annibal), puis du Lias. Mais ici on trouve déjà la faille d'effondrement de la Durance. La coupe classique étudiée au niveau de la route de Réotier par F. BLANCHET en 1934 a été reprise à maintes reprises.

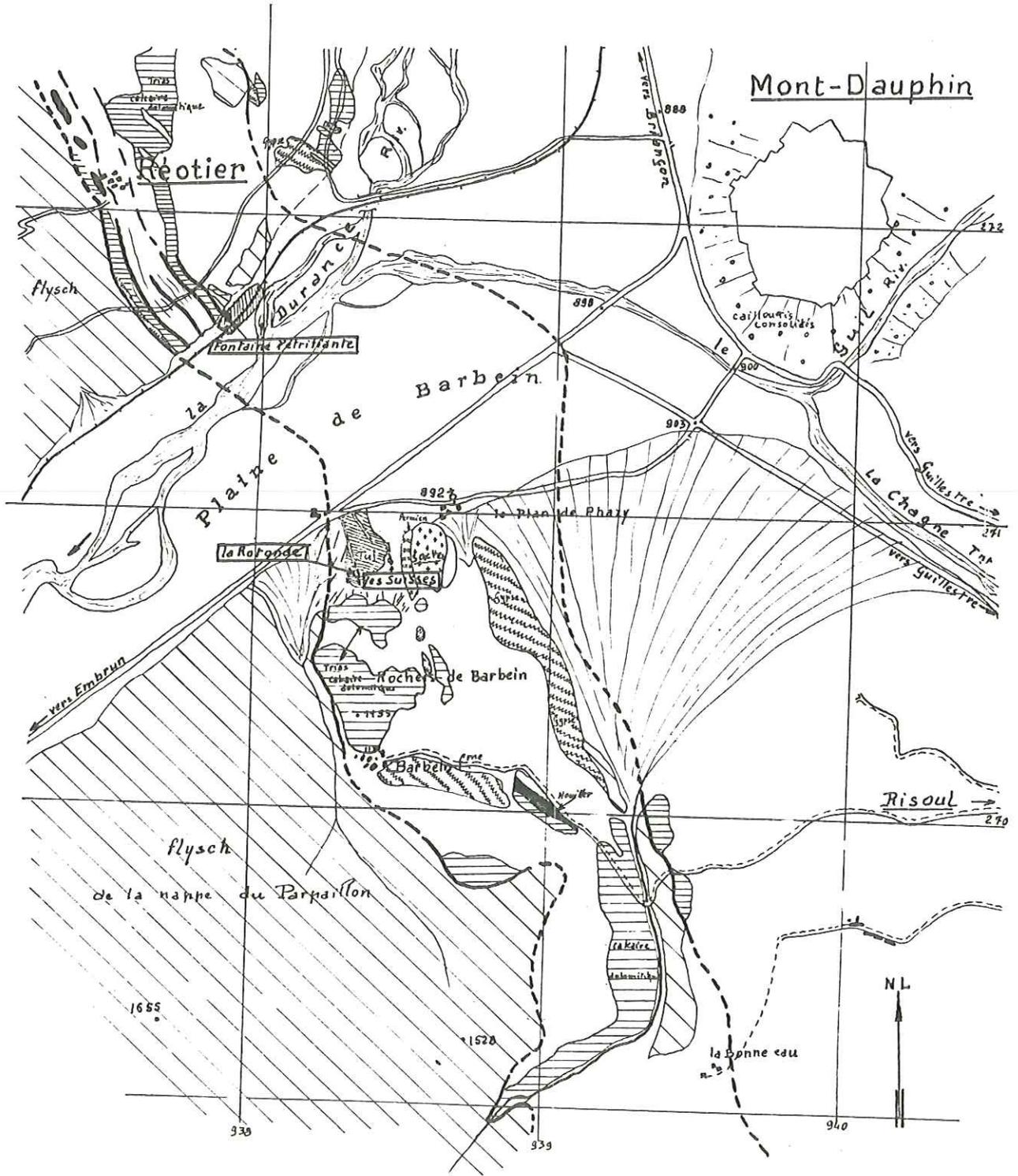
L'enracinement des nappes à l'aplomb de la plaine de Barbein est le principal foyer séismique de la région.

Tectonique : A l'amont du Plan-de-Phazy, entre Montdauphin et l'Argentière-la-Bessée, la Durance coule dans une large vallée correspondant à un important accident affectant l'arrière du front des nappes du Briançonnais. C'est la "faille de la Durance", faisceau de fractures N 360° en forme d'effondrement. Cet accident au niveau du Plan-de-Phazy recoupe simultanément le front des nappes et la faille de Chateauroux. Il en résulte une zone confuse où les diverses formations se télescopent. Du gypse d'allure diapirique apparaît sur les deux rives et un lambeau de granite arraché au substratum par l'écoulement d'une nappe, affleure sur la rive gauche, en prolongement de la zone effondrée. Les "failles" de la Durance masquées par les alluvions se subdivisent et disparaissent vers le Sud dans le flysch d'origine piémontaise. La faille de Châteauroux N 45°, nette à l'aval du Plan-de-Phazy, se divise et s'amortit de même dans les séries calcaro-dolomitiques triasiques au Nord de Guillestre-Montdauphin.

Le front des nappes briançonnaises se trouve reporté de plusieurs kilomètres vers l'Est au niveau de Guillestre et se matérialise vers le Sud sous le nom de faille de Sèrenne (vallée de l'Ubaye) avec un foyer séismique apparemment distinct du foyer séismique du Plan-de-Phazy (Guillestre).

C'est aussi la zone de flexion maximale de l'arc briançonnais.

Géologie de la région de RÉOTIER et du PLAN de PHAZY



D'après F. Blanchet 1934

Echelle 1/20.000^m

0 42 44 46 48 50 1 Km

3.1.2.1 - Source les Suisses ou la Vigne n° 6
Plan-de-Phazy

t° 26,8°, pH 7,0, résistivité 128 ohms/cm

en mg/l : Ca 740, Mg 90,0, Na 1028, K 25,9,
HCO₃ 634,4, Cl⁻ 1459,7, SO₄⁻ 1840, NO₃ 13,5,
F 1,15, S₂ 13,5, SiO₂ 21, Li 1,6, Zn 0,11, Fe 2,17
Minéralisation totale 5,88 gr.

La source des Suisses émerge au pied de l'écaille de granite de Plan-de-Phazy, dans la plaine alluviale, hors les éboulis des falaises qui dominent la plaine.

Elle est également éloignée de 50 mètres du cône de "tufs" calcaréo-ferrugineux formé par la source de la Rotonde entourée de cultures.

C'est le type même de la source "sauvage", car aucun aménagement n'affecte ce griffon.

Les eaux ont sensiblement la même composition chimique que la source de la Rotonde, avec une dilution légèrement plus importante. Une émission de gaz au griffon, n'a pu être prélevée.

Les dépôts calcaréo-ferrugineux ne se forment qu'à 40 ou 50 m environ à l'aval et l'évacuation se fait par un canal surélevé identique à celui de la source la Rotonde.

Les déterminations isotopiques $\delta^{18}\text{O} = 12,3 \%$ nous indiquent un bassin d'alimentation d'altitude moyenne commun aux sources du Plan-de-Phazy.

L'isotope ³⁴S, indique une origine triasique des sulfates contenus dans les eaux de la source. Au niveau de l'isotope ³H, la source est peu polluée par les eaux de surface puisqu'elle ne présente qu'une teneur de 11 Unités tritium. Elle reflète parfaitement un type d'eau, d'origine triasique, à circulation lente, homogène dans ses grandes lignes avec les sources thermominérales régionales, avec peu d'apport d'eau extérieure au système.



Depuis la source la Salce.
A gauche Montdauphin et Guillestre.

En premier plan la Durance.
Au centre vers le Col de Vars.

A droite le rocher de Barbein avec au pied
la source de la Rôtoude et le massif de "tufs".

Confluent de la Durance
et du Guil.

Entre les deux photos, le massif
de granite du Plan de Phazy.
et la source des Suisses au pied et à l'ouest du massif.



Source "sauvage" des Suisses. Malgré une température de 27°C. végétation importante. Emission de bulles gazeuses → le fer floccule rapidement.



Source de la Rotonde - Massif de tuf ferrugineux. Au dessus rocher triasique de Barbein. Front des nappes.

3.1.2.2 - La Rotonde n° 5
Commune de Risoul

t° 27,4°, pH 6,8, résistivité 90 ohms/cm

en mg/l : Ca 658, Mg 107,0, Na 1014, K 40,0,
HCO₃ 957,7, Cl⁻ 2328,8, SO₄⁻ 1440, NO₃ 17,5,
F 1,10, S₂ 10,5, SiO₂ 23, Li 2,46, Zn 0,126, Fe 1,44 = total 7,30 gr.

Le captage n'est pas connu avec précision. L'eau à sa sortie au jour, a déjà parcouru un certain trajet dans une canalisation récente (travaux de recaptage en 1935) provenant certainement de l'édifice encore debout de l'ancien établissement balnéaire supposé construit sur le griffon principal.

Cet édifice est situé sur la partie haute du massif de travertin calcaire fortement imprégné d'oxyde de fer et quasi stérile. La source est dominée par le rocher le Barbein, massif calcaro-dolomitique triasique fortement redressé et dont la stratification est perpendiculaire à la vallée.

Le "griffon" s'est déjà déplacé en particulier lors du grand tremblement de terre de Lisbonne en 1755, puis à nouveau en 1935, vraisemblablement par ébranlement ou obstruction de canaux de captage, à l'intérieur du massif caverneux de "tufs", ou encore de tassements différentiels alluvionnaires sous-jacents.

Ce serait aussi une des causes des pollutions par des eaux superficielles, plus importante qu'à la source voisine des Suisses située en dehors du massif tuffeux. La teneur en tritium y atteint 30 UT.

L'origine des sulfates est typiquement triasique au même titre que pour la source des Suisses. Les chlorures 2329 mg/l, le sodium 1614 mg/l, le potassium 40 mg/l y sont abondants, les sulfates un peu moins.

Le lithium, 2,46 mg/l pourrait avoir son origine dans le lessivage de roches granitiques dont un témoin apparaît à l'aval de la source sous forme de lame de granite altéré. Les autres sources, les Suisses surtout et la Salce sur l'autre rive de la Durance, confirmeraient une communauté d'origine et la présence d'un lambeau cristallin étendu à la base des nappes de cette région.

La teneur en fluor aurait également la même origine.

Il semble que la source non analysée, Rotonde supérieure captée par un fossé à la base Ouest du massif de travertin soit un trop plein du captage de la Rotonde ; l'eau y est déjà refroidie mais contribue cependant à l'édification des massifs ocreux vers l'aval.

3.1.2.3 - La Salce - Fontaine Pétrifiante n° 6
commune de Réotier

t° 21,2, pH 7,9, résistivité 156 ohms/cm

en mg/l : Ca 600, Mg 78,3, Na 746, K 19,1
HCO₃ 433,1, Cl⁻ 1079,2, SO₄⁻ 1520, NO₃⁻ 10,5,
F 0,88, S₂ 10,6, SiO₂ 20, Li 1,18, Zn 0,1, Fe ≤ 100 = total 4,52 gr.

Bien qu'accolée à la base de la falaise perpendiculaire au front des nappes du Briançonnais, la masse des "tufs" calcaires de la source de la Salce, a été formée dans les mêmes conditions d'émergence que les travertins de la source de la Rotonde.

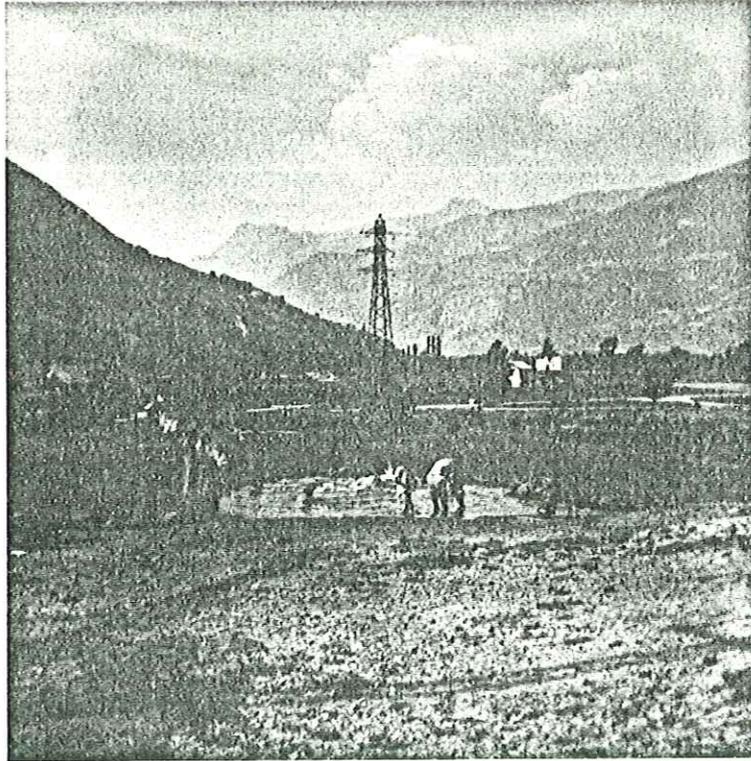
Le fer est quasi absent dans l'analyse chimique. Les tufs blanchâtres du dépôt thermal ne présentent que quelques amas ocreux localisés*.

La teneur en sels sont inférieures à celles des sources précédentes sauf en ce qui concerne les sulfates. La présence d'un important massif gypseux, d'allure diapirique dans le Jurassique du remplissage de la faille de la Durance à quelques cent mètres à l'amont suffit à différencier cette source.

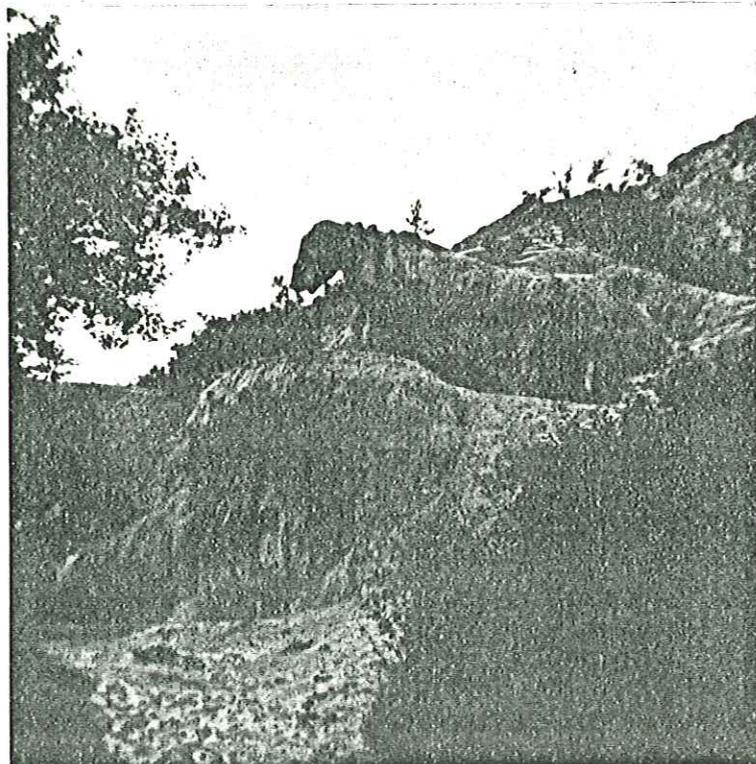
La teneur en tritium de 21 UT situe sa pollution par les eaux superficielles récentes à mi-chemin entre la source des Suisses et la source de la Rotonde.

Ainsi la composition chimique et l'origine des sels des eaux de cette source, la placent dans les mêmes conditions d'origine et de circulation profonde que les émergences précédentes.

* Il serait intéressant de savoir si les amas ocreux très locaux rencontrés dans les tufs de la Salce ne proviendraient pas de poussières ferrugineuses "captées" au moment du dépôt. Elles se décomposeraient lentement en laissant des traces ocreuses tant dans le dépôt antérieur que dans le dépôt ultérieur au captage de celles-ci.



La Rotonde du Plan de Phazy - la piscine -
et le massif de "tuf" ferrugineux.
Au fond le massif de Pierre-Eyraude,
et la vallée de la Durance.



La Salce - Fontaine Pétrifiante.
depuis le parking.



La Salce - Fontaine Pétrifiante - Le Bec -
à droite la vallée de la Durance.



La Salce. La Source au pied des affleurements
au milieu de la photo, masse de "Tuf" dans la
pente sans venue d'eau.

3.1.2.4 - Etude des sources du Plan-de-Phazy

Dans le groupe des sources du Plan-de-Phazy, les analyses des éléments majeurs et des isotopes ^3H , ^{18}O , et ^{34}S laissent supposer une origine commune influencée seulement aux griffons par des mélanges d'eaux superficielles.

La salinité totale est la plus élevée à la source de la Rotonde la plus faible à la source de la Salce mais la composition ionique est constante aux trois émergences.

Le lithium est abondant dans ce groupe (2,46 mg/l à la Rotonde). seule la source de la Liche, à Monétier, dans l'Ultradauphinois, approche de ce chiffre.

Le fluor varie entre 1,15 et 0,88 mg/l et la valeur moyenne est plus faible que dans le groupe de sources de Monétier.

La silice donne également aux trois sources du Plan-de-Phazy un caractère particulier car les teneurs sont en moyenne plus faibles qu'à Monétier laissant supposer des températures profondes également plus faibles, les températures aux griffons y sont inférieures elles aussi.

Pour le groupe du Plan-de-Phazy, il se confirme la nécessité d'une alimentation commune et d'un réservoir commun homogénéisant les teneurs des éléments dissous et les températures acquises au cours de cheminements longs, lents et complexes.

L'origine des eaux météoriques qui alimentent la nappe thermominérale du Plan-de-Phazy est supposée provenir des montagnes qui encadrent la vallée de la Durance. L'altitude moyenne des précipitations donnée par l'isotope ^{18}O se situe vers la cote 1900 m. Elle est compatible avec de grandes zones d'éboulis ou de calcaires dolomitiques triasiques très disloquées des nappes du Briançonnais.

Les eaux ont la possibilité de s'écouler rapidement par les torrents et la rivière principale, ou de s'enfouir profondément dans les chaos très perturbés de la zone de départ des nappes. Les eaux suivent et se rassemblent dans des fractures perpendiculaires à la vallée d'effondrement de la faille de la Durance. Elles se heurtent ainsi à un barrage tectonique à la faveur duquel une remontée rapide de l'eau donne des griffons sous-alluviaux suivant l'axe de la vallée. Les eaux souterraines ont acquis un thermalisme et des minéralisations. Elles s'écoulent lentement à différents niveaux dans des alluvions alternativement argileuses et gréseuses du surcreusement glaciaire à l'amont du Plan-de-Phazy. Les multiples apports qui s'échelonnent sur plusieurs dizaines de kilomètres aboutissent sans mélanges avec les eaux de surface, dans un circuit isolé au seuil de Risoul Réotier. Le seuil formé par le front des nappes a été affecté d'une activité tectonique intense et des gypses diapiriques apparaissent à ce niveau. La remontée du substratum force les eaux thermominérales en charge à se frayer un passage vers le jour et ce n'est que sur les bords de la vallée resserrée qu'une partie des eaux émerge et lessive sur cette fin de parcours les évaporites et localement le granite altéré de l'écaille du Plan-de-Phazy. Ce n'est que dans les milieux proches de la surface qu'elles se mélangent avec les eaux de ruissellement apportant des eaux "récentes". Les faibles teneurs en tritium, d'ailleurs variables d'une émergence à l'autre, confirmeraient notre hypothèse.

le PLAN de PHAZY

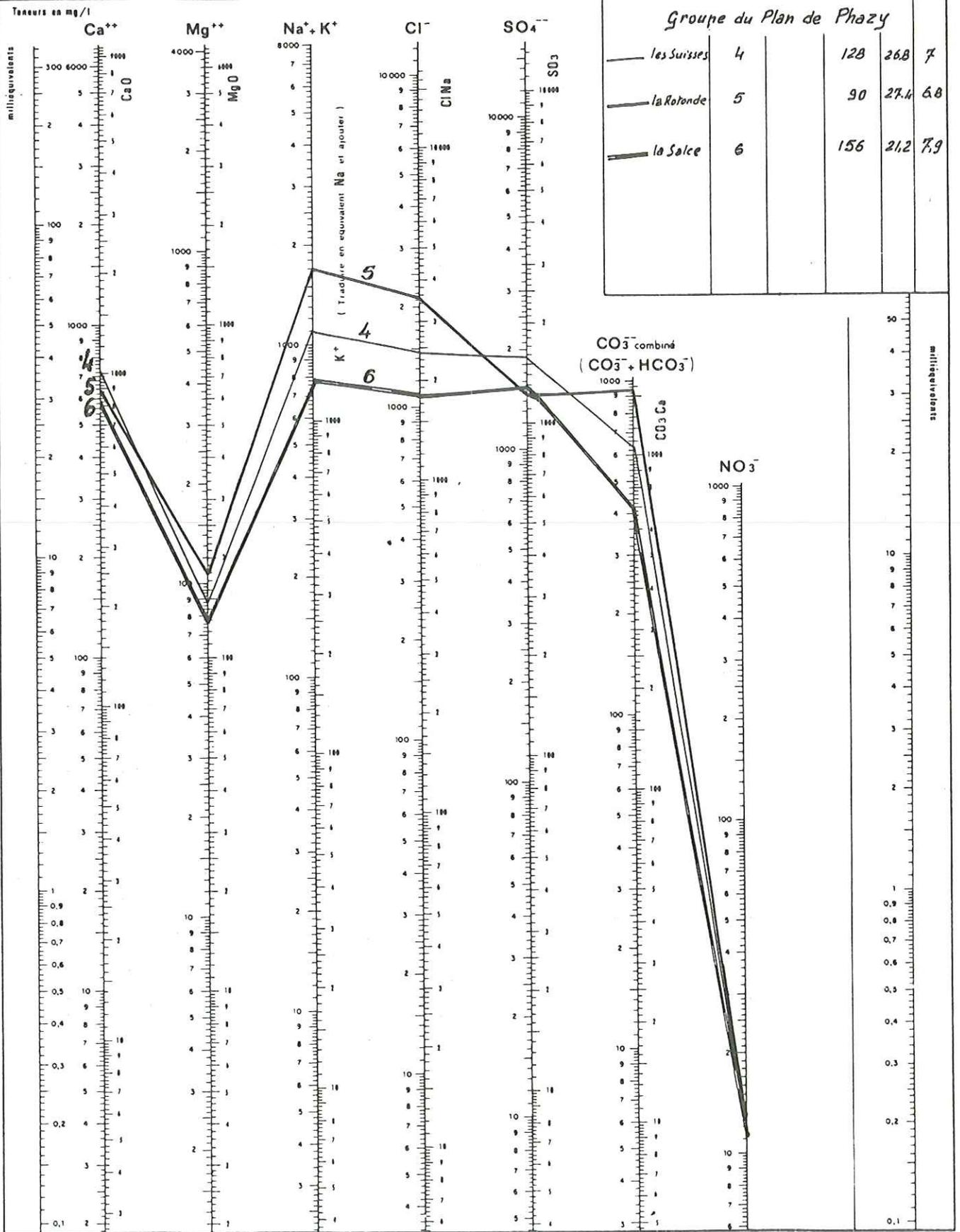
B.R.G.M.
HYDROGÉOLOGIE

DIAGRAMME
D'ANALYSE D'EAU

d'après H. SCHOELLER
et E. BERKALOFF

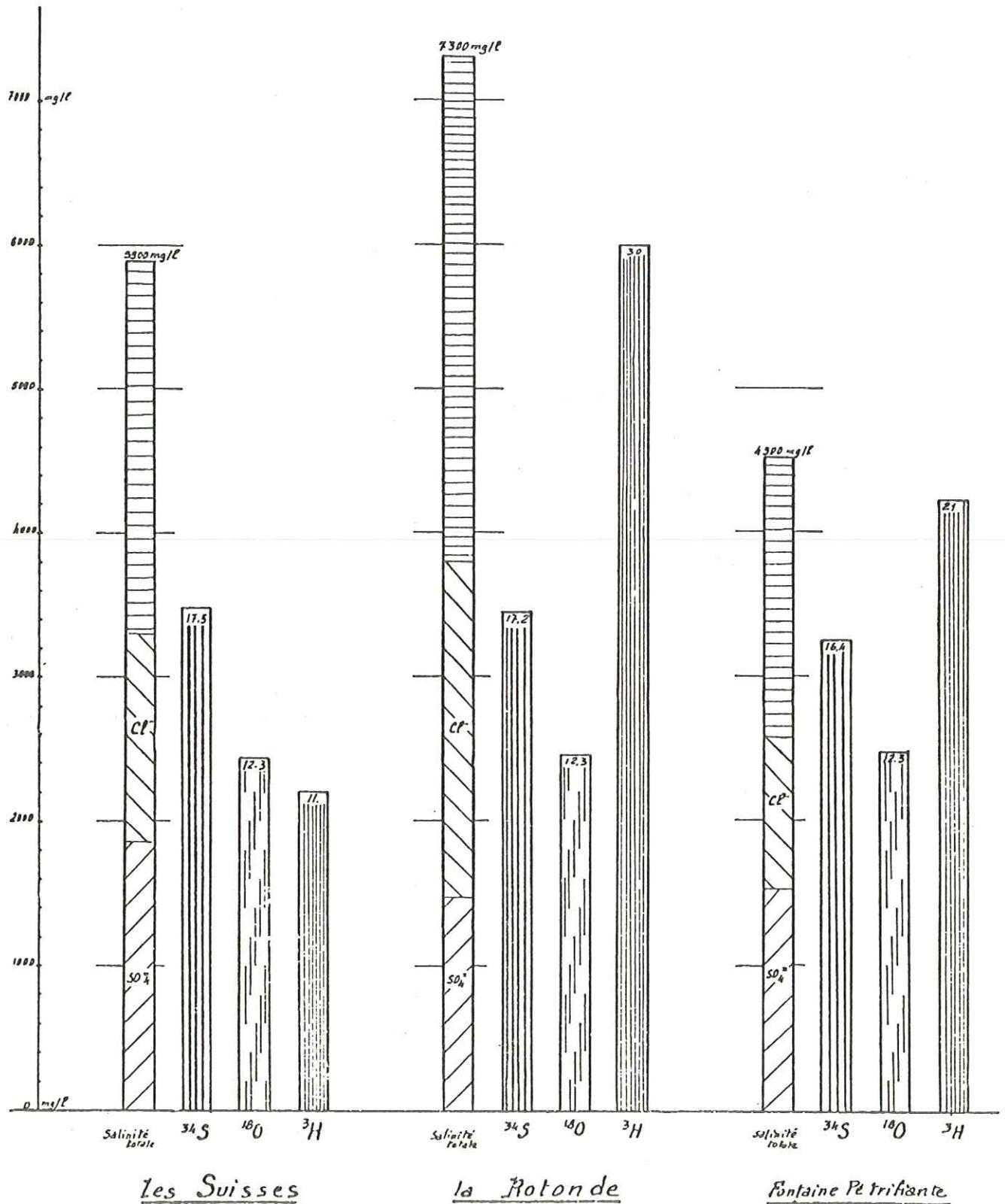
L É G E N D E

Figuré	n°	Rés sec mg/l	P ohms/cm	t°	pH
<i>Groupe du Plan de Phazy</i>					
—	4		128	26.8	7
—	5		90	27.4	6.8
—	6		156	21.2	7.9



Sources du PLAN de PHAZY

Éléments majeurs et isotopes



L'autre partie des eaux thermominérales circulant dans les niveaux poreux du surcreusement glaciaire s'écouleraient par le détroit de Saint-Clément, à l'intérieur des alluvions vers Châteauroux et Embrun, avec la possibilité d'un canôn sous-alluvial comparable à celui de Serre-Ponçon.

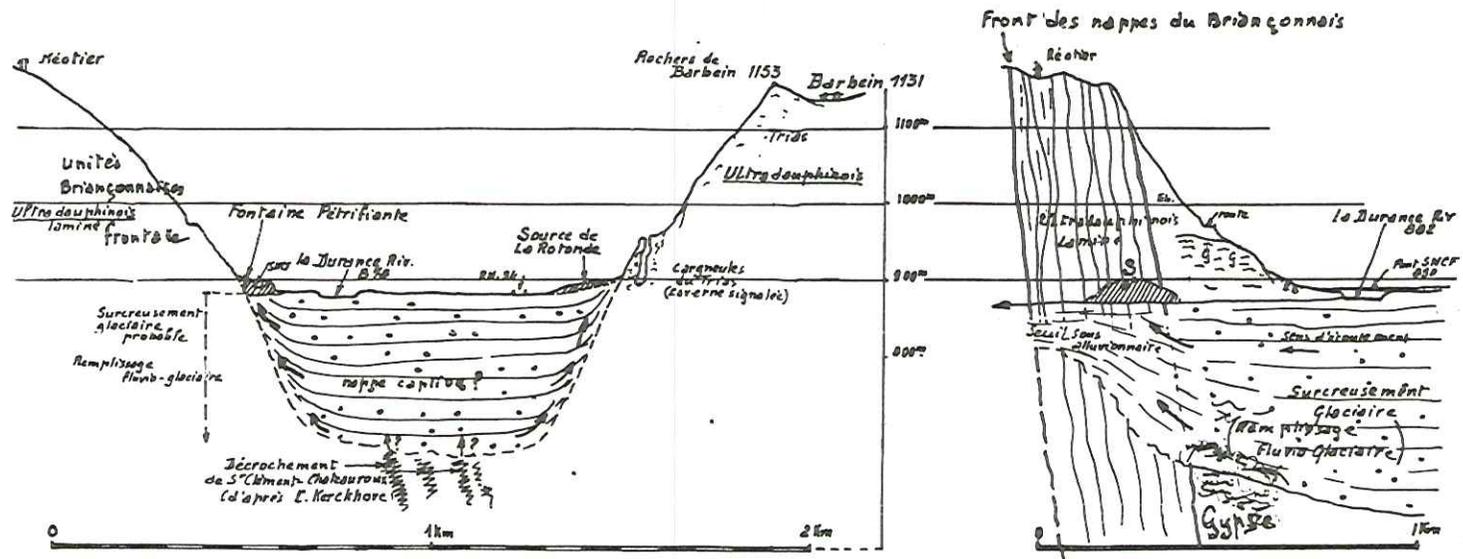
3.1.2.5 - Possibilité d'avenir

Les possibilités industrielles thermominérales d'avenir du groupe de sources du Plan-de-Phazy : la Rotonde, les Suisses et éventuellement la Salce, sont importantes.

La plus grande difficulté sera de reconnaître un niveau de captage *in situ* dans les alluvions vraisemblablement plus puissantes qu'à Monétier.

Une prospection géophysique thermique de surface pourra déjà délimiter des zones favorables. Les résultats des études puis des sondages réalisés dans un autre but sur le site de Serre-Ponçon pourraient être du plus haut intérêt à titre comparatif.

L'expérience acquise dans la région de Vichy sur la recherche de niveaux favorables à des captages (puits d'exploitation) dans la vallée alluvionnaire de l'Allier, serait intéressante à renouveler dans la région.



Coupe entre les sources de Réotier et de Risoul

Coupe E.W. de Réotier au pont SNCF sur la Duranc

Hypothèse sur l'origine des eaux Thermo-minérales de Réotier et de Risoul = Plan de Phazy

P.A.P.

Plan de PHAZY

3.2 - LE DOME DE REMOLLON

3.2.1 - Géologie générale

Le Lias inférieur encapuchonne un pointement cristallin dont deux petits affleurements apparaissent sur la rive droite de la Durance sous et à l'amont du village de Rémollon. Le contact du Lias sur le granite se fait par un niveau relativement puissant de Trias gypseux et de cargneules surmonté de Spilites.

Les gypses abondants à l'amont et au-dessus de Rémollon disparaissent rapidement à l'aval en plongeant vers l'Ouest formant parfois de profonds entonnoirs dûs à des dissolutions dans le lit même de la Durance, en face de Rochebrune.

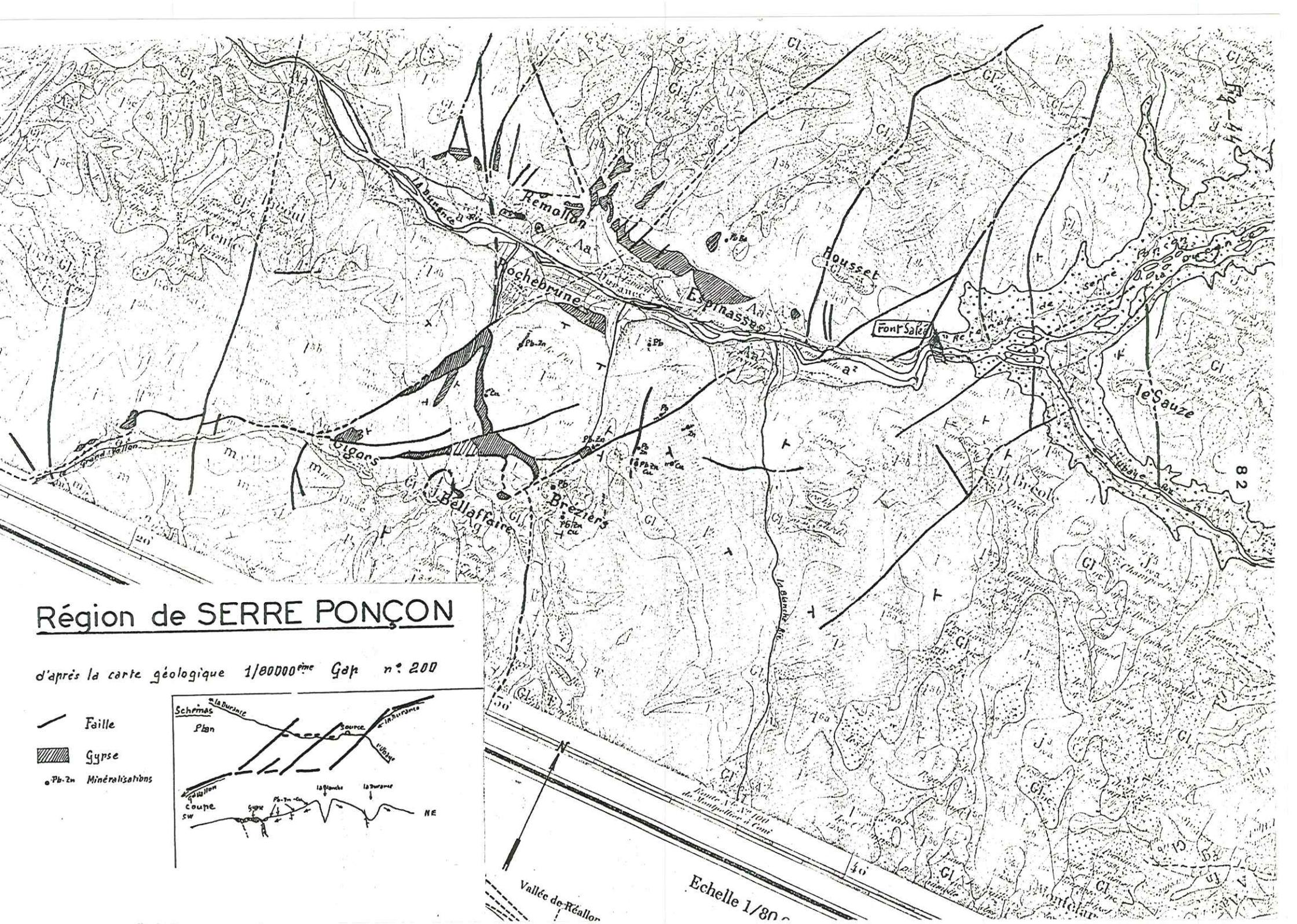
Au-dessus de Remollon la fontaine de l'Ecluse (ou du Moulin) (température constante de 14,5°, pH 6,9, résistivité 420 ohms/cm) est représentative des sources issues des gypses et donne des dépôts de "tufs" sous la route, au hameau du Moulin.

Sur la rive gauche de la Durance, le sommet des amas de brèches gypseuses forme une butte sous la falaise du Puy, 50 m au dessus de la vallée. De nombreux sondages de reconnaissance y ont été implantés lors du projet de tracé du canal d'amenée à l'usine de Curbans. Des "vides" ont été rencontrés dont l'un dans cette brèche a une profondeur de 110 m, au Sud de Rochebrune.

Les gypses seraient ainsi plus puissants sur la rive gauche et d'origine diapirique.

Vers le Sud, au-dessus de la rive gauche de la Durance, des amas de gypses se rencontrent dans des failles jusqu'à Bréziers (Hautes-Alpes) et Gigors (Alpes-de-haute-Provence). Ils indiquent une région profondément tectonisée.

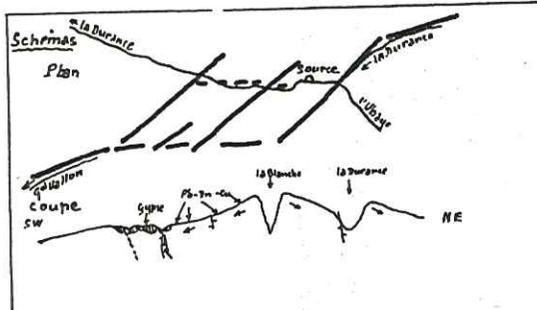
Il y a indéniablement un accident très important de direction est-ouest dans l'axe de la vallée de la Durance dans sa traversée du Dôme de Remollon en direction du confluent Durance-Ubaye.



Région de SERRE PONÇON

d'après la carte géologique 1/80000^{ème} Gap n° 200

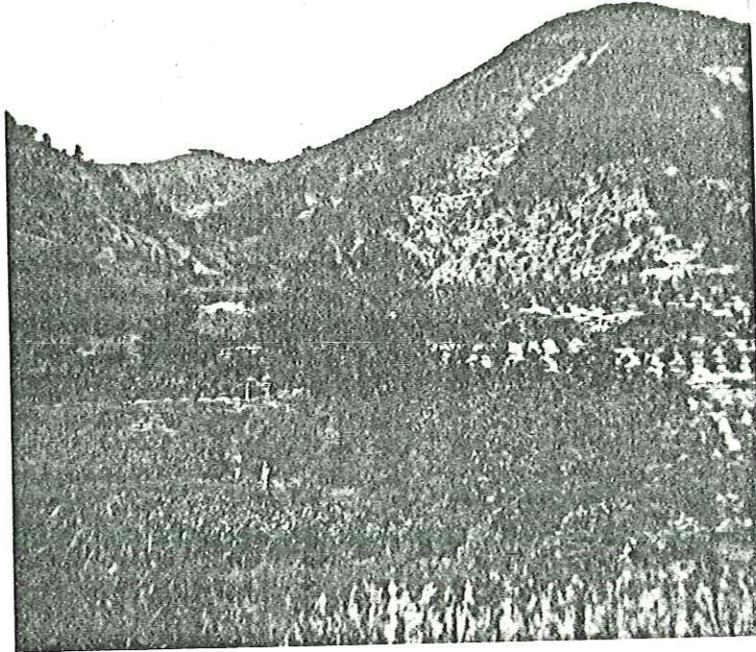
-  Faille
-  Gypse
-  Pb-Zn Minéralisations



Vallée de Réallon
Echelle 1/80000

Fontaine du Moulin

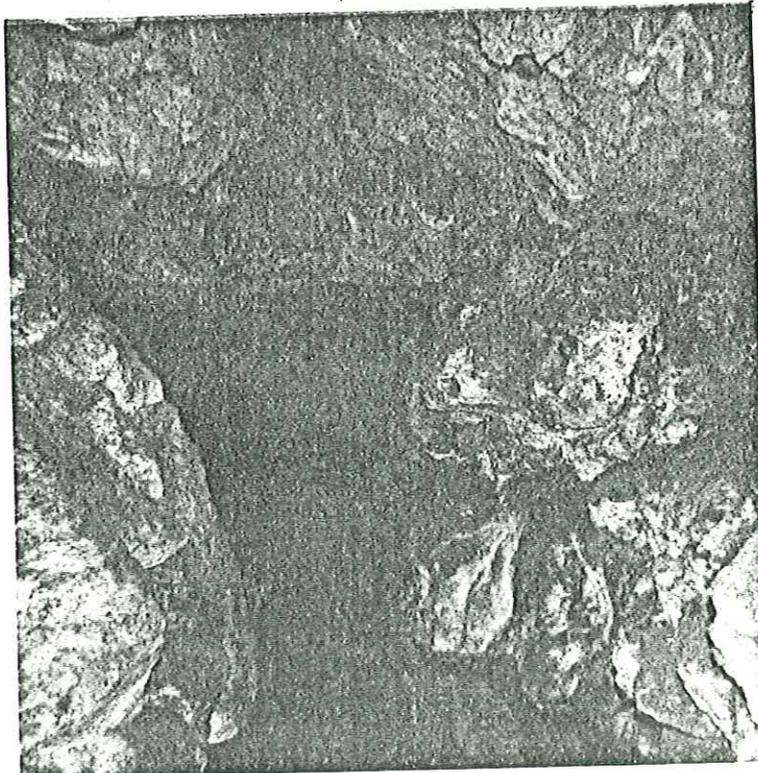
(ou de l'Ecluse) Remollon



Source du Moulin (ou de l'Ecluse)

L'entrée de la galerie - le captage se trouve
au pied du gros arbre - au centre de la photo

Au premier plan = ancien réservoir pour le moulin

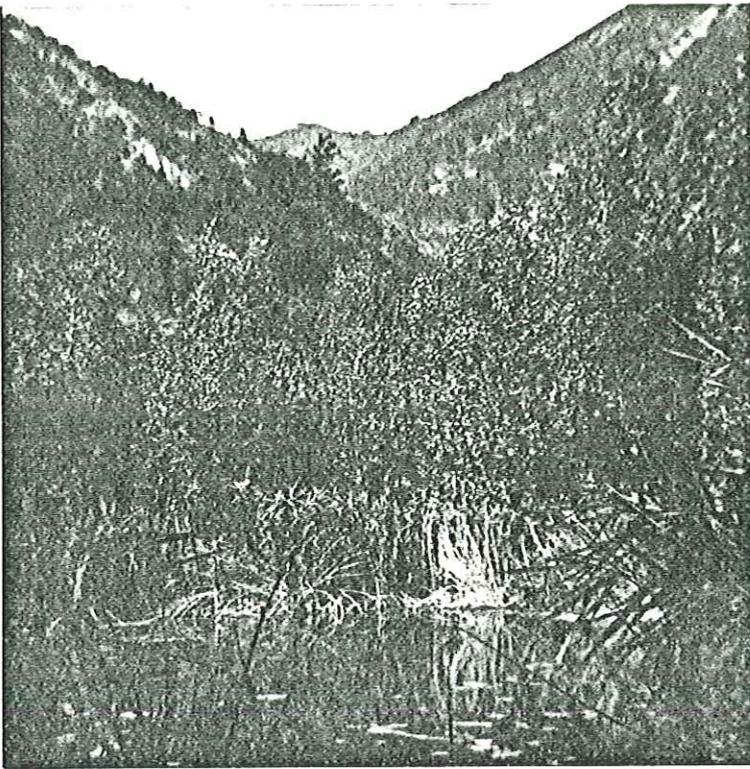


Source du Moulin (ou de l'Ecluse)

Charges n°5 x904.20 y248.07 z675

galerie de plus de 100 mètres dans une diaclase

du Trias - T° de l'eau 20°C -résistivité 1200 ohms/cm

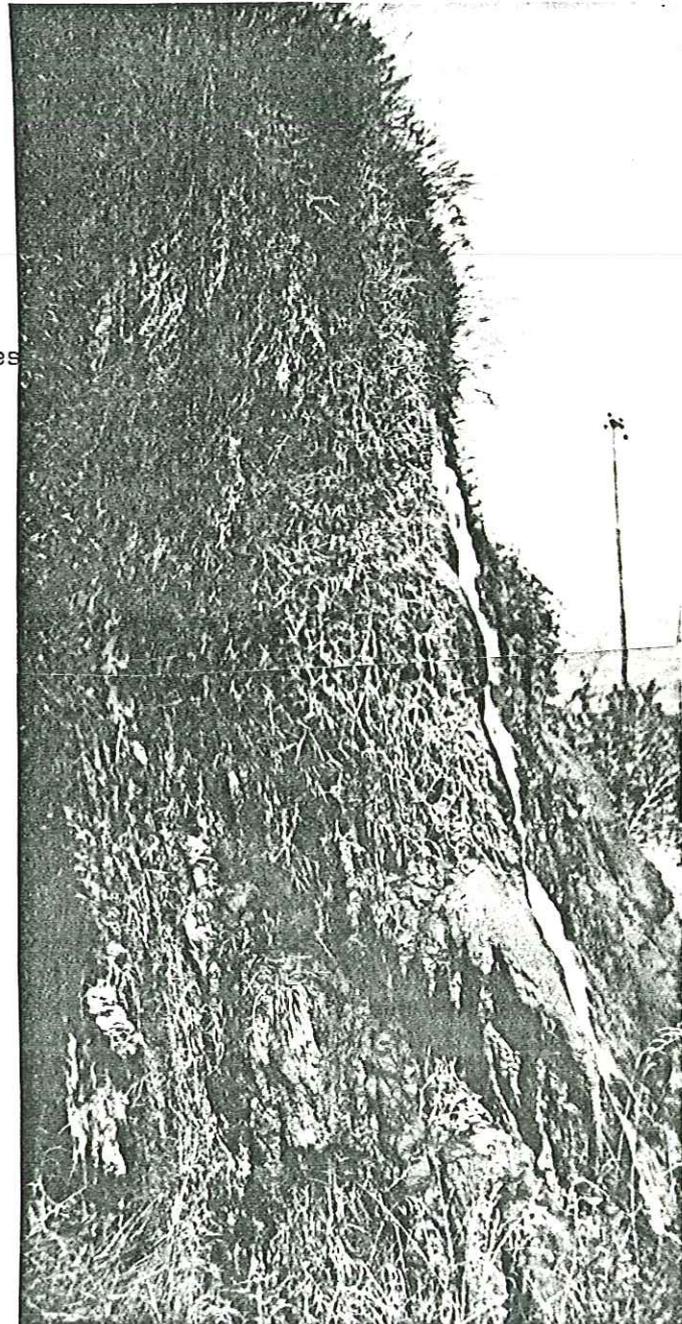


Trou de l'Ecluse - Remollon

En prolongement de la fracture de la galerie
de la Source du Moulin, effondrement circu-
laire très profond = FONTIS

La température et la résistivité sont semblables
à la source du Moulin.

Chorges n°5 x904,20 y248,07 z675



Remollon-

Chute de la Fontaine de l'Ecluse
(Source du Moulin) au dessus du Moulin
-sous la route nationale

3.2.2 - Géologie locale

Le défilé de Serre-Ponçon recoupe perpendiculairement la "retombée" est du Dôme de Remollon, constituée ici par des calcaires noirs du Lias inférieur dit "Calcaire de Serre-Ponçon". Le pendage y est faible de, 10 à 15° vers l'Est. Un axe synclinal est-ouest très plat, passant par le Serre-Ponçon et le Serre-de-Monge a été reconnu.

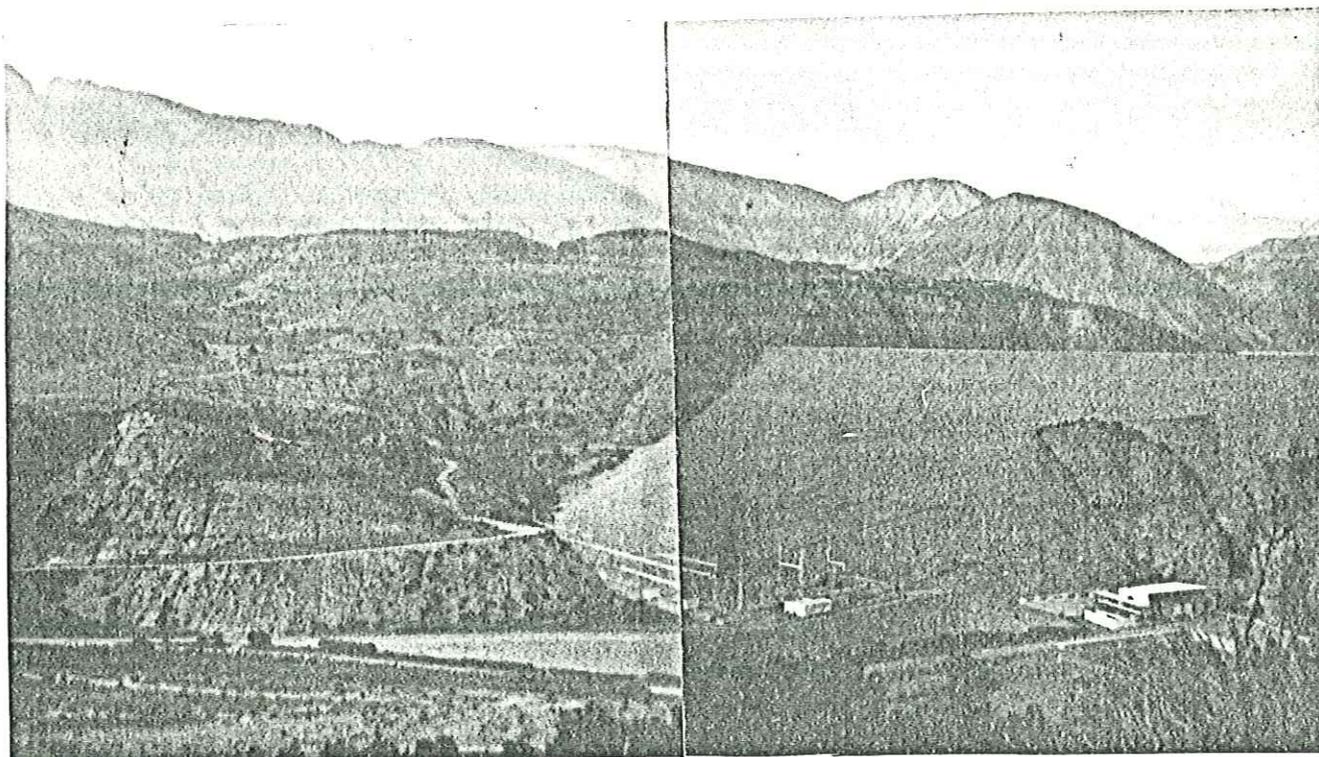
La Durance après avoir reçu la rivière l'Ubaye au lieu-dit "Ile de Rousset" franchit ces calcaires en cluse étroite. La vallée contourne par le Nord le Serre-de-Monge et par le Sud le Serre-Ponçon en y creusant un profond canon à peine large de quelques mètres et de profondeur inconnue. Ce canon d'origine glaciaire et la vallée qui le surmonte sont comblés d'éboulis et de dépôts fluvio-glaciaires. Aucun accident tectonique local n'est reconnu. Ce premier canon sous-glaciaire est doublé par un autre moins profond aboutissant au Sud du Serre-de-Monge (rapport E.D.F.) qui se situerait au point de rencontre de plusieurs failles.

A l'amont du verrou, une large plaine d'alluvions s'étend sur plusieurs kilomètres. Elle est maintenant recouverte par les eaux de la retenue. Une érosion très active de toute la région, postérieure au dépôt des grandes masses d'alluvions est confirmée par la présence de nombreuses "cheminées de fée" tant à l'amont qu'à l'aval du barrage.

Le barrage dit de Serre-Ponçon implanté dans la partie resserrée de la vallée s'appuie sur le Serre de Monge à l'amont du Serre-Ponçon. Quelques inquiétudes, ont été formulées à un moment donné, sur les probabilités de communications de la retenue avec le Trias gypseux sous-jacent, entraînant des pertes d'eau sous le barrage, vers cet horizon à la faveur du canon, mais dans le puits GTM du profil 47-48, rive droite de la vallée à l'aval de Serre-de-Monge et à partir du niveau de la Durance, un sondage à recoupé 280 mètres de Lias sans rencontrer le Trias (21.08.1953).

La source de Font-Salée émergeait dans les alluvions de la rive droite de la Durance, (à la base de la falaise de Lias) face au Serre de Monge. C'est à ce niveau que l'axe du barrage a été défini. A 500 m à l'amont une autre émergence, la Frisette a été signalée.

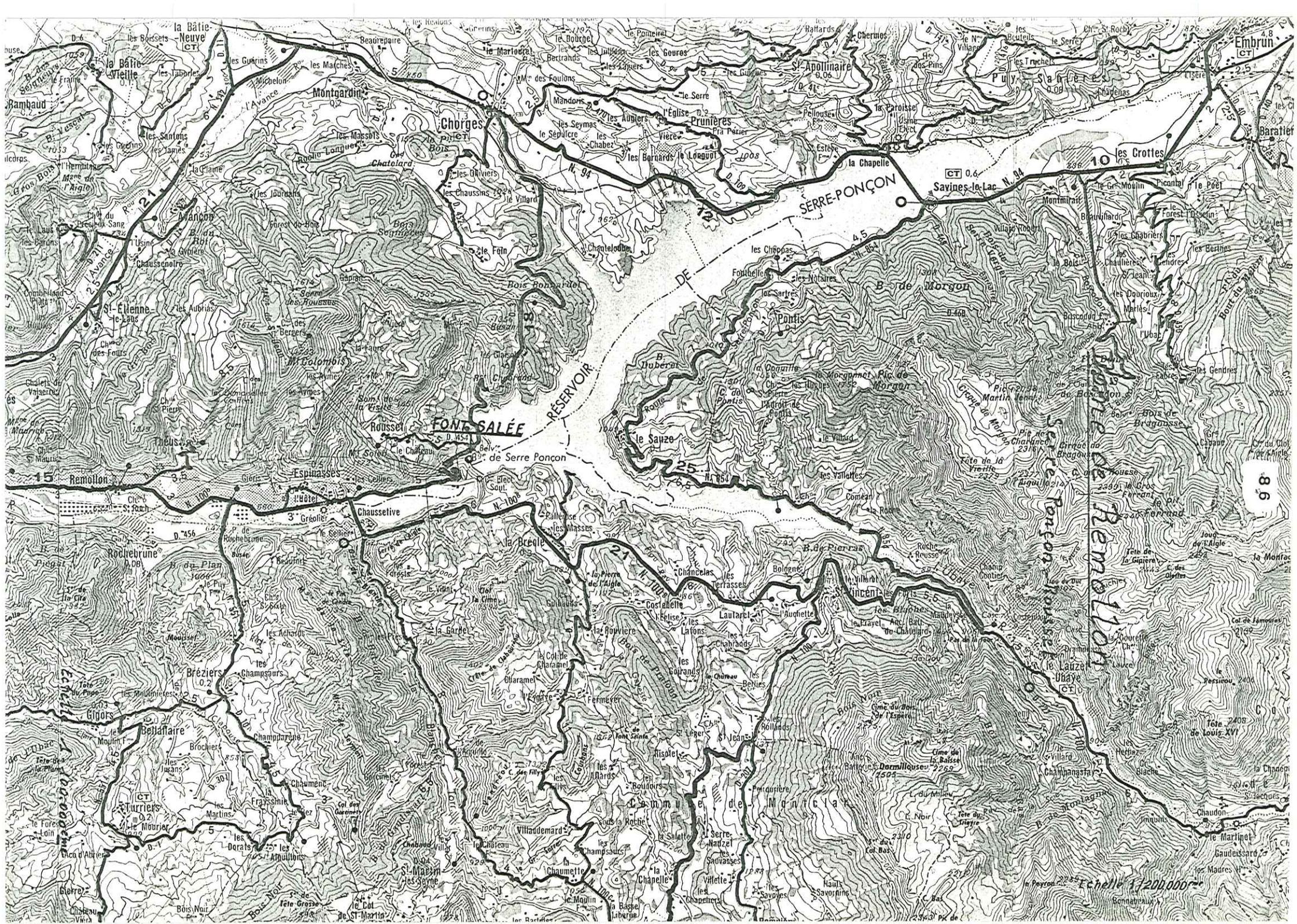
Font Salée - Rousset
Serre-Ponçon



Emplacement de la source de Font Salée à l'aplomb de la crête
du barrage de Serre-Ponçon, dans la cluse à l'amont du serre-Ponçon

serre Ponçon
Le village de Rousset est à l'arrière de la falaise

serre de Monge
et l'usine souterraine



3.2.3 - Etude de la Source Font-Salée - Serre-Ponçon

Historique

La source de Font-Salée, qui sourd au quartier de Serre-Ponçon sur la rive droite de la Durance, était considérée comme ferrugineuse par l'Abbé F. ALLEMAND. Le débit était "assez considérable". Ses eaux ne servaient à aucun usage médical.

- En 1885, David MARTIN signale l'existence de 2 sources minérales :

1 - une petite source d'eau salée que les habitants du voisinage utilisaient à l'époque de la gabelle.

2 - à une centaine de pas à l'aval, sur une partie un peu plus élargie du canon, une source d'eau chaude dont les bouillonnements émergeaient sur une étendue de 15 mètres dans une flaque d'eau des laisses des basses eaux de la rivière.

Il ajoute : *Ces 2 sources qui n'ont jamais été, croyons-nous, signalées avant nous, étaient cependant connues de rares habitants du voisinage.*

Les archives E.D.F. font encore état d'une source à l'amont du défilé, la source de la Frisette, dont l'emplacement n'est pas exactement connu *La source de Serre-Ponçon dans le lit même de la Durance, une source thermominérale à 49,5°*. Les "Mines métalliques de Bréziers" d'après un mémoire de M. THENAUD par David MARTIN. Bull. Etudes des Hautes-Alpes, 1936-1937, p. 89.

- La recherche d'un emplacement pour un ouvrage de retenue important a permis la connaissance des cheminements d'eaux douces et thermominérales sous-alluviales.

Dès 1857* quelques sondages sont faits, vite abandonnés faute de moyens techniques, au droit de l'éperon du serre de Monge.

En 1895 nouvelle campagne de reconnaissance, abandonnée en 1898. L'un de ces sondages atteignit 42,50 m sans rencontrer le rocher.

Enfin en 1912, l'ère des travaux plus importants arrive. Les sondages des campagnes précédentes avaient laissé supposer la présence d'un canon sous-alluvial. Un puits et une galerie qui devait passer sous le lit de la Durance sont commencés : *à l'ultime voisinage du point d'émergence de la source chaude (David MARTIN), "malgré les possibilités de rencontrer des sources thermales.*

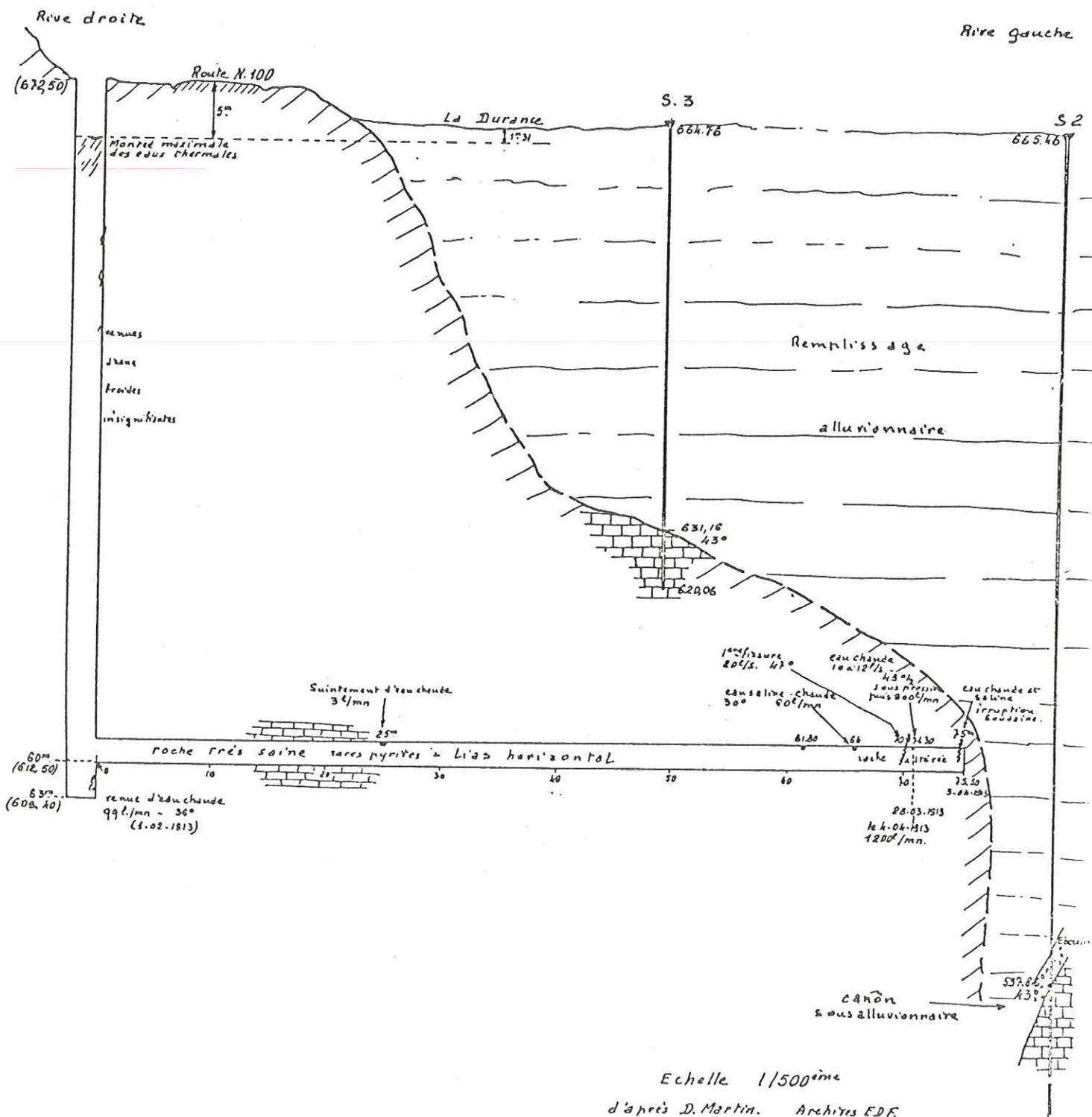
- Le puits est attaqué début septembre 1912 avec une section de 6 m² et atteint une profondeur de 63 m. Il n'y a que des venues d'eaux froides insignifiantes. A 61 m une venue d'eau chaude de quelques litres à la minute avec une température de 36° apparaît le 1er février 1913. David MARTIN note : *ce faible débit ne représente pas l'émergence signalée sur les laisses de la rivière.*

* "Courrier des Alpes" 10 mai 1913. David MARTIN.

ROUSSET

Font Salée

Galerie 1913



La galerie est forée rapidement dans le calcaire noir horizontal très sain, très homogène, sans fissure, à rares pyrites ferrugineuses, jusqu'à 70 m.

Cependant, depuis 60 m, quelques petites venues d'eaux salines chaudes apparaissent. Une première fissure à 70 m laisse passer de l'eau à 47° et à 71,30 m, au toit, une forte venue "sous une pression de 5 à 6 atmosphères", atteint 900 l/mn à 49,5° puis 1200 l/mn le 28 mars 1913. Après un essai d'obstruction, la galerie est continuée, la roche plus altérée se délite fortement. La température de l'air atteint 40°. Une nouvelle fissure au toit de la galerie à 75,20 m laisse passer des cascades d'eau chaude. Pendant quelques heures d'observation, des "beuglements" subits, dans le bruissement sourd et continu de la source, surprennent les ouvriers. Ces "hurlements" assez espacés préparent à une éruption violente. Les ouvriers n'ont que le temps de se retirer, la galerie et le puits se remplissent en 40 minutes jusqu'à la cote -1,31 m niveau de la Durance.

La galerie aurait alors presque atteint l'axe du lit de la rivière. La venue d'eau thermale et saline aurait eu un débit initial de 400 à 500 l/s à la température de 45°. La salinité atteindrait 10 g de sels par litre. A l'époque une analyse sommaire aurait donné :

65 % chlorure de sodium
17 % sulfate de calcium
9 % sulfate de magnésium
2 % carbonate de sodium
3 % sulfate de sodium
+ carbonates ferreux et silice.

- David MARTIN envisageait à l'époque d'utiliser ces eaux thermales à des fins thérapeutiques dans un établissement thermal à construire près de Espinasses, ou à des fins de chauffage de serres ou de bâches "tel en Belgique" pour des cultures forcées.

Les travaux sont à nouveau, arrêtés.

- De 1919 à 1927 il y a encore une nouvelle campagne de reconnaissance par sondages. Ceux-ci implantés au milieu de la rivière ne rencontraient pas le bed-rock. De nombreux griffons d'eau minérale sont constatés.

- Enfin en 1947, on entre dans la période active de l'ouvrage.

La recherche d'un emplacement, plus à l'amont évitant le cañon reconnu dans la partie la plus étroite, est matérialisé par le profil 47-48. Les sondages reconnaissent encore la présence de 2 canons parallèles et une importante nappe d'eau minérale.

Un puits est foré sur la rive droite : puits GTM. Les venues d'eau thermales sous-pression sont de plus en plus fréquentes et gênent le travail des ouvriers. Le puits est arrêté à 80 m et le projet de galerie sous-alluviale est abandonné. L'eau atteint la température de 60° au fond du puits. Deux plates-formes à -40 et -70 m serviront à l'implantation de sondages obliques et verticaux. Chose curieuse, tous les ouvriers-mineurs sont atteints de furonculose.

Des essais de pompage au puits 1913, font considérer le fond de la galerie proche du contact rocher/alluvions, comme une poche filtrante.

PRELEVEMENTS ET ANALYSES D'EAU

Prélèvements					Température °C	résistivité à 15°C	à 20°C	pH	Analyses chimiques										
Date	Sondage	Profil	Cote	Origine					Salinité totale mg/l	TH	THp	TAC	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Na mg/l	Cl mg/l	SO ⁴ mg/l	CO ³ H mg/l
19.02.48	E	47/48	42,50		30°	660			4991	16	11		221	149	Chlorures au total g 4,07				
21.02.48	E	47/48	47,80		25°				4315				285	133	1600	2470	251	218	18
20.02.48	E	47/48	112,50	T	61°	90			8127	12	9		199	112	3940	3160	242	149	
20.02.48									9845				529	205	2480	3820	2160		25
27.04.48	Puits GTM	47/48	52,		19°				2386	25			414	245	90	503	514	340	
17.11.48	A	47/48	49,80	Eboullis	47,5°				1630				190	42	500	840	trace		35
17.11.48	Durance Puits GTM Sond. A	47/48		Durance	14° 21° 49 à 55°	3090 1560 140 à 210	7,5 7,8 7,8		750 610 6320	26 24 140	18 24 124				81 35 2251	112 191 1455			
	Sond. D Sond. E			contact éboullis		107 150	7,6 8,0		8450 6068	168 142	130 120				2989 2218	1835 1335			
	Sond. E Sond. F Sond. G			Contact Alluvions		78 100	7,6 8 7,8		10150 11700 13000	176 136 68	168 124 44				1890 3620 351	2100 1455 328			
12.03.49	Puits GTM		55	Ruisselle ds le Prs	29°				7820	216	105				1840	2840			
04.05.49	K	47/48	95,50 83,50 102,50 104,70		490 57° 58° 59°	à 19,20 129,117 129,117 138,125 136,123			9410 9925 900 9945	176 176	36	140 215 200 210	608 580 600 608	134 170 164 178	2080 2545 2420 2520	3620 3840 3800 3840	1710 1790 1780 1800		18 20 18 18
30.06.53	Galerie de reconnai.	DP	1 à 42 m	Résurgen. avancement				8,2					68	16	3	4	97		
30.03.50	Puits 1913	avant et apr. pompage	70 m			117		6,92					390	120	1700	2480	1500	265	31
30.05.50	S. SK		110 m			95		6,82					600	160	2250	3600	1750	245	31
30.05.50	Puits GTM	47/48	70 m	Durance		113		7,58					470	130	2250	3000	1500	230	28
30.05.50	S. 8	Tête Amont Tête		Durance		2500		7,9					75	15,7	2,4	8	115	145	6
30.05.50				Durance		2500		7,8					66	15,7	4,8	8	115	140	5
30.05.50	Lionnets	Torrent		Confluent rive Durance		650		7,7					260	105	11	9	1000	160	
23.07.51	Puits 1913					180 à 331		7,92					1546	47,8	555	800	536	186	18,5

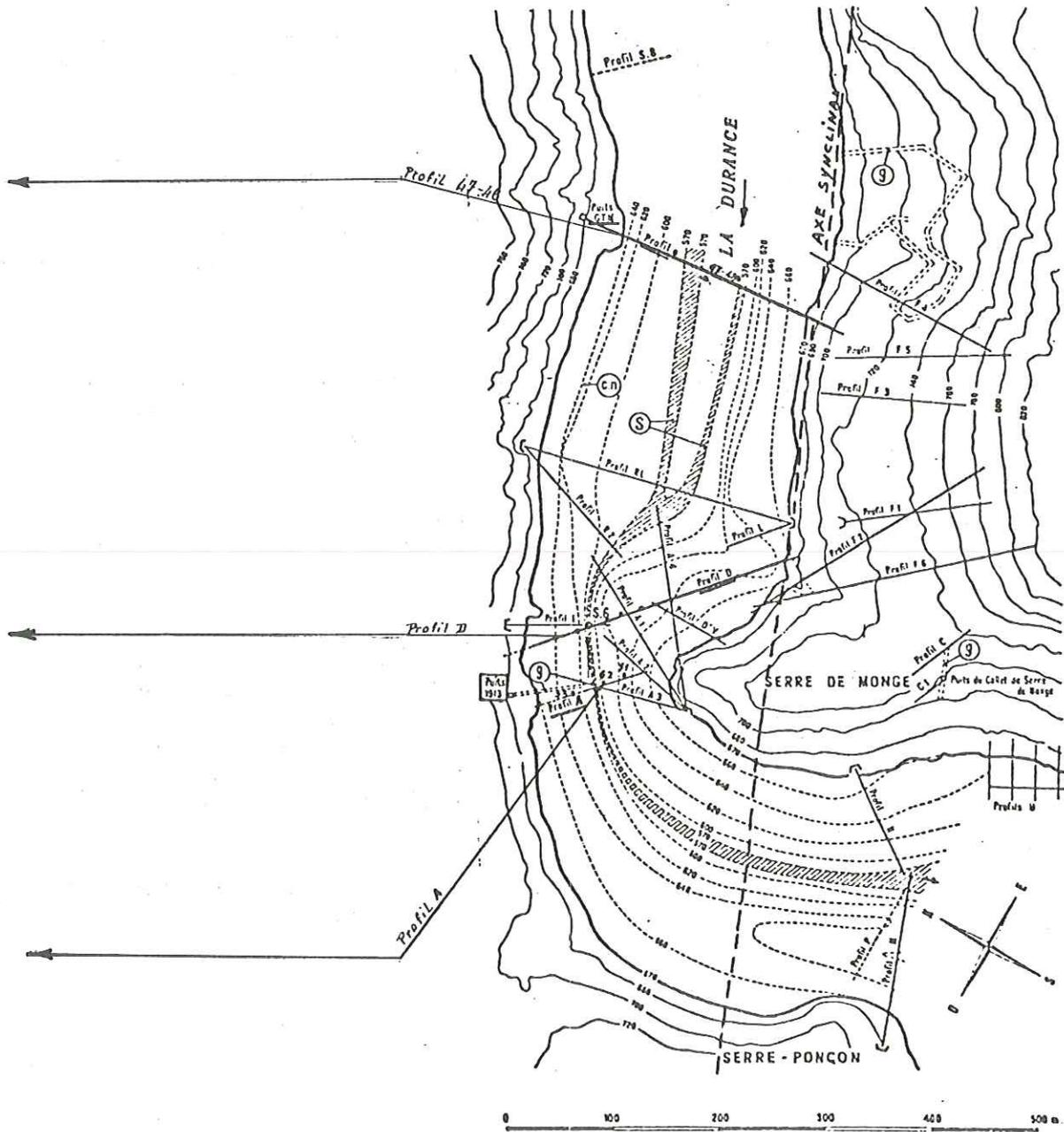


Fig. 1.

- Les teneurs maximales en sulfates sont de 1,80 g SO⁴ par litre et le débit de la nappe serait d'une dizaine de m³ heure environ.

- Déjà, KILIAN (5 avril 1913), devant l'abondance des eaux thermales estimait avoir affaire à une nappe captive dans les alluvions. Au cours du cheminement sous-alluvial l'eau remonterait sans doute en des "points bas", grâce à des solutions de continuité du remplissage fluvio-glaciaire et par suite de la pression exercée par les eaux froides descendantes de la Durance.

De toute manière, il y a une circulation permanente dans les diaclases du rocher, et des passages privilégiés dans les alluvions (5ème Congrès des Grands Barrages, Paris 1955).

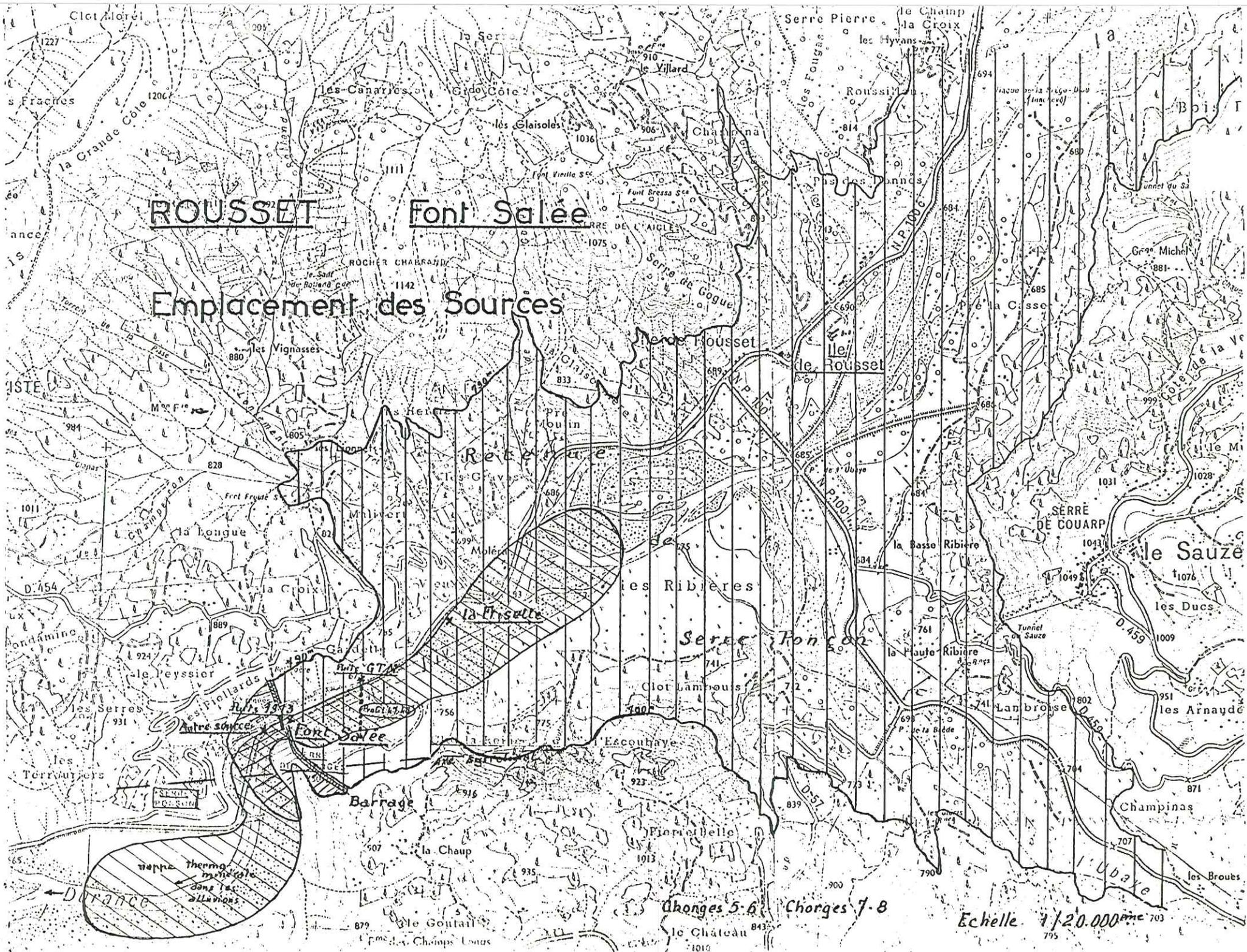
- La mise en eau du barrage, semble confirmer la mise en charge de la nappe thermique à la partie aval du barrage, par un relèvement très important et une extension du niveau piézométrique thermal dans le rocher du serre de Monge, Quelques infiltrations d'eau sulfatée ont été vite éliminées au niveau de l'usine souterraine.

Le site de Serre-Ponçon met en évidence le problème de la profondeur des remplissages glaciaires et fluvio-glaciaires à l'amont des seuils en d'étroits rocheux. En Suisse, Albert HEIM, "Annales des Mines 1953 n° X p. 51", pose la question :

Quel est au juste la profondeur des vallées alpines ?
Il s'agit bien entendu de la profondeur jusqu'à la roche en place au-dessous du remplissage d'alluvions récentes et d'éboulis.

- Elle paraît souvent beaucoup trop grande pour être attribuée à la seule érosion des glaciers alpins. A. HEIM pense à des mouvements verticaux du sol qui se seraient produits en relation avec l'une des périodes glaciaires du Quaternaire. Il cite plusieurs cas de galeries forées largement au-dessous de remplissages prévisibles de lacs, ou en amont de verrous, qui ont rencontré ces alluvions -avec d'importantes venues d'eaux- en particulier les lacs de l'Ouest de la Suisse.

Le "canon" entre le serre de Monge et le serre-Ponçon pourrait, lui aussi appartenir à ce type d'accident tectonique "récent".



ROUSSET

Font Salée

Emplacement des Sources

Recevoir

Font Salée

Barrage

SERRÉ DE COUARP

le Sauze

Charges 5-6 Charges 7-8

Echelle 1/20.000ème 703

Etude de la Source
Font-Salée

Position = 1/50 000, Charges 6 x 912,84 ; y 248,9 ; z 670.

Les venues thermominérales à l'amont du serre Ponçon ont été étudiées en raison de leur salinité lors de la phase préparatoire à la construction de la retenue.

La source de Font Salée, (commune de Rousset) a disparu, ainsi que l'émergence de la Frisette située 1 km à l'amont.

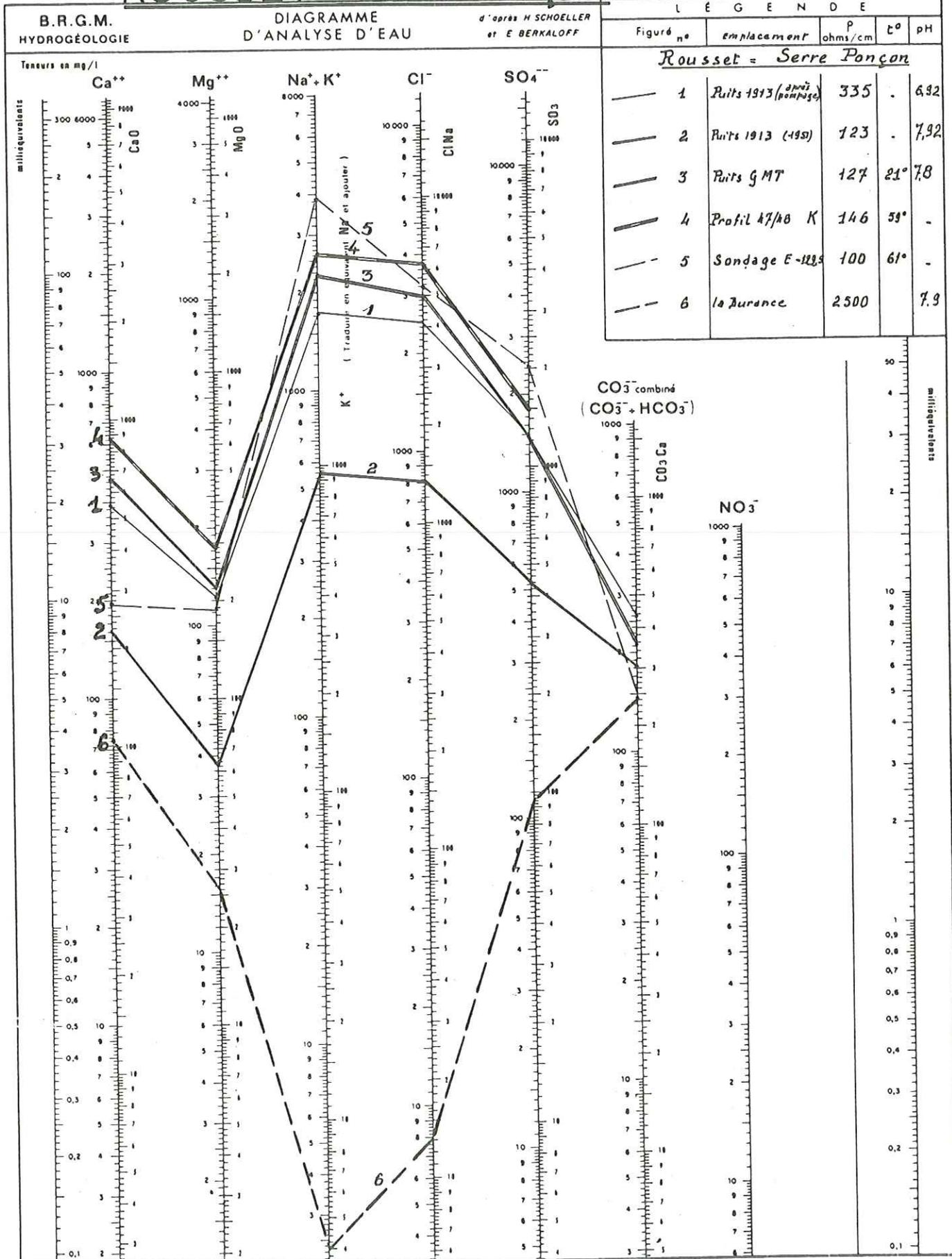
Nous nous reporterons donc aux analyses, très nombreuses qui ont été faites antérieurement à 1960.

	t°	pH	Résis- tivité	Ca	Mg	Na	HCO ₃ en mg/l	Cl ⁻	So ₄ ⁼	SiO ²
"Puits 1913" après pompage (1950)	-	6,92	117	390	120	1700	265	2480	1500	31
"Puits 1913" au repos 05.1951	-	7,92	331	154,5	47,8	555	186	800	536	18,5
"Puits GTM"	-	7,58	113	470	130	2250	230	3000	1500	28
Profil 47-48										
Sondage K	59°	-	136	608	178	2520	-	3840	1800	18
Sondage E	61°	-	90	199	112	3940	149	3160	2420	25
La Durance (1950)		7,9	2500	75	15,7	2,4	145	8	115	6

Exemple Sondage K du Profil 47-48.

Profondeur	t°C	Résis- tivité ohms/cm	Ca	Mg	Na	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	SiO ²	total
			en mg/l						
85,50 m	57°	129	580	170	2545	3840	1790	20	9925
95,50	49°	129	608	134	2080	3620	1710	18	9410
102,50	58°	138	600	164	2420	3800	1780	18	-
104,70	59°	136	608	178	2520	3840	1800	18	9945

ROUSSET Serre-Ponçon



L É G E N D E

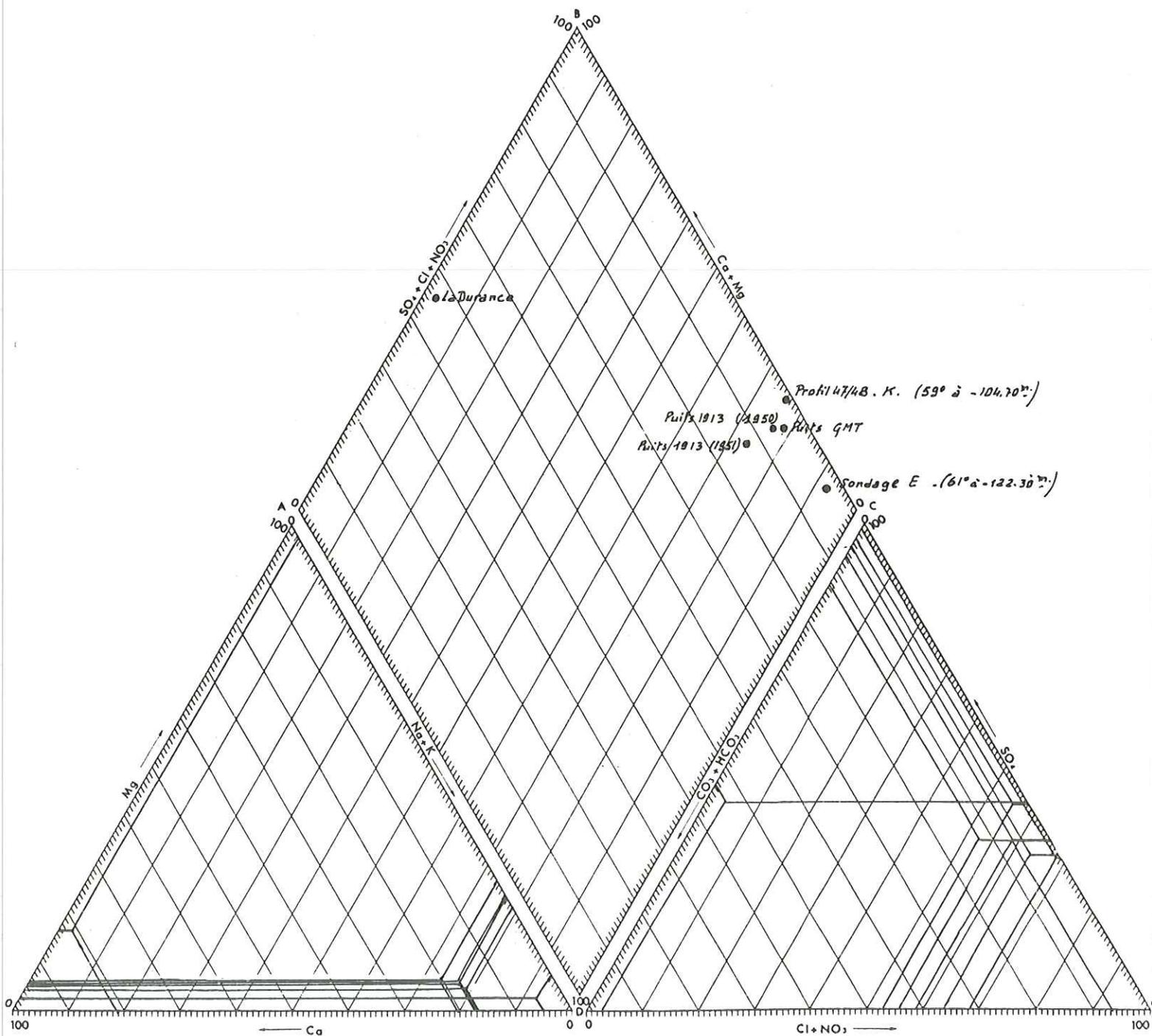
Figuré n°	emplacement	P ohms/cm	ε°	pH
<i>Rousset = Serre Ponçon</i>				
1	Puits 1913 (après sondage)	335	.	6,92
2	Puits 1913 (1955)	123	.	7,92
3	Puits GMT	127	21°	7,8
4	Profil 47/AB K	146	59°	.
5	Sondage E-123,4	100	61°	.
6	la Durance	2500		7,9

B.R.G.M.
Hydrogéologie

DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

d'après PIPER (U.S. Geological Survey)

Analyses E D F 1952-53
SERRE PONÇON



3.2.4 - Hypothèses sur l'origine des eaux thermalisées

Plusieurs hypothèses sur l'origine des eaux thermominérales de Font-Salée, (Serre-Ponçon) peuvent être envisagées. Car l'origine des eaux chaudes et minéralisées dans les alluvions est assez énigmatique et l'on ne connaît pas de véritable griffon au rocher. Les venues d'eau reconnues par les sondages dans le Lias sont localisées dans la partie altérée du bedrock, directement recouvert par les alluvions. Les puits de reconnaissance au rocher n'ont donné que quelques suintements vraisemblablement par des diaclases.

1 - Seule la présence du Trias proche permet d'envisager l'éventualité d'une origine directe, la remontée d'eaux minéralisées pouvant se faire à la faveur de fractures inconnues. Le profond canon sous-alluvial en relation avec la fracture pourrait être une matérialisation de cette origine est-ouest de l'entaille alluviale au niveau de Remollon.

2 - Nous avons envisagé, lors de l'étude des sources du Plan-de-Phazy, la possibilité du passage des eaux sous-alluviales, par un canon profond non reconnu dans le goulet de St Clément vers l'aval des fronts des nappes du Briançonnais. Ce cheminement serait guidé par la faille de Châteauroux-Embrun, puis les eaux, toujours à l'intérieur des alluvions, s'enfouiraient profondément dans le surcreusement glaciaire à l'amont du Dôme de Remollon. Une nappe thermominérale bien reconnue par la géophysique, se constituerait ainsi et l'émergence de Font-Salée, légèrement artésienne, ne serait qu'une venue au jour d'une circulation locale.

La faille Châteauroux-Embrun est jalonnée de moraines et d'alluvions consolidées, telle Roc d'Embrun, prouvant ainsi l'existence de circulations incrustantes. La zone des nappes du Briançonnais contrôlerait ainsi la venue thermominérale de Rousset.

3 - Malgré une apparence de grande compacité du calcaire dit de Serre-Ponçon, entre l'amont du barrage et les villages de Remollon et de Rochebrune, il existe au Sud de la Durance un secteur particulièrement perturbé. La région est hâchée, vers le Sud-Ouest de fractures par lesquelles des gypses diapiriques du Trias apparaissent en massifs importants.

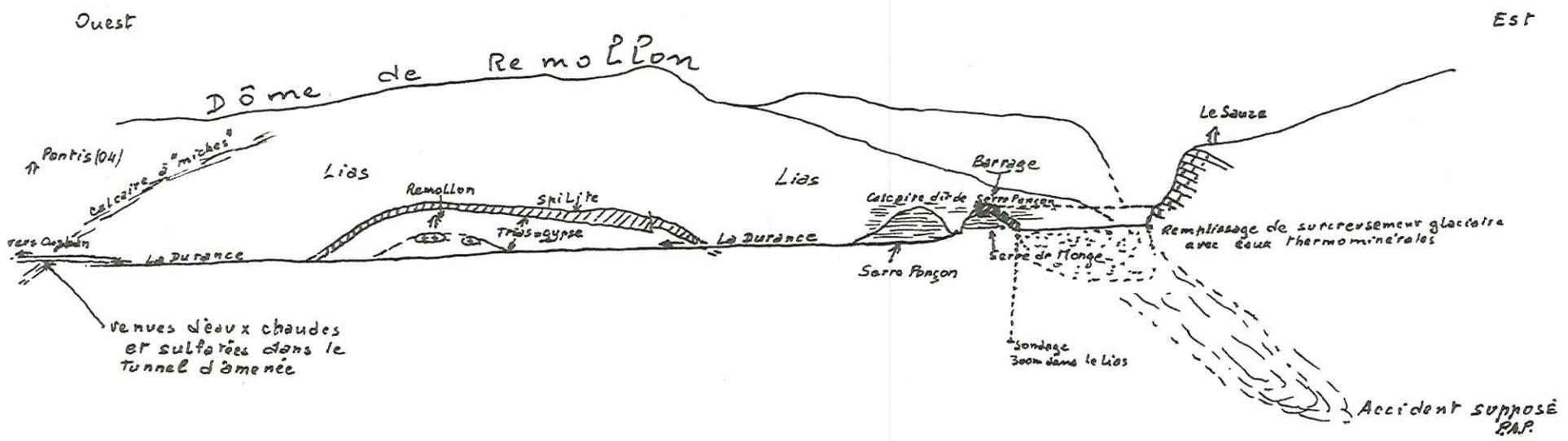
La fracturation affecte le Domérien-Moyen, le Domérien-Supérieur, le Toarcien et l'Aalénien. De nombreux filons et filonnets de calcite, sans continuité, sont minéralisés en sulfures (région de Bréziers). Ce type de minéralisation paraît très récent et témoigne, avec les gypses associés, d'une activité tectonique et hydrothermale peut-être encore non interrompue.

A partir de là, faire passer dans ce secteur, un accident de socle de grande importance est du domaine du possible. Celui-ci correspondrait à la direction de la vallée de la Durance d'Embrun au confluent Durance-Ubaye. Il se poursuivrait par la zone tectonisée de Bréziers, puis par la vallée morte du torrent du Grand-Vallon.

4 - Cet accident pourrait être à l'origine des venues chaudes et en l'absence de mesures isotopiques, le problème ne peut être résolu.

Il est cependant certain que la retombée subhorizontale du Dôme de Remollon au niveau du confluent Durance-Ubaye correspond à une partie basse de la région où une importante dépression nord-ouest/sud-est apparaît. Celle-ci limite le massif du Pelvoux à l'Ouest et par la vallée du Drac, se poursuit vers le Sud à l'Est du Dôme de Remollon et encore plus au Sud par le front des nappes de l'Embrunais. Cet accident de grande importance est parallèle à la dépression de la "faille" de la Guisane mais sa matérialisation sur le terrain est peu nette.

Accident supposé à l'amont du Dôme-de-Remollon



Croquis non coté

3.3 - SOURCES LIEES AUX "TERRES-NOIRES"

Dans l'Ouest et le Sud-Ouest du département des Hautes-Alpes, parmi les nombreuses sources à faibles débits, mais souvent minéralisées, seules les sources de Font-Vineuse à St Pierre-d'Argençon et de la Bergère à Aspres-sur-Buech, ont fait l'objet de captages en vue d'une production commerciale.

Les deux sources apparaissent dans les "Terres-Noires", du Callovien-Oxfordien très puissant. Elle pourraient représenter pour partie, les qualités d'eaux de "compaction" d'anciennes vases marines déposées en milieu peu oxygéné. L'homogénéité, la texture, la morphologie de ces horizons montre toutefois qu'ils ne peuvent constituer des niveaux d'accumulation importants et les débits restent faibles.

L'environnement de la source de la Bergère est stabilisé par la forêt, celui de Font-Vineuse demande à être fortement protégé car il est en fond de vallée. Les cônes d'éboulis et les ruissellements sur les affleurements et cailloutis dénudés peuvent, par des apports superficiels polluer l'émergence.

Le climat de type méditerranéen y est prononcé, avec des alternances de précipitations importantes et de longues périodes de sécheresse.



Sources de la Loire aux Terres Noires

Fontaine Veneuse

Fontaine de la Bergerie



Sources de la Loire aux Terres Noires

Fontaine Veneuse

Fontaine de la Bergerie

3.3.1 - Font-Vineuse n° 7
commune de St Pierre-d'Argençon

Position : 1/50 000 Luc-en-Diois 7-8 x 866,13 ; y 253,28 ; z 791.

t° 10°, pH 6,3, résistivité 555 ohms/cm.

en mg/l : Ca 364, Mg 29,1, Na 147, K 16,0,
HCO₃ 1403, Cl⁻ 120,7, SO₄⁼ 11, NO₃ 1,5,
F 0,24, Ba 2,7, S²⁻ 4,1, SiO₂ 12, Li 0,378, Zn 0,07, Fe 2,56 = 2gr11.

Source Font Vineuse
Saint-Pierre-d'Argençon

HISTORIQUE

La source minérale de Font-Vineuse de St-Pierre-d'Argençon a une histoire qui se perd dans le passé; d'autres "Font Vineuse" sont signalées sur les communes de Montmaur et de Montsaléon.

Les environs de la source étaient habités à l'époque préhistorique, divers objets tels que haches, flèches de pierre, des objets de bronze et de fer ont été retrouvés. A l'emplacement d'anciennes constructions gallo-romaines -avec poteries et monnaies- a vraisemblablement succédé une occupation chrétienne attestant une continuité dans une tradition de guérisons et de rassemblements autour d'un point religieux.

Dans le bas Moyen-Age, un prieré sous le vocable de Sainte-Marie-de-Font-Vineuse est construit à côté de la source. En 1226 il appartenait à l'abbaye de Lérins. De 1205 à 1550 différents documents confirment une occupation des lieux par les religieux. Les guerres de Religion ont terminé cette période.

Un parchemin de 1443 décrit plusieurs miracles qui se seraient opérés dans l'église de Notre-Dame-de-Font-Vineuse.

La notoriété de la source et de ses guérisons dépassait les limites locales pour s'étendre à tout le Dauphiné, car en 1658 SALVAING-DE-BOISSIEU la range au cinquième rang parmi les 7 merveilles du Dauphiné.

Par la suite, une chapelle fut à nouveau élevée, sans doute détruite plus tard "par un éboulement de montagne" ! Des malades y venaient remercier le ciel de leur guérison.

Au XIXème siècle, un minuscule chalet y fut à nouveau édifié.

Enfin des "travaux considérables" à la fin du siècle dernier ont amélioré le captage et permis de construire un établissement thermal et ses annexes. Des arbres ont été plantés, formant maintenant un cadre admirable, bien ombragé dans une région très ensoleillée mais aride et desséchée, au substratum de "Terre-Noires", ou de gravières et d'éboulis à végétation rabougrie.

Il nous reste une analyse sommaire faite par VAUTIER en 1808. Déclarées d'intérêt public le 26.12.1870, autorisation ministérielle du 26.12.1879, les eaux sulfureuses et légèrement chlorurées ont d'abord été utilisées en bois-

sons à la source. Digestives, toniques, diurétiques, elles ont une action salutaire sur l'appareil digestif, les rhumatismes, l'arthritisme, la goutte et la gravelle.

En 1898 le nombre des malades était de 35, 300 bouteilles d'eau étaient consommées sur place et 3500 expédiées au dehors.

Un embouteillage, limité en raison du faible débit de la source : 2500 cols en 1961, s'est poursuivi jusqu'à ces dernières années avec une diffusion régionale réduite. Actuellement l'établissement est abandonné, le captage non entretenu a un débit insignifiant.

Lors de l'édification de l'établissement actuel, la source sourdait d'un griffon profond seulement de 2 mètres environ et ne donnait que 0,727 l/mn soit un peu plus de 1 m³/jour.

Un puits de 1,20 m de diamètre foré à 13,70 m de profondeur a rencontré les schistes marneux du Callovien en place. La venue d'eau sort d'une fracture étroite en dégageant par intermittence des bulles. Les travaux ont fait reconnaître qu'un très ancien puits de même profondeur avait été creusé et qu'il avait été ensuite comblé de terre et de bois.

Le captage est artésien. D'un procès-verbal de jaugeage daté du 14 mars 1903, il résulte que les robinets de puisage situés au-dessus du sol de la chambre d'embouteillage débitent 29,40 l/mn, soit 42 m³ par jour. Le niveau de l'eau se tient à 0,50 m au-dessus des robinets dans la colonne du déversoir. Le débit est invariable quelque soit la saison et la température -1904- est de 13°C.

Quant au nom de Fontaine-Vineuse, CHORIER : *Histoire générale du Dauphiné 1668*", écrit que ses eaux ont un goût qui a un certain rapport avec le vin que les bons moines de Lerins devaient apprécier, qu'elles sont un remède aussi efficace que facile aux ulcères les plus malins ; que leurs effets montrent assez qu'elles sont un miraculeux présent que Dieu a fait aux hommes pour les guérir de maux si horribles.

Extrait de "Notice sur les eaux minérales, les fonts saintes et les fonts bénites dans les Hautes-Alpes" par l'abbé F. ALLEMAND. Bulletin de la société d'études des H.A. 3ème trimestre 1904 n° 11.

DESCRIPTION

La source, en fond de vallée, serait située pratiquement sur le sommet de l'anticlinal supposé : Aspres la Beaume. Le substratum est masqué par les alluvions de la rivière la Chauranne et par des éboulis issus de la montagne. Les travaux d'approfondissement du puits de captage de la source ont démontré que les venues d'eau proviennent des "Terres-Noires" et non d'écoulements superficiels. La source serait captée au sommet du Callovien-supérieur base de l'Oxfordien-inférieur, non différenciés sur la carte géologique Luc-en-Diois 1/50 000.

Actuellement la station d'embouteillage est en chômage. Le réservoir est situé sur le captage, au trop plein du puits, au niveau de la charge de la source. L'écoulement est pratiquement nul et la température de l'eau n'est que de 10°.

Une exploitation intensive, avec un pompage énergétique, rétablirait vraisemblablement une circulation plus active, avec un apport d'eau de température plus élevée, et plus minéralisée.

Le pH : 6,3, anormalement bas, pourrait lui aussi en relation avec les conditions de repos de la source ou à la présence de gaz carbonique. La salinité totale - 2,11g/l est surtout due au carbonate de calcium et au fer.

Comparativement à la source de la Bergère, très proche, les chlorures et la teneur en lithium ne sont pas négligeables.

La situation de la source, dans le fond de la vallée, considérée jusqu'à présent au sommet d'un anticlinal faillé longitudinalement, appelle quelques commentaires sur la géologie de la région.

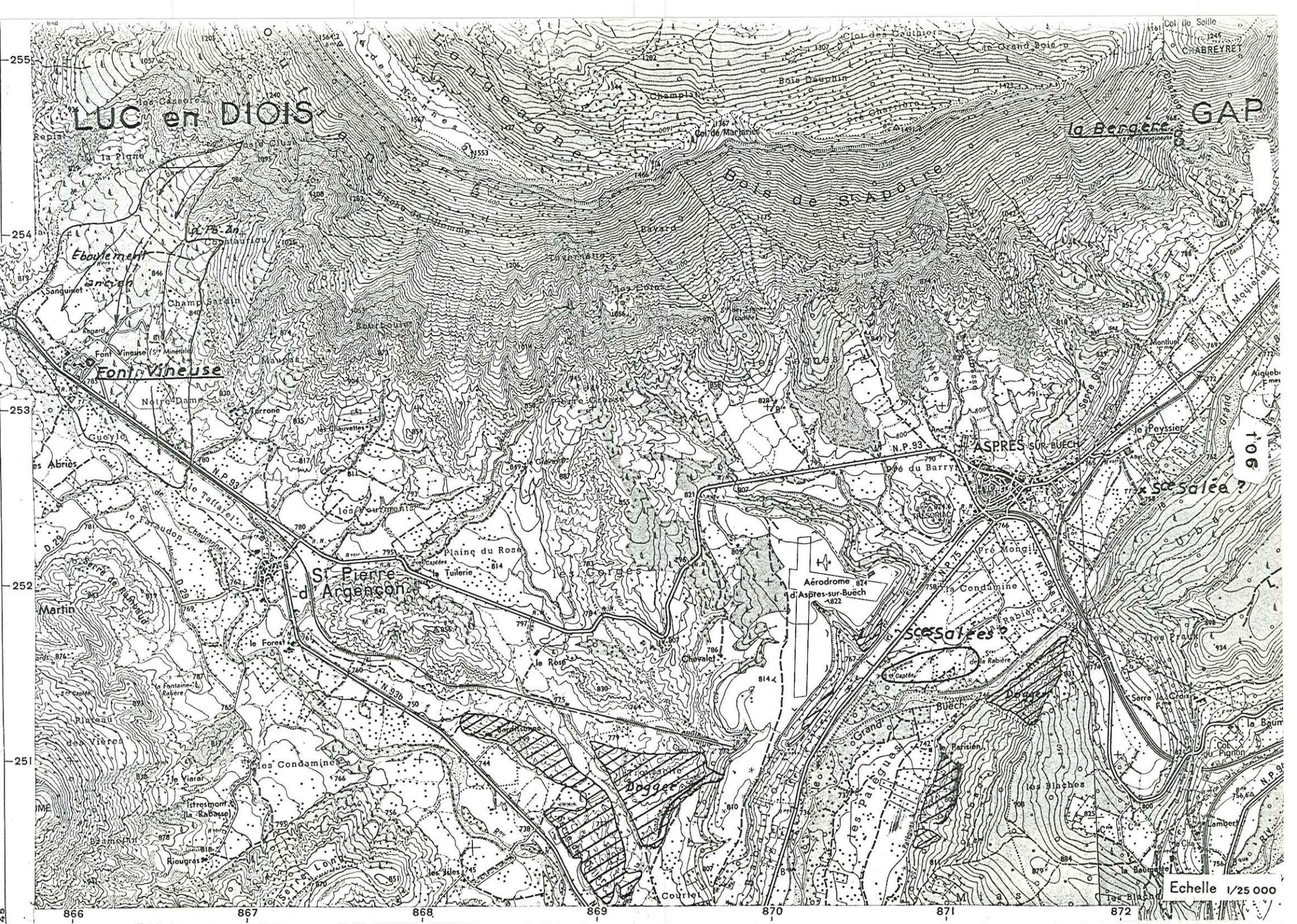
- a - dans une première hypothèse, nous pouvons admettre la présence d'une fracture permettant un léger apport de chlorure à partir d'un Dogger sous-jacent, Dogger qui vers le Sud-Est alimente quelques sources ou "fontaines salées" à proximité de la vallée du Buech. Des amas d'évaporites y sont supposés.
- b - dans la deuxième hypothèse, on pourrait considérer la vallée de la Chauranne comme un faisceau de fractures représentant un chevauchement "profond" où seraient en contact les termes supérieurs du Jurassique. Il correspondrait à la prologation vers le Nord-Ouest du chevauchement de Ventavon connu plus au Sud-Est au niveau de la Durance.

L'apport des chlorures et du lithium à la source de la Font-Vineuse proviendrait de circulations profondes ayant lessivé quelques lambeaux d'évaporites du Trias. La profondeur du magasin permettrait seulement la venue au jour des chlorures à l'exclusion des sulfates.

Le tritium est relativement abondant : 41 UT. Si le débit de la source provient en partie d'eaux de compactage des "Terres-Noires", eaux fossiles théoriquement vierges de tritium, des apports de surface se produisent en raison même de la faible profondeur du captage au bedrock.

L'altitude moyenne de l'impluvium : 1000 mètres, fournie par l'isotope ^{18}O , reflète étroitement l'altitude du bassin versant alimentant la source.

Les sulfates sont peu abondants. La valeur δS^{34} (+ 7,8) mesurée sur les sulfates des eaux permet enfin d'envisager, comme le suggère l'échelle de Nielsen, que la minéralisation s'est faite à partir d'évaporites du Jurassique moyen (Dogger) ce qui est compatible avec les conditions géologiques locales mais on ne peut exclure un lessivage d'évaporites triasiques plus ou moins remaniés, suivi d'un fractionnement isotopique d'origine bactérienne.



LUC en DIOIS

GAP

la Bergerie

Ebolement

Font-Vineuse

St Pierre d'Argenson

ASPRES SUR-BUECH

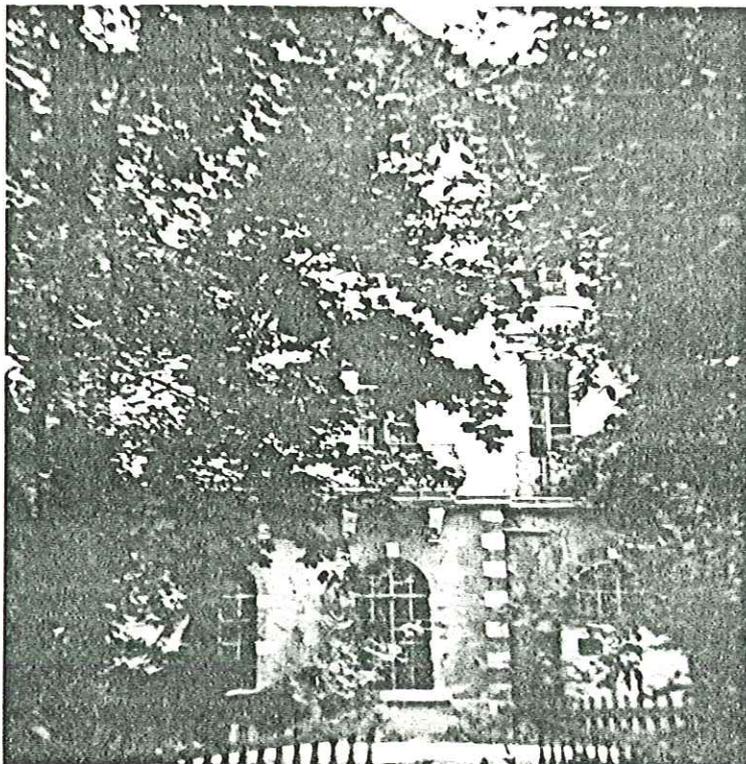
Aérodrome d'Aspres-sur-Buech

scasales?

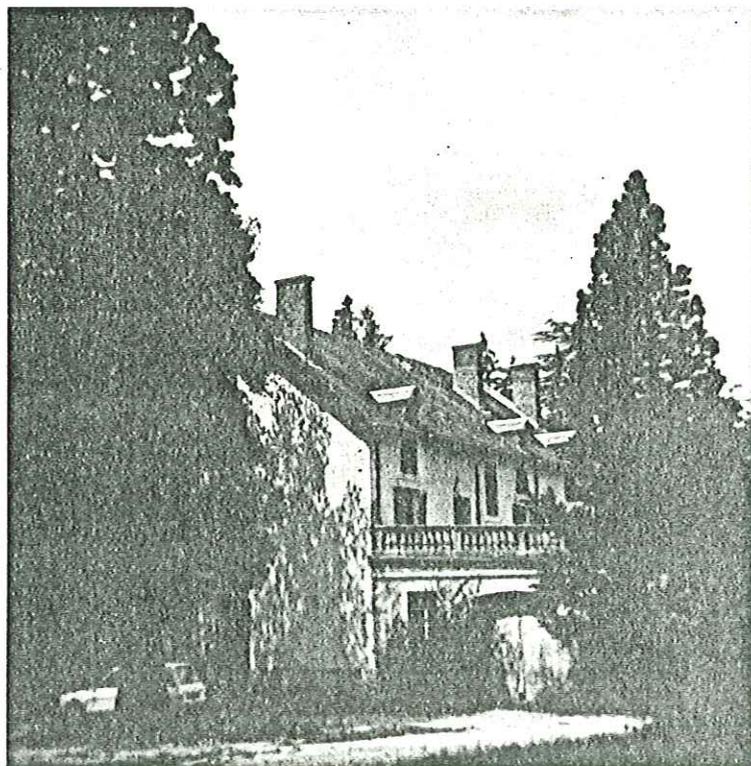
106

Echelle 1/25 000

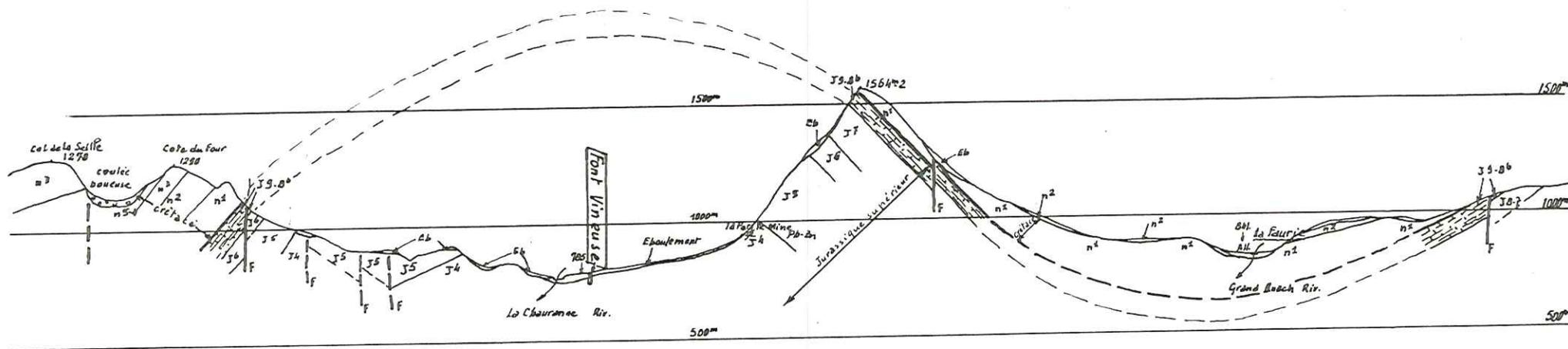
Font Vineuse
St Pierre d'Argençon



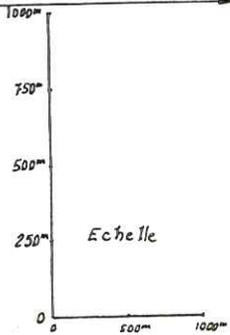
Font Vineuse - l'établissement thermal face Sud
La Source et la salle d'emouteillage sont au rez-de-chaussée



l'établissement thermal face Nord



Synclinal de Valdrôme Anticlinel Aspres - la Beaume Synclinal de la Fourie

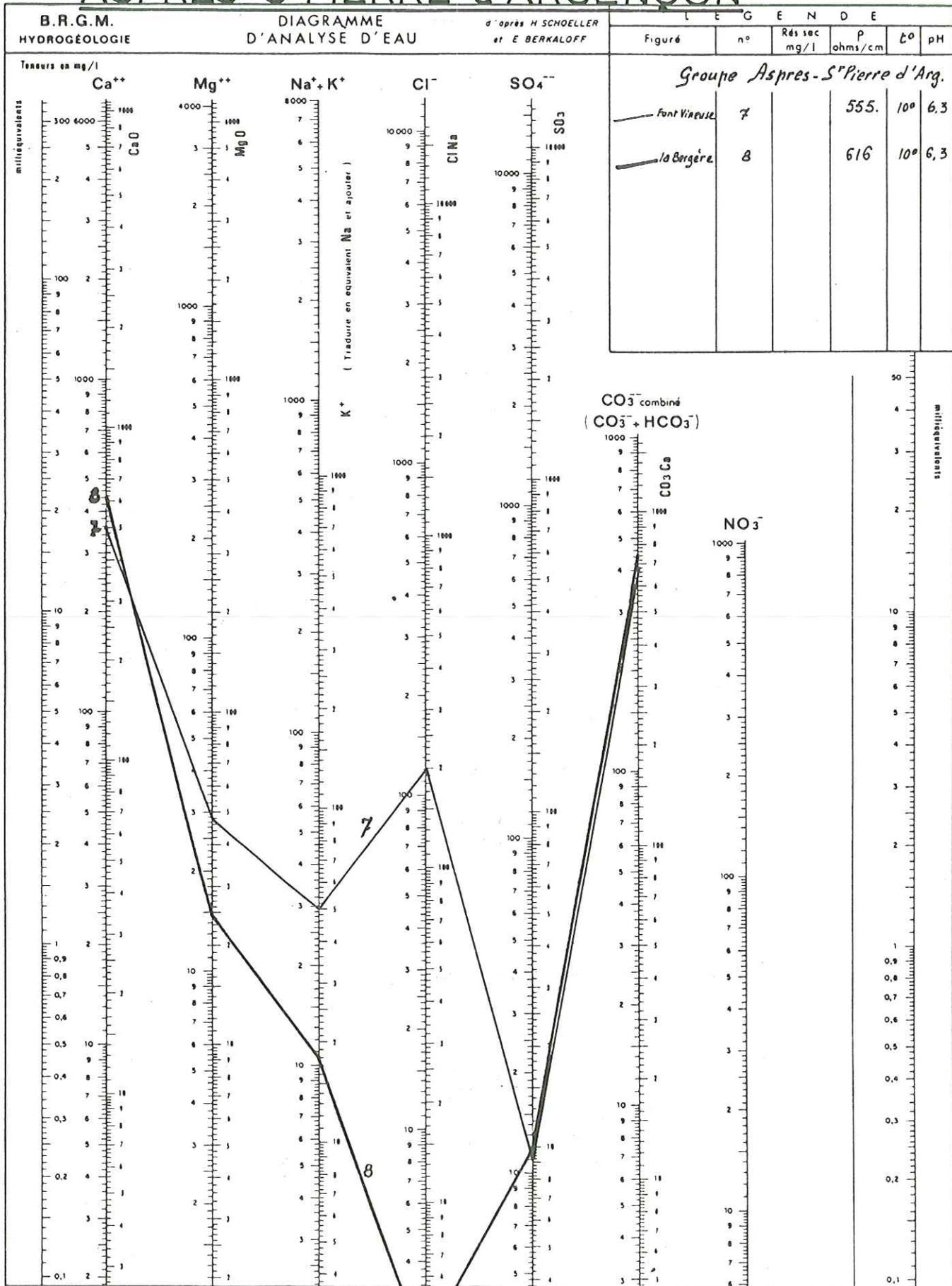


Coupe N.E.-S.W. de l'anticlinal de ASPRES - la BEAUME

S^t PIERRE d'ARGENÇON

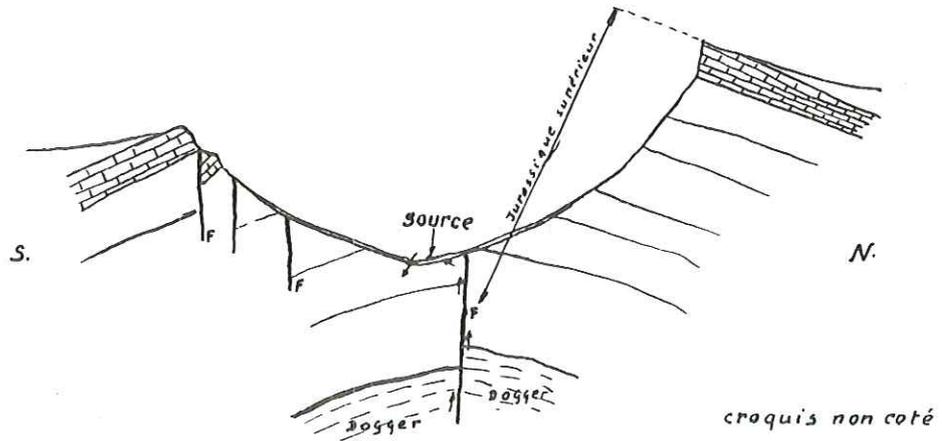
FONT-VINEUSE

ASPRES - S^tPIERRE d'ARGENÇON

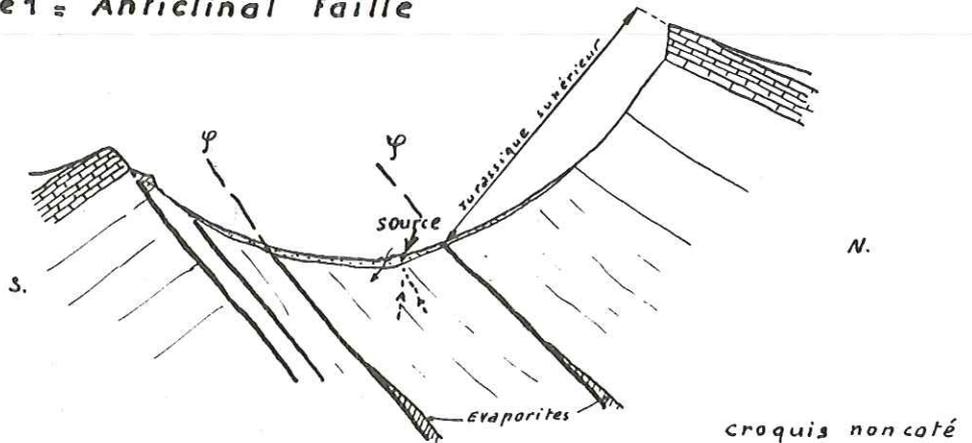


Coupe perpendiculaire à la source de de FONT VINEUSE

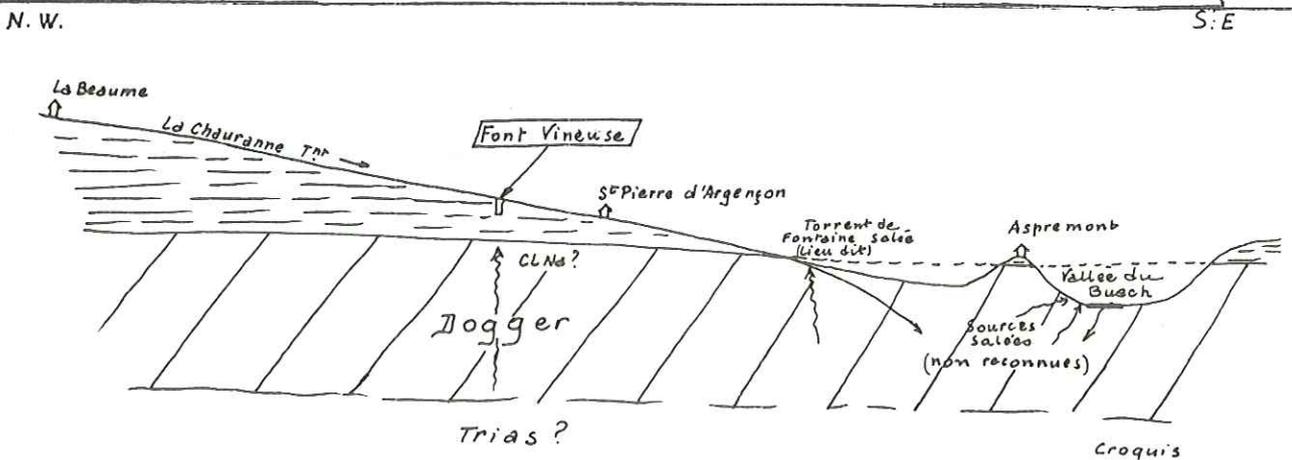
2 Hypothèses



Hypothèse 1 = Anticlinal faillé



Hypothèse 2 : Chevauchement (de Ventavon ?)



Font-Vineuse = hypothèse anticlinal à cœur de Dogger

3.3.2 - La Bergère et l'Aigle n° 8
Commune de Aspres-sur-Buech

Position 1/50 000, Gap n° 5 x 872,35 ; y 254,515 ; z 920.

t° 10°C, pH 6,3, résistivité 616 ohms/cm

en mg/l : Ca 458, Mg 16,6, Na 11,5, K 2,3,
HCO₃ 1454,8, Cl⁻ 1,9, SO₄ 12, NO₃ ≤ 10,
F 0,18, S²⁻ 7,1, SiO₂ 19, Li 0,021, Zn 0,09, Fe 5,6 = total 1,99 g.

Les sources de la Bergère (et de l'Aigle) se situent sur une fracture perpendiculaire à la barre du Tithonique, qui recoupe l'ensemble du Jurassique-supérieur. Cette fracture nord-sud recoupe la crête au col de Seille 1161 m. Elle abaisse le panneau est de 40 mètres environ.

Les captages étagés dans le ravin dit du col de Seille sont apparemment alimentés par une venue d'eau unique. Au cours des prélèvements de novembre 1973, après une longue période de sécheresse, la source inférieure, l'Aigle, était tarie.

La source de la Bergère apparaît à la base de l'Oxfordien-moyen, sommet de l'Oxfordien-inférieur, où se distinguent encore des bancs marno-calcaires alternant avec des marnes. Au-dessous stratigraphiquement, apparaissent les schistes argileux noirs monotones de la masse des "Terres-Noires" pratiquement imperméables. Le pendage de la formation est orienté vers l'intérieur de la montagne.

Au cours du prélèvement, à la sortie du captage, la température de l'eau était de 10°C. Le pH est identique à celui de Pont-Vineuse. Mais les conditions de prélèvement sur des eaux non renouvelées faussent les résultats. Sauf en ce qui concerne les chlorures et le lithium, ici absents, les conditions de gisement, impliquent les mêmes origines géologiques : eaux de compaction des "Terres-Noires", additionnées d'eaux superficielles infiltrées à faible profondeur et cheminant lentement sur une faible distance donc en un temps relativement court confirmé par la teneur en tritium de 71 U.T..

Le bassin de réception, de l'ordre du kilomètre carré, est très réduit et ¹⁸O nous le situe à 1000 mètres environ. L'absence d'activité humaine à l'amont de la source, garantit une qualité des eaux, malheureusement peu abondantes.

La Bergère - l'Aigle

Aspres-sur-Buech



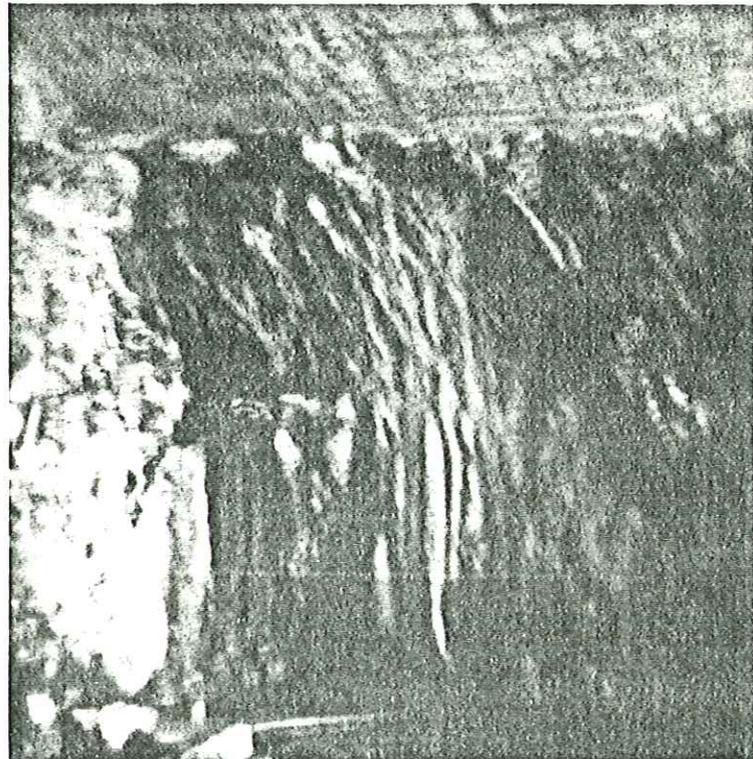
Source de la Bergère

Col de Seille

Gap n°5 x872,35 y254,515 z920



Source de l'Aigle - cavité réservoir sous
la source de la Bergère
T° de l'eau 11°C ,résistivité 600 ohms/cm



Source de l'Aigle, cavité -réservoir dans
les calcaires oxfordiens - suintements
stalagmitiques -

3.4 - SOURCES LIEES AU TRIAS Région de la Saulce

Quatre sources ont été échantillonnées dans la région de la Saulce. Elles sont situées sur la rive droite de la Durance, au niveau du remblaiement alluvial, et à la base topographique d'affleurements gypseux à ennoyage vers le Nord-Est, perpendiculaires à la vallée.

Ceux-ci sont largement entamés par l'érosion des torrents affluents. Ils correspondent à deux bases de chevauchements.

1 - Chevauchement de la Saulce-Ceüse

Torrent de Font-Chaude. Commune de la Saulce
Source Font-Chaude n° 9

2 - Ecaille de Barcillonnette

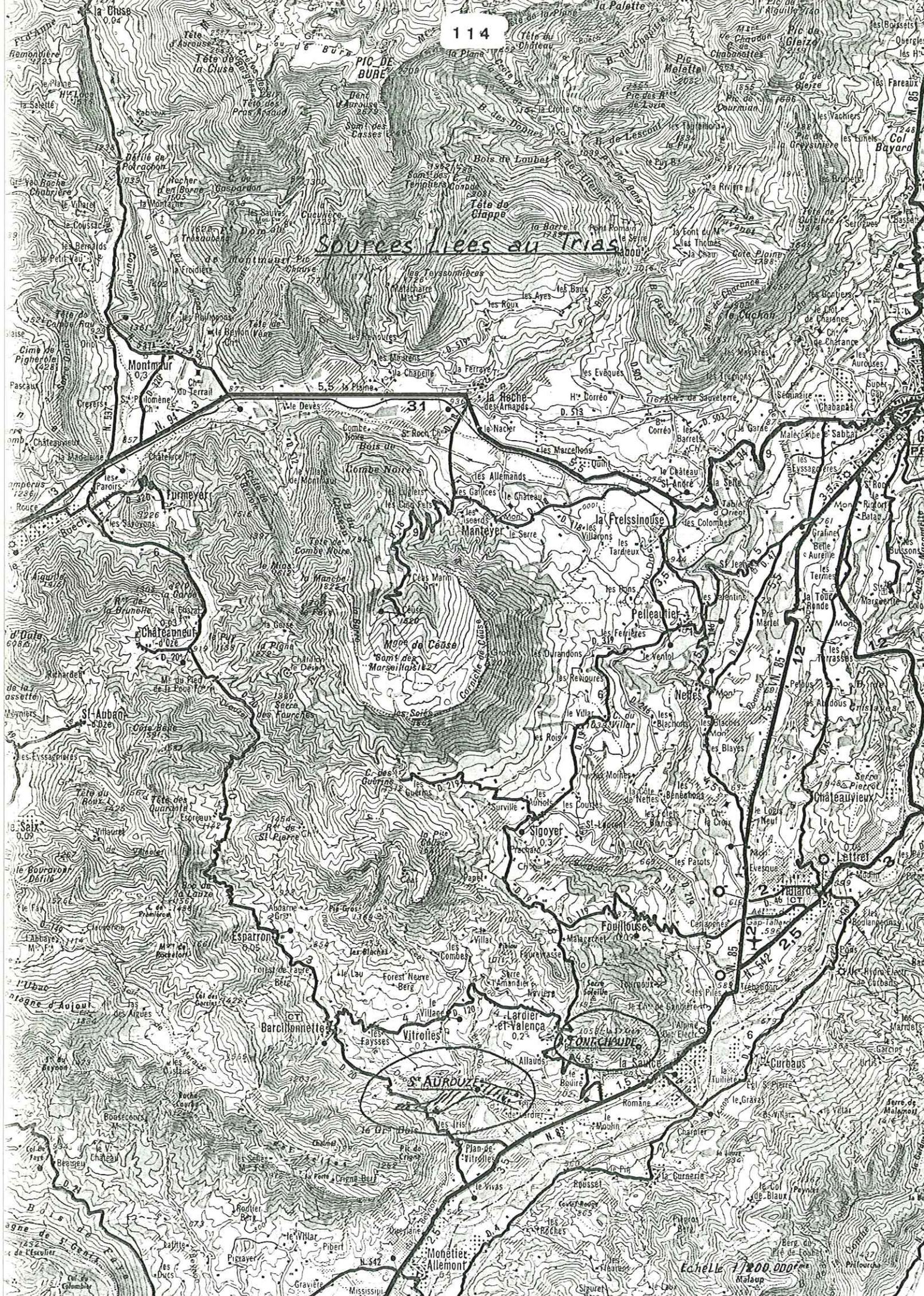
du Nord au Sud : Torrent du Robinet
Recherches d'eau du Plan-de-Lardier Cne de Lardier

Torrent de Briançon
Source Aurouze Cne de Lardier n° 10

Torrent de la Déoule Commune de Vitrolles
Source des Querlies

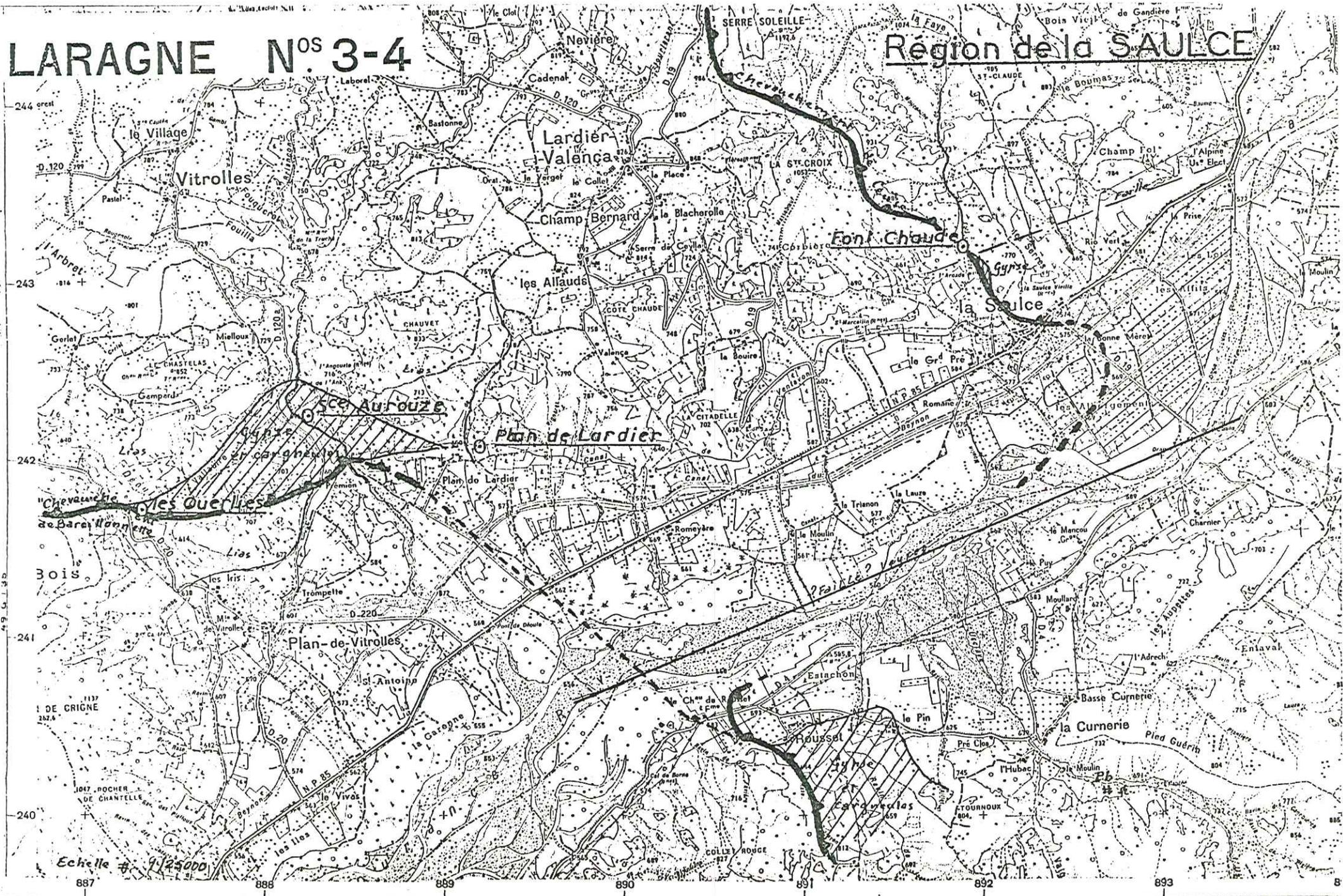
Ces 3 sources situées au même niveau topographique représentent du Nord-Est au Sud-Ouest le sommet, la masse, la base des gypses de la même écaille. Seule la source Aurouze a été étudiée.

Sources liées au Trias



LARAGNE N°S 3-4

Région de la SAULCE



3.4.1 - Font-Chaude n° 9
Commune la Saulce

Position 1/50 000 Laragne 3-4 x 891,90 ; y 243,18 ; z 650.

En juillet 07.1974, t° 19°C, pH 7,4, résistivité 960 ohms/cm.

en mg/l : Ca 208, Mg 47,9, Na 10,2, K 2,1,
HCO₃ 314,1, Cl⁻ 2,5, SO₄ 510, NO₃ ≤ 1,0,
F 0,2, S²⁻ 11,8, SiO₂ 13, Li 0,019, Zn 40, Fe ≤ 100 : total 1,20 g/l.

La source de Font-Chaude est issue du sommet d'un affleurement de Trias broyé : gypses et cargneules conglomératiques, puissant de 8 à 10 mètres pincé entre les "Terres-Noires" du Jurassique-moyen formant mur, et une nouvelle unité débutant au Jurassique-inférieur formant toit. Cette discordance, à fort pendage vers le Nord-Est, concrétise le chevauchement la Saulce-Ceüse au Nord de la Durance, davantage développé vers le Sud, en direction de Digne.

La large vallée de la Durance, au niveau de la Saulce, correspondrait (Veyret) à un décrochement important de l'ordre de au moins 4 kilomètres du chevauchement précité ; le panneau sud-est se déplaçant vers le Sud-Ouest.

La source se situe à environ 70 mètres au-dessus de la vallée et n'est pas influencée par les eaux des alluvions de la Durance. Le torrent de Font-Chaude à la base duquel la source a été captée correspond à une fracture nord-sud.

L'émergence marque également un accident très net de direction N 40° parallèle à la Durance. Celui-ci a provoqué l'affaissement en masse du massif de Saulce-Vieille.

Cette émergence dont la consonnance "Font-Chaude" appelle à une étude comparative avec les autres sources haut-alpines. La température de 16,2°C en novembre 1973, était de 19°C en juillet 1974. Le pH est relativement fort : 7,5. Il est caractéristique de la région : Aurouze pH 8,0, les Querlies 7,6.

Les chlorures sont absents et les sulfates peu abondants.

L'utilisation des isotopes paraît très intéressante. ¹⁸O nous donne une altitude moyenne des précipitations de 1150-1200 mètres. Cette moyenne ne paraît pas compatible avec le bassin d'alimentation directe exceptionnellement à cette altitude. D'ailleurs ce bassin versant très réduit ne permet pas de justifier le débit jaugé.

La source située au niveau de la base du chevauchement draine les écoulements directs et ceux du plan de base de la nappe. Ceci nous a conduit à rechercher plus haut et latéralement, sur le flanc nord-est de la Petite Ceüse et sur le flanc sud de la Grande Ceüse, vers le col des Guérins, un nouveau bassin d'alimentation. Celui-ci plus étendu, se place à une altitude moyenne de 1400 à 1600 mètres. Le chiffre moyen suggéré par ¹⁸O serait ainsi infirmé.

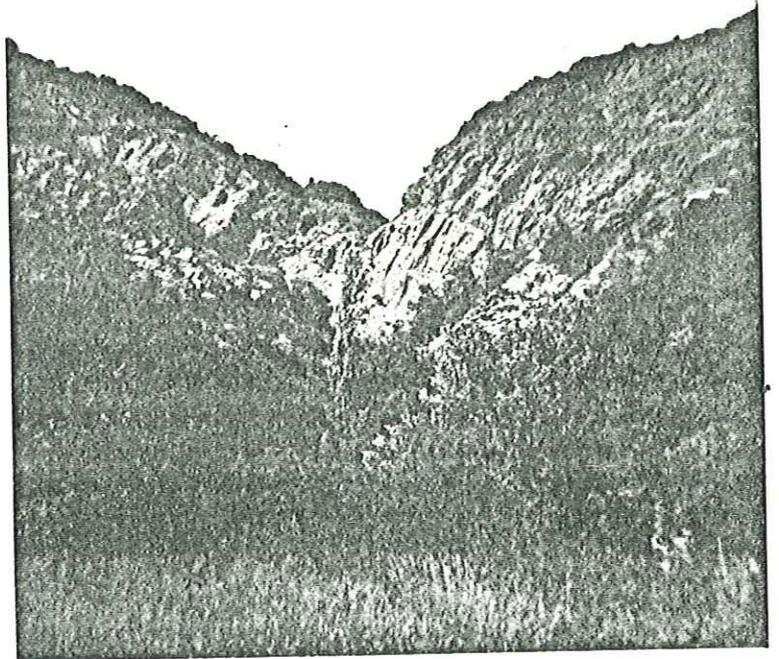
Font-Chaude

la Saulce

Torrent de Font-Chaude
Le captage est au pied du peuplier
au centre de la photo

Laragne n°4 x891,90 y243,18 z650

Sur la gauche chevauchement de
Céüse -la-Saulce

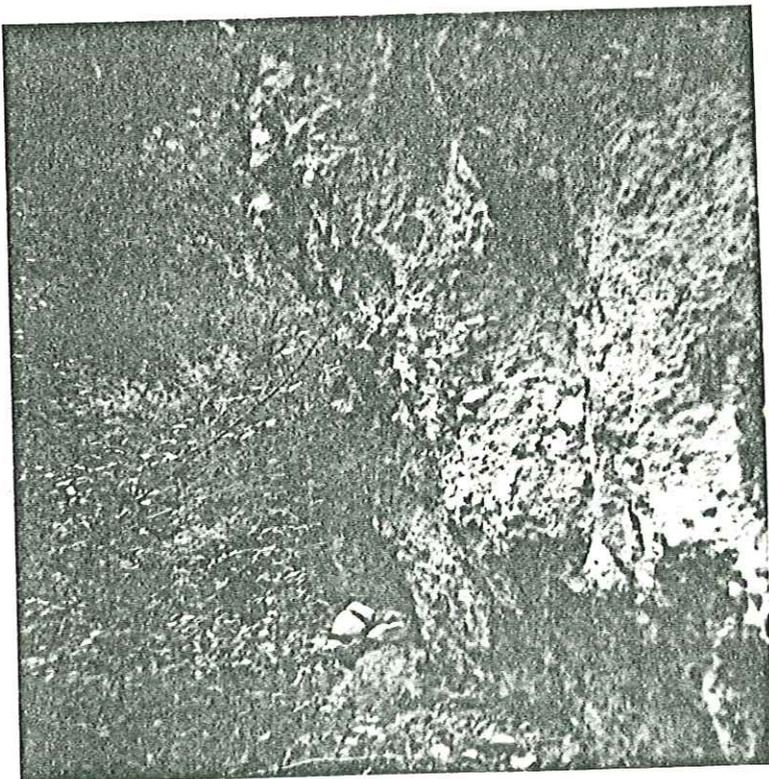


S

N



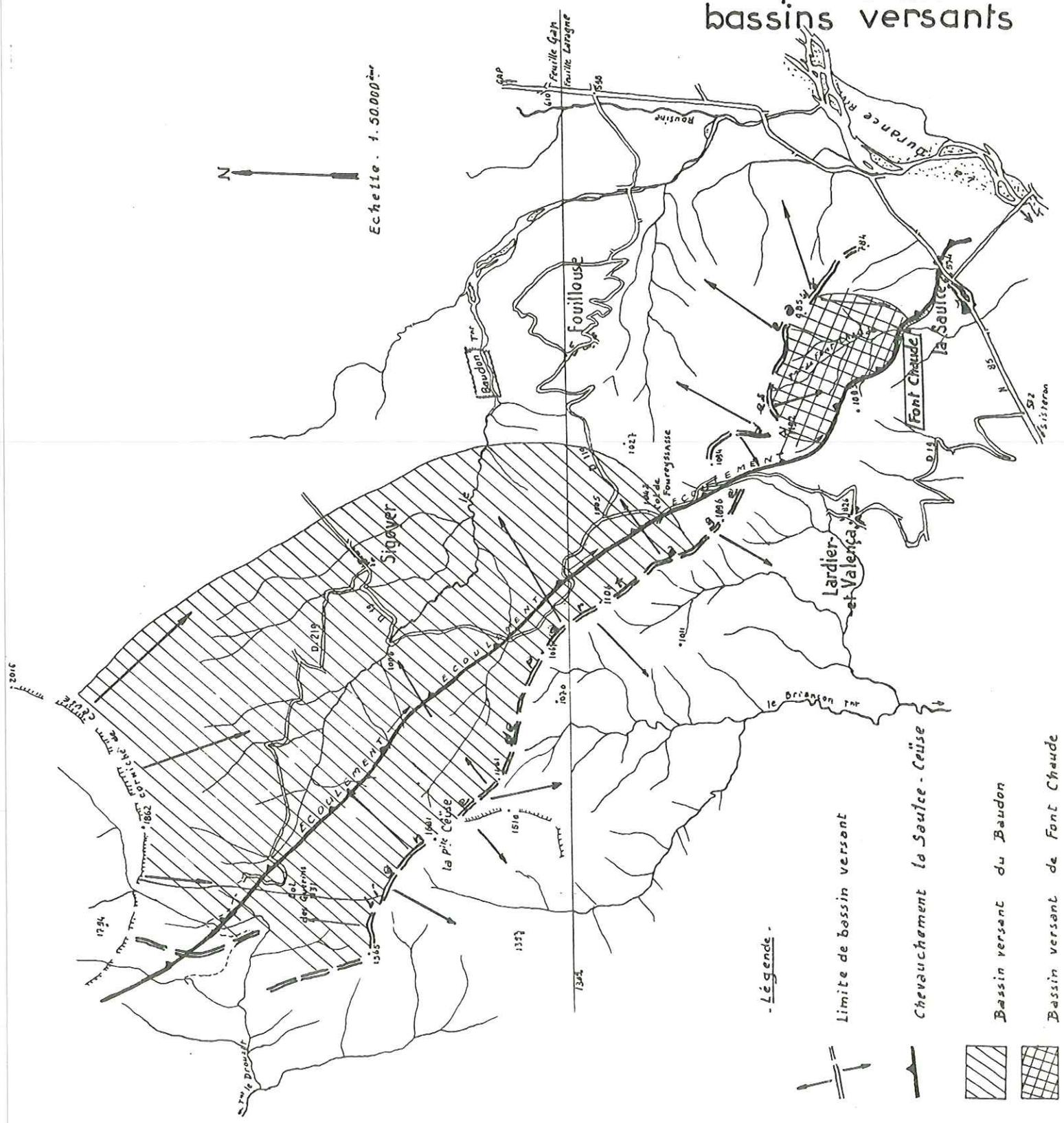
Font-Chaude
captage et massif de tuf de la rive
droite du torrent de Font-Chaude



Torrent de Font-Chaude
Conglomérat rive gauche -base du
chevauchement Céüse -La-Saulce
Face au captage

Source de FONT CHAUDE - la Saulce

Alimentation de la source par deux bassins versants



N

Echelle 1:50.000^m

- Légende -

-  Limite de bassin versant
-  Chevauchement la Saulce - Ceüse
-  Bassin versant du Baudon
-  Bassin versant de Font Chaud

Le système de deux bassins versants indépendants, l'un proche exposé au Sud, soumis à un écoulement rapide, l'autre plus élevé, exposé au Nord, précipitations nivales abondantes, où les eaux s'enfouissent rapidement, tempéré par un long cheminement dans le plan de chevauchement sur plusieurs kilomètres, nous donne une eau d'âge "récent". Le tritium présente une abondance : 67 UT seulement dépassée par la teneur reconnue à la source de la Rotonde à Monétier-les-Bains.

La minéralisation de la source est très légère et ne représente qu'un lessivage peut-être lointain et facile mais où le Trias à évaporites est absent, à la base du chevauchement. Le Trias n'est d'ailleurs représenté que localement sous la source - amas de gypse dans le ravin - et au niveau de la source par un conglomérat à éléments calcaro-dolomitiques.

Les eaux sont cependant légèrement calcaro-séléniteuse mais l'absence quasi totale de chlore et sodium-potassium restreint les possibilités d'origine liée aux évaporites.

Le lithium, le fluor et le strontium ont des teneurs semblables aux eaux lessivant les "Terres-Noires".

La température au captage provient d'un enfouissement "profond" dû à l'altitude des reliefs-600 mètres de dénivelée-et d'un écoulement par gravité jusqu'au griffon situé au passage d'un vallon. D'ailleurs la température, au captage, est influencée, avec un certain retard, par les variations de température extérieure.

Le terme Font-Chaude nous parait devoir être pris pour une déformation de Font-Chau : Fontaine qui dépose de la chaux.

3.4.2 -- Source Aurouze n° 10
Commune de Lardier-Valançon

Position 1/50 000 Laragne 3-4 x 888,28 ; y 242,24 ; z 610.

au 07.1974, t° 19°C, pH 7,3, résistivité 320 ohms/cm.

en mg/l : Ca 514, Mg 96,5, Na 332,0, K 13,3,
HCO₃ 201,9, Cl 511,2, SO₄ 1360, NO₃ 2,7,
F 0,28, S²⁻ 11,2, SiO₂ 22, Li 0,028, Zn 0,11, Fe ≤ 100 : total 3,18 g.

La source est visible dans un affleurement de gypse triasique de la base du chevauchement : Ecaille de Barcillonnette. Des dissolutions à l'intérieur du massif forment des cavernes et des chenaux dans lesquels des eaux tièdes et minéralisées se rassemblent et s'écoulent par gravité jusque dans les alluvions graveleuses de la Durance. D'ailleurs cette source n'apparaît qu'à la faveur d'un éboulement récent à la base d'une falaise de gypse, pour disparaître aussitôt dans les éboulis vers une destination inconnue.

Au niveau de la plaine alluviale de la Durance, les gypses de l'Ecaille de Barcillonnette paraissent avoir plus de 50 mètres de puissance, peut-être due à un effet de diapirisme très localisé. Les gypses s'écoulent vers la vallée et disparaissent sur le contact à mesure que l'altitude augmente.

Les mesures physiques de la source ont été faites en période d'étiage, novembre 1973. La température relevée à quelques mètres à l'intérieur d'une crevasse du massif, était de 18,8°C-19°C en juillet 1974. Le débit 12 l/mn en novembre 1973, était d'environ 50 l/mn en juillet 1974.

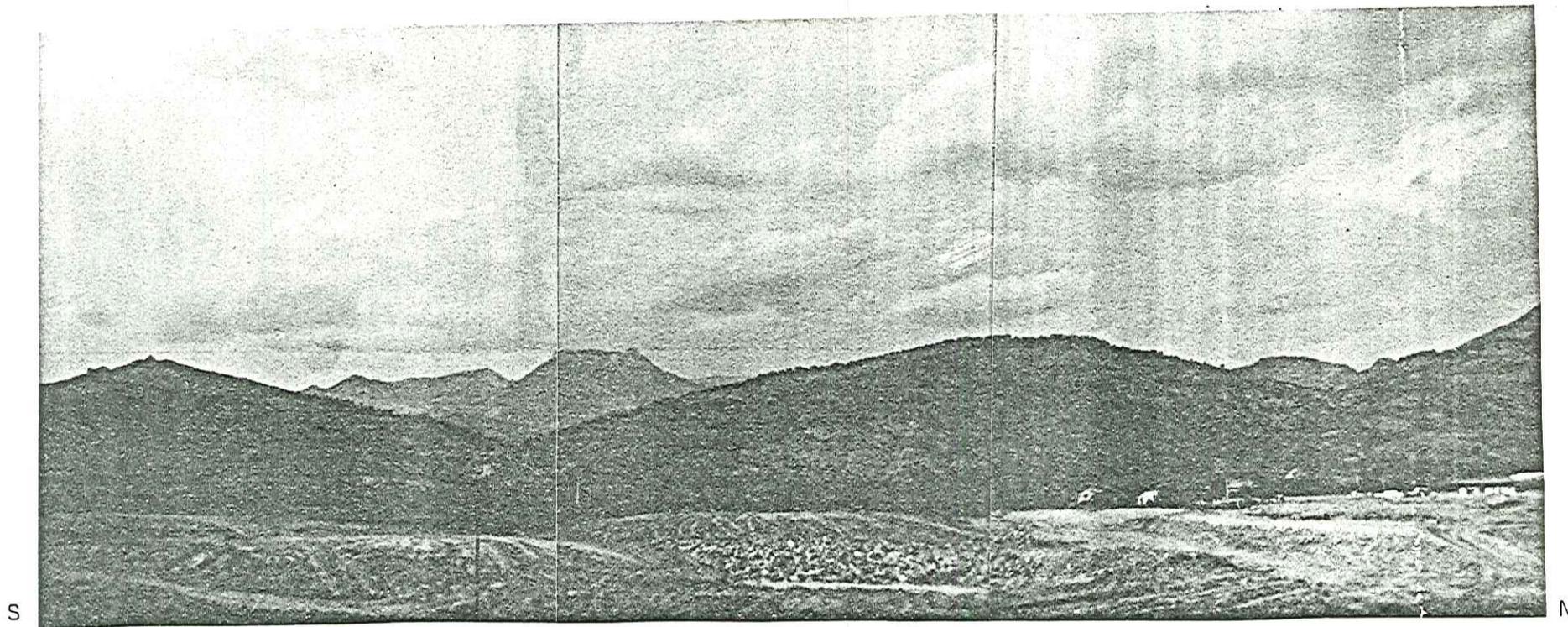
La température "anormalement" haute de cette source peut être attribuée à une circulation lente d'abord dans les gypses compacts à la base de l'écaille, plus rapide au niveau de la vallée, accompagnée d'une absence de contact avec des eaux superficielles dans cette partie du parcours.

L'altitude moyenne du bassin versant se situe entre 900 et 1200 m (1000 mètres par isotope ¹⁸O).

³⁴S est largement influencé par les gypses au travers desquels les eaux percolent après un enfouissement relativement rapide dans les niveaux du Lias inférieur = δ + 14,2.

Le renouvellement des eaux serait assez rapide. Le tritium 36 UT proviendrait exclusivement de l'enfouissement des eaux météoriques sans mélange en fin de parcours : réservoir étanche mais de peu de capacité. Le bassin versant est limité au bassin du torrent de Briançon soit : 12 km².

Le pH 8 est le plus élevé des sources étudiées.



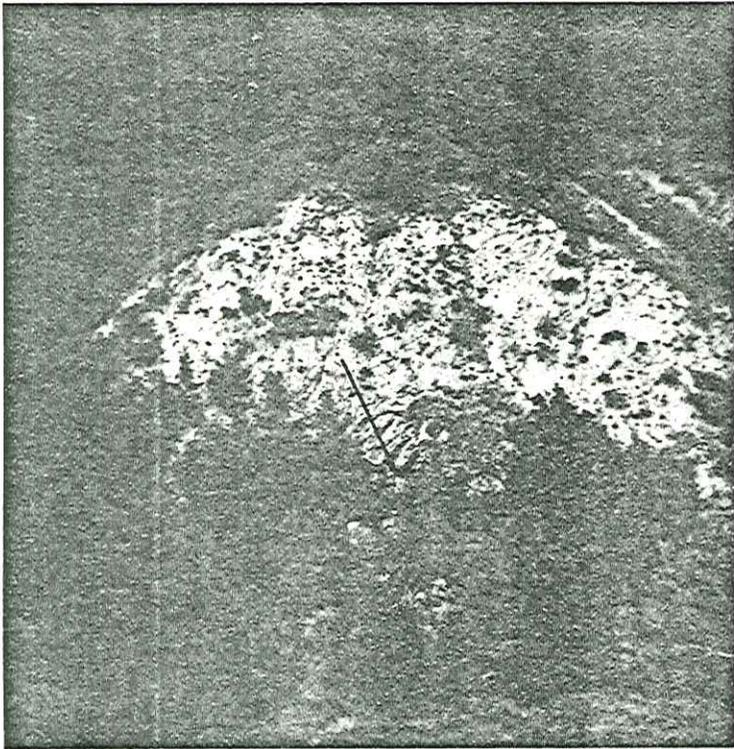
Source des Querlies

Torrent de Briançon
Source Aurouze dans le gypse

Plan de Largier

Au fond massif de Céüse

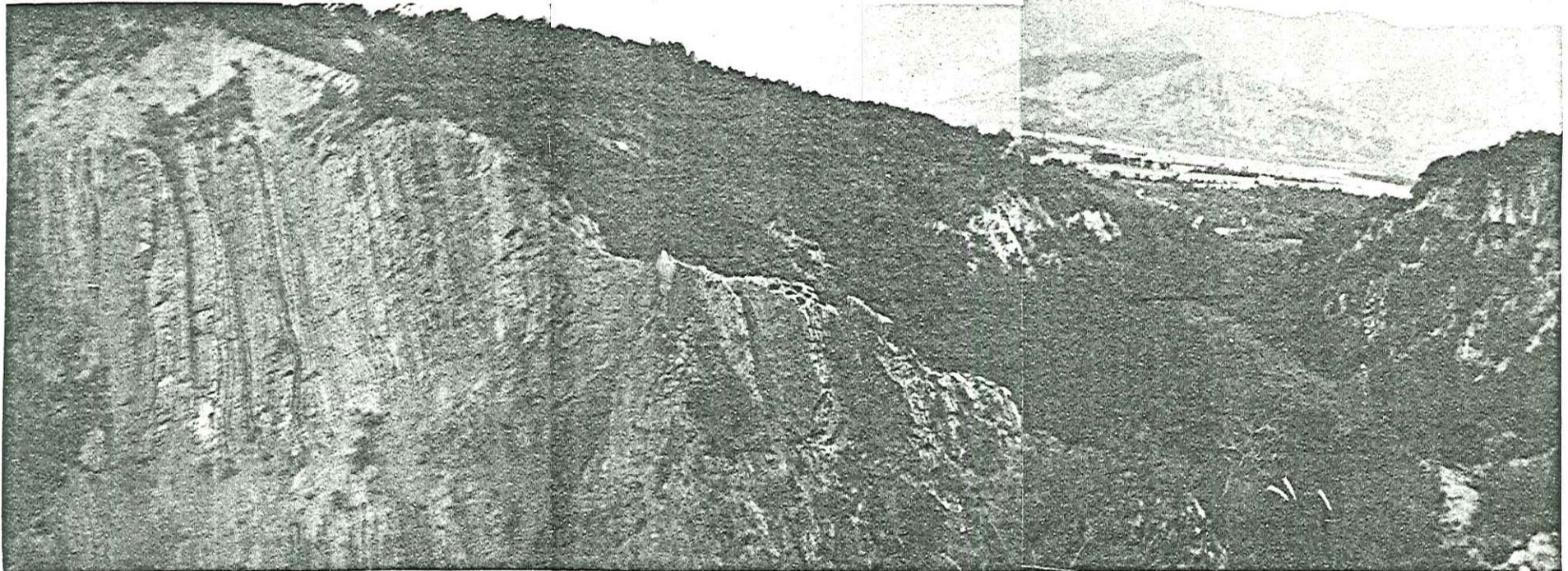
En premier plan vallée de la Durance



la Source Aurouze
est au pied du peuplier
à la base du massif de gypse

Au fond : vallée de la Durance
Torrent de Briançon
sur la rive droite
route du Plan de Vitrolles
à Vitrolles
vue prise du Pas de l'Ane

La Source Aurouze est au pied du massif de
gypse



Source Aurouze
122

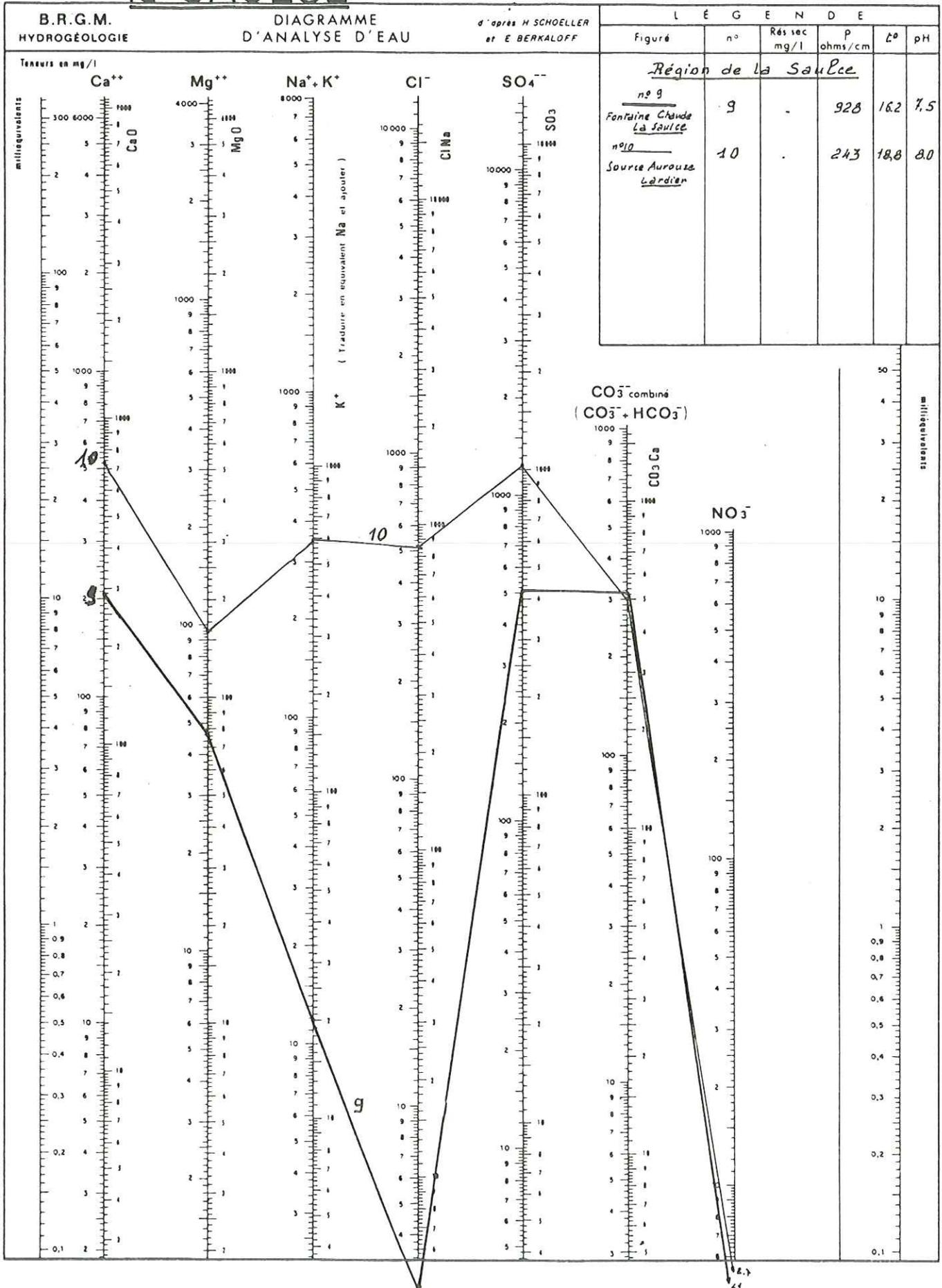
Sud

Nord

W

E

la SAULCE



Le fluor et le lithium font presque complètement défaut. Il faut peut-être y voir un effet de lessivage antérieur. Les gypses qui lubrifient ces chevauchements auraient perdu beaucoup d'éléments au cours de leur éloignement de leur contexte d'origine. Ils ont subi une évolution plus ou moins diapirique, ils se rattacherait aux phénomènes bien connus plus à l'Ouest : région de Laragne avec "Trias-extravasé".

Le régime méditerranéen des précipitations qui règne dans la région ne permet pas des débits importants en l'absence d'une couverture végétale, et en raison d'un relief tourmenté qui ne facilite pas la constitution de réserves importantes.

4ème PARTIE

4 - ETUDES DES RESULTATS D'ANALYSES

4 - ETUDE DES RESULTATS D'ANALYSES

Au nombre restreint d'analyses complètes des eaux prélevées, ont été ajoutées les analyses dignes de foi exécutées avant 1960 sur les eaux thermominérales prélevées en puits ou au cours de sondages pendant les travaux préparatoires du barrage de la retenue de Serre-Ponçon, et l'eau de la Durance dans le même secteur.

A titre de comparaison : nous utiliserons les analyses d'une eau de source issue d'un massif de gypse du Briançonnais à la maison forestière de Roubion.

et de deux séries de prélèvements de la Durance :

- 1 - à Briançon à l'aval du confluent avec la Guisane ;
- 2 - à Embrun en aval de Montdauphin à l'amont de la retenue de Serre-Ponçon.

4.1 - Etudes chimiques

Nous distinguerons en premier lieu les sources thermominérales des sources froides ou de température moyenne légèrement supérieure à la moyenne de température régionale.

a - Les sources thermominérales sont les plus minéralisées et les associations minérales regroupent les émergences ayant des communautés d'origine et de température.

- Les sources du Briançonnais se sont révélées être fluorées et lithinifères. Le lithium est cependant largement influencé aux sources de Monétier par des dilutions importantes et son origine peut toujours être remise en question tandis que le fluor y atteint des valeurs importantes. Les sources de Monétier, sources n° 2 et 3, intéressantes par leur température, sont bicarbonatées, chlorurées et sulfatées, calciques et magnésiennes. La source de la Liche-des-Chamois et celles du Plan-de-Phazy sont magnésiennes, chlorurées sodiques, sulfatées et ferrugineuses : sources n° 1 et 4-5-6, bicarbonatées surtout au Plan-de-Phazy.

b - Pour les sources issues du Trias, tels Aurouze, les sulfates y sont abondants.

La source de Font-Vineuse n° 7, légèrement sulfurée, bicarbonatée et ferrugineuse est issue des "Terres-Noires".

Les sources de la Bergère n° 8 et de Fontaine-Chaude n° 9 -la Saulce- n'ont aucun lien avec le Trias et leur utilisation pratique se réduit à une consommation locale peu importante.

Le report sur diagramme de Piper des résultats d'analyse fera apparaître des groupements nettement individualisés au niveau des anions comportant d'une part les eaux de surface essentiellement bicarbonatées et d'autre part les sources thermominérales sulfatées et chlorurées.

Analyses divers éléments

La Liche des Chamois Cne Monétier	n°s de la Sce	t° exter- rieure	t° terrain	pH labo	Résis- tivité à 20°	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	HCO ₃ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	F mg/l	Ba mg/l	Sr mg/l	SiO ₂ mg/l	Li ₃ mg/m ³	Pb mg/m ³	Zn mg/m ³	Fe mg/m ³	Sal. to- tale en gr
La Liche des Chamois Cne Monétier	1	4°5	24°	7,0	141	554	136,0	994	40,5	454,4	862,6	2600	9,0	1,35	≤ 1,0	11,5	44	1600	-	115	5400	5,71
La Rotonde Cne Monétier	2	9°8	35°4	6,8	295	492	50,0	224	14,0	497,1	333,7	1100	4,7	1,35	≤ 1,0	7,8	23	692	-	90	290	2,74
Fontaine-Chaude Cne Monétier	3	9°	34°5	7,3	269	514	55,0	260	15,4	451,4	351,4	1180	6,2	1,50	≤ 1,0	8,7	25	720	-	80	≤ 100	2,31
Les Suisses Cne Risoul	4	7°2	26°8	7,0	128	740	90,0	1028	25,9	634,4	1459,7	1840	13,5	1,15	≤ 1,0	13,5	21	1600	-	110	2170	5,88
La Rotonde Cne Risoul	5	10°2	27°4	6,8	90	658	107,0	1614	40,0	957,7	2328,8	1440	17,5	1,10	≤ 1,0	10,5	23	2460	-	126	1440	7,30
La Salce Cne Réotier " (10/09/73)	6	12°2	21°2	7,9	156	600	78,3	746	19,1	433,1	1079,2	1520	10,5	0,88	≈ 1,0	10,6	20	1180	-	100	≤ 100	4,52
Font-Vineuse Cne St Pierre d'Arg	7	10°	10°	6,3	555	364	29,1	147	16,0	1403,0	120,7	11	1,5	0,24	2,7	4,1	12	378	-	70	2560	2,11
La Bergère Cne Aspres-sur-Buech	8	10°	10°	6,3	616	458	16,6	11,5	2,3	1454,8	1,9	12	≤ 1,0	0,18	≤ 1	7,1	19	21	-	90	5600	1,99
Fontaine-Chaude Cne la Saulce	9	4°	16,2	7,5	928	208	47,9	10,2	2,1	314,1	2,5	510	≤ 1,0	0,20	≤ 1,0	11,8	13	19	-	40	≤ 100	1,20
Aurouze Cne Lardier	10	5°	18,8	8,0	243	514	96,5	332	13,3	201,9	511,2	1360	2,7	0,28	"	11,2	22	28	-	110	≤ 100	3,16
Puits 1913 (après pompage) 1950 Cne Rousset			-	6,92	117	390	120	1700	-	265	2480	1500	-	-	-	-	31	-	-	-	-	6,49
Puits 1913 (au repos) 05.1951 Cne Rousset			-	7,92	331	154,5	47,8	555	-	186	800	538	-	-	-	-	18,5	-	-	-	-	-
Puits GTM Cne Rousset			-	7,58	113	470	130	2250	-	230	3000	1500	-	-	-	-	28	-	-	-	-	7,60
Profil 47/48 S.K. Cne Rousset			59°	-	136	608	178	2520	-	-	3840	1800	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-
" " S.E			61°	-	90	199	112	3940	-	149	3160	2420	-	-	-	-	25	-	-	-	-	10,0
Durance Riv. (1950) Cne Rousset				7,9	2500	75	15,7	2,4	-	145	8	115	-	-	-	-	6	-	-	-	-	0,367

		Milliéquivalent							Milliéquivalent						
		n°	résis- tivi- té au grif- fon	après cor- rec- tion à 20°	Ca	Mg	Na	K	Rapport équilibre		+ % -	H CO ₃	Cl ⁻	So ₄ ⁻	NO ₃ ⁻
									Cations	anions					
La-Liche-des-Chamois	Monétier-les-Bains	1	148	141	27,64	11,38	43,23	1,038	83.388	85.067	- 1,035	7,246	24,332	54,144	0,145
la Rotonde	"	2	226	295	24,55	4,16	9,74	0,357	38.757	40.542	- 0,046	8,28	9,413	22,907	0,076
Font-Chaude	"	3	227	269	25,20	4,58	11,30	0,393	41.853	41.982	- 1,002	7,52	9,912	24,573	0,100
les Suisses	Risoul	4	124	128	36,93	7,50	44,71	0,662	89.702	90.388	- 1,007	10,6	41,1	38,317	0,217
la Rotonde	"	5	87	85	32,83	8,90	70,20	1,023	112.853	111.623	1,011 -	16,000	69,6	29,985	0,282
Fontaine Petrifiante	Réotier	6	182,6	185	29,94	6,44	32,45	0,552	69.382	71.263	- 1,027	7,097	32,344	31,653	0,169
Font-Vineuse	St Pierre d'Arg.	7	659	555	18,16	2,426	6,394	0,409	27.389	26.649	1,027 -	22,992	3,404	0,229	0,024
la Bergère	Aspres s/ Buech	8	517	616	22,85	1,365	0,500	0,058	24.773	24.130	1,027 -	24,200	0,053	0,249	-
Fontaine-Chaude	La Saulce	9	859,6	928	10,37	3,940	0,447	0,054	14.811	15.837	- 1,068	5,147	0,070	10,620	-
Ste Aurouze	Lardier	10	314,4	243	25,64	7,94	14,44	0,340	48.360	48.109	1,005 -	3,36	14,405	28,321	0,435

Région de Rousset

		à 15°		à 20°												
		après pompage	3/50													
Puits 1913	Rousset		3/50	335	331	19,46	9,87	73,94	-	103.27	105.508	- 1,021	4,342	69,929	31,237	-
Puits 1913	"		23/07/51	123	113	7,70	3,932	24,14	-	35.772	36.77	- 1,028	3,048	22,567	11,162	-
Puits GTM	"		05/50	127	117	23,45	10,69	97,86	-	132.000	119.632	- 1,103	3,769	84,626	31,237	-
Profil 47/48	"		05/49	146	135	30,33	14,64	109,61	-	154.58	145.805	1,060 -	-	108,321	37,484	-
Sondage E	"		02/48	100	90	9,93	9,62	171,37	-	140.92	141.970	1,345 -	2,441	89,139	50,090	-
Durance Riv.	"		05/50	-	2500	3,74	1,292	0,104	-	5.136	4.995	1,028 -	2,376	0,225	2,394	-

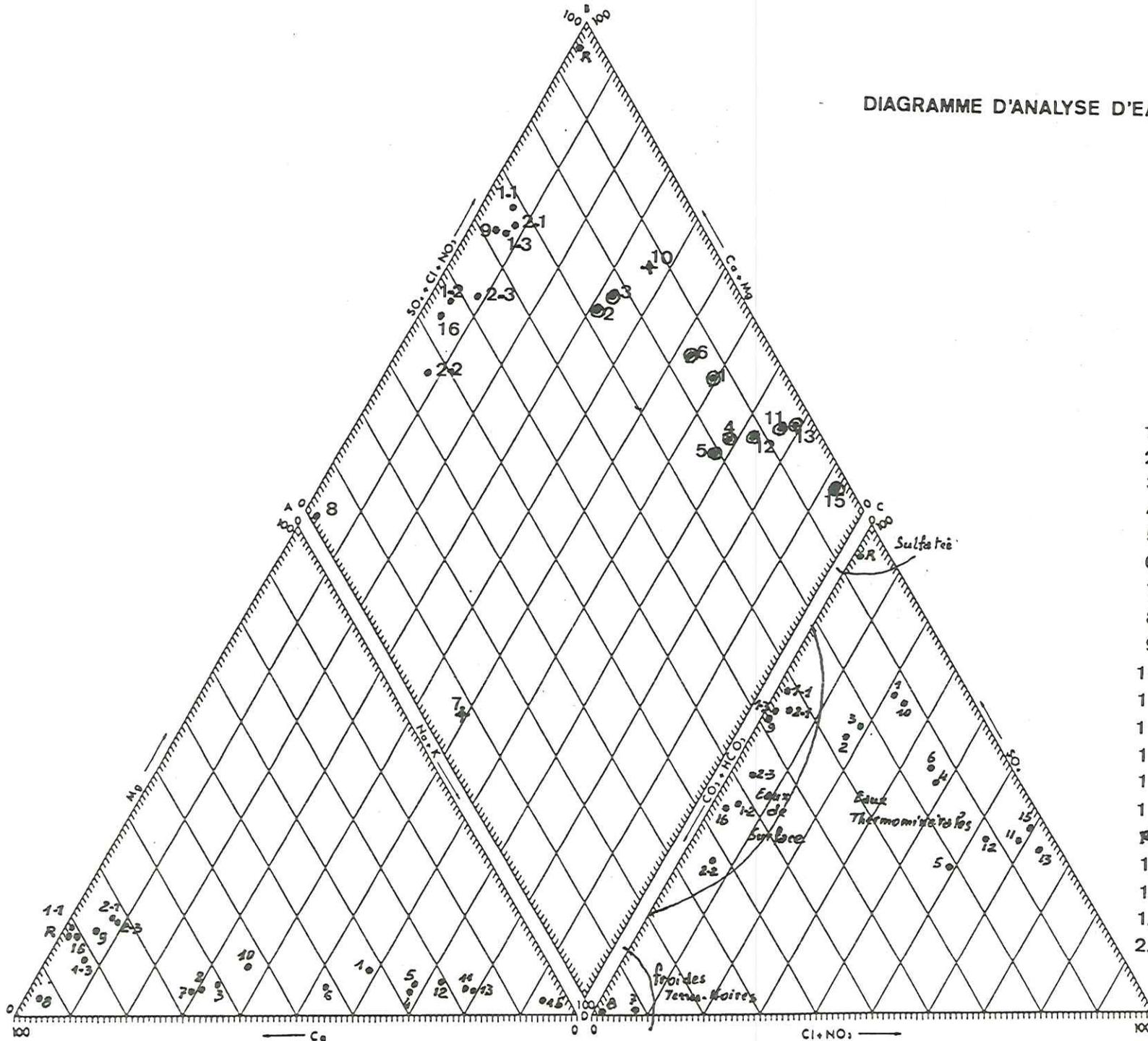
TABLEAU		Rapport Ca - Mg				
La Liche-des-Chamois	Monétier-les-Bains	n° 1	Ca/Mg 4,07	Na/k 24,4	Na/Li 0,62	
la Rotonde	"	2	" 9,84	" 16,0	" 0,32	
Fontaine-Chaude	"	3	" 9,34	" 16,80	" 0,36	Analyses Lesbros 1947
Les Suisses	Risoul	4	" 8,2	" 39,30	" 0,64	Ca/Mg 4,85 Na/K 24,3
la Rotonde	"	5	" 6,1	" 40,3	" 0,65	" 5,12 " 23,6
Fontaine Pétrifiante	Réotier	6	" 7,6	" 39,0	" 0,63	" 4,77 " 18,4
Font-Vineuse	St Pierre d'Argençon	7	" 12,5	" 9,2	" 0,39	
La Bergère	Aspres-sur-Buech	8	" 27,5	" 5,0	" 0,54	
Fontaine-Chaude	La Saulce	9	" 4,34	" 4,65	" 0,53	
Ste Aurouze	Lardier	10	" 5,32	" 24,9	" 11,8	

Région de Rousset = Serre-Ponçon

Puits 1913	Rousset	après pompage 3/50	Ca/Mg 3,25
Puits 1913	"	7/51	" 3,23
Puits GTM	"	5/50	" 3,61
Profil 47/48	"	5/49	" 3,41
Sondage E	"	2/48	" 1,77
Durance Riv.	"	5/50	" 4,70

DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

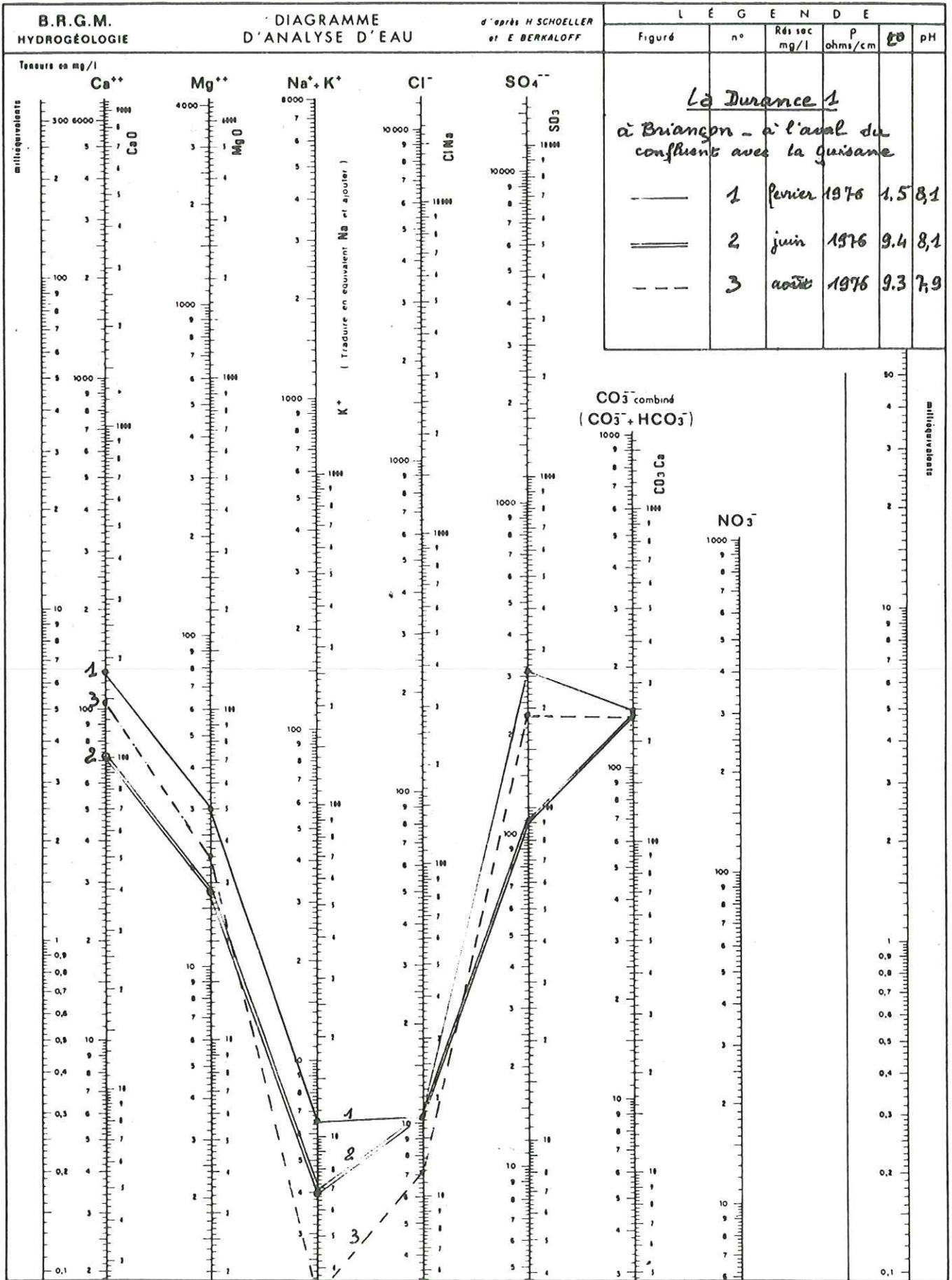
d'après PIPER (U.S. Geological Survey)

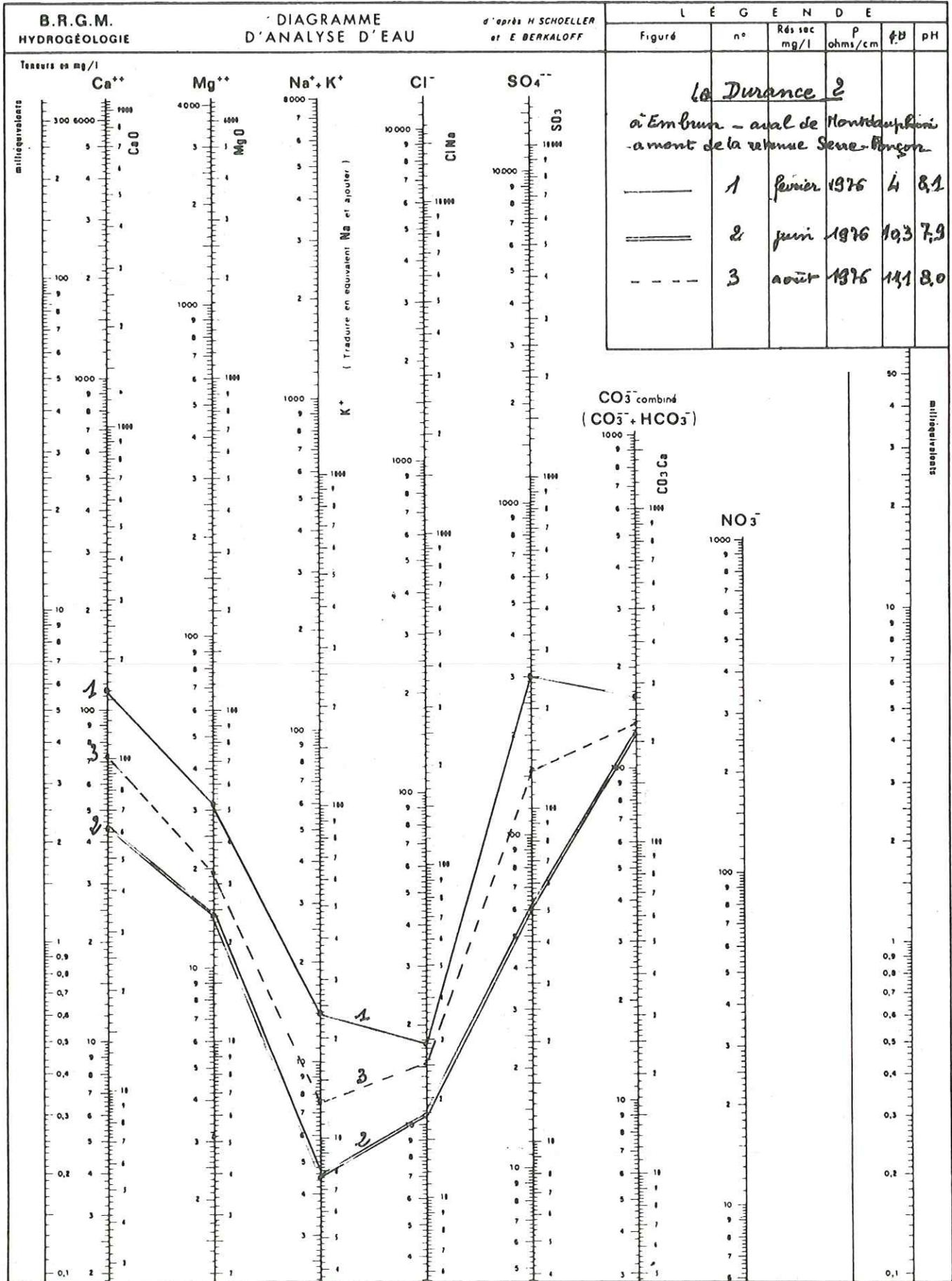


. Légende .

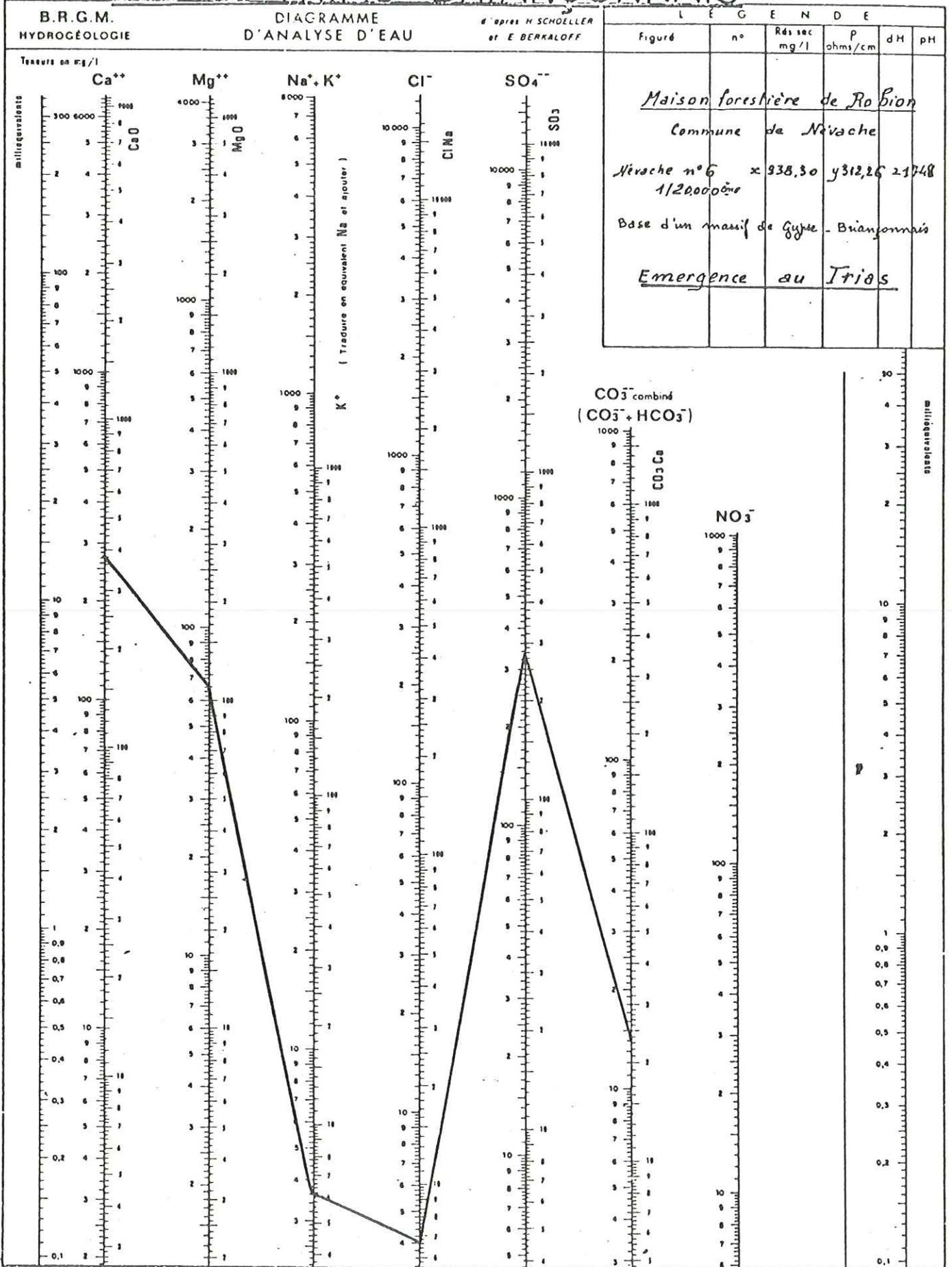
- 1 La Liche des Chamois
- 2 La Rotonde - Monétier
- 3 Font Chaude - Monétier
- 4 les Suisses - Plan de Phazy
- 5 La Rotonde "
- 6 la Saïce "
- 7 Font Vineuse
- 8 La Bergère
- 9 Font Chaude - la Saülce
- 10 Aurouze
- 11 Serre-Ponçon. Puits 1913/1950
- 12 " Puits 1913/1951
- 13 " Puits GMT
- 15 " Sondage E
- 16 " Durance Riv.
- R Maison forestière Roublion
- 1.1 Durance 1 février
- 1.2 " Juin
- 1.3 " août
- 2.1 Durance 2 février
- 2.2 " Juin
- 2.3 " août

% des éléments majeurs : analyses récentes													
Nom de la Source	n°	Cations						Anions					
		Ca		Mg		Na + K		Co ₃		Cl ⁻		So ₄ ⁼	
		mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%
Liche-des-Chamois	1	554	32,1	136	7,88	1035	60	454,4	11,36	862,6	21,66	2609	65,2
La Rotonde	2	492	63	50	6,4	238	30,5	497,1	25,35	338,4	17,25	1100	56,1
Fontaine-Chaude	3	514	60,65	55	6,5	275,4	32,5	451,4	22,57	357,6	17,88	1180	59
Les Suisses	4	740	26,97	90	4,77	1054	55,86	634,4	15,85	1483	37,07	1860	46
La Rotonde	5	658	26,97	107	4,38	1654	67,81	957,7	20,11	2346	49,26	1440	30,24
La Salce	6	600	41,52	78,3	5,41	766	53	433,1	14,20	1090	35,75	1520	49,85
Font-Vineuse	7	364	65,16	29,1	5,21	163	29,08	1403	91,20	122	7,94	11	0,72
La Bergère	8	458	93,43	16,6	3,38	13,8	2,82	1454,8	98,78	2	0,14	12	0,81
Fontaine-Chaude	9	208	77,	47,9	17,7	12,3	4,6	314,1	37,7	2,5	0,30	510	61,20
Aurouze	10	514	53,46	96,5	9,93	345	35,9	302	12,5	514	23,13	1360	61,20
<u>Groupe Rousset</u>													
Puits 1913/1950	11	390	17,55	120	5,4	1700	76,50	265	6,23	2480	58,38	1500	35,25
Puits 1913/1951	12	154,5	20,4	47,8	6,31	555	73,30	186	12,20	800	52,48	536	35,16
Puits GMT	13	470	16,45	130	4,6	2250	78,75	230	4,85	3000	63,30	1500	31,65
Profil 47/48 K	14	608	19,36	178	5,37	2520	76,10	-		3840	67,96	1800	31,86
Sondage E	15	199	4,67	112	2,63	3940	92,59	149	2,59	3160	54,98	2420	42,10
Durance Riv.	16	75	80,25	15,7	16,80	2,4	2,57	145	53,65	8	2,96	115	42,55
Maison forestière de Roubion		270	81,8	60	18,1	3,6	1,2	14	4,0	4	1,1	330	94,8
<u>Durance 1</u>													
aval de Briançon													
Février	1	130	81,2	30	18,7	6,6	4,3	146	31,2	10,6	2,3	310	94,8
Juin	2	72	77,4	17	18,2	4	4,3	134	52,5	10,6	4,3	110	43,1
Août	3	104	82,5	21,6	16,6	0,1	7,0	140	37,1	7,1	1,8	230	61,0
<u>Durance 2</u>													
Embrun													
Février	1	116	72,0	31	19,2	14	8,6	165	34,2	17,5	3,5	300	62,2
Juin	2	44	69,8	14,4	22,2	4,5	7,9	128	64,3	10,6	5,5	60	30,1
Août	3	72	72,7	19,2	19,1	7,6	8,8	134	43,7	14,2	4,5	158	51,6





Eau du TRIAS BRIANÇONNAIS



4.2 - ETUDES ISOTOPIQUES

L'étude des isotopes : ^3H , ^{18}O , Deuterium et ^{34}S a considérablement facilité la connaissance de l'origine, de la vitesse des écoulements, et de l'âge des formations traversées dans lesquelles les minéralisations ont été acquises.

4.2.1 - L'isotope ^3H ou tritium en U.T.

- Isotope ^3H en U.T.

Le tritium ou ^3H est évalué en unité- tritium ou U.T.. Il provient en particulier d'une injection massive dans l'atmosphère, à la suite des essais thermonucléaires qui ont débuté en novembre 1952.

Après un pic brutal en 1963, l'activité tritium des eaux de pluie montre une baisse progressive, avec des variations saisonnières : en 1973, latitude 45° , régime océanique : de 150 U.T..

Il permet de connaître la durée d'un transit et par suite le temps de renouvellement, des eaux pluviales ou nivales. Une eau dont la teneur en tritium est évaluée à quelques unités, indique une eau de précipitation antérieure à 1952 avec un apport minime d'eau récente.

Pour utiliser cette méthode, il est nécessaire de bien connaître la position géologique des griffons actuels vierges de tous travaux où il est possible que des "eaux anciennes" soient largement polluées par des "eaux actuelles" ou "récentes" de ruissellement ou d'enfouissement local. Il est parfois très difficile de faire la part des différents apports.

Si l'on considère les valeurs U.T. de l'isotope tritium des sources "a priori" dans leur cadre géologique et tectonique, il apparaît des différences très importantes entre chacun des prélèvements.

Cependant il est net que les sources de même origine de précipitation apparente, restent groupées dans un cadre étroit de valeurs U.T. très proches.

- à Monétier-les-Bains aux sources de la Rotonde, Font-Chaude, des valeurs fortes : 80 et 61 U.T. indiquent des mélanges importants, malgré des températures élevées aux griffons, avec des eaux "récentes". La Source de la Liche-des-Chamois -avec 4 U.T.- se place en dehors du groupe, marquant ainsi une origine et des circuits différents.
- au Plan-de-Phazy, les valeurs U.T. sont variables mais pourtant groupées dans une fourchette laissant reconnaître leur communauté d'origine, avec des mélanges plus ou moins importants selon des griffons 11 - 21 - 31 U.T.. Ce groupe est ainsi très différent du groupe Monétier.
- quant aux sources des régions de la Saulce, d'Aspres et de St Pierre d'Argençon, géographiquement et géologiquement différentes, les teneurs en tritium de leurs eaux sont très variables et mettent en évidence des mélanges superficiels d'eaux d'origines diverses mais jamais lointaines ou profondes.

TABLEAU 1

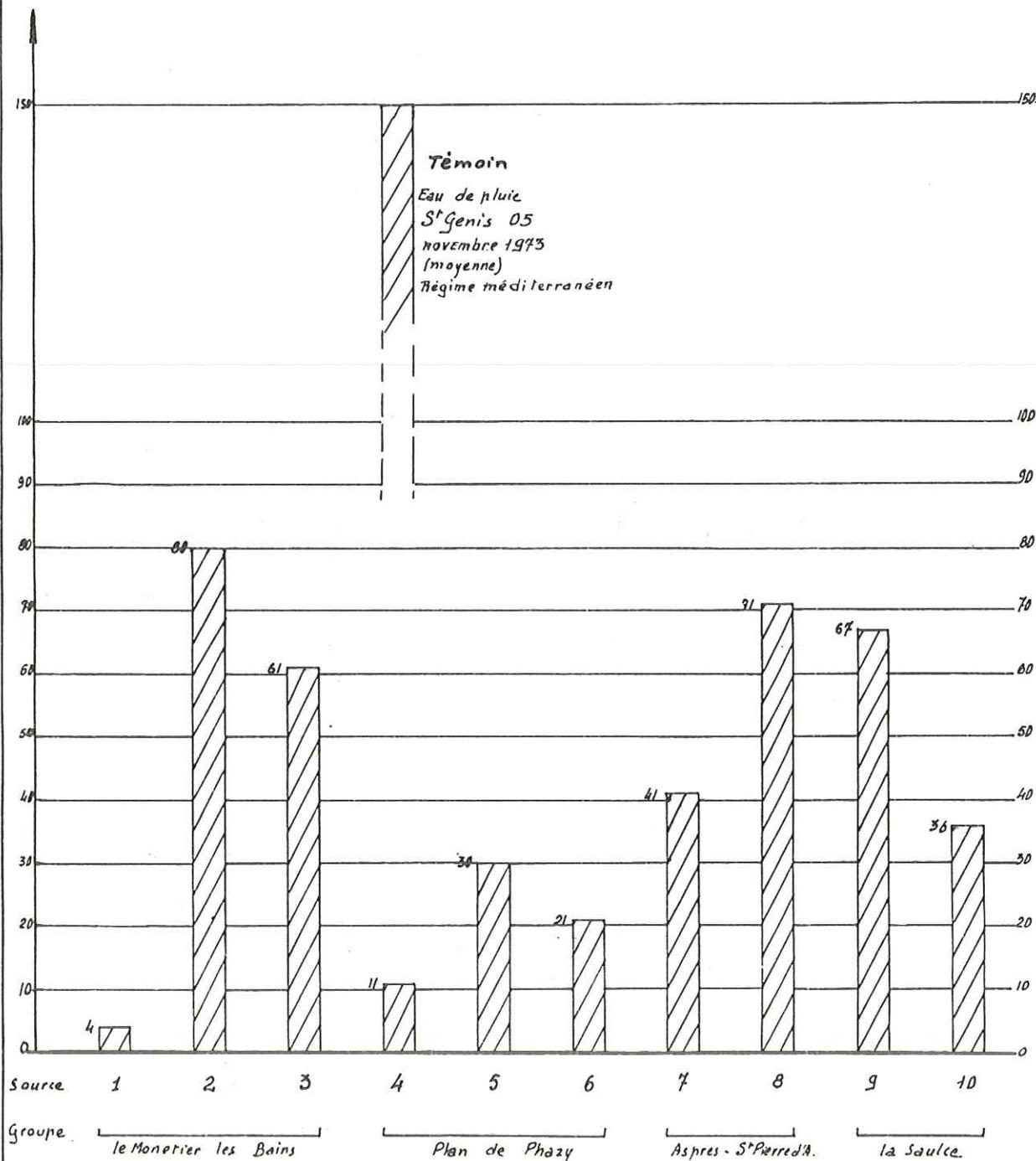
ISOTOPES

Groupes	Nom de la Source et n°	Alti- tude	Date de prélève- ment	t°	³ H en Ut	¹⁸ O us smow	D ‰ us smow	³⁴ S	Sulfates en mg/l
Monétier-les-Bains	la Liche-des-Chamois 1	1995 m	21.11.73	24°C	4 ± 2	-13,8 ± 0,1	-103,5 ± 0,5	+ 15,0 ± 0,2	2600 mg/l
"	la Rotonde 2	1500 m	20.11.73	35°4	80 ± 6	-13,6 ± 0,1	-	+ 16,2 ± 0,2	1100 mg/l
"	Font-Chaude 3	1455 m	20.11.73	34°5	61 ± 5	-13,6 ± 0,1	-101,2 ± 0,5	+ 15,0 ± 0,2	1180 mg/l
Plan-de-Phazy	les Suisses 4	890 m	21.11.73	26°8	11 ± 3	-12,3 ± 0,1	-	+ 17,5 ± 0,2	1800 mg/l
"	la Rotonde 5	890 m	21.11.73	27°4	30 ± 4	-12,3 ± 0,1	- 91,4 ± 0,5	+ 17,2 ± 0,2	1440 mg/l
"	La Salce 6	890 m	21.11.73	21°2	21 ± 3	-12,3 ± 0,1	-	+ 16,4 ± 0,2	1520 mg/l
Aspres St Pierre d'arg.	Font-Vineuse 7	785 m	22.11.73	10°	41 ± 4	- 9,4 ± 0,1	-	+ 7,8 ± 0,2	11 mg/l
"	la Bergère 8	900 m	22.11.73	10°	71 ± 6	- 9,3 ± 0,1	- 66,8 ± 0,5	+ 18,6 ± 0,2	12 mg/l
la Saulce	Font-Chaude 9	650 m	22.11.73	16°8	67 ± 5	- 9,9 ± 0,1	-	+ 9,6 ± 0,2	510 mg/l
"	Aouroze 10	610 m	22.11.73	18°8	36 ± 4	- 9,3 ± 0,1	- 66,3 ± 0,5	+ 14,2 ± 0,2	1360 mg/l

Tableau 2

ISOTOPES

^3H en UT

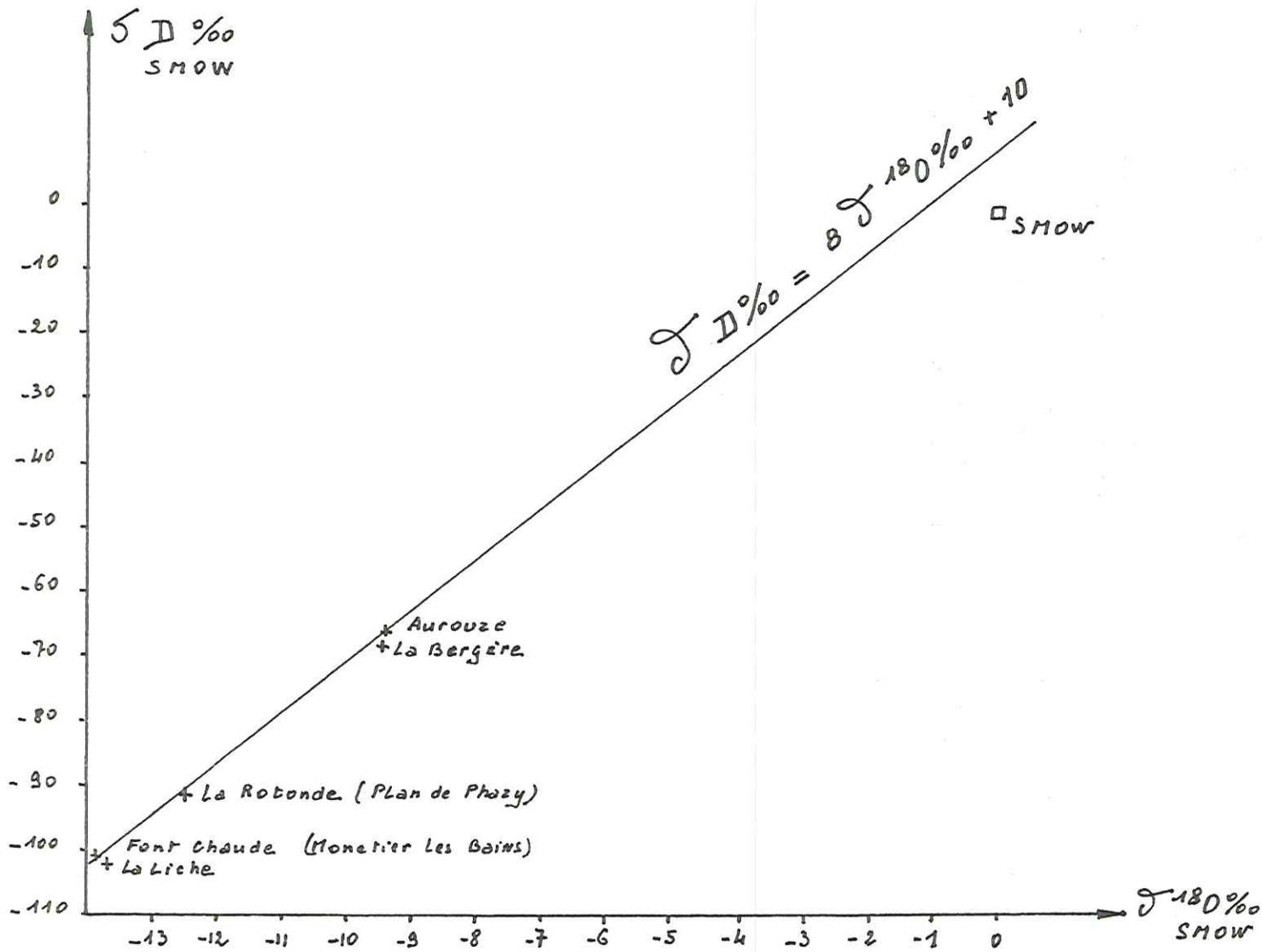


4.2.2 - L'isotope ^2H - Deutérium

Cinq analyses des teneurs en deutérium des eaux des sources ont été réalisées dans le but de vérifier les données fournies par les mesures des teneurs en O^{18} de ces eaux.

Les valeurs obtenues pour le deutérium sont bien liées à celles de l'oxygène 18 par la relation $\delta ^2\text{H} = 8 \delta ^{18}\text{O} + 10$ qui est l'équation de la droite de Craig car sur un diagramme $\delta ^2\text{H} - \delta ^{18}\text{O}$ elles se situent toutes sur la droite représentative.

Ce fait constitue une bonne confirmation des altitudes des bassins versants des sources fournies par les mesures des teneurs en O^{18} et montre que la composition isotopique des eaux n'a pas été modifiée lors des circulations en profondeur. On peut affirmer que malgré les températures atteintes en profondeur il n'y a pas eu d'échange entre l'oxygène 18 des eaux d'infiltration et l'oxygène des minéraux des roches traversée que l'on ait affaire à des sources pourvues en tritium comme la Liche des Chamois ou assez riches en tritium comme les sources de Monétier ou d'Aurouze.



Droite de Craig

Isotope Deutérium
 (5 sources)

4.2.3 - L'isotope ^{18}O en δ SMOW

L'oxygène 18 est l'isotope stable le plus lourd : répartition naturelle de l'oxygène $^{16}\text{O} = 99,760 \%$, $^{17}\text{O} 0,042 \%$, $^{18}\text{O} = 0,198 \%$.

Il est déterminé par les techniques de spectrométrie de masse. La composition en ^{18}O d'une eau s'exprime en mesures relatives, par rapport à un standard de référence : le SMOW (Standard Mean Océan Water).

La valeur δ se définit :

$$\delta = [(R \text{ échantillon} - R \text{ SMOW}) / R \text{ SMOW}] \times 1000$$

(R = [$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$])

Le facteur 1000 permet la simplification des résultats en raison de la petitesse des variations mesurées. Si δ est positif, il y a enrichissement en isotope lourd, inversement si δ est négatif il y a appauvrissement.

Il est important de noter d'autre part, que le fractionnement isotopique varie en fonction inverse de la température. Plus la température est basse et plus le fractionnement est intense.

Le fractionnement isotopique de ^{18}O est fonction de la température, en conséquence plus l'altitude de la surface réceptrice de l'eau des précipitations est élevée, plus la valeur de δ est fortement négative par rapport à la référence prise au niveau de la mer :

La relation a été donnée par Daansgard

$$\delta \text{ } ^{18}\text{O} = 0,69 \text{ } t^{\circ}\text{C}^{(1)} - 13,6.$$

On constate que par suite de processus d'évaporation et de condensations successifs c'est en hiver et/ou en altitude que les pluies sont le plus appauvries en isotopes lourds.

L'eau de mer est prise comme référence $\delta \text{ } ^{18}\text{O} = 0$ sous le nom de S.M.O.W. (Standard Marine Océan Water).

A la faveur de travaux antérieurs dans la région de Laragne (Hautes-Alpes), en 1973, une source issue du synclinal perché de Saint-Genis, sans apport extérieur, a permis d'adapter des paramètres locaux qui ont pu être étendu à toute la vallée de la Durance et de ses affluents dans la zone de leurs sources, jusqu'au col du Lautaret.

Le gradient thermométrique est égal à $0,45^{\circ}\text{C}$ par 100 mètres. Il en est déduit

$$1 \delta = 300 \text{ mètres environ } (0,93 \delta).$$

Nous constatons alors que le bassin d'alimentation de chaque émergence se situe à une altitude moyenne compatible avec la géographie et la géologie générale ou régionale : notion de bassin versant.

La source de Font-Chaude à la Saulce en est une application. Le bassin versant local était peu étendu et son altitude moyenne ne cadrerait pas avec l'altitude proposée par la valeur de l'isotope ^{18}O . Il a été proposé un autre bassin versant en rapport avec la valeur ^{18}O situé à plusieurs kilomètres à l'amont mais qui, au point de vue géologique et tectonique, permet aux circulations profondes de parvenir au point de captage.

(1) $t^{\circ}\text{C}$ = température moyenne mensuelle.

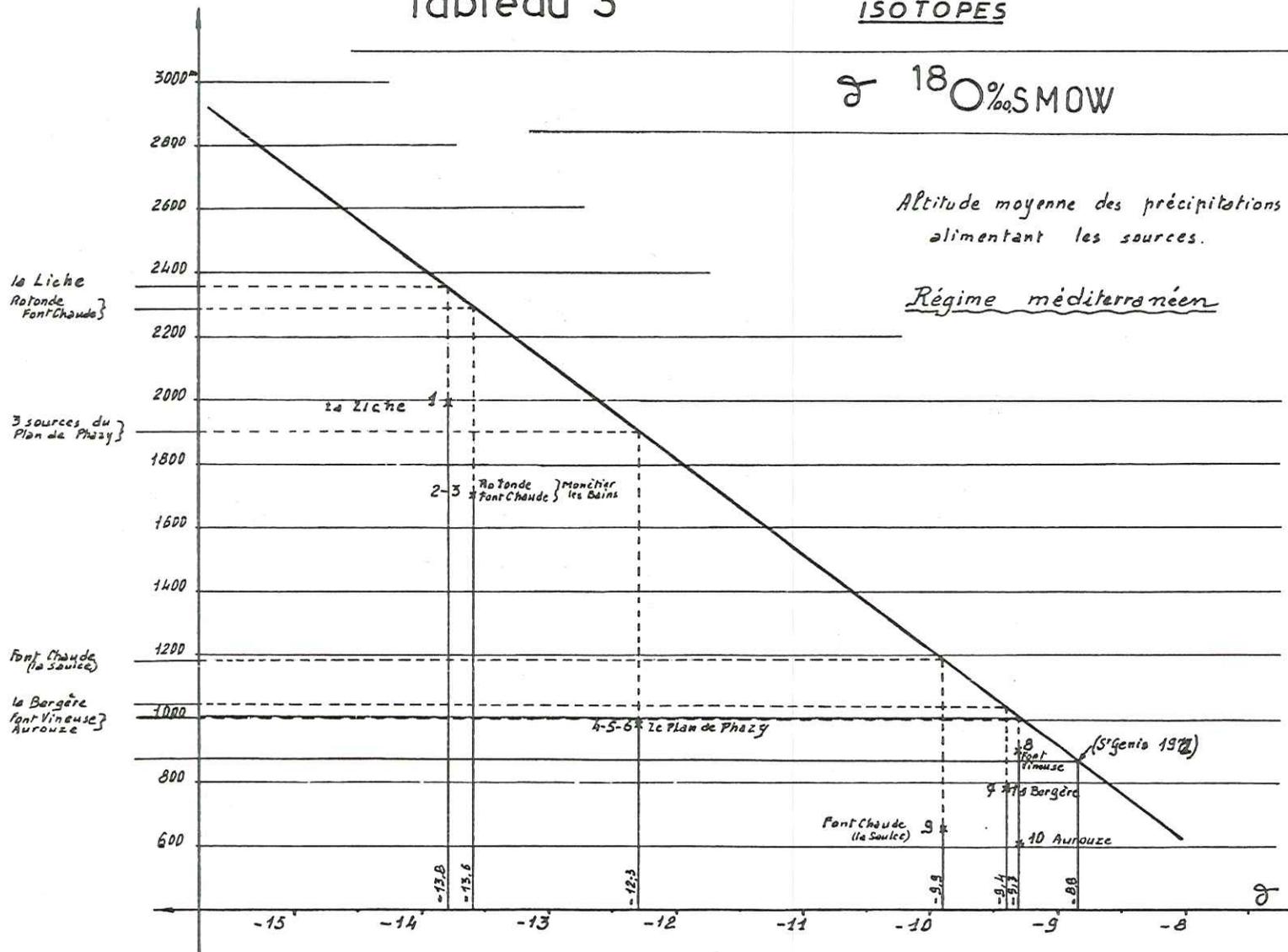
Tableau 3

ISOTOPES

$\delta^{18}\text{O}_{\text{‰}}\text{SMOW}$

Altitude moyenne des précipitations
alimentant les sources.

Régime méditerranéen



4.2.4 - L'isotope ^{34}S : US Canon Diablo

Il existe 4 isotopes du soufre : $^{32}\text{S} = 95 \%$, $^{33}\text{S} = 0,7 \%$, $^{34}\text{S} = 4,2 \%$ et $^{36}\text{S} = 0,01 \%$.

C'est sur le rapport le plus aisément mesurable $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ que se porte les analyses en spectrométrie de masse. Les variations de composition isotopique sont exprimées par la relation générale :

$$= {}^{34}\text{S} \text{ M} = \frac{\text{R Ech} - \text{R St}}{\text{R St}} \times 10^3 \text{ où } \text{R} = \frac{\text{abondance } ^{34}\text{S}}{\text{abondance } ^{32}\text{S}}$$

[R St = abondance isotopique de l'étalon de référence internationale = troïlite de Canyon Diabole dont le rapport $^{32}\text{S}/^{34}\text{S} = 22,220$].

(Troïlite = $2[\text{FeS}] = \text{Pyrrhotite}$).

Un appauvrissement en isotope lourd se traduit par un delta négatif, un enrichissement en isotope lourd se traduira par un delta positif. La composition isotopique du soufre est utilisée en géologie pour caractériser le soufre naturel sous différentes combinaisons et interpréter son origine.

Dans le cycle de l'eau, la teneur isotopique du soufre permet de préciser l'ion sulfate présent aux griffons des eaux souterraines -profondes ou superficielles-.

L'hydrogéochimie isotopique du soufre constitue actuellement la seule technique qui permette, à l'aide de l'étude des variations du rapport, de déterminer l'origine des sulfates des eaux et donc l'âge relatif de la formation géologique traversée. Il est généralement admis que les évaporites ont des teneurs isotopiques en soufre qui sont celles des sulfates contenus dans les anciens océans et dont les fluctuations, au cours des temps géologiques sont significatives de la période de dépôt. Les δ positifs sont caractéristiques d'un enrichissement en isotopes lourds. Par contre les sulfure disséminés dans les sédiments contemporains de ces dépôts d'évaporites sont appauvris en isotopes lourds et donnent des δ négatifs.

Cette méthode exploitée activement au laboratoire des isotopes du B.R.G.M. à Orléans nécessite encore de nombreuses études en vue de l'élaboration d'une échelle applicable aux "gîtes français". Il faut cependant s'engager avec prudence dans les conclusions, en particulier dans les problèmes concernant l'origine des eaux et des lessivages possibles de formations diverses. En particulier, dans nos pays de montagnes extrêmement tectonisés les circulations profondes, parfois lointaines, ou à circuits rapides, rendent les résultats susceptibles de présenter des variations compatibles avec la vitesse à laquelle les eaux ont percolé les formations sulfatées. La rapidité du circuit supposé peut cependant être mise en évidence par l'abondance au griffon, du tritium provenant des précipitations alimentant le circuit.

Un circuit rapide étant caractérisé par une faible teneur relative en sulfates et une abondance anormale en tritium.

eau de mer actuelle = δ considéré à + 20
évaporites marines = δ - de + 9 à + 33
eaux douces actuelles (sources) = δ de + 5 à + 15
Trias = Keuper moyen = δ + 16 \approx .

L'étude de l'isotope ^{34}S dans les eaux thermominérales et minérales du département des Hautes-Alpes confirme l'hypothèse plusieurs fois formulée d'émergences, issues ou en rapport avec des masses d'évaporites du Trias, ou seulement de gypses entraînés à la base de charriages.

Il faut considérer d'après les études récentes [Ad. MARCE, B. BOSCH, B.R.G.M. Orléans] que le δ ^{34}S du Trias français pris dans son ensemble donne une valeur moyenne de + 16 avec une fourchette de δ + 12,3 à δ + 18,2.

Le laboratoire des isotopes du B.R.G.M. a fait des mesures semblables aux mesures de Nielsen, rejoignant les conclusions de cet auteur. Ceci permet une comparaison des résultats obtenus sur les mesures haut-alpines avec les études antérieures, tant allemandes que françaises dans les Vosges et le bassin parisien.

Les sources haut-alpines analysées provenant du Trias ont un comportement moyen homogène, qu'elles soient issues des puissantes séries triasiques du Briançonnais, du Trias plus ou moins laminé du Plan-de-Phazy ou encore des gypses et cargneules diapiriques des semelles des chevauchements de la région de la Saulce. Aucun critère n'apparaît pour différencier ces diverses formations.

Il est intéressant de constater que le δ ^{34}S des trois sources du Plan-de-Phazy est en moyenne supérieur au δ des deux sources de Monétier-les-Bains, déjà ces trois sources avaient un comportement d'ensemble concordant en tritium.

La source Aurouze, issue de masses gypseuses diapiriques, reliques d'un trias entraîné, a un δ qui se situe dans la fourchette inférieure des teneurs retenues pour le Trias moyen = δ + 14,8 ψ .S.C.D..

Les eaux de Font-Chaude de la Saulce, à Trias visible très localisé directement sous la source, restent caractéristiques du Lias = δ + 7,8.

Font-Vineuse de St Pierre-d'Argençon, quant à elle, se situe, en rapport avec le Dogger suggéré lors de l'étude géologique et tectonique de la source : δ = 7,5.

Il nous a paru intéressant de présenter sur un seul tableau les données chimiques (salinité totale) et les isotopes : ^3H , ^{18}O et ^{34}S pour les sources du Plan-de-Phazy. La source des Suisses, non captée et vierge de travaux proches paraît la plus équilibrée et les teneurs en tritium y sont les plus basses.

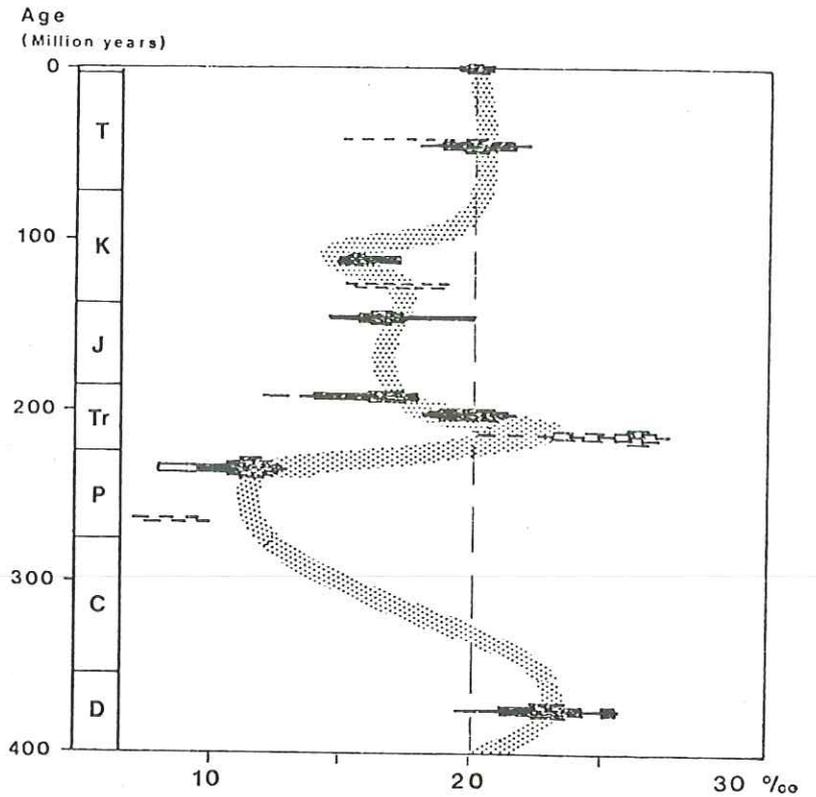


FIG. 3. $\delta^{34}\text{S}$ age curve of oceanic sulphate. The black areas represent values of evaporite sulphates mainly from central Europe, obtained by the author; shaded areas represent values obtained from evaporite basins of presumably not completely marine origin.

d'après H. NIELSEN 1973

Tableau 4

ISOTOPES

$\delta^{34}\text{S} \text{ ‰ v.s. CD}$

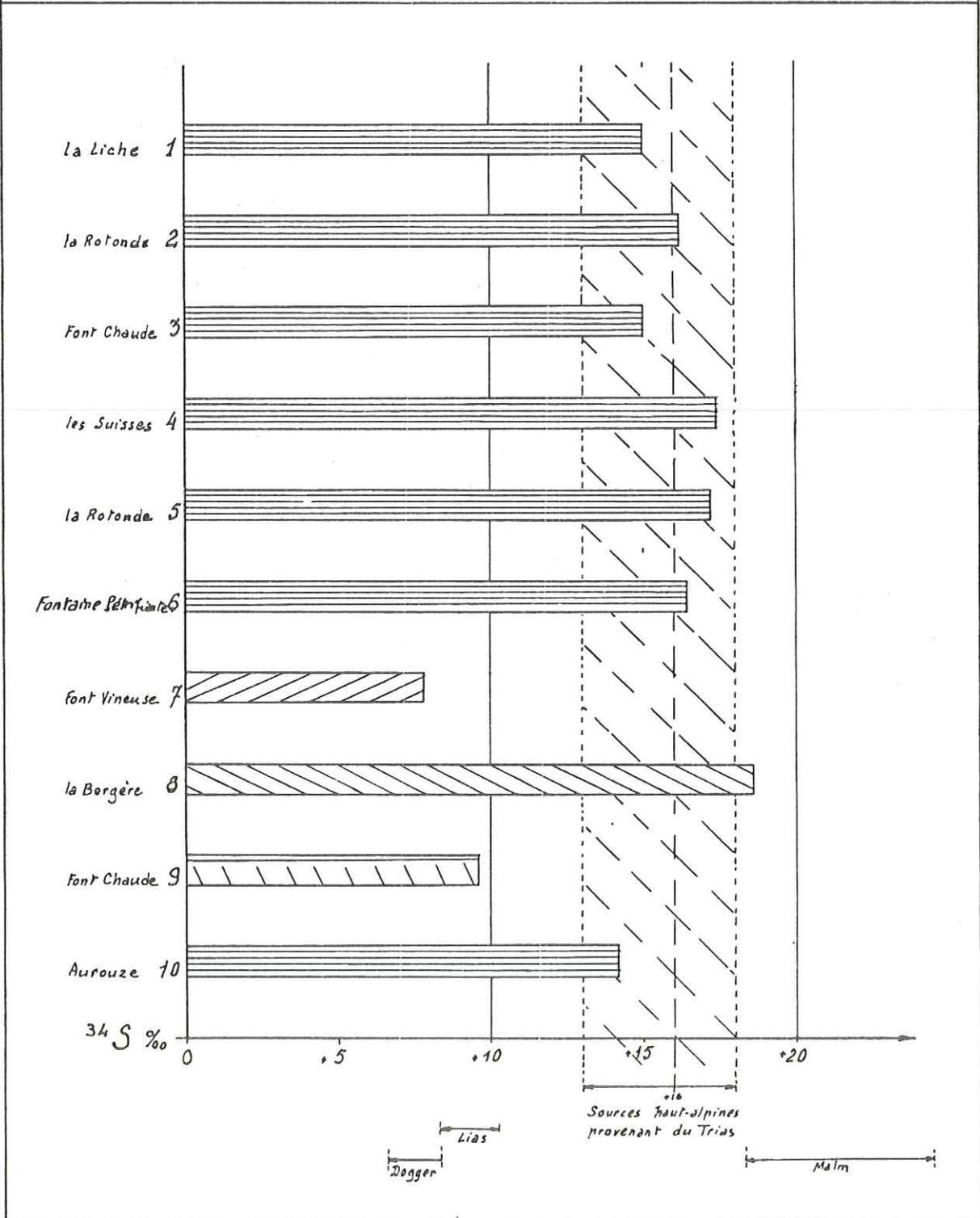
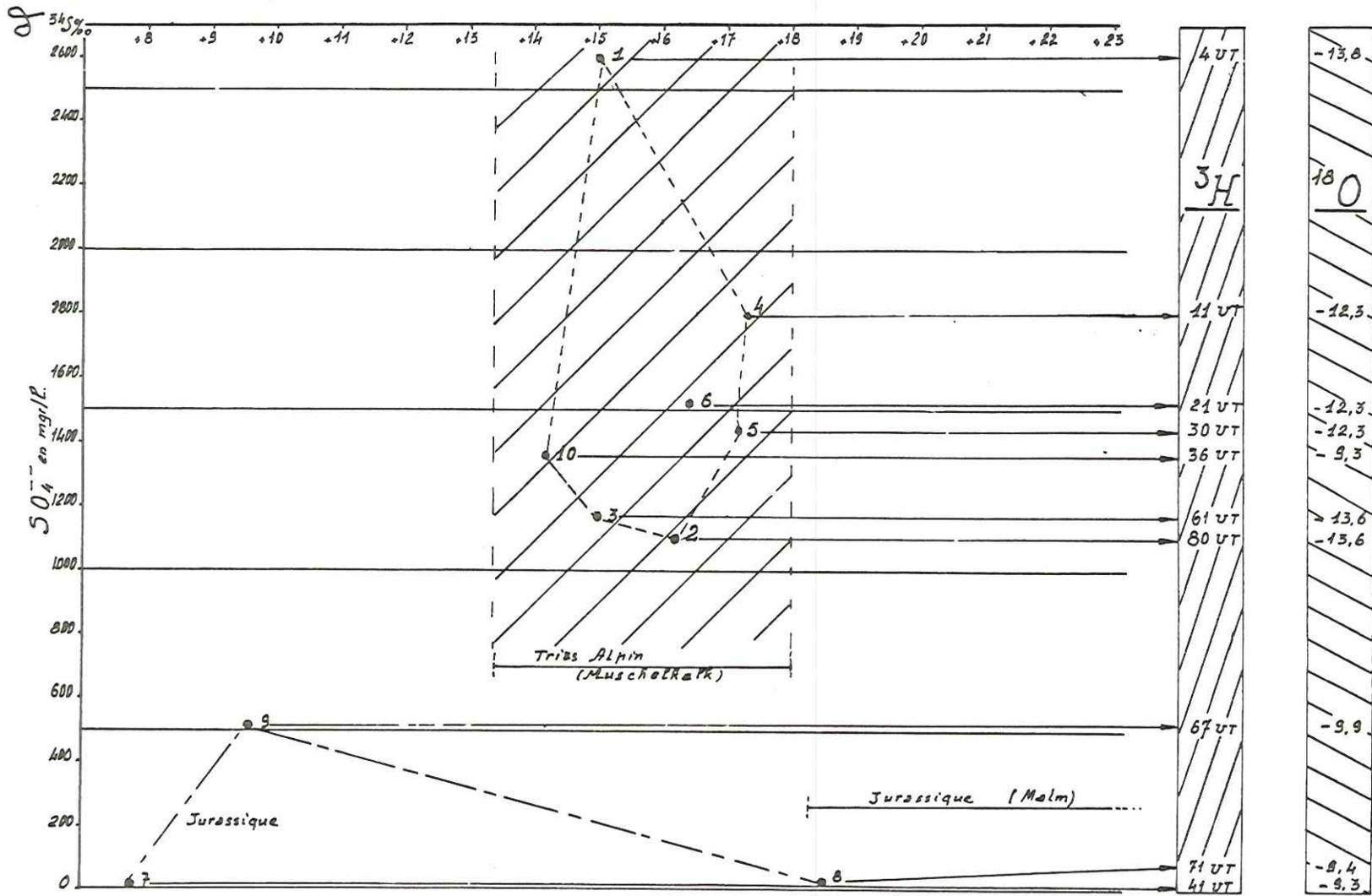


Tableau 5

ISOTOPES

$\delta^{34}\text{S} \text{ ‰ v.s. CD}$



4.3 - ROLE DE LA TECTONIQUE DANS L'ÉCOULEMENT DES EAUX SOUTERRAINES

La localisation ponctuelle des groupes d'émergences thermominérales et minérales dans le département des Hautes-Alpes est liée directement à la tectonique.

4.3.1 - Tectonique tangentielle de couverture (tectonique d'écoulement)

Elle est extrêmement intense, en particulier dans la partie nord-est et est du département, (Zones Internes), et se concrétise par la formation de nappes de charriages et la progression de celles-ci vers le Sud-Ouest avec superpositions locales.

Des chevauchements dans les séries jurassiques de la zone externe jusque dans l'Ouest du département s'accordent avec le mouvement principal parti du Briançonnais.

En définitive, le mouvement vers le Sud-Ouest affecte toutes les formations qui se chevauchent les unes les autres entraînant parfois d'énormes copeaux de socle tel le Massif du Combeynot, parfois seulement des lambeaux ou des pointements surbaissés tels au Plan-de-Phazy ou à Remollon. Localement à la base de ces chevauchements apparaissent des témoins de houiller, ou plus souvent de Trias calcaro-dolomitique. Certains chevauchements ne sont marqués que par des gypses diapiriques surtout au niveau des vallées (surtout dans l'Ouest du département).

Parfois dans le Briançonnais un léger métamorphisme de friction apparaît dans la semelle triasique qui permet une lubrification nécessaire à l'avancement de ces énormes écailles. La chlorite et la séricite y ont été rencontrées sous des puissances réduites.

Ce métamorphisme est "figé" dans les lames ou klippe détachées de leur zone de départ, et encore "actif" avec températures entretenues dans les bases de nappes des fronts Briançonnais et Subbriançonnais. De nombreux et légers séismes continuent à se manifester engendrés vraisemblablement par un écoulement actuel.

Cette tectonique n'entrave pas les circulations en profondeur d'eaux météoriques qui acquièrent ainsi une température relativement forte et un pouvoir dissolvant vis-à-vis des évaporites qui contribuent à la formation de chaos dans les formations calcaires et dolomitiques du Trias.

4.3.2 - Tectonique de socle (ou tectonique cassante et profonde)

Dans le Briançonnais, les fronts de chevauchements sont affectés par des fractures subverticales de direction moyenne nord-est/sud-ouest particulièrement importantes, d'origine alpine, intéressant également le socle.

Ces fractures sont coulissantes, le panneau sud-est est déplacé vers le Sud-Ouest et relevé par rapport au panneau nord-ouest. Elles recoupent le front des nappes de l'Ultradauphinois, du Subbriançonnais et du Briançonnais et se perdent dans celui-ci en de multiples cassures divergentes. Les fractures encore actives produisent un échauffement par friction non négligeable qui influence les circulations actuelles qui les empruntent.

Le panneau aval de ces fractures est relevé. Les écoulements d'eaux souterraines d'origine lointaine, profonde et en général du nord vers le Sud, ainsi que les écoulements sous-alluviaux, sont oblitérés par le seuil ainsi formé. C'est à ce niveau, dans une partie basse de la vallée, qu'apparaissent les émergences de Monétier et Plan-de-Phazy.

Des fractures de socle se rencontrent encore dans la vallée de la Durance moyenne à la Saulce où l'une d'elles serait suivie par la vallée de la Durance et affecterait les chevauchements de la Saulce-Ceüse et de Barcillonnette avec des sources en relation avec le Trias.

La fracture de direction est-ouest qui recoupe le Dôme de Remollon est plus difficile à interpréter. C'est cependant à son extrémité est qu'apparaît la "nappe" thermominérale de Serre-Ponçon.

Des fractures, apparemment plus récentes, de direction N 365-370° forment un effondrement très net, rectiligne qui affecte l'arrière du front des nappes du Briançonnais. Cet effondrement dit "faille de la Durance" est suivi par la rivière de l'Argentière-la-Bessée à Montdauphin, il est interrompu, au Sud, par la faille de Châteauroux reportant plus à l'Est la partie sud de l'Arc Alpin (flexure de l'Arc Alpin).

4.3.3 - Position des sources en rapport avec la tectonique

En considérant seulement les sources thermominérales importantes, nous avons été frappés par leur environnement tectonique général.

1 - La source de la Liche-des-Chamois ne paraît pas être en relation avec un noeud d'accidents. Seule une fracture NW/SE à l'amont de la source limite le panneau où est située l'émergence.

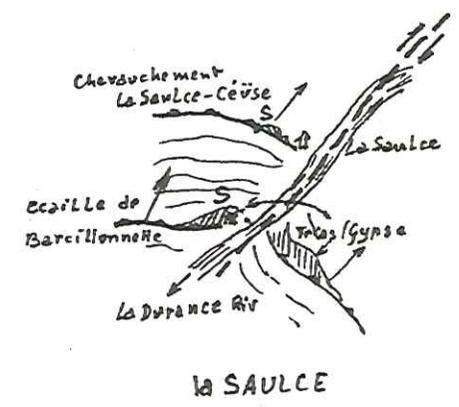
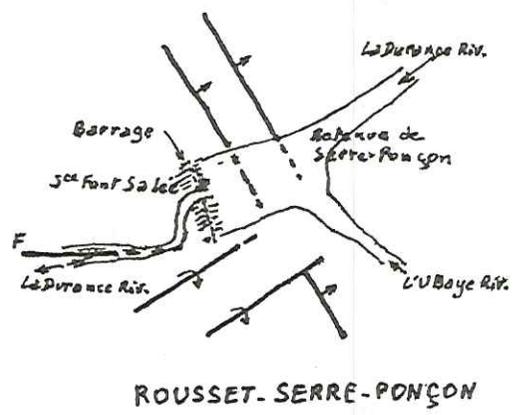
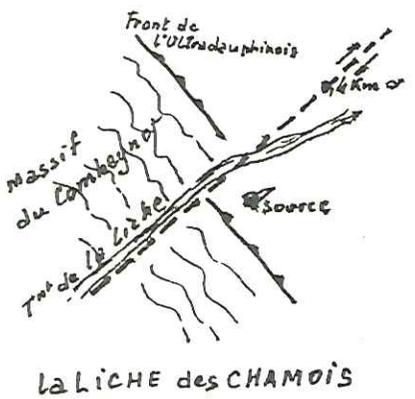
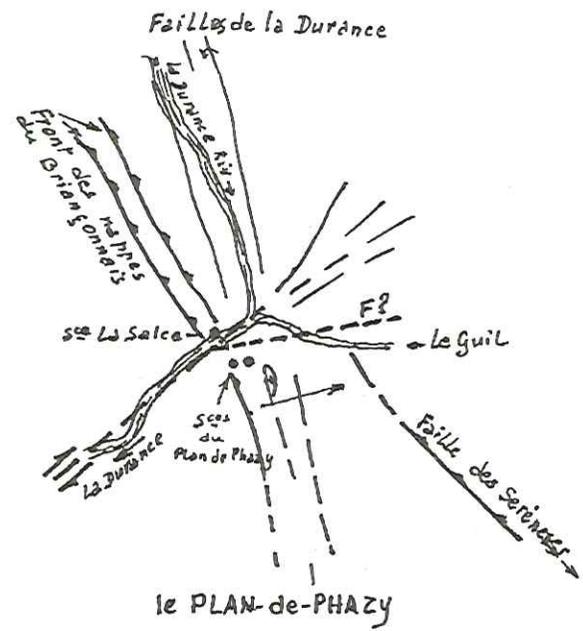
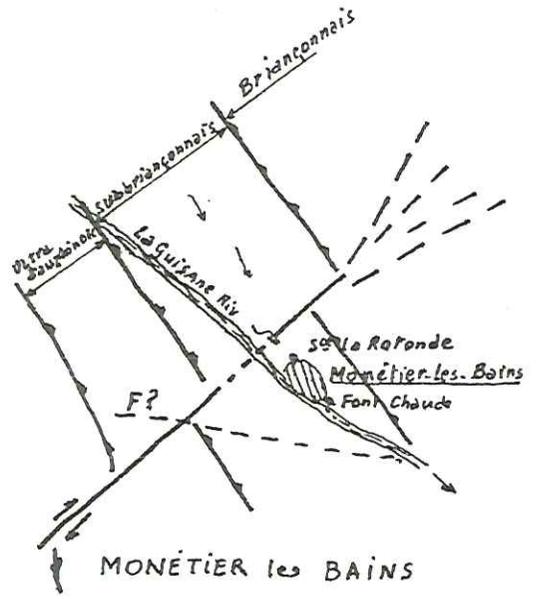
2 - Les sources de Monétier, la Rotonde et Font-Chaude dont l'origine est vraisemblablement commune, se situent dans la large vallée de la Guisane. Cette vallée rectiligne sans rapport avec la tectonique d'écoulement des nappes du Briançonnais ressemble à un effondrement discret n'affectant pas la géologie locale. Les sources sont à l'aval de la fracture de socle, transverse, qui recoupe le front des nappes.

3 - Au Plan-de-Phazy, les Suisses, la Rotonde et la Salce, c'est la "faille de la Durance" qui se heurte obliquement au front des nappes, elles-mêmes recoupées par la faille de socle de Chateauroux.

4 - A Font-Salée (Serre-Ponçon), l'étude de la géologie et la tectonique régionale, nous permet d'avancer l'hypothèse d'un grand accident oblique, prolongement vers le Sud de "l'effondrement" de la vallée du Drac, face ouest du Pelvoux. Cet accident se prolongerait vers le Sud-Est vers Seyne-des-Alpes (Alpes de Haute-Provence); auquel cas nous serions en présence de la répétition d'un phénomène lié à la rencontre de trois directions tectoniques d'âges différents.

Cette hypothèse reste à vérifier, les éléments concernant les effondrements pressentis manquent de précision. Cependant les coïncidences sont curieuses.

Sites d'émergences
des sources thermominérales



5ème PARTIE

ESSAI DE SYNTHÈSE

5.1 - SYNTHESE SOURCE PAR SOURCE

5.3.1 - Monétier-les-Bains

La Rotonde-Font Chaude des Près Bagnols

Subbriançonnais

Thermale - minéralisée - chaude

eau chlorurée, sulfatée, calcique et magnésienne, fluorée et lithinifère.

minéralisations acquises au contact d'évaporites du Trias

circuit profond et remontée rapide

mélange important avec des eaux de surface en liaison avec

une fracture perpendiculaire à la vallée, griffons sous-alluviaux,

émergences au milieu de la vallée, sur les alluvions,

présence d'un seuil.

5.3.2 - Plan de Phazy

La Rotonde - Les Suisses

Briançonnais

thermale - minéralisée - tiède

eau chlorurée, sodique, potassique, sulfatée, lithinifère

minéralisations acquises au contact du Trias

bassin d'alimentation étendu

circuit profond, puis circulations entre niveaux imperméables

"tièdes" sous-alluviaux

mélange avec des eaux de surface

griffons sous-alluviaux

émergences sur les rives de la vallée

présence d'un seuil.

La Salce

même origine

lessivage d'évaporites proches de l'émergence.

5.3.3 - Monétier-les-Bains

La Liche-des-Chamois

Ultradauphinois

thermale tiède - minéralisée

calcaro-magnésienne, chlorurée-sodique et potassique, sulfatée,

fluorée, lithinifère

bassin versant réduit

circuit lent et vraisemblablement profond

lessivage de séries granitiques et volcano-sédimentaires

minéralisation acquise à la base de la nappe

griffon à flanc de montagne

5.3.4 - Dôme de Remollon

Font Salée : Serre-Ponçon-eaux recueillies dans des sondages
thermale chaude minéralisée
Lias proche
chlorurée sodique sulfatée.
(la plus chaude = hyper-chlorurée sodique)
bassin d'alimentation inconnu
circulations dans alluvions fluvio-glaciaires
présence de fracture du socle
présence de gypse du Trias à l'aval
griffons sous-alluviaux
source disparue mais sondages ayant reconnu la nappe thermominérale

5.3.5 - Sources liées au Trias

Font Chaude (la Saulce)

base de chevauchement
faible température
eau bicarbonatée
circulation à la base d'un chevauchement
double bassin d'alimentation
peu ou pas de Trias
captage par drains - pour alimentation

b) Arouze (Lardier)

base de chevauchement
faible température
sulfatée chlorurée sodique
griffon dans le gypse
origine et évacuation inconnues

5.3.6 - "Terres-Noires" Baronnie Orientales

a) Font Vineuse (St-Pierre-d'Argençon)

Jurassique moyen et supérieur
froide
bicarbonatée ferrugineuse
bassin d'alimentation réduit
résulte de la "compaction" des "Terres-Noires"
quelques chlorures
débit très réduit
griffon au rocher (sous les alluvions)

b) La Bergère (Aspres-sur-Buech)

Jurassique supérieur
froide
bicarbonatée
bassin d'alimentation très réduit
résulte de la "compaction" des "Terres-Noires"
débit très réduit
griffon au rocher.

5.2 - LIAISON ENTRE TEMPERATURE ET LOCALISATION DES SOURCES

Il faut distinguer deux groupes d'émergences :

Groupe A : Griffon "au rocher" sur un flanc de vallée
la Liche-des-Chamois, commune de Monétier
Source du Moulin, commune de Remollon
Aurouze, commune de Lardier-Valança
Font-Chaude, commune de la Saulce
Font-Vineuse, commune de St-Pierre-d'Argençon } dans les "Terres-
la Bergère, commune de Aspres-sur-Buech } Noires"

Groupe B : Griffon sous-alluviaux au fond d'une vallée
la Rotonde, commune de Monétier-les-Bains
Font-Chaude, commune de Monétier-les-Bains
la Rotonde, Plan-de-Phazy, commune de Risoul
les Suisses, Plan-de-Phazy, commune de Risoul
la Salce, Plan-de-Phazy, commune de Réotier
Font-Salée, Serre-Ponçon, commune de Rousset

Les émergences peuvent être regroupées de l'amont vers l'aval dans la vallée de la Guisane puis de la Durance. Ce regroupement correspond d'ailleurs à des températures décroissantes depuis les parties hautes des Hautes-Alpes jusqu'à la plaine à la sortie du département - sauf pour la source de la Liche située à grande altitude avec un bassin versant réduit et à débit peu important.

1 - La Liche-des-Chamois, t° 24°C. Située à flanc de vallée, à l'altitude de 1975 m, ses deux griffons représentent la même venue et sont sans rapport avec les sources incrustantes froides du Col du Lautaret.

2 - Sources en fond de vallée

a - les émergences sont dans l'axe de la vallée, car les alluvions sont peu puissantes. Le griffon sous-alluvial est supposé à la partie basse du bed-rock et lié à une fracture visible latéralement.

Sources de Monétier t° 40°C, cote 1502/1455 m.

b - les émergences viennent au jour latéralement, à la faveur d'un seuil. La puissance des alluvions est importante et le lit actuel de la rivière est colmaté. La partie resserrée de la vallée alluviale est liée à une fracture dans l'axe de celle-ci et à un effondrement. C'est une zone tectoniquement instable.

Sources du Plan-de-Phazy t° 27°C, cote 890/895 m.

Les émergences sont alimentées par une nappe sous-alluviale elle-même alimentée par des griffons profonds plus ou moins éloignés vers l'amont.

c - Une seule émergence était connue mais la nappe thermominérale a été détectée dans les alluvions franchissant un seuil.

L'alimentation thermominérale est hypothétique. Les fractures susceptibles d'alimenter la ou les nappes sous-alluviales se distinguent mal. Cependant un accident important et profond peut être supposé au confluent Durance-Ubaye sous le village du Sauze. Cet accident suivi vers le Nord par la vallée du Drac se poursuit en direction du Sud-Est vers Allos. Il serait parallèle à la dépression de la Guisane entre le Lautaret et Briançon.

Font Salée de Rousset = t° 61°C en fond de sondage (en surface elle était considérée comme "tiède"), cote 670 m.

3 - Sources en relation avec le Trias

- | | | |
|----------------------------------|--------|------------|
| a - <u>Font-Chaude</u> la Saulce | t° 19° | cote 650 m |
| b - <u>Arouze</u> Lardier | t° 19° | cote 610 m |

Les griffons sont localisés à la base ou au niveau de la plaine de la Durance, dans la semelle gypseuse ou triasique de chevauchement. Les apports sont peu importants et une grande partie des eaux doit se perdre directement dans les alluvions de la Durance.

4 - Source ayant de lointaines relations avec le Trias

Le griffon est capté au rocher, sous quelques mètres d'alluvions, directement dans les "Terres-Noires" du Jurassique supérieur. La vallée, d'aspect tectonique, se termine à l'aval dans une zone où des évaporites ont été recherchées : sondages et études géologiques récentes. Quelques chlorures influencent légèrement la composition de la source.

Font Vineuse St-Pierre-d'Argençon t° 11°C cote 791 m.

5 - Source provenant de la compaction des "Terres-Noires"

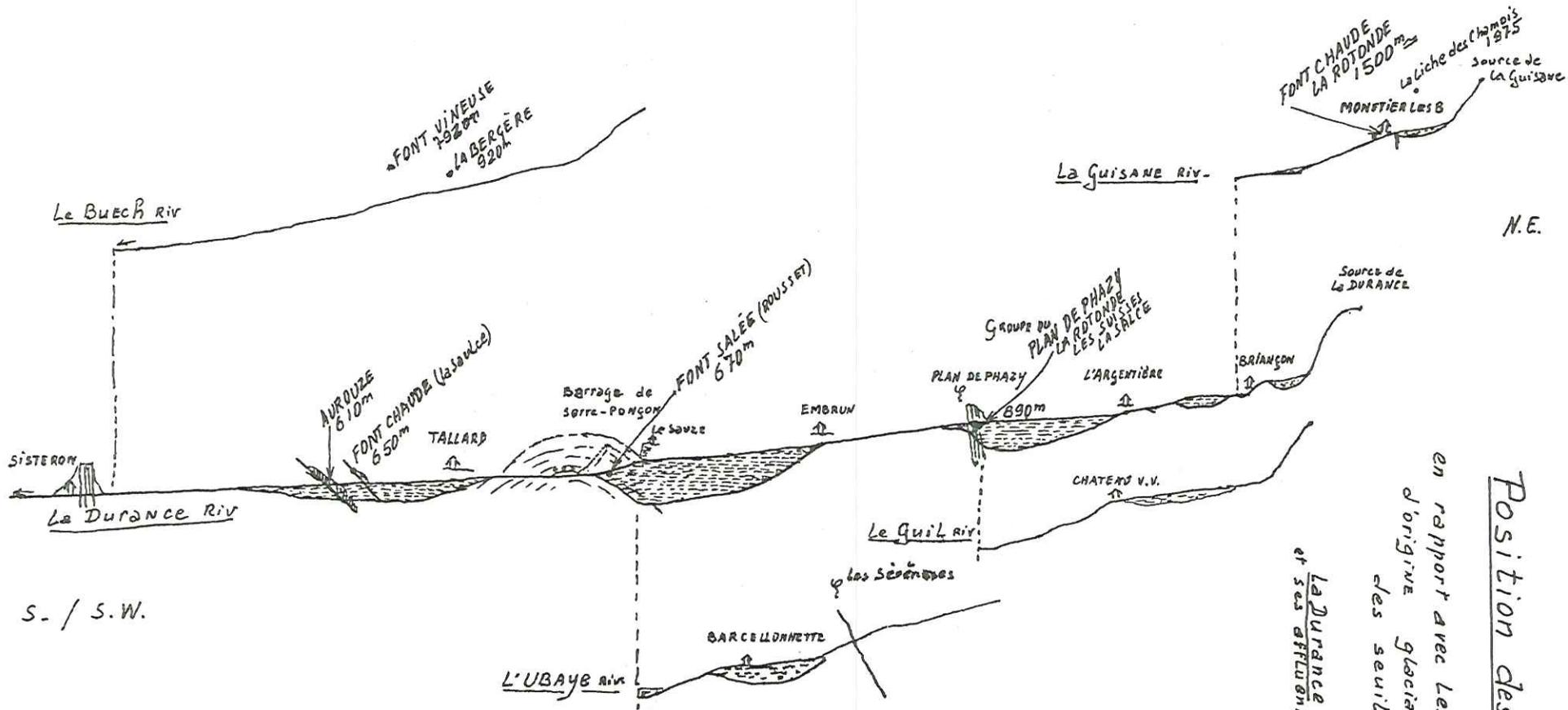
Les captages en forme de puits sont des collecteurs d'eaux locales de "compaction" et ne présentent qu'un intérêt restreint.

La Bergère, l'Aigle : Aspres-sur-Buech t° 11°C cote 920 m.

Plusieurs sondage forés dans les "Terres-Noires" de la région de Laragne ont décelé quelques venues d'eau sulfurée parfois artésiennes.

On constate du Nord-Est au Sud-Ouest un approfondissement de la vallée de la Guisane puis de la Durance avec des surcreusements d'origine glaciaire à l'amont des seuils, avec l'apparition d'un profil en marche d'escalier. Le remplissage augmente de puissance vers l'aval avec un maximum à l'amont du Dôme de Remollon. Le seuil de Sisteron (Alpes-de-Haute-Provence) est relativement peu alluvionné et sans nappe thermale.

La vallée de la Durance de Briançon à la Saulce est axée sur la "trouée" entre les massifs du Pelvoux et de l'Argentera. Des alternatives d'alluvionnements puis d'érosions consécutives à des phases d'affaissements et de surrections plaident en faveur d'une intense activité tectonique régionale et des circulation thermominérales. Celles-ci ont acquis leur température au cours de cheminements dans la failles actives affectées de frictions intenses.



croquis non coté.
 P.A.P.

Position des sources
 en rapport avec les surcreusements
 d'origine glaciaire et à l'amont
 des seuils

5.3 - Construction d'un schéma d'alimentation des sources du Briançonnais

A Monétier-les-Bains, les eaux des sources proviennent d'enfouissements de précipitations, et d'eau de surface en mélange, à partir d'un bassin d'alimentation estimé de 75 km² = 15 km de longueur environ, en partie couvrant la partie sud des Aiguilles d'Arves, en partie le massif du Galibier et les crêtes de la rive gauche de la Guisane. Le massif du Combeynot ne participe que pour une infime partie dans l'alimentation du bassin.

Les éventuels griffons sous-alluviaux à l'amont de Monétier se répandent dans les remplissages fluvio-glaciaires peu puissants. En fait, les circuits sont relativement simples et homogènes. Bien que les eaux thermominérales aient acquis leurs propriétés à proximité -ou dans les surfaces de chevauchement des nappes du Briançonnais et du Subbriançonnais- les écoulements actifs de celles-ci paraissent très réduits actuellement malgré une tectonique de subsurface violente.

A 35 km environ au Sud de Monétier se trouve le Plan de Phazy. Le bassin d'alimentation est beaucoup plus vaste. Il est estimé à 375 km². Il recouvre tant la rive droite que la rive gauche de la Durance jusqu'à son confluent avec le Guil.

Massifs rive droite : massif de Montbrisson,
nappes de Champcella et
de Roche Charnière

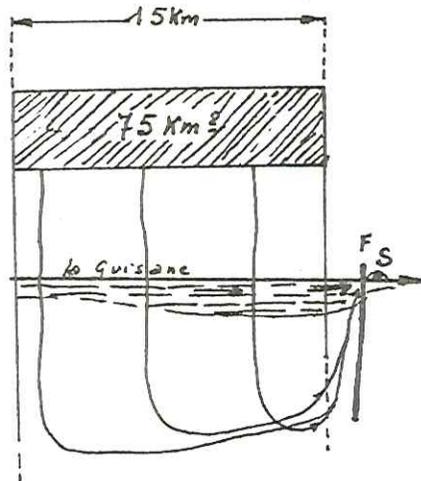
jusqu'au front des nappes plus à l'Ouest et la partie est et sud-est du massif du Pelvoux

Massifs de la rive gauche :
massif de Peyre Eyraute
montagne de Furlande

au Nord du Guil où il y a un broyage intense de toutes les formations, qu'il s'agisse de l'écaïlle parautochtone de granite du Plan de Phazy ou des gypses du Trias. Les cheminements sont multiples et se font sur de grandes distances. Certains filets d'eaux ont pu acquérir des propriétés thermominérales et être passés au stade "eaux profondes" avant d'éventuelles rencontres partielles au moins jusqu'à la base de surcreusements glaciaires -en particulier à la faveur de fractures- contemporaines de l'effondrement de la faille de la Durance. Les circulations dans des niveaux perméables de la plaine alluviale abaissent les températures originelles sans altérer les propriétés acquises lors des conditions atteintes lorsque les eaux étaient aux températures maximales. Il n'empêche que les plans de chevauchements restent des zones privilégiées de circulations profondes qui arrivent au jour, ou à proximité de la surface, dans l'échancrure du front des nappes au Plan de Phazy, zone sismique importante.

SCHEMA D'ALIMENTATION DES SOURCES DU BRIANÇONNAIS

Massif du Galibier
Aiguilles d'Arves

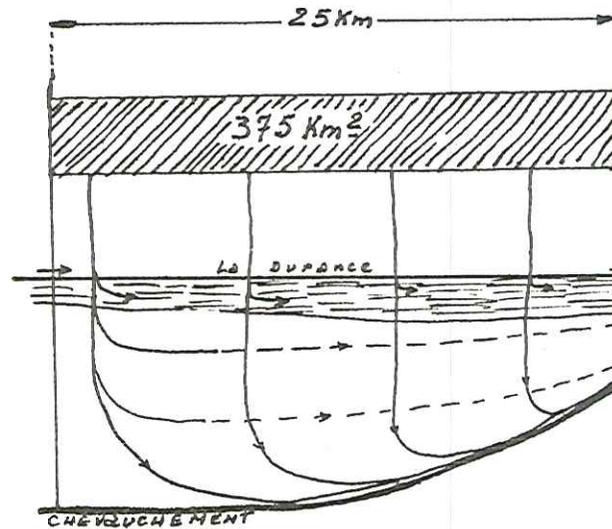


tectonique de faille

MONETIER LES BAINS

environ 15 Km

Massifs Rive droite = Nappe de Champcella
Roche Charnière
Massif de Montbrisson
Massifs Rive gauche = Peyre Eyraute
MOR de Furlande

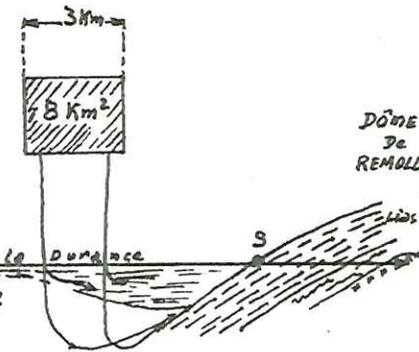


tectonique de nappes

PLAN DE PHAZY

environ 35 km

Massif du Morgon
" des Autanes
" Piolet



tectonique souple

SERRE-PONÇON

environ 35 Km

101

Il apparaît qu'une partie des eaux "profondes", continue à progresser à l'aval de la cluse de Plan de Phazy -Saint-Clément dans les alluvions de la Durance.

A 35 km à l'aval une "nappe chaude captive" a été repérée au niveau du barrage de Serre-Ponçon. Les nombreux sondages de reconnaissance exécutés en vue de l'implantation du barrage, ont reconnu différents filets d'eaux chaudes dans les alluvions particulièrement puissantes du confluent Durance-Ubaye^{**}. L'éventuel bassin d'alimentation susceptible d'alimenter ce site, se situe de part et d'autre de la Durance et est très réduit : 8 km² Massif des Autanes, du Piolit au Nord, du Morgon au Sud-Est. De plus l'un et l'autre semblent des reliques de chevauchements "perchés".

La source de Font Salée, aujourd'hui disparue -située à l'aplomb de la crête du barrage- rive droite de la Durance, ne semble pas en rapport direct avec un accident important mais sur la retombée est du Dôme de Remollon.

En dehors des zones géothermales de Serre-Ponçon, et du Monétier, la région du Plan de Phazy présente un phénomène géothermique important. Il est malheureusement très mal connu. Son éventuelle utilisation serait difficile en raison de son extention d'une part vers l'aval : faille de la Durance, d'autre part en raison de sa profondeur : base des nappes.

Nous avons essayé d'établir des schémas de circulation des eaux thermales du Briançonnais en fonction des conditions tectoniques propres à chacun des secteurs on se situent les zones d'émergence. Il est intéressant de confronter ces schémas avec les données formées par les relations qui peuvent exister entre la température et la composition chimique et isotopique.

^{**} La température varie de 35 à 61°. Le bed-rock semble étranger à l'échauffement des eaux.

5.4 - LIAISON ENTRE LA TEMPERATURE ET LA COMPOSITION CHIMIQUE

Apparemment la composition chimique des eaux et la température ne présentent pas de rapports directs.

Les teneurs en silice caractéristiques de dissolutions facilitées par des températures importantes, surtout sensibles à la Liche, pourraient n'être, qu'un reflet des lessivages de roches volcano-sédimentaires elles-mêmes riches en silice. Par contre le lithium des sources du Briançonnais -absence d'analyses Li à Rousset- pourrait provenir du lessivage des semelles et écaillés d'évaporites du Trias de la base des nappes, par des eaux à températures élevées.

Les températures atteintes proviendraient donc d'enfouissements profonds, dans des sédiments puissants très tectonisés parfois avec répétition superposée de mêmes niveaux. Ces sédiments sont soumis à des déplacements horizontaux sous forme de nappes d'écoulement, avec frictions, engendrant une fracturation, elle-même, origine de frottements dégageant une température difficile à apprécier, mais réelle. Des fractures du socle, encore actives produisent aussi un échauffement non négligeable.

Le problème des réactions exothermiques dans les amas de gypses et d'anhydrites qui existent constamment à la base des nappes, est mal résolu dans les conditions de pression et de températures ambiantes qui règnent à ces niveaux mais leur réalité n'est pas utopique. Cependant, à ces niveaux les circulations d'eaux météoriques sont lentes et l'eau souterraine a le temps de se minéraliser fortement.

L'eau au niveau des émergences reste le reflet des minéraux lessivés. Les mélanges proches de la surface n'altèrent que légèrement les éléments entraînés, et gardent les proportions ioniques relatives acquises. Ainsi toutes les eaux issues du pourtour du Pelvoux ont un caractère unique bien homogénéisé.

L'utilisation des géothermomètres chimiques dont les fondements théoriques paraissent actuellement assez fiables et à laquelle nous aurons recours dans l'essai de synthèse générale nous permettra de voir que la liaison entre la température des eaux et la composition chimique est malgré tout significative compte tenu des mélanges qui interviennent entre les eaux superficielles et les eaux profondes.

5.5 - Essai de synthèse générale

Au vu des multiples données sur quelques sources thermominérales du département des Hautes-Alpes et malgré le faible pourcentage de sources analysées - 10 sources - il peut être esquissé quelques idées sur les possibilités thermominérales régionales.

Ce sont en particulier les sources thermominérales des bordures orientales et méridionales du massif du Pelvoux qui ont été testées. Les sources minéralisées de l'Ouest du département dont l'intérêt paraît moindre - tant en débit qu'en thermalisme - sont souvent liées à des niveaux correspondant à des bases de chevauchements. Elles s'intègrent parfaitement au schéma proposé pour les sources précédentes.

Les sites d'émergences sont liés à la complexité tectonique de la région, dominée surtout par des chevauchements successifs du Nord-Est vers le Sud-Ouest et dont l'arc briannonnais est la figure la plus spectaculaire. Ils sont encore influencés par une fracturation du socle de direction N 40°E dont la répétition, du moins dans le Briançonnais n'est pas fortuite. Les eaux de toutes ces sources dont les caractéristiques sont regroupées dans le tableau 1 page 128 sont sulfatées calciques et chlorurées sodiques et proviennent du lessivage des évaporites du Trias (F. BLANCHET 1940, L. MORET 1946).

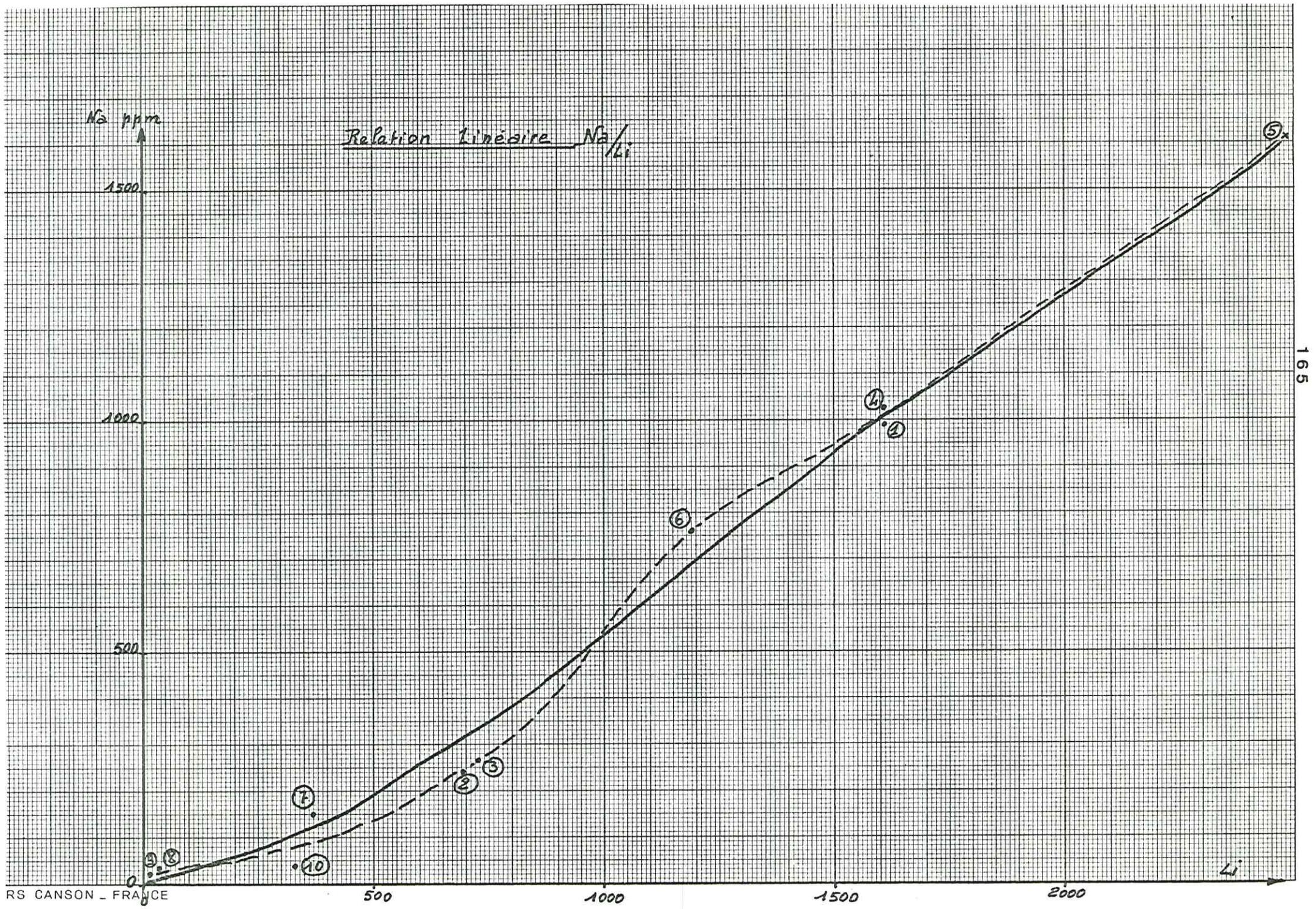
Ce fait est démontré par les teneurs en isotope lourd du soufre des sulfates des eaux qui présentent toutes des valeurs $\delta \text{‰ } S^{34}$ comprises entre +15 et +17,5 correspondant aux valeurs observées sur toutes les évaporites du Trias français. Les très faibles fluctuations observées entre les diverses sources sont le signe d'une activité bactérienne provoquant un fractionnement isotopique et se traduisant par la production de SH^2 riche en soufre léger et l'enrichissement des eaux en isotope lourd d'où l'apparition de $\delta \text{‰ } ^{34}S$ moins fortement positifs (B. BOSCH et al 1972).

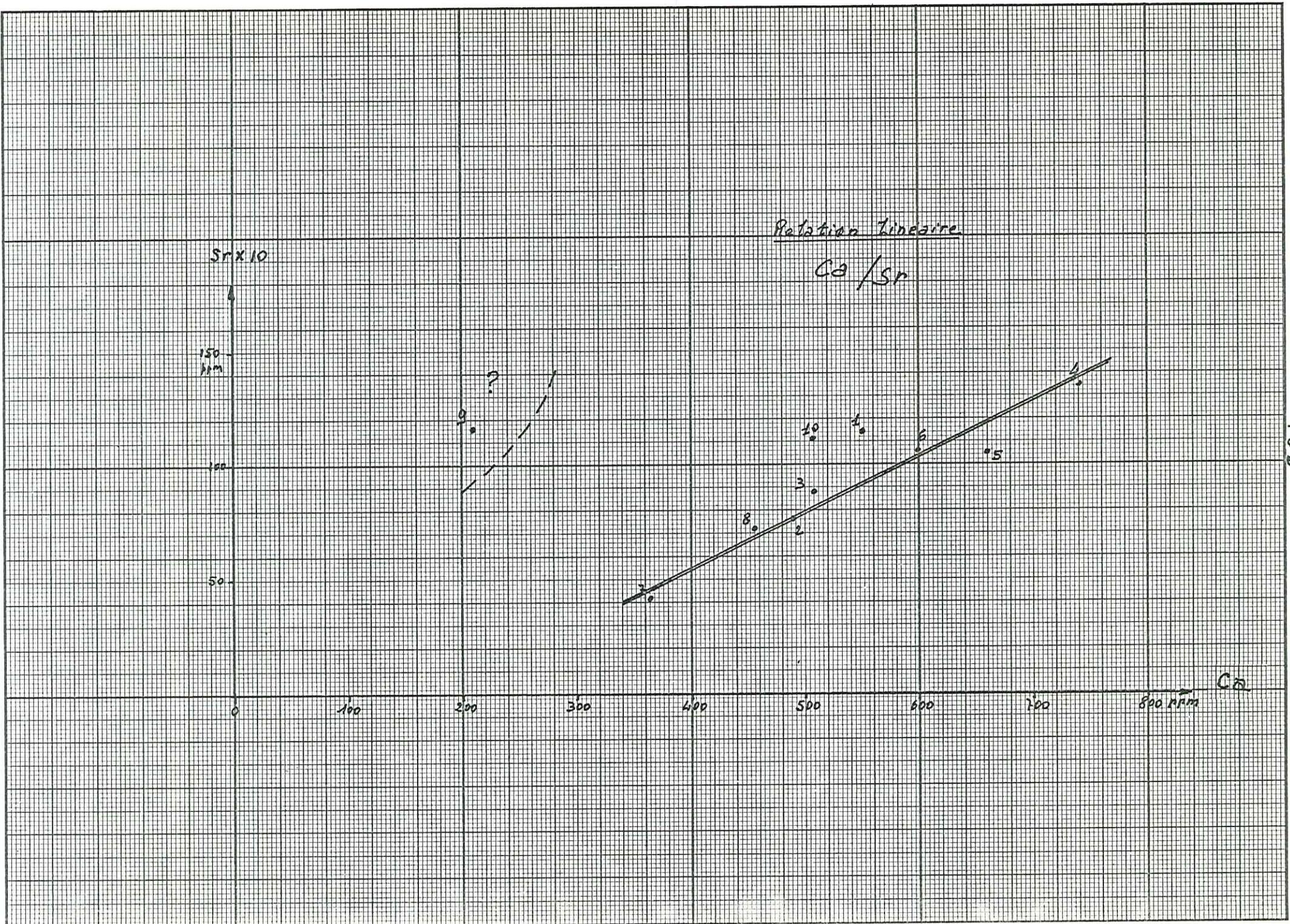
Les valeurs $\delta \text{‰ } ^{34}S$ observées permettent d'exclure l'hypothèse de réactions exothermiques d'oxydation des sulfures conduisant à la formation de sulfates et à un réchauffement des eaux.

Les valeurs des rapports Ca/Sr comprises entre 105 et 140 et celles des rapports Na/Li comprises entre 10 et 20 semblent bien aussi caractériser les évaporites du Trias, les fluctuations existant d'une source à l'autre pouvant provenir de différences de température des eaux en profondeur ou aux émergences, ou de mélanges avec des eaux ayant lessivé d'autres formations.

La composition des eaux des sources thermominérales n'est pas fondamentalement différente de celles des nombreuses sources normales que l'on peut observer sur les flancs des vallées de la Guisane et de la Durance qui sont également fortement sulfatées ; mais si les concentrations atteintes dans les eaux des sources thermominérales étudiées proviennent de la solubilité croissantes des sels minéraux avec la température des eaux, les proportions entre les ions SO_4^{4-} et Cl d'une part, Ca et Na d'autre part, diffèrent d'une source à l'autre et d'avec celles des sources normales.

L'étude des isotopes qui font partie intégrante de la molécule d'eau : oxygène 18, deutérium et tritium montre que les eaux des sources thermomi-





188

nérales des bordures orientale et méridionale du massif du Pelvoux sont essentiellement des eaux d'origine météorique. Sur un diagramme représentatif des rapports des valeurs $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$, les eaux prélevées aux émergences se situent de façon quasi parfaite sur la droite de Craig d'équation $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$ qui caractérise les eaux météoriques. Il n'apparaît pas dans les résultats observés qu'il y ait modification significative de la composition isotopique des eaux thermales par échange entre l'oxygène des eaux d'infiltration et celui entrant dans la composition des minéraux des roches traversées. Cet échange qui se traduit classiquement par l'apparition de valeurs $\delta^{18}\text{O}$ positives ne se produit généralement qu'à des températures assez élevées et est difficile à déceler en cas de mélange entre de fortes proportions d'eaux superficielles et de faibles proportions d'eaux très chaudes ayant circulé à grande profondeur.

Les valeurs ^{18}O et ^2H montrent que les eaux étudiées proviennent de précipitations qui se sont produites à des températures moyennes correspondant à des altitudes moyennes de 2300 mètres pour la Liche-des-Chamois et du Monétier et d'environ 1900 mètres pour les sources de Réotier-Plan de Phazy. Ces altitudes sont aussi bien celles des bassins versants probables dominant les diverses sources thermominérales que celles des bassins versants de la Guisane et de la Durance à l'amont des points d'émergence.

La présence de tritium est aussi une preuve de l'origine météorique des eaux des sources étudiées. On peut admettre que la teneur moyenne en tritium dans les eaux de pluie durant l'année 1973 est proche de 100 unités tritium dans la haute vallée de la Guisane où les influences méditerranéennes et atlantiques se font sentir ainsi qu'un important effet de continentalité (Ph. OLIVE 1970) et de 80 U.T. dans la partie de la vallée de la Durance située à l'aval du confluent avec le Guil (L. TRON et al 1975) (P. DULUC 1973). L'infiltration des eaux en profondeur se faisant généralement de façon extrêmement lente alors que leur remontée est rapide, il est généralement admis que les circulations thermales les plus profondes sont pratiquement exemptes de tritium. Il en résulte que dans cette région comme dans beaucoup d'autres, les eaux qui parviennent aux émergences des sources thermominérales résultent de mélanges en proportions diverses entre des eaux chaudes profondes et des eaux froides plus ou moins superficielles provenant soit des versants montagneux, soit des nappes des vallées alluviales.

- Utilisation des géothermomètres chimiques

L'utilisation des géothermomètres chimiques permet à partir des teneurs des eaux en certains éléments caractéristiques de déterminer les températures atteintes par les eaux aux diverses profondeurs, mais il est nécessaire de confronter entre eux les résultats obtenus par les diverses méthodes préconisées ces dernières années avant de pouvoir déterminer les proportions de mélanges entre les divers types d'eaux et l'importance des anomalies géothermiques existant dans la région. La plupart des études à partir desquelles ont été définis les divers géothermomètres chimiques ayant été réalisés sur des sources d'eaux thermales issues essentiellement de roches cristallines intrusives ou éruptives et de roches cristallophylliennes, il convient d'être prudent lorsque l'on est amené à utiliser des géothermomètres dans des régions où les échanges entre les eaux et des terrains sédimentaires, et en particulier des évaporites, peuvent se produire car les solubilités des minéraux rencontrés dans ces formations ne sont pas identiques à celles des minéraux des roches d'origine magmatique. Il pourrait donc apparaître difficile d'utiliser de tels indicateurs dans la région étudiée ici, mais on peut tout de même penser raisonnablement que les eaux d'infiltration pénètrent à des profondeurs suffisamment importantes du fait de la fracturation intense des diverses formations géologique et circulent pendant des temps suffisamment long au contact et dans

$$T1 = \frac{1522}{5,75 - \log SiO^2} - 273$$

$$\log K = \log \frac{Na}{K} + \beta \log \frac{\sqrt{Ca}}{Na} = \frac{1647}{273 + T^2} - 2,24$$

$$T^2 = \frac{1647}{\lg K + 2,24} - 273$$

	n° de la source	t° de la source	SiO ² en ppm	T1	Na en ppm	K en ppm	Ca en ppm	$\frac{z Na}{z K}$	$\log \frac{Na}{K}$	\sqrt{Ca} mole	$\frac{\sqrt{Ca}}{Na}$	$\log \frac{\sqrt{Ca}}{Na}$	$\beta \log \frac{\sqrt{Ca}}{Na}$	$\log K$	T2
Liche-des-Chamois	1	24°	44	97	994	40,5	554	41,7	1,6203	3,721	0,086	1,065	- 0,355	1,2653	197
Rotonde Monétier	2	35,4°	23	73	224	14	492	27,2	1,4345	3,507	0,360	0,443	- 0,147	1,2866	194
Font chaude-Monétier	3	34,5°	25	76	260	15,4	514	28,7	1,4579	3,584	0,317	0,498	- 0,166	1,2919	193
Les Suisses-Phazy	4	26,8°	21	70	1028	26	740	67,2	1,8274	4,301	0,096	1,016	- 0,338	1,4885	168
Rotonde-Phazy	5	27,4°	23	73	1614	40	658	68,5	1,8362	4,055	0,057	1,238	- 0,412	1,4235	176
Salce-Phazy	6	21,2°	20	69	746	19,1	600	66,4	1,8221	3,872	0,119	0,922	- 0,307	1,5144	165
Font Vineuse	7	10°	12	53	147	16	364	15,6	1,1936	3,016	0,471	0,326	- 0,108	1,0849	222
la Bergère	8	10°	19	67	11,5	2,3	458	8,5	0,9294	3,383	6,767	0,830	- 1,107	2,036	112
Font Chaude la Saulce	9	16,2°	13	55	10,2	2,1	208	8,25	0,916	2,280	5,1419	0,711	- 0,948	1,8641	128
Aurouze	10	18,6°	22	72	332	13,3	514	42,4	1,627	3,584	0,248	0,604	- 0,2016	1,4253	176

les formations cristallines très comparables à celles du massif du Pelvoux pour que la minéralisation acquise dans la traversée de ces formations traduise malgré ses modifications ultérieures, les températures atteintes en profondeur. Le géothermomètre silice permet de calculer à partir de la teneur en silice observée à l'émergence, la température à laquelle le quartz, la calcédoine, la cristobalite ou la silice résultant de l'hydrolyse des feldspaths des roches cristallines ont été mise en solution, sous réserve de vérification que la silice observée ne provient pas de dissolutions au niveau et à la température de l'émergence de la silice de grès, quartzites ou même d'argiles. En fait, dans le cas de mélange entre eaux chaudes profondes et eaux superficielles ou semi-superficielles, la température T1 calculée par ce géothermomètre est la température minimale nécessaire à la mise en solution de la quantité de silice contenue par les eaux à l'émergence, étant entendu qu'une partie de la silice contenue dans les eaux chaudes profondes peut avoir précipité dans la zone de mélange, du fait de l'abaissement de la température des eaux. Les températures que l'on peut calculer par la formule de R.O. FOURNIER et A.H. TRUESDELL (1974) :

$$t \text{ en } ^\circ\text{C} = \frac{1522}{5,75 - \log \text{SiO}_2 \text{ en ppm}} - 273$$

sont nettement plus élevées que celles observées aux émergences mais certainement inférieures aux températures maximales atteintes par les eaux chaudes en profondeur. Elles s'échelonnent entre 55 et 95°C.

L'utilisation du géothermomètre Na/K préconisé par A.J. ELLIS (1970) paraît moins bien adaptée au problème d'une région où l'on trouve beaucoup de formations évaporitiques. Les rapports Na/K compris entre 27 et 69 sont trop proches pour la plupart des sources thermales de la valeur de 40 qui caractérise les eaux de mer pour être significatifs bien que les variations de ce rapport d'une source à l'autre puissent être en liaison avec la température des eaux comme nous le verrons plus loin.

L'utilisation du géothermomètre Na-K Ca préconisé par R.O. FOURNIER et A.H. TRUESDELL (1973) et basé sur la solubilité respective de ces ions lors des réactions qui affectent les minéraux des roches cristallines et spécialement les feldspaths, doit être faite avec précaution bien que les solubilités relatives de ces ions en fonction de la température semblent varier dans le même sens pour les évaporites et pour les roches cristallines.

Les températures T2 calculées par la formule

$$t^\circ\text{C} = \frac{1647}{\log \text{Na/K} + \beta \log \sqrt{\text{Ca/Na}} + 2,24} - 273$$

à partir de la composition molaire des eaux, correspondent à des températures maximales atteintes par les eaux en profondeur puisqu'elles correspondent à des teneurs en sodium, potassium et calcium qui restent faibles vis-à-vis des valeurs de saturation et ne sont pas modifiées par refroidissement des eaux lors d'un mélange au cours de la remontée vers la surface. Les températures T2 calculées s'échelonnent entre 130 et 200 degrés mais n'ont pas une valeur absolue en raison de l'influence des couches salifères et des eaux froides qui y circulent.

No

1700
ppm

1500
ppm

1000
ppm

500
ppm

0

10

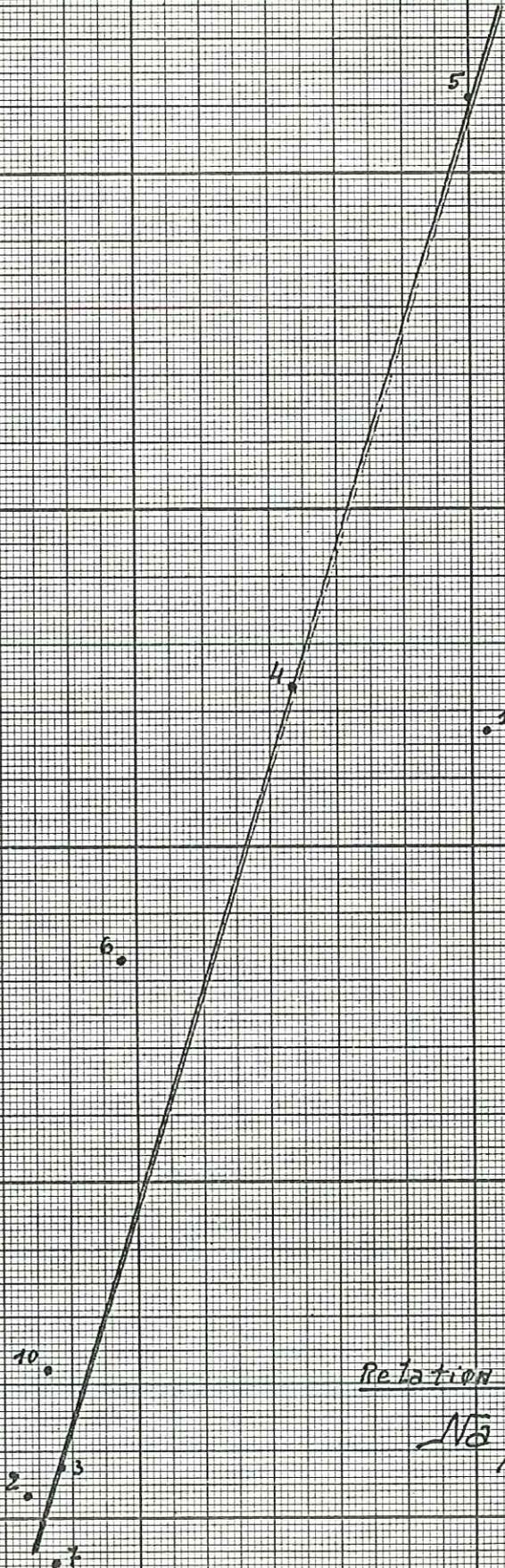
20

30

40

50ppm

Kx10



Relation Linéaire
 No / K

	Sr meq	Ca meq	Mg meq	Na meq	K meq	Li 103	HCO ³ meq	SO ⁴ meq	Cl meq	F meq	SiO ² ppm	
La Liche des Chamois	0,262	27,7	11,3	43,2	1,03	228	7,24	54	24,3	0,07	44	
Monétier	La Rotonde	0,178	24,6	4,16	9,7	0,35	99	8,28	23	9,4	0,07	23
	Fontaine chaude	0,198	25,2	4,58	11,3	0,39	102	7,52	24,6	9,9	0,08	25
Plan de Phazy	Les Suisses	0,308	37	7,5	44,7	0,66	228	10,6	38,3	41,1	0,06	21
	La Rotonde	0,239	32,9	8,9	70,2	1,02	350	16	30	69,6	0,057	23
	La Salce	0,242	30	6,5	32,4	0,49	157	7,2	31,6	30,4	0,046	20
Aspres	La Bergère	0,162	22,9	1,4	0,5	0,05	-	24,2	0,25	0,05	0,009	19
Lardier	Aurouze	0,255	25,7	8	14,4	0,34	-	3,36	28,3	14,4	0,014	22

	Altitude en mètre	Débit en l/sec	t° émer. en °C	¹⁸ O	Deutérium	Tritium Nov. 73 en U.T.	T1 Silice	T2 Na-K-Ca	T3 équilibre eau roche	T4 diagramme équilibre	% eau froide
La Liche des Chamois	1995	5	24	-13,8	-103,5	4 ± 2	97	197		(298)	
Monétier	La Rotonde	1500	15	35,4	-13,6	-	80 ± 6	194	165	130	78
	Fontaine Chaude	1455	8	34,5	-13,7	-101,2	61 ± 5	193	224	135	79
Plan de Phazy	Les Suisses	890	5	26,8	-12,3	-	11 ± 3	168	(293)	150	87
	La Rotonde	890	5	27,4	-12,3	- 91,4	30 ± 4	176	244	165	88
	La Salce	890	10	21,2	-12,3	-	21 ± 3	165	248	190	93
Aspres	La Bergère	900	0,2	10	- 9,3	- 66,8	71 ± 6	112	183		
Lardier	Aurouze	610	1	18,6	- 9,4	- 66,3	36 ± 4	176	129		

L'utilisation du géothermomètre géologique mis au point par H et M. SCHOELLER 1976, est basée, elle, sur la détermination de coefficients de mise en solution calculés à partir de la composition chimique des roches cristallines dans lesquelles peuvent circuler les eaux profondes et qui fournissent la silice et la plus grande partie de la soude et de la potasse quand il n'y a pas de roches salifères au voisinage de la source considérée :

$$n = \frac{\text{Na} + \text{K}}{\text{SiO}^2 - \text{SiO}^{2'}}$$

$$m = \frac{\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}}{\text{SiO}^2 - \text{SiO}^{2'}}$$

Les teneurs en Na, K, Ca et Mg sont exprimées en milli-équivalents et celles de la silice en mole ; SiO^2 est la quantité de silice restant fixée sous forme d'argile lors de la décomposition du feldspath. Dans le cas d'un feldspath alcalin conduisant à de la kaolinite SiO^2 est égal à $2(\text{Al}_2\text{O}_3)$ exprimé en mole.

La composition chimique moyenne du socle granitique au voisinage de la Liche-des-Chamois : granites du Combeynot, de l'Eychauda et du Pelvoux est la suivante : (A. BARBIERI 1970).

SiO^2 : 71,1 ; Al_2O_3 : 14 % ; MgO 1,41 % ; CaO 1,27 % ; Na_2O 3,28 % ; K_2O 4,46 %
Exprimée en équivalents pour Mg, Ca, Na et K et en mole pour SiO^2 et Al_2O_3 elle conduit à $n = 0,220$ et $m = 0,347$.

L'écaille de granite de Plan de Phazy dont la composition est pratiquement celle du granite du Pelvoux malgré son état d'altération, montre que ce type de roche peut constituer le soubassement de l'ensemble du secteur étudié. Il est donc possible de calculer la température T3 atteinte par les eaux dans l'aquifère profond en utilisant les formules :

$$\frac{\text{Na} + \text{K} + \text{-Cl}}{n} = \text{SiO}_4\text{H}_4$$

$$\frac{\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg} - \text{Cl}}{m} = \text{SiO}_4\text{H}_4$$

où les teneurs en ions contenus dans les eaux sont exprimées en milli-équivalents et la valeur de SiO_4H_4 est obtenue en millimoles, ce qui permet par les formules classiques, de trouver la température atteinte en profondeur puisque cette teneur en silice est la teneur maximale atteinte par les eaux chaudes avant leur mélange, lors de leur remontée vers la surface, avec des eaux superficielles.

Nous avons obtenu des valeurs qui vont de 165 à 293°, sans que le calcul puisse être réalisé pour la Liche-des-Chamois en raison des trop fortes teneurs en ions sulfates dans les eaux de cette source.

Pour vérifier les résultats assez divergents obtenus, il est encore possible d'utiliser la méthode proposée par R.O. FOURNIER et A.H. TRUESDELL (1974) dans laquelle on étudie les courbes d'équilibre de la température et de la teneur en silice en fonction du pourcentage de mélange entre des eaux profondes et les eaux superficielles.

Connaissant la teneur en silice et la température des eaux normales qui varient de 6 à 9° et de 2 à 6 ppm de silice de 1900 à 2000 mètres d'altitude et en supposant que l'on a seulement des mélanges binaires, on obtient à l'intersection des courbes d'équilibre des températures et des teneurs en

silice de chaque source les températures T4 et les pourcentages de mélange entre les eaux chaudes profondes et les eaux superficielles. Les valeurs T4 obtenues diffèrent notablement des températures T3 et bien que plus faibles sont plus proches des températures T2. Elles sont vraisemblablement assez voisines de la réalité car non influencées par la présence des évaporites.

La valeur obtenue pour la Liche-des-Chamois est cependant étonnante et pourrait se trouver fortement exagérée par suite de l'existence d'un déséquilibre dû à un dégagement de gaz ou de vapeur ou au mélange de plus de deux composants qui n'est pas pris en compte par la méthode de calcul.

Il est intéressant de comparer les valeurs des pourcentages d'eau froide dans le mélange obtenu par cette méthode qui s'étagent de 78 à 94 % avec les résultats des études isotopiques et spécialement les teneurs en oxygène 18 et tritium. Il est en effet à peu près certain que si un échange se produisait en profondeur entre l'oxygène de l'eau et l'oxygène des minéraux des roches traversées, les modifications qui en résulteraient pour ^{18}O seraient très difficiles à déceler après mélange dans les fortes quantités d'eaux superficielles envisagées ici. De même si l'on envisage pour la source de la Rotonde de Monétier le mélange d'environ 20 % d'eau chaude profonde sans tritium avec 80 % d'eau superficielle contenant environ 100 unités tritium et qui pourrait être celle de la nappe de la Guisane, on retrouve la teneur de 80 U.T. qui a été observée à l'émergence de la source ce qui semble confirmer la validité des résultats obtenus. Le même raisonnement ne conduit pas à des résultats concordants pour la source de la Fontaine Chaude de Monétier bien que l'ordre de grandeur des proportions de mélange puisse paraître encore acceptable.

Pour les autres sources et spécialement pour la Liche des Chamois, il devient impossible de comparer les pourcentages de mélange calculés par la méthode des courbes d'équilibre avec ceux auxquels conduiraient des mélanges entre eaux profondes chaudes sans tritium et eaux superficielles à 100 U.T.. Il faut alors admettre que pour ces sources le mélange se fait avec des eaux semi-superficielles circulant très lentement mais non profondément dans les formations quaternaires ou sédimentaires plus anciennes des versants ou des fonds des vallées et avec des quantités très variables mais faibles d'eaux de l'année (S. et J. SARROT-REYNAULD 1977).

On en vient donc à une conception d'un système complexe comportant des circulations profondes atteignant le socle cristallin et s'y thermalisant, des eaux froides semi-superficielles circulant très lentement et des eaux superficielles dont l'âge serait voisin de l'année de prélèvement. En ce qui concerne la Liche-des-Chamois en particulier dont la teneur en silice est inexplicable, compte tenu de sa température, il faut admettre, soit que ses eaux subissent des pertes calorifiques importantes par conduction ou convection qui ne pourraient se faire que dans une zone très broyée qui alors laisserait pénétrer les eaux de précipitation récentes, soit qu'il se fasse assez près de l'émergence un mélange entre des eaux très froides provenant de la fonte de glaces anciennes et par conséquent presque sans tritium et des eaux chaudes profondes dont le débit serait très peu important. Cette dernière hypothèse est plausible compte tenu de l'environnement de l'émergence.

Toutes les méthodes de calcul employées permettent donc de penser que les températures des eaux chaudes sont au minimum de 130 degrés et vraisemblablement plus élevées ce qui implique l'existence d'anomalies thermiques

importantes mais vraisemblablement localisées sur les bordure est et sud du massif du Pelvoux, si l'on ne veut pas envisager un enfouissement des eaux à profondeurs déraisonnables.

On peut certes essayer de relier ces anomalies thermiques aux phénomènes volcaniques qui se sont manifestés dans la région : andésites permien- nes du Guil, ou tertiaires du Goléon ou encore aux grands chevauchements qui ont amené l'empilement des nappes dans les zones internes des Alpes et qui dans d'autres régions sont responsables d'un léger métamorphisme thermique mais outre que le volcanisme est trop ancien pour être à l'origine des anomalies envisagées, leur localisation permet aussi d'exclure l'hypothèse de l'influence des grands chevauchements, d'ailleurs anciens eux aussi, car il existe nombre de sources normales sulfatées, mais froides, au niveau de ces chevauchements.

Il semble donc que ce soit leur position sur de grands accidents de socle et plus précisément à l'intersection de tels accidents, tant Nord Sud qu'Est-Ouest, qui sont les plus récents dans la région (J.C. BARFETY et M. GIDON 1975) et dont certains sont le siège d'une activité sismique non négligeable, à mettre en liaison avec des mouvements d'isostasie, qui permettent d'expliquer l'existence des anomalies correspondant à la présence de sources thermominé- rales, soit que l'énergie mécanique mise en jeu lors de ces mouvements se trans- forme en énergie calorifique, soit que les zones de fracture soient comme dans bien d'autres régions du monde des zones favorables pour la dissipation du flux de chaleur d'origine profonde.

De nouvelles études géochimiques doivent permettre de préciser les températures atteintes par les eaux en profondeur et des mesures géophysiques devraient, elles, permettre de confirmer la position et l'extension des ano- malies thermiques existantes qui ont été reconnues par ailleurs dans le secteur de Serre-Ponçon dans le prolongement du décrochement d'Embrun. Il serait ain- si possible de déterminer les conditions de captage et d'utilisation d'une source d'énergie qui semble accessible dans des conditions assez favorables. Mais seule une étroite confrontation entre les données géologiques et spé- cialement tectoniques, et les données physico-chimiques peut conduire à une interprétation correcte des phénomènes observés dans ce secteur des Alpes.

6 - CONCLUSIONS

Au terme de l'étude entreprise, il apparaît donc que les sources thermominérales des bordures orientale et méridionale du massif du Pelvoux sont le signe de l'existence dans cette région d'anomalies thermiques importantes et de circulations complexes des eaux souterraines, favorisées toutes deux par l'existence de grands accidents de socle dont l'importance dans la structure de cette partie des Alpes est de plus en plus reconnue.

Les difficultés d'interprétation des résultats obtenus résultent d'une part de l'absence de données précises sur la valeur du gradient géothermique dans la région, qui ne permettent pas de préciser nos schémas de circulation en profondeur, et d'autre part de la difficulté d'analyse de mélanges de plus de deux types d'eaux souterraines.

C'est donc vers une meilleure connaissance de ces problèmes que devraient s'orienter les recherches à venir qui devraient porter aussi sur les dégagements gazeux aux émergences que nous n'avons pu aborder.

Il serait peut-être alors possible de mieux relier entre-elles les sources des bordures du massif du Pelvoux dont le socle est proche de la surface comme le montre les fenêtres de Dormillouse et du Fournel, et celles de la bordure orientale de la fosse vocontienne d'origine apparemment si différente, de replacer toutes ces émergences dans un cadre peut-être plus proche des manifestations thermominérales du Sud-Est du Massif Central français que du système alpin proprement dit.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- AILLOUD. P. - "Contribution à l'étude géologique des Baronnies orientales dans la région de Barcillonnette"
D.E.S., Fac., Sc., Grenoble.
- AIMES P. 1953 - "Guide bibliographique des Hautes-Alpes"
Service éducatif. Archives départementales des Hautes-Alpes
n° 2, Gap.
- ALBERT - "Histoire Ecclésiastique d'Embrun"
Tome II., p. 379.
- ALLEMAND. ABBE F. 1904 - "Notice sur les sources minérales, les fonts saintes et les fonts bénites dans les Hautes-Alpes"
Bulletin d'Etudes des Hautes-Alpes, n° 11, 3ème trimestre,
pp. 1 à 40.
- ALSAC Cl. 1961 - "Contribution à l'étude des albitophyres et ortho-albitophyres du Dôme de Remollon" Hautes-Alpes.
D.E.S., Fac., Sc., Grenoble. (T.L.G. pp. 31 à 70).
- Anonyme, B.R.G.M. 1969 - Bibliographie hydrogéologique de la France (des origines à 1967). Rapport B.R.G.M. 69 SGL 120 Hyd.sept 1969.
- D'ARCY D. 1971 - "Evaluation des ressources hydrauliques". Premier recensement des sources régulièrement jaugées en France.
B.R.G.M. n° 71 SGN 155. H/D.
- Archives départementales des Hautes-Alpes. Gap.
Séries "S" nombreux documents
et Collection de tirés à part = "Collection Guillemin".
- ARTRU Ph. 1966 - "Sur une accumulation de débris végétaux dans les Terres-Noires et l'écaïlle de Barcillonnette, Hautes-Alpes".
C.R. Ac., Sc., t 262. Série D, 1966, pp. 2696 à 2698.
- BALLIF A. 1902 - "Les trois vallées"
Réveil des Alpes. 27 novembre 1902.
- BARBIER R. 1948 - "Rapport préliminaire, géologie, Serre-Ponçon"
(E.D.F., 1973).
- BARFETY J.Cl. 1965 - "Etude géologique des environs de Monétier-les-Bains. Zone Subbriançonnaise et Briançonnaise"
Thèse Fac.Sc. Grenoble.25 juin 1965.
- BARFETY J.C. et GIDON M. 1975 - "La place des failles longitudinales dans la structure du Briançonnais oriental". C.R.A.S., t 281, Série D,
p. 1677.
- BARBIERI A. 1970 - "Etude pétrographique de la partie orientale du massif des Ecrins, Pelvoux. Les Granites". Thèse 3ème cycle Grenoble.
- BERGE (Abbé) - "St-Véran, Hautes-Alpes"
n° 9, p. 151, année ?.

- BLANCHET F. 1936 - "Etude géologique des Montagnes d'Escreins. Hautes et Basses Alpes".
Bull. Ste scientifique du Dauphiné 1934.
Thèse Fac., Sc. de Grenoble.
- BLANCHET F. 1940 - "Les sources thermominérales du Plan de Phazy et de Réotier près Mondauphin - Hautes-Alpes".
Travaux Lab., Géol., Univ. Grenoble t XXII.
- BOISSIEU (de) 1666 - "*Septem miracula Delphinatus*"
Grenoble.
- BONNET F.I. (chanoine) 1884 - "Notice sur la Font Sainte de l'Epine - Hautes-Alpes".
Annales du Laus. oct. à décembre 1884.
- BOSCH B., J.Y. CORDEAU, F. CORDEAU, J.C. FOURNEAU, Ad. MARCE, J. SARROT-REYNAULD 1974 - "Le dosage des isotopes du soufre et la détermination de l'origine des sulfates dans les eaux. Applications dans les bassins de l'Isère, du Drac et de la Romanche".
2ème Colloque pollution et protection des eaux. Lyon p. 675.
- BOSCH B., B. GUEGAN, P. HUBERT, Ad. MARCE, Ph. OLIVE, E. SIWERTZ 1970 - "Les cycles atmosphère-hydrosphère du tritium sous les latitudes moyennes depuis 1952".
C.R. Ac., Sc. Paris t. 270, 12.01.1970. Série D, pp. 267 à 270.
- BOSCH B., DESCHAMP J., LELEU M., LOPOUKHINE M., MARCE A. et VILBERT C. 1974 - "La zone géothermique du Lac Assal (T.F.A.I.) Résultats de terrain et études expérimentales".
Ext. Bull., B.R.G.M., 2ème série n° 4.
- BOSCH B., DAZY J., LEPILLER M., OLIVE Ph., POULAIN P.A., SARROT-REYNAULD J. 1976 - "Données nouvelles sur quelques sources thermominérales des Alpes françaises".
International Congress on thermal water, I.A.H.S., Athènes. octobre 1976.
- B.R.G.M. Orléans-la Source - Nombreux documents "Banques du Sous-Sol".
Code minier "Aménagement du territoire".
- B.R.G.M. - "Service des eaux minérales".
SGR, Massif Central. 63 Cournon.
- B.R.G.M. 1973 - "Carte des eaux minérales et thermales de la France"
par J.J. RISLER B.R.G.M. AME.
- BURGER A., Ad. MARCE, MATHEY B. et OLIVE Ph. 1971 - "Tritium et oxygène 18 dans les bassins de l'Areuse et de la Serrière".
Jura Neuchâtelois/Suisse.
- CAILLAUX P., FOUILLAC Ch., MICHARD G., OUZOUMIAN G. 1976 - "Etude géochimique des sources thermales de Chaude Aigues (Cantal), conséquences géothermiques".
C.R.A.S., t 282, 29 mars 1976, série D, p. 1237.
- CASTANY G. 1963 - "Traité pratique des eaux souterraines"
Dunod.
- CHAIX BARTHELEMY 1800 - "Histoire du département des Hautes-Alpes".

- CHAIX BARTHELEMY 1845 - "Préoccupation statistiques, géographiques, pittoresques et synoptiques du département des Hautes-Alpes".
- CHARONNAT R., ROCHE S. 1934 - "Le fluor dans les eaux minérales françaises"
C.R., Ac, Sc., 199, pp. 1325-1328.
- CHARRIER N. 1668 - "Histoire générale du Dauphiné"
Edition de 1661, t 1, p. 35 (et édition de 1668).
- CHASTEL M. 1953 - "Orpierre et son canton"
Edité par le Syndicat d'Initiative des Baronnies.
- COQUEBERT de MOMBREY - "Tableau des mines et usines de la République. Département des Hautes-Alpes".
Journal des Mines an V, pp. 761 à 790.
- DAGUE Ph. 1972 - "Calcul de la vitesse d'écoulement des eaux souterraines à partir de la mesure des températures de subsurface".
Traduction B.R.G.M., 72 SGN 341 GTH, septembre 1972.
- DANSGAARD W. 1964 - "Stable isotopes in précipitation", Tellus, 16, 436-468.
- D.A.T.A.R. 1969 - "Travaux et recherches de prospective. Schéma général d'aménagement de la France - la façade méditerranéenne".
1ère partie, novembre 1969.
- D.A.T.A.R. 1969 - "Atlas des eaux souterraines de la France" 1966-1969.
- DEBELMAS J. 1953 - "Schéma structural du bassin de la Durance entre Queyrières et Guillestre - Hautes-Alpes".
B.S.G.F. 6ème série, t 3, p. 123 et suivantes.
- DEBELMAS J. 1955 - "Les zones subbriançonnaise et briançonnaise occidentale entre Vallouise et Guillestre".
Mémoire carte géologique France.
- DESTOMBES J.P., HORN R. 1962 - "Zone d'Aspremont. Hautes-Alpes. Rapport. Etude structurale profonde". Rapport B.R.G.M., D.S. 62A29.
- DAMIANI L. 1973 - "Recherches documentaires sur les gisements de sel dans le Sud-Est de la France".
B.R.G.M. 73 SGN 295, P.R.C..
- DULUC P. 1973 - "Etudes hydrogéologiques du bassin versant du Petit Buech, région de Veynes".
Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- E.D.F. 1950 - "Barrage de Serre-Ponçon". Etat des reconnaissances.
Notice, 1er décembre 1950.
- ELLIS A.J. 1970 - "Quantitative interprétation of chemical characteristics of hydrothermal system".
Géothermics U.N. symposium, Pise. p. 516-518.
- FEYS R. 1963 - "Etude géologique du Carbonifère briançonnais, Hautes-Alpes".
Mémoires du B.R.G.M., n° 6.
- FLANDRIN J. 1966 - "Sur l'âge des principaux traits structuraux du Diois et des Baronnies".
B.S.G.F. (7) VIII, pp. 376 à 386.

- FLANDRIN J. et WEBER Ch. 1966 - "Données géologiques sur la structure profonde du Diois et des Baronnies".
B.S.G.F., (7) VIII, pp. 390.
- FORNIER L.P., MARCELIN 1660 - "Histoire des Alpes Maritimes et Cotiennes, et particulière à leur métropolitaine Ambrun".
- FOURNIER R.O. et ROWE J.J., 1966 - "Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and wet stream wells".
America Journal of science. vol 264, p. 685-697.
- FOURNIER R.O. et TRUESDELL A.H. 1973 - U.S. Geological survey, Menlo Park, California 94025 U.S.A..
"An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters"
geochimica et cosmochimica acta vol. 37, p. 1255-1275.
- FOURNIER R.O. et TRUESDELL A.H. 1974 - "Geochemical indicators of subsurface temperature".
Journal Research U.S. geological survey. vol 2 n° 3, p. 263-270.
(traduction LOUPOUKHINE M. B.R.G.M. géothermie 1977).
"Estimation de la température et de la quantité d'eau chaude d'origine profonde contribuant au réchauffement d'une source thermale".
- GABLE P.R. 1971 - Recueil d'une documentation sur le "génie sismique"
B.R.G.M., 71 GR, H 045.
- GALOCHER P. 1964 - "Contribution à l'étude hydro-spéléologique du massif du Dévoluy - Plateau d'Aurouze".
Ann. spéléo. t XIX - 4 - pp. 639-688.
- GARNIER J.P. 1972 - "Le dosage du fluor dans les eaux potables de France".
Thèse Doctorat de chirurgie dentaire. 3ème cycle.
Université L. PASTEUR, Strasbourg, UER Odontologie n° 1.
- GARDETTE D.V. - "Annuaire des eaux minérales".
La gazette des eaux, Paris.
- GARIEL O. 1960 - "Le Lias du Dôme de Remollon".
Colloque du Lias français. Chambéry
B.R.G.M., n° 4, pp. 697-706.
- GENNEP A. (Van) 1948 - "Le folklore des Hautes-Alpes".
Tome II, chap. IV, le folklore de la nature, pp. 11 à 45.
- GIDON M., ARNAUD H., APRAHAMIAN J., USELLE J.P. 1970 - "Les déformations tectoniques superposées du Dévoluy méridional - Hautes-Alpes".
Géologie alpine, t 46, pp. 87-110.
- GUILLAUME A. (Général) 1962 - "Guillestre, mon pays - Histoire d'un bourg haut alpin".
Edition des cahiers de l'Alpe. Collection : Monographie, Grenoble.
- GODARD J.M. 1956 - "Contribution à l'étude géologique des Baronnies orientales dans la région de Savornon - Hautes-Alpes".
D.E.S., Fac. Sc. de Grenoble.

- GOGUEL J. 1943 - "Recherches éventuelles de sel dans le Keuper de la Provence".
- GREGOIRE de TOURS - "Gloires des confesseurs".
Chapitre LXIX, année inconnue.
- GUETTARD M. 1799 - "Mémoire sur la minéralogie du Dauphiné".
Edition de 1779, tome 2, pp. 790 et suivantes.
- GUEYMARD E. 1830 - "Sur la minéralogie et la géologie des Hautes-Alpes".
- HOLSER W.T. et KAPLAN I.R. 1966 - "Isotope geochemistry of sedimentary sulfates"
Chem. Géol., 1 (1966) 93-135.
- HUBERT P., MARCE Ad., OLIVE Ph., SIWERTZ E. 1970 - "Etude par le tritium de la
dynamique des eaux souterraines".
Hydrogéologie isotopique
C.R. Ac. Sc. Paris t. 270. 16 février 1970.
- ISCHY E. et HAPFEN M. 1955 - "Barrage de Serre Ponçon". "Campagne de reconnais-
sances". Extrait du Vème congrès des grands barrages.
Paris pp. 1 à 29.
- IVANOV V.V. 1961 - "Principaux processus géochimiques dans les formations des
hydrothermes actuels".
Association internationale des hydrogéologues. Mémoires.
Tome IV. Réunion de Rome.
- HORON O., MEGNIEN Cl. SOYER R. 1959 - "Note sur les fontaines salées de St-Père-
sous-Vezelay "Yonne". BSGF (7) t. 1, pp. 461 à 466.
- JACQUOT M. 1885 - "Mémoire sur les stations d'eaux minérales de la France"
Paris, imp. Nationale.
- JACQUOT M. et WILLM 1894 - "Les eaux minérales de France"
pp. 235 à 294.
- JOANNE ADOLPHE 1862 - "Itinéraires du Dauphiné : Drôme, Pelvoux, Viso, Vallées
Vaudoises".
1ère partie. Paris Lib. Hachette.
- JUVENUS - "Histoire du Dauphiné".
Tome IV, année inconnue.
- KERCKHOVE Cl. 1969 - "La zone du Fysch dans les nappes de l'Embrunais.
Ubaye-Alpes Occidentales".
Géologie Alpine. t 45, pp. 5 à 204.
- KILIAN W. 1903 - "Relations des principales sources thermales du Dauphiné avec
la nature du sol".
Gazette des eaux 2-9 juillet 1903.
- KILIAN W. et BLANCHET F. 1921 - "Sur la présence d'une nappe sous-alluvionnaire
d'eaux thermales et minéralisées dans le lit de la Durance à Serre-
Ponçon - Hautes Alpes".
C.R. Ac. Sc. Paris 20 juin 1921.
- LACOMBE J.C. 1970 - "Etude pétrographique de la partie orientale du massif
des Ecrins-Pelvoux - le complexe volcano-sédimentaire".
Thèse 3ème cycle Grenoble.

- LADOUCKETTE J.C.F. 1848 - "Histoire topographie, antiquités, usages, dialectes des Hautes-Alpes".
Plusieurs éditions : 1820, 1834, 1848.
- LAUGIER R. 1977 - "Hydrogéologie" 2ème colloque sur le Trias français Orléans 20-21.01.1977.
- LAUNAY L. (de) - "Recherche, captage et aménagement des sources thermominérales".
Cours professé à l'E.S. des Mines. Livre Premier. chap. 3 et 4 pp. 324 à 332.
- LESBROS L. (docteur) 1947 - "Une station thermoclimatique oubliée des Hautes-Alpes, le Plan de Phazy. (Montdauphin, Guillestre)".
Thèse médecine Lyon 1946-1947, n° 171.
Gap. Imp. RIBAUD frères. in 18, 108 pages.
- LEVALLOIS J.J. 1972 - "Sur la mise en évidence d'un mouvement de surrection des massifs cristallins alpins".
Bulletin géodésique n° 105 1.09.1972.
Institut géographique national 94 St Mandé.
- LIENHARDT M.J. (Mme), PERRENOUD R., DESPREZ N., STREICHEMBERGER J., LHERMITE G. (Melle), MINOU MG. 1956-1962 - "Répertoire chronologique et alphabétique des sources minérales et thermales de France, selon documentation du bulletin de l'Académie de Médecine de 1852 à 1962".
Manuscrit inédit.
- LORY Ch. 1874 - "Analyses d'eaux de rivières et de sources".
Laboratoire départemental d'essais et d'analyses chimiques de Grenoble. Procès verbaux du Conseil général de l'Isère.
- LOPOUKHINE M. 1973 - "Rôle de la géochimie dans la recherche géothermique. Application au territoire français de Afars et Issas". Thèse 3ème cycle, Paris VI.
- LOUVRIER M. (Melle) 1971 - "Etude hydrochimique de quelques eaux minérales françaises". B.R.G.M., dépt. hydro., n° 71, SGN.313 HYD sept. 1971.
- MANGANO F., MARCE Ad., MARTIN J.M., OLIVE P. 1969 - "Remarques sur l'utilisation des isotopes radioactifs pour la datation des eaux souterraines".
Bull. du B.R.G.M., 2ème série, section III, n° 3, pp. 39 à 46.
- MARCE Ad. 1971 - "Eléments d'hydrogéologie isotopiques. Applications aux sources d'Evian et du Mont-Dore.
Extrait de "La presse thermale et climatique" n° 3, 3ème trimestre.
- MARCE Ad. 1974 - "Données fournies par les isotopes du soufre en hydrogéologie".
B.R.G.M., dépt. laboratoires, Orléans 8 janvier 1974.
- MARTIN D. 1887 - "Source de gaz d'hydrogène carboné à la Garde, près de Gap".
Alpes Démocratiques. 8 février 1887.
- MARTIN D. 1901 - "La Fontaine Blanche de Champoléon".
Le Courrier des Alpes, 7 septembre 1901.
- MARTIN D. 1913 - "La source chaude de Serre-Ponçon".
Le Courrier des Alpes du 10 avril, 17 avril, 24 avril, et du 11 sept. 1913.

- MARTIN D. 1913 - "Une rivière souterraine d'eau chaude sous la Durance, à Serre-Ponçon - Hautes Alpes".
la Nature n° 2085, 10 mai 1913, pp. 369 à 371.
- MASSEPORT J. 1956 - "Le sillon alpin - dépression d'érosion ou déchirure structurale"
Revue de Géographie alpine, tome XLIII, fasc IV, pp. 793 et suivantes.
- MARTEL E.A. 1921 - "Nouveau traité des eaux souterraines"
Librairie O. DOIN, Paris.
- MORET L. 1946 - "Les sources thermominérales".
Masson, Paris.
- MÜLLER G., NIELSEN H. et RICKE W. 1966 - "Schwefel isotopen. Verhältnisse in formations wassern und évaporen Nord und Sud deutschland".
Chem. Geol. 1, (1966) 211-220.
- NIELSEN H. 1973 - "Sulphur isotopes and the formation of évaporite deposits".
- OLIVE Ph. 1970 - "Contribution à l'étude géodynamique du cycle de l'eau dans l'hémisphère nord par la méthode du tritium". Thèse doctorat, Paris
p. 138.
- OVCHINNIKOO A.M. 1961 - "Etudes hydrogéologiques des eaux minérales".
Association internationale des hydrogéologues.
Mémoires, Tome IV, réunion de Rome 1961.
- PACHOUX A. 1971 - "Hydrogéologie de la Maurienne occidentale".
B.R.G.M. 71 SGN 335 JAL. pp. 130 à 137, octobre 1971.
- PAIRIS J.L. 1961 - "La demie-fenêtre d'Embrun"
Bull., Lab., Fac., Sc. de Grenoble.
- PAQUIER V. 1900 - "Recherches géologiques dans le Diois et les Baronniees orientales".
Thèse Grenoble 29 juin 1900.
- PIERI J. 1971 - "La thérapeutique hydroclimatique en pratique médicale".
B.R.G.M. SGR, MCE 3ème trimestre.
- PIERROT R., PICOT P., POULAIN P.A. 1972 - "Inventaire minéralogique de la France".
Les Hautes-Alpes.05. B.R.G.M..
- PERRIAUX J. 1965 - "Commune de Lardier-Valença Hautes-Alpes. Ecart du Plan de Lardier". Alimentation en eau potable. Rapport en vue de captage.
- RAGUIN 1940 - "Géologie des gîtes minéraux".
Paris.
- RICOUR J., BOURCARD J., LEVEQUE P. 1958 - "Répartition et origine des sulfates du Trias, rencontrés par les sondages profonds du bassin de Paris".
C.R. Ac. Sc. 24 décembre 1958.
- ROBERT R. 1971 - "Thermalisme et géologie du socle"
Revue de l'Industrie minérale" Vol. 52 n° 4 1971.
- ROMAN J. 1884 - "Dictionnaire topographique des Hautes-Alpes".
p. 48 col 1.

- ROTHER J.P. 1938-1967 - "Annales de l'Institut de physique du Globe".
Nouvelle série Tome III 3ème partie 1938
Tome VIII 3ème partie 1967.
- ROTHER J.P. et DECHEVOY N. 1954 - "Annales de l'Institut de physique du globe".
Nouvelle série Tome VII 3ème partie 1954.
- SAHELI E. et SARROT-REYNAULD J. 1977 - "Détermination des taux de mélange des
eaux thermominérales et superficielles par l'utilisation des géo-
thermomètres chimiques en Azerbaïdjan, oriental (Iran). 102ème
Congrès national sociétés savantes - Limoges.
- SANGSTER D.F. 1971 - "Sulphur isotopes, stratabound sulphide deposits and
ancient seas".
Soc. mining géol. Japan. Spec. Issue 3, 295-299.
- SARROT-RENAULD S. et J. 1977 - "Alimentation des nappes et mélanges des eaux
souterraines Origine des eaux souterraines dans la plaine de Bourg-
d'Oisans (Isère)". 102ème Congrès national des sociétés savantes,
Limoges.
- SCHOELLER H. 1962 - "Les eaux souterraines". Masson.
- SCHOELLER M. 1975 - "La teneur en silice des eaux thermales des Pyrénées, du
Massif Central et des Vosges".
C.R.A.S. t. 280, 23 juin 1975, série D, p. 2733.
- SCHOELLER H. ET M. 1976 - "Calcul de la température de l'eau des sources
thermominérales à leur origine profonde".
C.R.A.S. t 283, p. 753-756.
- SAINT-BLANQUAT H. (de) - "Les séismes artificiels".
Sciences et avenir, pp. 188 à 195, mai 1972.
- TAZZIEF H. 1960 - "A propos de nappes de charriage".
Mines et Métallurgie, n° 11, p. 702.
- TERMIER P. 1903 - "Les montagnes entre Briançon et Vallouise".
Mémoire de la carte géologique de la France. 1903.
- THALLER L. 1971 - "Du renouvellement des fonds océaniques, au renouveau de
la géologie".
Géologie et géophysique d'aujourd'hui.
Revue : Sciences, progrès, découvertes pp. 39 à 46, oct. 1971.
- THOMAS R.G. 1952 - "Le barrage de Serre-Ponçon et l'aménagement de la Durance".
Gap mai 1952.
- TREDEZ P. 1942 - "Contribution à l'étude de quelques propriétés des eaux ther-
males de Gréoux, Dignes et Six en Provence".
Thèse faculté de médecine générale et coloniale et de pharmacie de
Marseille.
- TRUPIER 1838 - "Mémoire sur les eaux minérales du Plan de Phazy près Mont-
Dauphin - Hautes-Alpes".
Journal de Pharmacie. t. 33, p. 57,
et annales des mines. 3ème série, t. XIII, p. 633.

- TRON L., MARCE Ad., OLIVE Ph., SARROT-RENAULD J., JAMIER D. 1975 - "Apports des analyses isotopiques à l'étude d'un bassin versant expérimental : le bassin de Saint-Genis (Hautes-Alpes)". C.R. 100ème Congrès national des sociétés savantes Paris p. 113-124.
- TONANI F., DEMIANS d'ARCHIMBAUD J. 1971 - "La vapeur née de la Terre".
Revue : *Sciences, progrès, découvertes*, n° 3430, février 1971.
- VANDENBERGHE A. 1961 - "Etude hydrogéologique de la région de Gardanne et du bassin d'Aix-en-Provence".
Extrait des *Annales de la Soc. géol. du Nord*
t. LXXXI.7 juin 1961, p. 121.
- VERNET J. 1965 - "La zone Pelvoux-Argentera".
Bull. Serv. Carte géol. de la France n° 275, tome LX.
- VEYRET-WERNER G. 1953 - "Un grand barrage en terre : Serre-Ponçon, et l'aménagement du bassin de la Durance dans les Hautes-Alpes".
Revue de géographie Alpine tome LX1, fasc. II.
- WILHELM J. 1904 - "Progrès d'alimentation en eau de Gap".
Imp. Vollaire Gap.
- WILHELM J. 1913 - "La Durance".
p. 163, Paris.
- WILLM et JACQUOT M. 1894 - "Annuaire des eaux minérales de France depuis 1887".

et nombreux articles concernant les eaux dans le "Bulletin d'études des Hautes-Alpes".

LISTE DES FIGURES ET CROQUIS

LISTE DES FIGURES

	Pages
Plan de situation de la région étudiée	2
Carte au 1/1.000.000 Géologie	3/4
Réseau hydrographique	9
Schéma géologique	11
Grands accidents structuraux	14
Répartition des séismes	17
La Séismicité des Alpes Occidentales	18
Volcanisme	21
Isostasie-Comparaison de nivellement entre Veynes et Briançon	23
Isostasie-Profil IGN 1974	24
Sources étudiées	34
Briançonnais-Schéma structural	39
Front des nappes du Briançonnais	40
Zones du Briançonnais	41
Schéma tectonique. Combeynot - Eychauda	42
<u>Région de Monétier-les-Bains</u> 1/100.000	43
La Liche-des-Chamois 1/20.000	45
Photo : La Liche-des-Chamois	47
" et source du Lautaret	48
La Liche-des-Chamois - coupe	49
Sources de la Liche thermominérales et froides	54
Croquis-coupe suivant la vallée de la Guisane	55
Monétier-les-Bains Géologie 1/20.000 Plan	56
" " 1/20.000 Coupe	57
" Diagramme de Schoeller	59
" Eléments majeurs et isotopes	60
<u>Région du Plan de Phazy</u> 1/100.000	66
" " Schéma structural	67
Géologie de la région de Réotier et du Plan de Phazy	69
Photos : Plan de Phazy : les Suisses - la Rotonde	71
Schémas : " : la Salce (avec texte)	74
Photos : la Rotonde - la Salce	75
Diagramme de Schoeller	77
Eléments majeurs et isotopes	78
Hypothèses sur l'origine des eaux thermominérales	80
<u>Dôme de Remollon</u> Géologie générale 1/80.000	82
Double plage photos : Fontaine de l'Ecluse-ou du Moulin	83
Site du barrage de Serre-Ponçon 1/100.000	86
Rousset-Font Salée - Galerie 1913	88
Prélèvement et analyses d'eau	90
Croquis face à face : Plan et coupe dans le défilé de Serre-Ponçon ..	92
Rousset Font Salée - Emplacement des sources	95
Diagramme de Schoeller	97
Diagramme de Piper	98
Accident supposé à l'amont du Dôme de Remollon	100

	Pages
<u>Sources liées aux "Terres-Noires" 1/100.000</u>	102
Sources de Font Vineuse et à la Bergère 1/20.000	106
Photos : Etablissement thermal de Font Vineuse	107
Coupe NE-SW de l'anticlinal de Aspres - la Beaume	108
Diagramme de Schoeller	109
Deux hypothèses - coupes perpendiculaires à la vallée	110
Photos:la Bergère - l'Aigle	112
<u>Sources liées au Trias 1/100.000</u>	114
Région de la Saulce 1/20.000	115
Photos : Font Chaude de la Saulce	117
Alimentation de la source par deux bassins versants	118
Photos:recto-verso de la Source Aurouze	121
Diagramme de Schoeller	122
Pourcentage éléments majeurs - Diagramme de Piper	123
Diagramme de Schoeller - Durance n° 1	131
Diagramme de Schoeller - Durance n° 2	133
Diagramme de Schoeller - Eau du Trias Briançonnais	134
Diagramme de Schoeller - Eau du Trias Briançonnais	135
Tableau 2:Isotopes ³ H	138
Droite de Craig ² H	140
Tableau 3:Isotope ¹⁸ O	142
Echelle de Nielsen	145
Tableau 4:Isotope ³⁴ S	146
" 5; " " Répartition géologique des sources	147
Site d'émergences des sources thermominérales	152
Position des sources en rapport avec les surcreusements glaciaires ..	159
Schéma d'alimentation des sources du Briançonnais	161
Relation linéaire Na-Li	165
" " Ca-Sr	166
" " Na-K	170
Liaisons Alpes - Massif Central des venues minérales et thermominérales	175 bis