



ETUDE DU SYSTEME THERMAL
ET MINERAL D'AIX-LES-BAINS

87 SGN 434 RHA

LYON, JUIN 1987

par F. IUNDT
M. LOPOUKKINE
A. MALATRAIT
M. MARTELAT

ETUDE DU SYSTEME THERMAL ET MINERAL D'AIX-LES-BAINS

87 SGN 434 RHA

par F. IUNDT, M. LOPOUKKINE, A. MALATRAIT
M. MARTELAT

RESUME

Cette étude a été réalisée à la demande du Ministère des Affaires Sociales et de l'Emploi (Direction Générale des Hôpitaux) qui souhaite se doter de tous les éléments de décision quant à la stratégie à adopter pour remédier aux fluctuations persistantes de qualité bactériologique qui caractérisent les sources Alun et Soufre d'AIX-les-BAINS.

Les résultats obtenus permettent de conclure que le système thermal d'AIX-les-BAINS, totalement indépendant de celui des sources de MARLIOZ, est alimenté par des précipitations sur le massif montagneux de la Charve, au Nord-Ouest du lac du Bourget ; cette eau s'infiltré, circule, s'échauffe et se minéralise au sein des séries calcaires du Jurassique Supérieur, atteignant une température de 70°C à une profondeur de -1500 m environ.

Elle émerge à AIX-les-BAINS à la faveur d'une convergence de facteurs géologiques favorables (fracturations, plissements), en subissant un mélange avec des eaux froides de minéralisation parfois importante (source Soufre).

Des fuites d'eau thermale existent à l'état diffus dans les calcaires urgoniens formant le soubassement de la ville ; de plus, une partie de cette eau se déverse probablement par l'intermédiaire de fractures, dans les séries tertiaires redressées, donnant lieu aux importantes anomalies de radon dans les gaz des sols du secteur de Tresserve. L'acquisition du caractère sulfuré de ces eaux se réalisant vraisemblablement au niveau du réservoir profond, les probabilités de retrouver en profondeur une eau chaude de composition chimique analogue à celle exploitée, autorisent à envisager la réalisation de forages.

Trois types différents d'emplacements et d'objectifs sont proposés.

REALISATION DE L'ETUDE F. IUNDT, M. LOPOUKHINE, A. MALATRAIT, M. MARTELAT

Outre le résumé, ce rapport contient :108 pages de textes + 23 figures + 5 Annexes

SOMMAIRE

Pages

I - EVOLUTION DES IDEES.....	1
II - ETUDE STRUCTURALE.....	6
III - PROSPECTION DU RADON DANS LES GAZ DES SOLS.....	17
IV - RECHERCHE DE VENUES D'EAU SULFUREUSE DANS LE LAC.....	24
V - ETUDE HYDROCHIMIQUE.....	30
VI - CONCLUSIONS.....	51
BIBLIOGRAPHIE.....	56

Liste des Annexes

- ANNEXE 1 : Etude structurale.....	60
- ANNEXE 2 : Etude du cliché du satellite Landsat.....	73
- ANNEXE 3 : Prospection du radon dans les gaz des sols.....	80
- ANNEXE 4 : Résultats des mesures et analyses chimiques.....	92
- ANNEXE 5 : Forage de reconnaissance au parc municipal d'AIX-LES-BAINS.....	100

LISTE DES FIGURES

	<u>Pages</u>
Fig. 3 - Esquisse tectonique régionale	10
Fig. 6 - Bloc-diagramme des structures jurassiennes d'Aix-les-Bains et schéma des circulations profondes	
Fig. 7 - Aix-les-Bains - prospection du gaz radon	20
Fig. 8 - " " " "	21
Fig. 9 - Localisation des points de mesure	
Fig.10 - SO4 - TEMP. - SO4 - SIO2	34
Fig.11 - SO4 - NA - SO4 - BORE	36
Fig.12 - SO4 - TRITUM	39
Fig.13 - RELATION DEUTERIUM-OXYGENE 18	42 bis
Fig.14 - Forage Aix-les-Bains - température (oC)	45
Fig.15 - " " - conductivité (ms/cm)	46
Fig.16 - " " - oxygène dis. (mg/l)	47
Fig.17 - " " - potentiel Redox	
Fig.18 - Système thermal d'Aix-les-Bains - schéma de synthèse	53

PLANCHES HORS TEXTE

(non paginées)

Fig. 1 - Carte géologique et situation des points d'eau étudiés.

Fig. 2 - Carte des levers structuraux

Fig. 4 - Carte structurale

Fig. 5 - Coupes géologiques transversales

Fig. 7 bis - Carte topographique

Fig. 7 ter - Prospection du gaz radon dans les sols

REMERCIEMENTS

Cette étude a pu être réalisée notamment grâce à la collaboration de :

- la Direction des Services Techniques des Thermes Nationaux (M. CHATELIN) qui a facilité en toutes circonstances la réalisation des travaux prévus.
- la Municipalité et la Direction des Services Techniques d'AIX-LES-BAINS (M. GUILLOU) qui ont contribué activement au bon déroulement de cette étude.
- la Direction des Thermes de MARLIOZ qui nous a facilité l'accès à ses Sources minérales.
- la Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche de CHAMBERY (M. PIGNOL) qui a mis à disposition les archives du Service des Mines.
- le Département des Sciences de la terre de l'Université de Savoie (M. G. NICOUD) qui nous a fait partager sa connaissance scientifique de la région.
- l'Université d'ORLEANS (M. LEPILLER) qui nous a communiqué les données scientifiques en sa possession.

ETUDE DU SYSTEME THERMAL ET MINERAL
d'AIX-LES-BAINS

INTRODUCTION

Les fluctuations de qualité bactériologique des sources thermales Alun et Soufre qui alimentent les Thermes Nationaux d'AIX-LES-BAINS, sont connues depuis plus d'un siècle et ont fait l'objet d'une somme de travaux et d'études considérables.

Le Ministère des Affaires Sociales et de l'Emploi (Direction Générale des Hôpitaux) a confié au Bureau de Recherches Géologiques et Minières la mission de faire le point sur ces travaux et d'acquérir une connaissance aussi complète que possible du système thermal et minéral d'AIX-LES-BAINS, dans son ensemble, afin de se donner les éléments de décision quant au choix de la meilleure solution technique aux deux questions posées par ce site :

- Comment préserver la ressource thermique des contaminations bactériennes constatées ?

- Comment ajuster le débit de la ressource à l'accroissement de la demande, tout en préservant ses caractéristiques chimiques originales ?

I - EVOLUTION DES IDEES

L'établissement thermal d'Aix-les-Bains est alimenté par deux sources : Alun et Soufre, dont les émergences sont liées à un affleurement de calcaire urgonien (Crétacé inférieur), partiellement recouvert d'alluvions de l'époque glaciaire.

Ces sources sont connues depuis fort longtemps ; leurs variations importantes de débit et de température en relation avec les précipitations, le sont également.

Cette observation traduit l'existence de mélange entre l'eau thermale ascendante et les eaux superficielles ou subsuperficielles ; ces mélanges, compte tenu de l'environnement très urbanisé, ont entraîné de tous temps, une contamination bactériologique des sources, plus ou moins intense suivant les époques de l'année.

Cette situation, préoccupante, a suscité un grand nombre d'études qui toutes ont eu pour objectif une meilleure compréhension du mécanisme d'alimentation des sources, et des mécanismes de la pollution, afin d'améliorer les conditions sanitaires de leur captage.

Les premiers travaux remontent à 1853-1857 ; ils sont le fait de l'ingénieur des Mines FRANCOIS qui recapte la source Alun ; ces travaux se traduisent par un abaissement de niveau des sources et une augmentation notable de leur débit cumulé.

Pendant la période 1920 à 1930, ces deux sources ont été particulièrement suivies par deux instances : l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie du Collège de France, et le Service des Mines, ainsi que par un certain nombre d'universitaires associés à ces travaux.

Trois types de travaux ou études ont été entrepris :

- suivi des variations de température, de débit et de minéralisation des sources, en relation avec la pluviométrie.

- tentatives d'explication du mécanisme d'alimentation de ces sources.
- recensement des points de contamination et travaux d'assainissement de l'environnement de ces sources.

A l'issue de ces études, la sensibilité des sources aux écoulements d'eau superficiels est fortement réduite, sans toutefois disparaître.

Deux théories s'affrontent alors :

I.1 - Institut d'Hydrologie et de Climatologie

Partant de la constatation que souvent les sources ne réagissent pas, dans un premier temps, à une série de pluies modérées, pour réagir brutalement passé un certain niveau de précipitations, cet Institut émet l'idée que le recouvrement glaciaire de l'Urgonien se comporte comme une éponge : aux premières pluies, imbibition de l'éponge. Si les précipitations persistent, la capacité de rétention limite de la couverture glaciaire est atteinte puis dépassée ; se produit alors un déversement massif d'eaux superficielles dans l'Urgonien et une pollution des sources.

A noter cependant que la source Alun est toujours perturbée, de façon beaucoup plus rapide et spectaculaire, que la source Soufre.

A noter également une constatation intéressante : alors que la température et le débit des sources varient sensiblement, la minéralisation globale est beaucoup moins affectée ; cependant, dans le détail, on s'aperçoit que les teneurs en calcium augmentent tandis que chlorures et sulfates diminuent ; l'eau thermale se mélangerait donc avec une eau froide mais minéralisée.

L'Institut préconise donc la réalisation de galeries de drainage dans le recouvrement glaciaire des calcaires, de façon à l'assécher et ce faisant protéger les sources.

I.2 - Service des Mines

Partant des mêmes constatations, mais admettant que la contamination des sources doit se faire par la nappe alluviale et au sein de l'Urgonien, ce service préconise l'application du principe des pressions hydrostatiques de l'ingénieur FRANCOIS, en réalisant des galeries de drainage, dans l'Urgonien, de manière à abaisser le niveau des eaux froides et maintenir ainsi une pression hydrostatique sur les sources chaudes, supérieure à la pression hydrostatique des eaux froides.

Finalement en 1931, un drainage de la nappe alluviale en amont des sources est réalisé.

Entre-temps, les observations auxquelles ont été soumises les sources conduisent à admettre que les deux sources ont à l'origine un tronc commun, constitué par une veine ascendante d'eau chaude. Tant les différences de température que les différences de minéralisation et les différences de comportement des deux sources sont expliquées par le fait qu'à partir du moment où les deux sources s'identifient du tronc commun, la source Soufre a vraisemblablement un trajet beaucoup plus long avant de rejoindre la surface ; de plus, une partie de son eau fuit probablement dans les niveaux de molasse tertiaire à l'Ouest du griffon (à l'origine des sources de Marlioz ?).

* ORIGINE DES SOURCES :

Les hypothèses quant à l'origine des sources thermales d'Aix-les-Bains ont été nombreuses. En 1908, J. REVIL situe sur le flanc Ouest du Mont Revard la zone d'alimentation des sources. Selon lui, elles acquièrent leur minéralisation au contact des marnes de l'Hauterivien (pyrite).

En 1924, W. KILIAN situe l'impluvium des sources plus à l'Est, sur le Revard même : ces eaux s'infiltreraient jusqu'à la base des séries chevauchantes du Revard, se minéraliseraient par lessivage du Trias et suivraient ensuite le plan de chevauchement de ces séries pour venir émerger dans le calcaire urgonien d'Aix-les-Bains.

Rappelons à ce sujet que deux expériences de coloration à la fluorescéine ont infirmé cette théorie :

- Les eaux infiltrées et colorées au niveau de l'Urgonien du sommet du Revard, ressortent au Sud au niveau des sources de la Doria près de Chambéry.

- Une seconde expérience de coloration effectuée au niveau du Valanginien du sommet du Revard, a donné un résultat négatif : aucune trace de coloration n'a été observée en aucun des points d'observation sélectionnés.

- On peut donc affirmer que les infiltrations d'eau sur le plateau du Revard ne contribuent en aucune manière à l'alimentation des sources thermales d'Aix-les-Bains.

Une troisième théorie, celle de Ch. GORCEIX (1919) situe l'alimentation des sources d'Aix au niveau du lac du Bourget, ou même de la vallée du Rhône, plus au Nord.

L. MORET et G. SCHNEIDER (1933) situent la zone d'alimentation au Nord, en provenance de la zone comprise entre les massifs Gros Foug-Chambotte, à l'Ouest, et Revard-Semnoz à l'Est. Dans cette zone se trouvent de petits affleurements d'Urgonien, jalonnés par une série de sources thermales ayant "à peu près" la même composition chimique que les sources d'Aix.

Une seconde période d'observations intensives se place entre 1962 et 1971 ; elles sont le fait de la SOGREAH pour le compte du Ministère de la Santé.

Les résultats intéressants de ces études peuvent être résumés ainsi : les sources thermales Alun et Soufre sont en réalité le résultat d'un mélange à trois composantes :

- eau thermale proprement dite
- eau froide profonde (mélange continu) : circuit relativement long dans les calcaires urgoniens.
- eau froide superficielle à circulation rapide liée aux fortes pluies locales (mélange occasionnel).

Les apports d'eau froide au calcaire urgonien se font par l'intermédiaire de la

nappe alluviale glaciaire. Ces eaux froides constituent le vecteur de la pollution, et l'existence de deux niveaux d'apports d'eau froide, l'un superficiel, l'autre profond, permet d'expliquer pourquoi, malgré tous les travaux d'assainissement effectués au niveau de la ville d'Aix sur la nappe alluviale, il n'a jamais été possible d'éliminer efficacement la pollution des sources.

* DONNEES RECENTES :

Un sondage pétrolier, réalisé en 1975 par la Société ESSO-REP à St-Germain-la-Chambotte au Nord d'Aix-les-Bains, a mis en évidence dans les calcaires urgoniens à 1 350 m de profondeur, de l'eau minéralisée à 65°C.

A partir des observations faites sur ce forage, G. NICLOUD émet l'hypothèse d'une alimentation des sources d'Aix à partir des calcaires du Jurassique Supérieur du chaînon de la Charvaz à l'Ouest du lac du Bourget. Ces eaux migrent vers l'Est en passant sous la Chambotte et le lac du Bourget, atteignant une profondeur d'environ 1 600 m. Elles remontent au niveau d'Aix-les-Bains par failles jusque dans l'Urgonien.

I.3 - CONCLUSIONS

Toutes ces observations amènent à conclure sur plusieurs points :

- 1/ Il est illusoire de prétendre remédier à la pollution des sources thermales par des interventions au niveau des apports d'eau froide à ces sources. Malgré toutes sortes de travaux, la pollution a pu être réduite mais jamais entièrement résorbée.
- 2/ Il ne reste donc qu'une possibilité : essayer de préciser encore le circuit souterrain de l'eau thermique afin de la recapter par forage à une profondeur suffisante pour la mettre à l'abri des arrivées d'eau froide profonde continue.

C'est dans cette optique qu'on a été menées les études commandées au B.R.G.M. par le Ministère des Affaires Sociales et de l'Emploi.

II - ETUDE STRUCTURALE

Cette étude a comporté les volets suivants :

- étude stéréoscopique de photos aériennes au 1/15.000.
- analyse d'un cliché du satellite Landsat
- levés géologiques et structuraux de terrain.

II.1 - CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le Lac du BOURGET se situe dans une large dépression synclinale encadrée par deux chaînes anticlinales : Mont du Chat à l'Ouest, et Chambotte-Corsuet à l'Est. Ces structures appartiennent au domaine jurassien. Les massifs subalpins commencent à l'Est avec le Mont Revard. Les caractères structuraux et lithologiques de ces deux régions et leurs relations sont largement décrits dans la bibliographie, aussi, ne seront-ils rappelés dans ce rapport que sur des cartes et des coupes géologiques.

Les sources thermales de MARLIOZ et d'AIX-LES-BAINS (Alun et Soufre) se trouvent sur un bombement anticlinal de calcaire urgonien d'axe N 170 (anticlinal de la Roche du Roi). Celui-ci affleure sur un coteau isolé entre deux zones molassiques du Tertiaire à l'Est et à l'Ouest (cf. carte géologique au 1/25.000, fig. 1 HT). La source de RAPHY-St-SIMON est également issue de l'Urgonien, mais les conditions d'émergence et le contexte structural ne sont pas les mêmes qu'à AIX-LES-BAINS.

Au Nord, la montagne de Corsuet est un anticlinal à plongement axial vers le Sud. Il s'ennoie sous des alluvions quaternaires du torrent du Sierroz, au Nord de la ville. Beaucoup plus au Sud, le massif urgonien de Voglans, éloigné de plusieurs kilomètres, constitue l'affleurement le plus méridional de cette chaîne abaissée.

II.2 - RAPPELS

L'état de fracturation d'un massif rocheux résulte des déformations cassantes qu'il a subies depuis le dépôt ou la mise en place des terrains considérés. Les diverses directions de linéaments observables en photo aérienne ou en photo satellite, reflètent les directions des fractures résultant de ces différents épisodes de déformation cassante.

Lors de leur apparition ou de leur rejeu lors des phases tectoniques ultérieures, les fractures, suivant leur morphologie et leur orientation par rapport au champ de contraintes qui leur est appliqué, ont tendance à s'ouvrir ou à se fermer.

Une succession d'épisodes de contraintes différentes peut donc aboutir à une interconnexion de fractures ouvertes, dont la géométrie combinée avec d'autres critères géologiques (plissements notamment), hydrauliques et topographiques, détermine les circulations d'eau souterraine.

II.3 - ANALYSE STRUCTURALE

Les données des photosatellite et des photos aériennes ont été contrôlées par des levés de structures dans les affleurements de Bois Vidal, des coteaux d'Aix-les-Bains, dans la montagne de Corsuet, et le massif de Voglans.

Des contrôles ont également été effectués sur le flanc Nord du Mont du Chat et dans les formations tertiaires de Tresserve (voir fig. 2 HT).

La corrélation de toutes ces données permet de distinguer 5 familles de fractures dont les caractères sont les suivants :

. Deux familles principales :

- N 60 - 80 : famille bien représentée par des diaclases, paraclases et failles à jeu dextre prédominant.

- N 100 - 130 : famille toujours présente sous forme de diaclases et paraclases, souvent karstifiées , quelques failles polyphasées normales et/ou décrochantes, dextres ou senestres.

. Trois familles secondaires ou locales :

- N 15 : diaclases subverticales peu nombreuses, mais toujours présentes et souvent ouvertes. Quelques paraclases et petites failles à mouvement dextre fréquent (failles N15-25 à Voglans notamment).
- N 25 - 40 : quelques fractures ouvertes observées dans les gorges du Sierroz et à Voglans.
- N 140 - 150 : famille de fractures diverses partout présentes, rares sur les coteaux d'AIX. Les mouvements décrochants sont dextres ou senestres.

II.4 - RESUME DES DEFORMATIONS REGIONALES

- Premiers mouvements importants dès le Crétacé supérieur, Oligocène inférieur.
- Oligocène : plissement dans les zones internes qui créent une aire de distension suivant une direction subméridienne. Amorce des premiers plissements dans les zones subalpines et jurassiennes.
- Orogenèse mio-pliocène, responsable des grands mouvements tangentiels vers l'Ouest et le Nord-Ouest avec un déversement des plis.
- Les mouvements tardifs plio-quatérnaires et même actuels ne modifient guère les structures.

II.5 - ESQUISSE TECTONIQUE (fig. 3)

Les failles décrochantes transverses sont nées pendant le plissement et l'écaillage de la couverture sédimentaire décollée vers l'Ouest.

- Les deux réseaux bien visibles sur le terrain et sur les photos aériennes et satellitaires - N 60-80 et N 110-130, traduisent une déformation cassante liée à l'activité tangentielle, avec une direction de compression σ_1 sensiblement Est-Ouest, et une distension σ_2 sensiblement Nord-Sud.

Ce champ de contraintes détermine donc l'ouverture préférentielle des failles Est-Ouest, c'est-à-dire des deux réseaux conjugués N.60-80 et N.110-130.

- Les cassures N.10 à N.30, exprimées essentiellement par des diaclases et des paraclases perpendiculaires aux joints de stratification, correspondent à une fracturation axiale classique sur les plis.

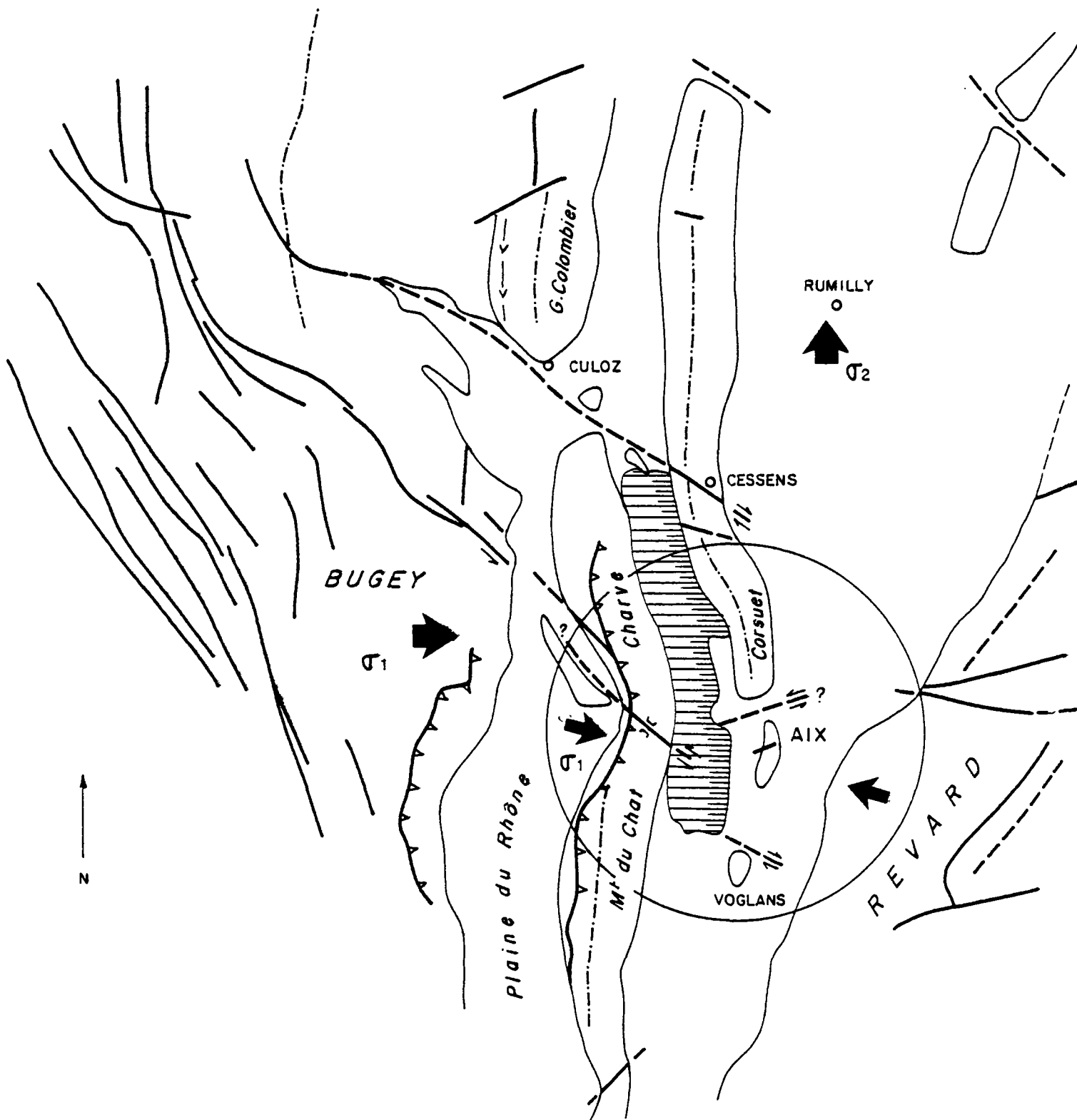
N.B. Quelques fractures indiquent un mouvement décrochant souvent dextre qui traduit localement un régime de compression Nord-Sud, dont on ne connaît pas la chronologie par rapport à la contrainte oligocène.

II.6 - SCHEMA STRUCTURAL (fig. 4 HT)

- Plis

Les deux chaînes anticlinales parallèles, qui bordent le lac du BOURGET, constituent la poursuite vers le Sud des chaînes du Grand Colombier à l'Ouest et du Gros Foug à l'Est. Les axes subméridiens au Nord prennent une direction N 160 au niveau du lac (Monts de la Charve et de Corsuet). Cette direction redevient méridienne au Mont du Chat ; elle est environ N 170 dans la région d'AIX-LES-BAINS et de VOGLANS.

ESQUISSE TECTONIQUE REGIONALE



LEGENDE

- σ_1 Compression
- σ_2 Distension
- |— Faïlle décrochante dextre
- - - - - Axe anticlinal

ECHELLE 1/250 000

- Fractures

. Le réseau principal, N 110 - 130 - représenté notamment par les failles actives de la Chambotte et du Col du Chat - est surtout développé dans le pli-faille de Corsuet. Il faut noter que les directions N 100 à N 135 sont largement exprimées à l'échelle de l'affleurement par des petites cassures (diaclasses et paraclases) dans toute la région.

* Faille du Col du Chat

Il est admis depuis longtemps que cet accident N 130 senestre est actif. Il recoupe l'anticlinal de la Charve dans une partie qui subit une légère torsion d'axe (10 à 20°).

Sa prolongation vers le Nord-Ouest en direction du Bugey est possible (non observée).

Le déplacement apparent horizontal le plus important, se situe à l'Est, près du lac (plus de 100 m). Sa poursuite vers l'Est se heurte aux formations tertiaires redressées de Tresserve qui ne seront pas affectées par cette faille; aussi doit-elle s'amortir rapidement sous le lac et n'avoir aucune liaison avec les structures orientales. Une liaison éventuelle avec la prolongation vers le Sud-Ouest de la faille de St-Simon, est difficile à expliquer au coeur du synclinal.

. Le 2ème réseau de fractures, N 60 - 80 - représenté par :

* La faille du Bois Vidal (N 75)

Correspond au développement plus localisé, mais dense, de diaclasses et paraclases Est-Nord-Est - Ouest-Sud-Ouest à Est-Ouest, en particulier sur la structure périanticlinale de Corsuet et au Sud des gorges du Sierroz.

* La faille de St-Simon

L'existence d'une faille décrochante senestre Est-Nord-Est - Ouest-Sud-Ouest, doit être admise avec un coulissage horizontal apparent de près d'un km (?). Il est difficile d'expliquer autrement les relations entre la structure périantyclinale de Corsuet et la voute anticlinale surbaissée d'AIX-LES-BAINS, avec à l'Ouest, des formations tertiaires subverticales. Celles-ci sont en direction conforme (environ N 170), et de ce fait, viennent buter au Nord, contre cet accident transverse. Cette faille, non décelable par ailleurs, sous des alluvions glaciaires et torrentielles épaisses, serait contemporaine des plissements. Il s'agirait d'un accident structural majeur, dont la direction probable est celle du Sierroz, c'est-à-dire N 70 (mais qui peut être Est-Ouest), qui délimite un compartiment abaissé au Sud jusqu'au massif de Voglans (faille Est-Ouest décrochante dextre hypothétique).

II.7 - COUPES GEOLOGIQUES

Trois coupes géologiques au 1/25.000 (cf. fig. 5 HT) ont été établies à partir des cartes géologiques existantes, des données de la bibliographie (notamment galerie du BOURGET, tunnels routiers et forage pétrolier de la Tailla), et de levés structuraux. Ces coupes sont notées du Nord au Sud T1, T2 et T3, sur la carte géologique au 1/25.000 (fig. 1 HT).

D'une façon générale, ces coupes montrent que le décollement de la couverture sédimentaire à faciès jurassien, sur le Trias et le socle hercynien, se traduit par une succession de plans de glissement, qui déterminent des écailles ou des pli-failles chevauchant vers l'Ouest. Les translations horizontales peuvent dépasser un kilomètre au Nord (cf. coupe T1).

A l'Est, le massif du Revard, qui constitue la bordure occidentale des chaînes subalpines, est probablement décollé sur 5 à 10 km (coupe T3).

Les données structurales essentielles pour chaque unité géomorphologique sont

les suivantes :

- Chaîne de la Charve - Mont du Chat

Ce pli-faille montre un flanc oriental redressé et assez régulier. Aucun accident longitudinal important n'a été observé.

L'Urgonien karstifié couvre une grande partie du versant qui domine le lac. Le Jurassique supérieur (Portlandien et Kimméridgien) constitue l'ossature de cette chaîne, avec une épaisse série de calcaires à zones dolomitiques, dont la karstification est en général moins développée que dans l'Urgonien.

Ce pli anticlinal présente d'une façon générale un plongement axial net vers le Nord.

- Dépression du lac du Bourget

Elle correspond à une structure synclinale ample dont le coeur est occupé par des formations tertiaires épaisses à faciès molassique. Le détail de cette structure est mal connu (faille longitudinale, replis ?). Il est probable que le point bas de cette structure se trouve à l'Est, près du pli-faille de Corsuet, voire sous le plan de chevauchement (coupe T1 et T2) ; sur la coupe T3, ce point bas serait situé au droit de la colline de Tresserve.

Il semble qu'un plongement axial existe du Nord vers le Sud (toit de l'Urgonien supposé vers la cote alt. - 900 m sur T1 et T2, et la cote alt. - 1200 m sur T3) ; mais un accident transverse (faille normale Est-Ouest) explique aussi ce décalage.

- Montagne de Corsuet

Il s'agit également d'un pli-faille dont les caractères ont été précisés par le forage profond de la Tailla (cf. coupe T1). Ce forage a montré

qu'il existait une série allochtone chevauchant une série autochtone (cote alt. - 1200 m dans le forage). Cette dernière repose sur des formations du Lias et du Trias (réduits ?) discordantes sur le socle hercynien profond (vers la cote - 3000 m). Par construction, la translation horizontale vers l'Ouest de la série allochtone, dépasse 1 km. Ce chevauchement sur les formations tertiaires entraîne une désolidarisation des séries calcaires karstifiées (Urgonien et Jurassique supérieur) entre la structure synclinale du Bourget et l'anticlinal de Corsuet. Cet accident important constitue un écran pour les circulations profondes, comme en témoignent les venues d'eau chaude (65°) rencontrées dans le Jurassique supérieur autochtone à la Tailla.

La coupe T3 fournit une interprétation du bombement anticlinal de la Roche du Roi : il s'agirait d'un pli-faille avec un flanc occidental subvertical fracturé (peut-être légèrement chevauchant sur les formations tertiaires à l'Ouest) et un flanc oriental peu incliné (10 à 20°) vers l'Est.

Cet anticlinal correspond à la poursuite vers le Sud du pli-faille de Corsuet, mais décalé horizontalement et verticalement. L'existence d'une faille Est-Ouest (faille de St-Simon) décrochante senestre doit être admise, entre le Corsuet et la voûte anticlinale de la Roche du Roi.

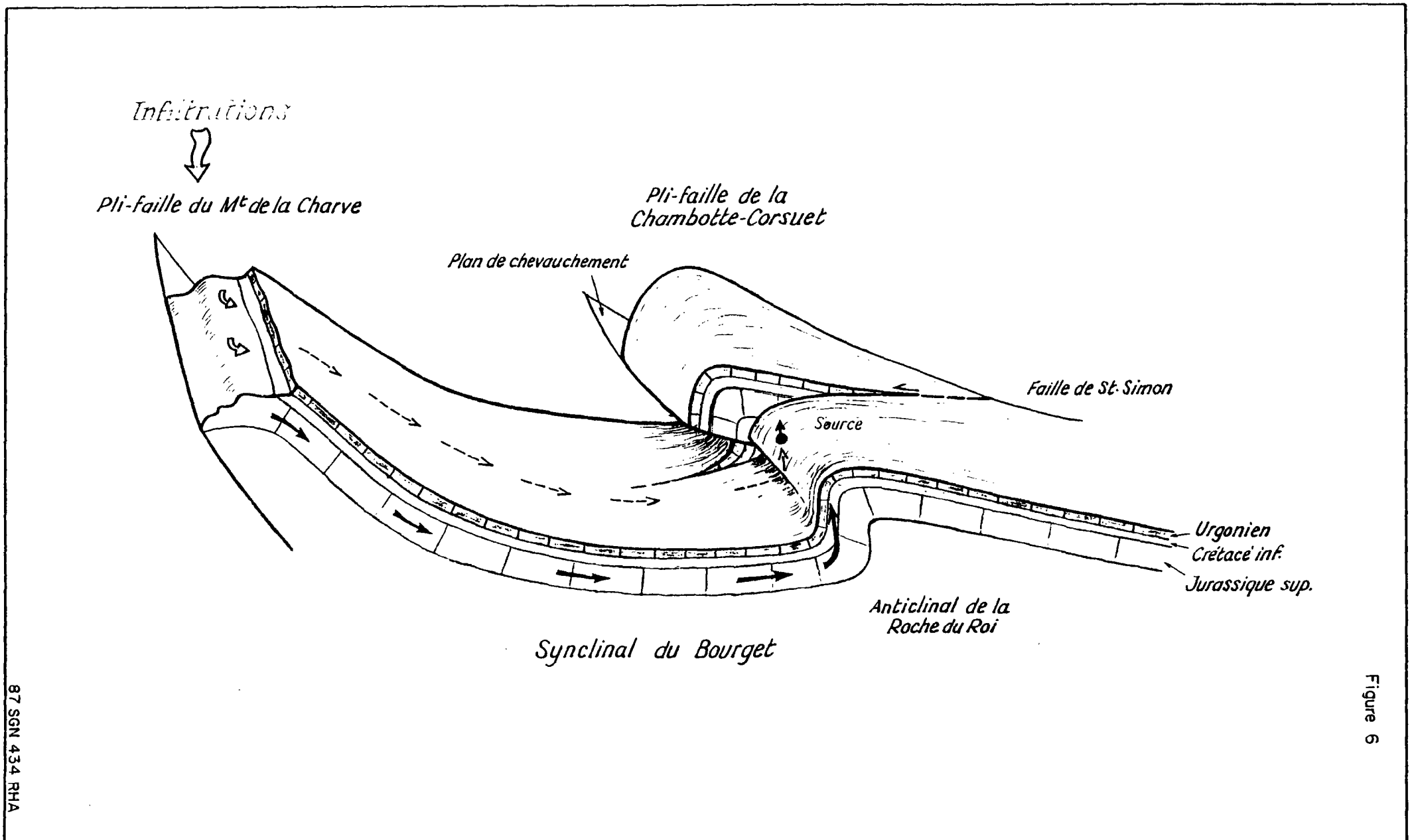
II.8 - SCHEMA DE CIRCULATION DES EAUX THERMALES (fig. 6)

Divers schémas ont été avancés concernant la zone d'alimentation et le circuit souterrain des eaux thermales d'AIX-LES-BAINS.

Compte tenu de toutes les données antérieures et des informations de cette étude, l'hypothèse la plus probable est une alimentation par le Jurassique supérieur de la montagne de la Charve, au Nord de la faille du Col du Chat. C'est également la théorie de MM. GIDON et NICLOUD.

Les eaux infiltrées sur la montagne de la Charve - voire le Mont Landard vers St-Pierre-de-Curtille - migrent vers l'Est dans les calcaires du Portlandien et

BLOC-DIAGRAMME DES STRUCTURES JURASSIENNES D'AIX-LES-BAINS ET SCHEMA GENERAL DES CIRCULATIONS PROFONDES



du Kimméridgien du flanc oriental du pli jusqu'au fond du synclinal, sous le lac du Bourget et sous la structure chevauchante de la Chambotte-Corsuet. Ces eaux atteignent ici plus de 1 500 m de profondeur (près de 2 000 m à la Tailla) et sont en charge. Elles n'ont guère la possibilité de remonter car les structures plongent à l'Est sous des formations tertiaires épaisses. Par ailleurs, le plan de chevauchement du pli-faille constitue un écran qui piège l'eau en profondeur, au droit de la chaîne de la Chambotte-Corsuet.

Ces structures plissées, présentent par ailleurs un plongement axial vers le Sud, l'écoulement aura donc tendance à s'effectuer vers le Sud-Est.

Les eaux du Jurassique supérieur ne peuvent remonter vers la surface qu'à la faveur de failles transverses ou à la faveur de continuités structurales (redressement des niveaux calcaires du Jurassique supérieur, du Valanginien et de l'Urgonien).

Une telle remontée des eaux thermales est donc impossible dans toute la partie située au Nord de la faille de Saint-Simon, où, nous l'avons vu, les séries chevauchantes du Corsuet-Chambotte l'interdisent (voir fig. 3). Dans cette hypothèse, l'anticlinal de la Roche du Roi situé immédiatement au Sud de cette fracture, constitue avec ses structures subverticales fracturées le premier point bas par où la remontée de l'eau minérale peut s'effectuer.

Les eaux de la Source de Saint-Simon, beaucoup moins chaudes, trouvent probablement leur origine dans la structure périanticlinale de Corsuet et son flanc oriental légèrement replissé et peut-être faillé au niveau du Sierroz); les circulations resteraient dans la série allochtone (Crétacé inférieur ?) avant de remonter à la faveur de la faille de St-Simon jusqu'aux alluvions quaternaires.

Il faut également mettre à part les petites sources minérales froides de Marlioz qui, bien que minéralisées, ne peuvent pas avoir d'origine profonde. L'aquifère ne semble pas être l'Urgonien, mais plutôt l'Oligocène plaqué sur celui-ci. Cette hypothèse reste à démontrer.

III - PROSPECTION DU RADON DANS LES GAZ DES SOLS

III.1 - RAPPELS

La géochimie du radon dans les sols, mise au point pour la recherche de l'uranium, est nouvellement utilisée en recherche d'eaux thermales et minérales et en prospection géothermique.

Les teneurs en radon sont réglées par la géochimie de ses précurseurs : le radium (226 Ra) plus soluble et mobile en milieu réducteur et l'uranium (238 U, 234 U) plus soluble et mobile en milieu oxydant.

Le radon est un émetteur très énergétique ; sa détection est basée sur cette radioactivité, ce qui conduit à des méthodes d'analyse spectaculairement sensibles. Gaz rare, et de durée de vie relativement courte (période de 3,8 jours), le radon ne doit sa grande mobilité, dans la nature, qu'à la mobilité des fluides qui le transportent ; on peut en effet considérer que par simple diffusion dans le sol, les atomes de radon ne peuvent pas parcourir des distances significatives (par exemple sur une distance de 10 cm, les concentrations en radon décroissent de 1 % environ).

III.2 - DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE DE PROSPECTION

La technique très spécifique de prélèvement, de mesure et de traitement des résultats est présentée en Annexe 3. La prospection a débuté selon une maille large, de 100 m environ, couvrant un secteur allant :

- de Saint-Simon au Nord, à Marlioz au Sud,

- de Mouxy (en amont des Thermes Nationaux) à l'Est, au lac du Bourget à l'Ouest.

Au total, 260 points de mesures ont été étudiés dans un premier temps sur l'ensemble du secteur. La campagne de mesure s'est déroulée du 08/12/86 au 12/12/86.

Les résultats de cette première phase ont été présentés dans un rapport d'avancement des travaux (NT 87 RHA 003) de Janvier 1987.

Les zones d'anomalie mises en évidence lors de cette première phase ont ensuite été affinées lors d'une campagne de détail, suivant une maille théorique de 1 point de mesure tous les 25 m environ.

243 prélèvements et mesures ont ainsi été réalisés du 16 au 20 février 1987.

De plus, des dosages de radon ont été effectués dans l'atmosphère surmontant les captages des sources Alun et Soufre (voir Annexe).

III.3 - RESULTATS

La localisation et la numérotation des points de mesure sont présentées sur la carte au 1/10.000 superposable à l'extrait de carte topographique (voir figure 7bis et figure 8 bis hors texte).

III.3.1 - SOURCES ALUN ET SOUFRE

Le radon dans l'atmosphère au-dessus de la source Alun est présent à des concentrations variant de 3900 à 4500 pCi/litre.

La disposition du captage de la source Soufre a imposé de mauvaises conditions de prélèvement, ce qui explique les valeurs beaucoup plus faibles mesurées sur cette source.

De plus, il convient de préciser que la technique de prélèvement utilisée était spécialement conçue pour le dosage des concentrations de gaz dans les sols.

Ces deux mesures ne constituent donc qu'un test effectué à la suggestion du Laboratoire National de la Santé.

Il faudrait, pour effectuer une mesure précise, utiliser une méthode de transfert d'échantillons réellement adaptée ; néanmoins, les résultats obtenus sur la source Alun démontrent qu'effectivement l'eau thermale d'AIX-LES-BAINS est caractérisée par d'importantes émissions de Radon.

III.3.2 - RADON DANS LES GAZ DES SOLS

Les teneurs en radon déterminées pour chaque point de mesure, sont regroupées dans le tableau de l'Annexe 3. Le traitement informatique de ces résultats conduit à une cartographie couleur des zones d'isoteneurs en radon. Comme on peut le constater, le bruit de fond général est constitué par des valeurs inférieures à 1000 pCi/l (planches 7 et 8).

Compte tenu des échelles de concentrations choisies pour rendre compte à la fois du bruit de fond régional et des maxima mesurés à l'Ouest de l'Etablissement thermal, on peut considérer que les secteurs Nord (Chantemerle - St-Simon), Sud (stade hippique, Marlioz) et Est (au-dessus de l'Etablissement thermal) présentent des réponses normales pour la région.

Par contre, plusieurs zones d'anomalies intenses ont été mises en évidence, à l'Ouest des Thermes Nationaux, en direction du lac du Bourget :

- une première bande Est-Ouest, jalonnée par plusieurs anomalies ponctuelles de 10.000 à 15.000 pCi/litre. Cette zone d'anomalies est limitée par le parc thermal à l'Est et se termine à l'Ouest entre la gare SNCF et le Boulevard Lepic.
- une seconde zone d'anomalies, encore plus importante (valeurs comprises entre 15.000 et 25.000 pCi/litre) est située dans un quadrilatère déli-

AIX LES BAINS (SAVOIE)



BRGM

PROSPECTION DU GAZ RADON



LE PETIT PORT

LE GRAND PORT

LAC DU BOURGET

VOIE FERREE

TRESSERVE

(en pCi/l)

	SUP. A	25000
	15000 - 25000	
	10000 - 15000	
	5000 - 10000	
	1000 - 5000	
	500 - 1000	
	INF. A	500
	ZONE INDEFINIE	

Sierre (Riv.)

MARLIOZ

HERMES

SAINT SIMON

CHANTEMERLE

- Source thermale
- Point de mesure
- Batiments

Echelle

0m 300m 600m



AIX LES BAINS (SAVOIE) PROSPECTION DU GAZ RADON

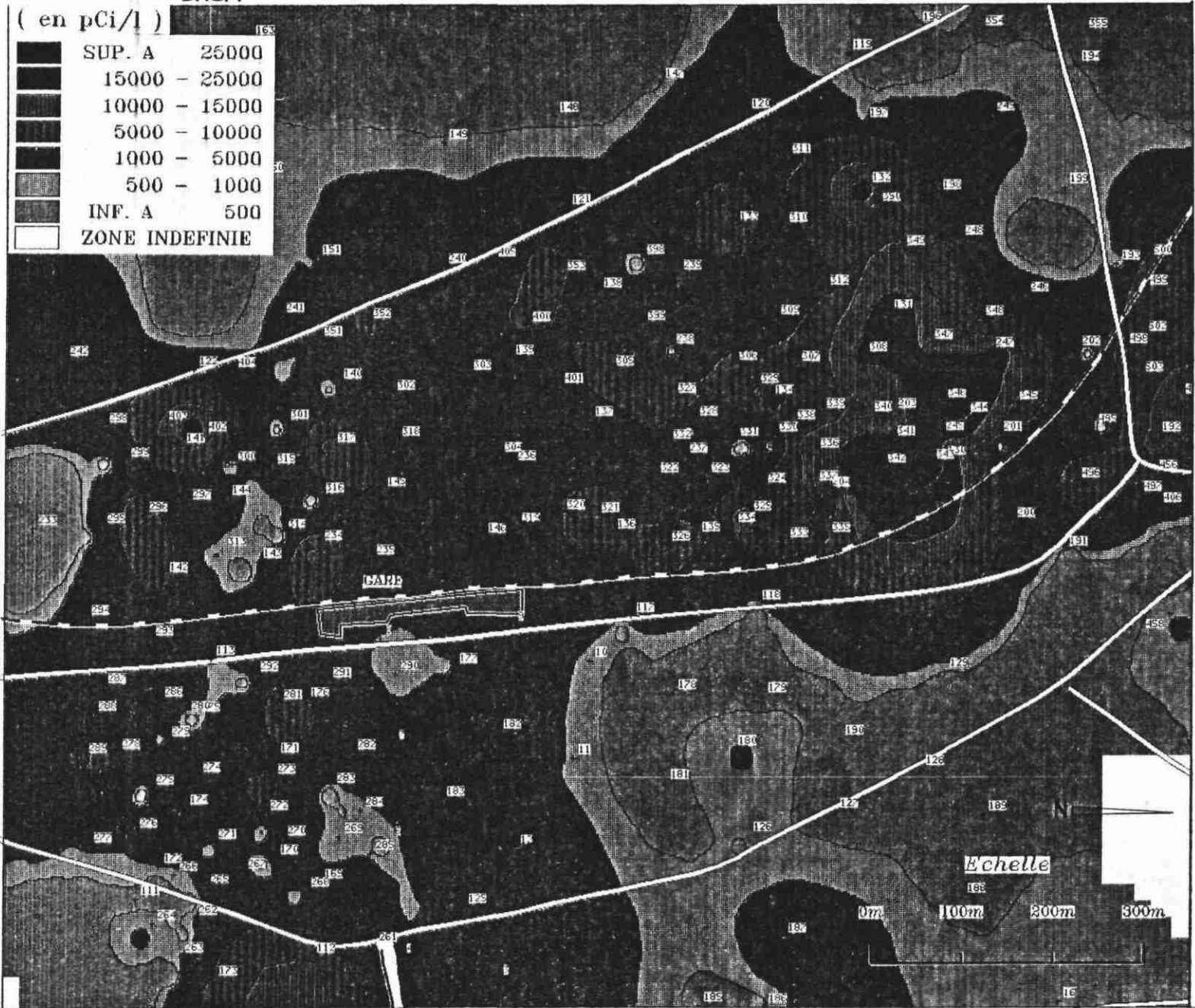


FIG. 8

mité approximativement par les axes suivants :

- . Avenue de Lattre de Tassigny
- . Boulevard Lepic
- . Rue du Petit Port
- . Avenue Alsace-Lorraine

Deux autres zones d'anomalies moins intenses (10.000 à 15.000 pCi/litre) se situent l'une immédiatement au Nord du carrefour Avenue de Lattre de Tassigny - Avenue Alsace-Lorraine, et l'autre à proximité de la Grande Plage.

III.4 - REJETS DES EAUX THERMALES

La première zone d'anomalies ci-dessus étant située en aval des Thermes Nationaux, il était important de vérifier que des rejets éventuels n'étaient pas à l'origine de ces anomalies.

Les trois conduites de rejet des eaux thermales usées vont, à plus de 6 m sous le niveau de la chaussée, se raccorder au réseau d'eau pluviale. Ce réseau, en conduite de ciment, après avoir traversé le parc thermal, descend plein Ouest pour rejoindre le cours du Tillet. Ce dernier passe en caniveau le long du Boulevard Lepic, puis va se jeter dans le lac du Bourget au Nord du Petit Port. Son ancien parcours venait déboucher auparavant plus au Sud, entre le Petit Port et la plage.

Des mesures de température et de conductivité des eaux ont été réalisées tout le long de ce réseau (voir chapitre suivant). D'après toutes ces observations, une relation entre les anomalies de radon mesurées et le réseau de rejet paraît exclue.

III.5 - COINCIDENCE AVEC D'ANCIENNES OBSERVATIONS

- Il convient ici de mentionner l'hypothèse de G. SCHNEIDER qui, en 1933, à partir de constatations de terrain et de considérations d'hydraulique, a été amené à supposer l'existence d'une fuite d'eau thermale à partir de la source Soufre.

Cette hypothèse, reprise notamment par SOGREAH en 1971, pourrait par contre, si elle se vérifiait, expliquer peut-être les anomalies de radon détectées notamment dans le parc en aval de l'établissement thermal.

- La mise à jour de venues d'eau sulfureuse a été signalée lors des travaux d'aménagement de la Grande Plage. De plus, une venue d'eau sulfureuse a également été détectée lors de cette étude, sous le niveau des eaux du Petit Port.

Ces deux observations pourraient également expliquer la présence de la petite zone d'anomalie détectée au voisinage de la Grande Plage et du Petit Port.

IV - RECHERCHE DE VENUES D'EAU SULFUREUSE DANS LE LAC

Il a été fait état, à plusieurs reprises, de venues d'eau thermale et/ou sulfureuse dans le lac du BOURGET : Ch. GORCEIX le mentionne le premier en 1922. Ces informations l'ont amené à faire une étude systématique de la répartition des températures dans le lac du BOURGET ; aucune anomalie n'a été mise en évidence, qui ne soit explicable par des variations microclimatiques.

Il a également été fait état de venues d'eau sulfureuse mises à jour lors des travaux d'aménagement de la Plage et du Petit Port (en 1920 et 1921).

La vérification de ce point constituait l'une des premières étapes du programme d'étude en cours, de manière éventuellement à pouvoir intégrer ces informations dans le cadre de l'étude hydrogéochimique globale du système thermominéral d'AIX-les-BAINS.

IV.1 - ETUDE DE PHOTOS DU SATELLITE LANDSAT

Le B.R.G.M. a procédé à l'analyse de clichés Landsat, déjà disponibles, dans le canal thermique ; ce cliché a été pris à la date du 30 Juillet 1984. Un autre cliché, qui ne couvre que l'extrémité Nord du lac et date du 25 Avril 1984, a été analysé à titre de comparaison, pour tester les limites de fiabilité de la méthode.

La résolution au sol de ces clichés dans le canal thermique est de 120 x 120 m, donc beaucoup moins précise que dans les autres canaux (résolution de 30 m) ; la résolution thermique par contre est de 0,5°C par niveau de gris.

- Résultats

Aucune observation probante n'a pu être notée quant à l'existence de zones plus chaudes dans le lac du Bourget ; on note une répartition approximative des eaux du lac en trois pôles :

- deux pôles relativement froids aux extrémités Nord et Sud du lac,
- une zone médiane face à la ville d'Aix-les-Bains, légèrement plus chaude (de 2°C en moyenne),
- une frange étroite le long des rivages, significativement plus chaude.

Au total, aucun de ces contrastes ne représente d'anomalie qui ne puisse être expliquée par le contexte microclimatique du jour où a été pris le cliché.

L'analyse des informations fournies par le cliché du 25.04.84, donc à une date a priori plus favorable à l'existence de contrastes thermiques notables au niveau de l'eau du lac, ne montre sur l'extrémité Nord du lac aucune différence sensible par rapport au cliché d'été.

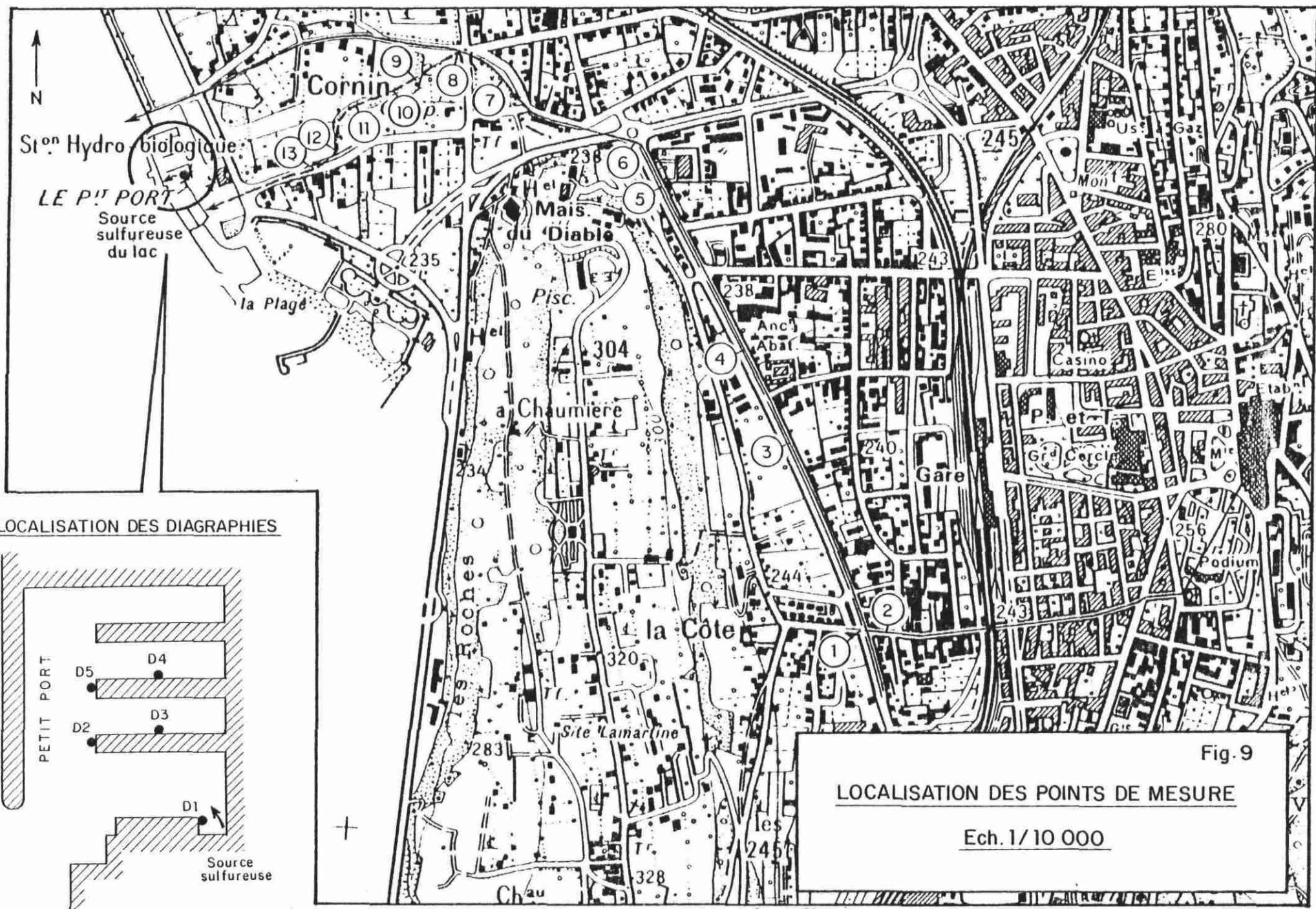
IV.2 - EAU SULFUREUSE DU PETIT PORT

Par contre, une venue d'eau sulfureuse a effectivement été mise en évidence, dans les remblais du coin Sud-Est du Petit Port, à environ 1,20 m sous le niveau du lac. C'est un suintement de débit insignifiant, mais de température (12°C) nettement contrastée par rapport à la température de l'eau du lac, à l'époque de la mesure (6,5°C en moyenne). Cette arrivée d'eau est associée à des dépôts blanchâtres caractéristiques.

Une série de profils (température, conductivité, oxygène dissous et potentiel d'oxydo-réduction) a été également réalisée dans cette zone (fig. 9 et tableaux en Annexe 4).

Aucune anomalie n'a pu être décelée sur aucune des cinq diagraphies réalisées.

Cette venue d'eau tiède et sulfureuse est donc unique ; un échantillon en a été prélevé.



IV.3 - ETUDE DU RESEAU DE REJET DES EAUX THERMALES DES THERMES NATIONAUX

Cette venue d'eau étant située à proximité de l'ancien débouché du Tillet, dont une partie du cours a été aménagée pour l'évacuation des eaux pluviales de la ville, dans laquelle se déversent les rejets des Thermes, il importait donc de vérifier s'il ne s'agissait pas d'une fuite ou d'une divergence de ce réseau.

Le rejet des eaux thermales de l'établissement s'effectue par une canalisation passant au niveau du Parc en contrebas des thermes, empruntant ensuite l'Avenue de Tresserve jusqu'à rejoindre le réseau pluvial (collecteur correspondant à l'ancien lit du Tillet ; actuellement Avenue Lepic) ; à l'extrémité de la butte de Tresserve (croisement de l'Avenue Lepic et du Boulevard Jean Charcot), le collecteur abandonnant l'ancien lit du Tillet, rejoint par conduite enterrée son point de déversement dans le lac, au Nord de la station hydrobiologique ; néanmoins, à l'endroit où ce collecteur se sépare du lit du Tillet, il existe un trop plein destiné à soulager le collecteur, lors des précipitations violentes ; dans ce cas, l'excédent non absorbé par le collecteur, suit l'ancien cours du Tillet pour se déverser au voisinage de l'extrémité Sud du Petit Port.

Des mesures de température, de conductivité et des dosages de sulfures de l'eau, ont été réalisées tout le long du réseau depuis l'intersection Avenue de Tresserve-Boulevard Lepic jusqu'au lac (fig.9).

Plusieurs constatations ont été faites :

- 1/ Tout le long de ce profil, les dosages de sulfures ont été négatifs.
- 2/ En amont de la jonction avec la canalisation provenant de l'établissement thermal, l'eau a une température de 10°C et une minéralisation (811 $\mu\text{s/cm}$) supérieure à celle des eaux provenant des thermes.
- 3/ Au point 1 (jonction des deux réseaux), le Tillet reçoit un apport important d'eau à 15,4°C et de conductivité (553 $\mu\text{s/cm}$).
Plus en aval, la température décroît et se stabilise à 14°C et une conductivité de 635 $\mu\text{s/cm}$.
L'eau évacuée par le collecteur vers le Nord du Petit Port conserve donc ces caractéristiques.

4/ Par contre, à partir du point 7, les mesures réalisées dans le cours du Tillet mettent en évidence deux venues d'eau froide et minéralisée (points 8, 9 et 10) qui proviennent probablement de la butte de Tresserve.

- Conclusions

Ces mesures permettent d'établir clairement trois points :

- l'eau tiède sulfureuse du Petit Port ne peut en aucun cas être reliée aux rejets d'eau thermale dans le réseau d'eau pluviale.
- les anomalies de radon détectées dans les gaz des sols dans le secteur situé au Nord du Boulevard Lepic, sont également indépendantes de ces rejets.
- il existe des circulations d'eau froide minéralisée dans les formations tertiaires de la butte de Tresserve.

MESURES DE TEMPERATURE ET DE CONDUCTIVITE DES EAUX
DU RESEAU PLUVIAL ENTRE L'ETABLISSEMENT THERMAL ET LE LAC
(11.02.1987)

n° Station	Température °C	Conductivité $\mu\text{s}/\text{cm}$
Réseau du Tillet en amont	10,0	811
de 1		
1	15,4	553
2	14,8	554
3	13,8	629
4	14,2	634
5	14,1	631
Venue provenant de	13,0	690
Tresserve		
6	14,2	635
7	14,0	636
(déversoir collecteur)		
8	10,0	794
9	7,6	924
10	7,8	920
11	10,4	755
12	10,3	756
13	10,6	746

V - ETUDE HYDROCHIMIQUE

IV.1 - LOCALISATION DES POINTS D'EAUX ETUDIES

Des sources ou des puits représentatifs des différents types d'eaux existant dans le secteur ont été prélevés et étudiés au cours de missions de terrains. Nous avons ainsi intégré différents résultats obtenus lors d'une étude antérieure réalisée sur l'eau minérale de Raphy-Saint-Simon (rapport B.R.G.M. n° 85 SGN 590 RHA). La localisation des points d'eaux est présentée sur la carte géologique (fig. 1 HT).

- Les eaux thermales :

- . les sources d'Aix-les-Bains, Alun et Soufre, ainsi que les sources situées à proximité de l'Etablissement thermal chez le Docteur DESLOUS (source Docteur et source Cabinet).

- Les eaux minérales :

- . les sources de Marlioz (Esculape, Bonjean et Adélaïde).
- . la source du Petit Port qui émerge dans le lac du Bourget, dans les remblais du quai du petit Port, à 1,50 m sous le niveau du lac.
- . la source de Raphy-Saint-Simon.

- Les sources, situées de part et d'autre du lac du Bourget :

. à l'Est :

- . la source Pollet captée à proximité du village de Clarafond pour l'alimentation en eau potable et en eau froide, de l'établissement thermal.
- . les sources Berthet et des Deux Reines, au pied du Mont Revard.

- . la source Victoria au pied de la butte molassique de Tresserve.
- . les sources d'eau froide et les fontaines qui émergent à proximité de la source minérale de Saint-Simon.
- . la source Rigolet au Nord-Est du lac et à l'Ouest du massif de la Chambotte.

. à l'Ouest :

- . la source de Hautecombe, au pied de la barre redressée de calcaire urgonien, sur les flancs du massif de la Charve.
- . la source de Gerle au Sud de la faille du Chat.

- Les eaux de nappes :

. à l'Ouest :

- . le puits Mémard destiné à l'alimentation en eau potable de la ville d'Aix-les-Bains.
- . un puits dans la nappe alluviale, à proximité du Petit Port.
- . le forage réalisé dans le Parc des Thermes.
- . le forage de la Tailla à Saint-Germain-la-Chambotte.

. au Nord :

- . le puits de la nappe de Conjux.

- Les eaux superficielles :

- . les drains Nord et Sud au-dessus de l'établissement thermal.
- . le ruisseau Nant-des-Fougères, au Nord de la source Saint-Simon

V.2 - RESULTATS ANALYTIQUES

V.2.1 - METHODOLOGIE DES MESURES ET D'ECHANTILLONNAGE

L'hydrochimie nécessite une méthodologie précise : pour la mesure in situ de certains paramètres non conservatifs (température, conductivité, pH, potentiel d'oxydo-réduction, oxygène dissous), pour l'analyse in situ des espèces réduites du soufre, ainsi que pour l'échantillonnage et le conditionnement avant analyses (cf. Annexe 4).

V.2.2 - RESULTATS DES MESURES ET DES ANALYSES

Les mesures et les analyses sont regroupées dans les tableaux en Annexe 4 : les mesures physicochimiques (tableau 1), les analyses des éléments majeurs exprimés en mg/l (tableau 2), les analyses des éléments traces exprimées en ppb (tableau 3) et les analyses isotopiques (tableau 4). Les analyses bactériologiques réalisées sur l'eau du forage du parc sont aussi regroupées dans l'Annexe 4.

Les résultats des analyses chimiques obtenus lors de l'étude de l'eau minérale de Raphy-Saint-Simon sont reportés dans les tableaux 5, 6,7.

V.3 - CARACTERISTIQUES DES EAUX ETUDIEES

Toutes les eaux étudiées ont un faciès chimique essentiellement bicarbonate-calcaïque comme beaucoup d'eaux de contexte sédimentaire. Les eaux thermales et minérales se distinguent des eaux superficielles par des teneurs en sulfates plus importantes : 163 mg/l pour Esculape, 134 mg/l pour Alun et 152 mg/l pour Soufre. Cette dernière, bien que plus froide (39,3° contre 43,8° pour Alun) est plus minéralisée (715 μ S/cm contre 691 μ S/cm).

Les eaux minérales et thermales sulfureuses sont également caractérisées par des

faibles teneurs en oxygène dissous et des potentiels d'oxydo-réduction négatifs, qui sont la conséquence de leur circulation en milieu profond et réducteur.

V.4 - RELATIONS ENTRE LES SOURCES ETUDIÉES

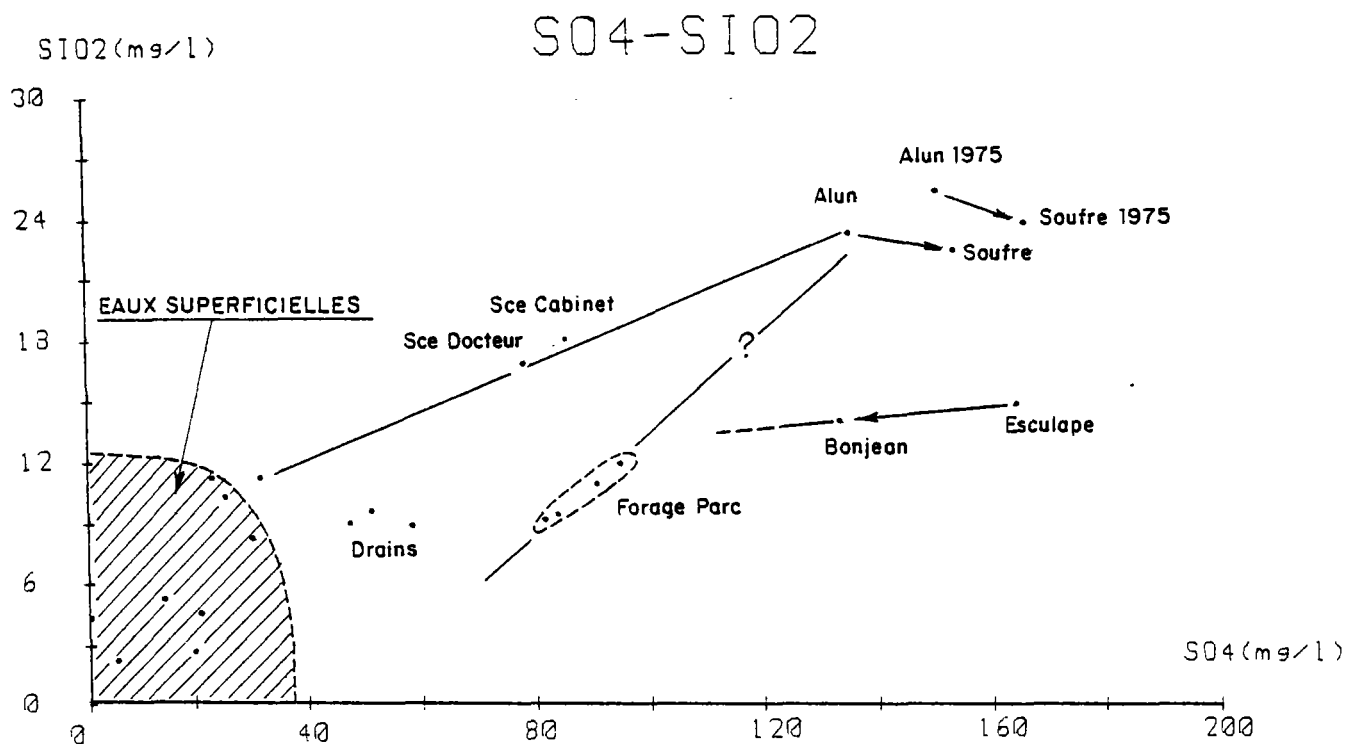
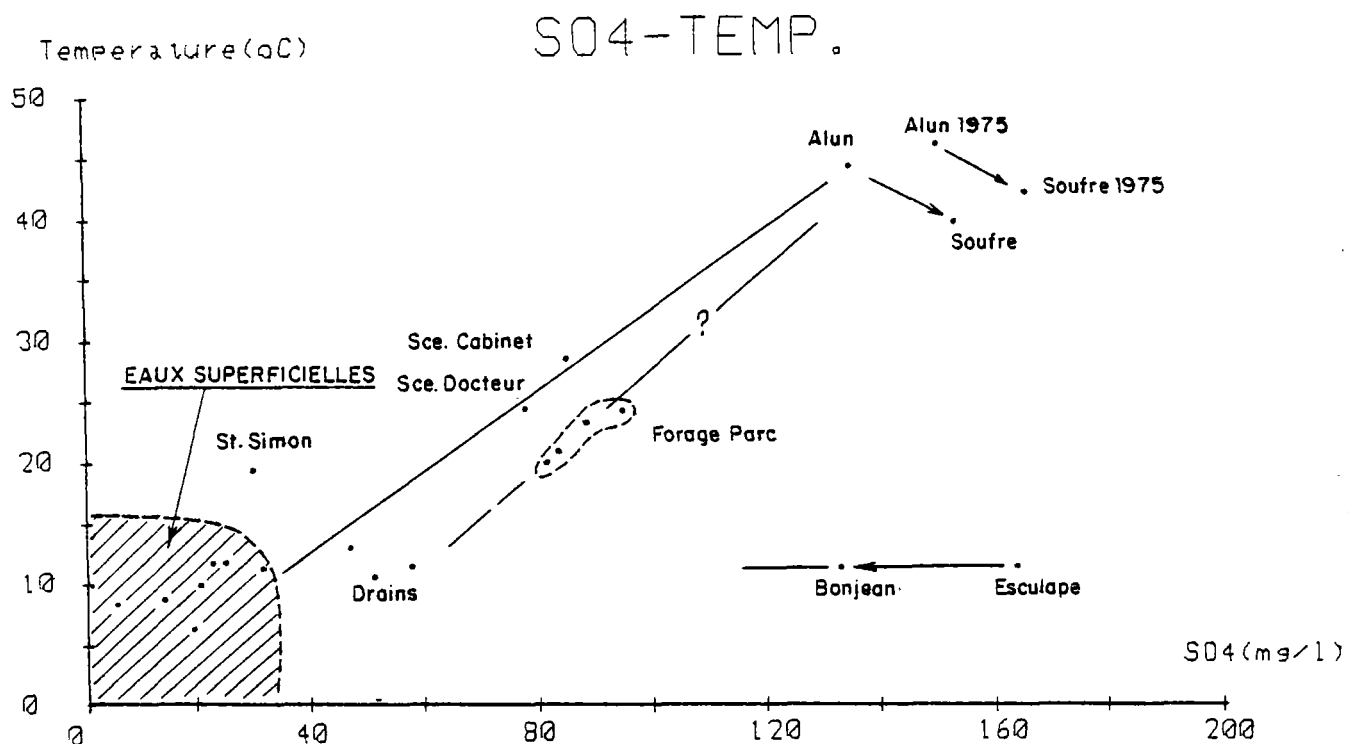
V.4.1- LES TEMPERATURES D'EMERGENCE

Les eaux thermales et minérales se distinguent nettement par des teneurs en sulfates plus importantes. Nous pouvons visualiser les relations entre les différentes sources étudiées, en reportant dans un diagramme, leurs teneurs en sulfates en fonction de leur température d'émergence. Le diagramme de la figure 10 montre nettement, pour la source Soufre, une baisse de température, parallèlement à une augmentation des teneurs en sulfates, par rapport à la source Alun.

Nous n'avons malheureusement que peu d'analyses antérieures complètes sur les eaux d'Aix-les-Bains, mais celles de 1975 montraient une situation tout à fait identique.

On remarque sur ce diagramme que les sources Docteur (25,9°) et Cabinet (28°) se situent en fonction intermédiaire entre la source d'Alun et les eaux superficielles. Les caractéristiques de ces deux sources s'expliquent par un mélange entre une eau thermique du type d'Alun et des eaux froides superficielles (représenté par un droite de mélange sur la figure 10).

L'augmentation progressive des teneurs en sulfates et des températures avec la profondeur, pour les eaux thermales du forage du Parc, pourrait ainsi s'expliquer par un mélange entre une eau thermique du type d'Alun et des eaux plus superficielles, faiblement minéralisées, présentes au sein de l'Urgonien (voir Conclusions du rapport SOGREAH, 1971). Les eaux minérales de Marlioz se distinguent par des températures nettement plus basses (< 11°) ; la source de Bonjean paraît nettement moins riche en sulfates qu'Esculape.



V.4.2 - LES TENEURS EN SILICE

La silice, plus soluble à température élevée, permet de bien identifier les eaux thermales par rapport aux eaux froides. Le diagramme silice-sulfate de la figure 10 montre que l'augmentation des teneurs en sulfates pour la source Soufre, s'accompagne d'une diminution des teneurs en silice (résultats identiques en 1975).

Le groupe des sources de Marlioz est moins riche en silice : de plus, la source Bonjean présente encore des indices de dilution par rapport à la source Bonjean.

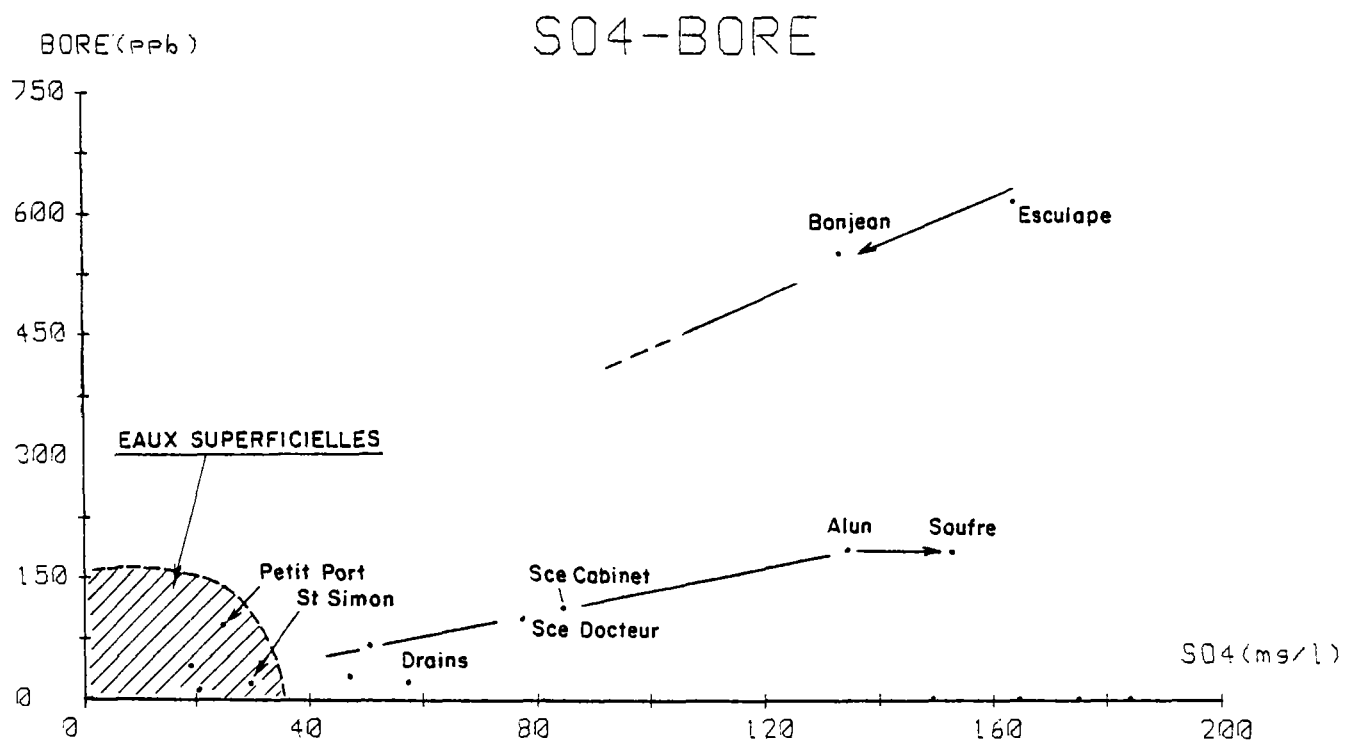
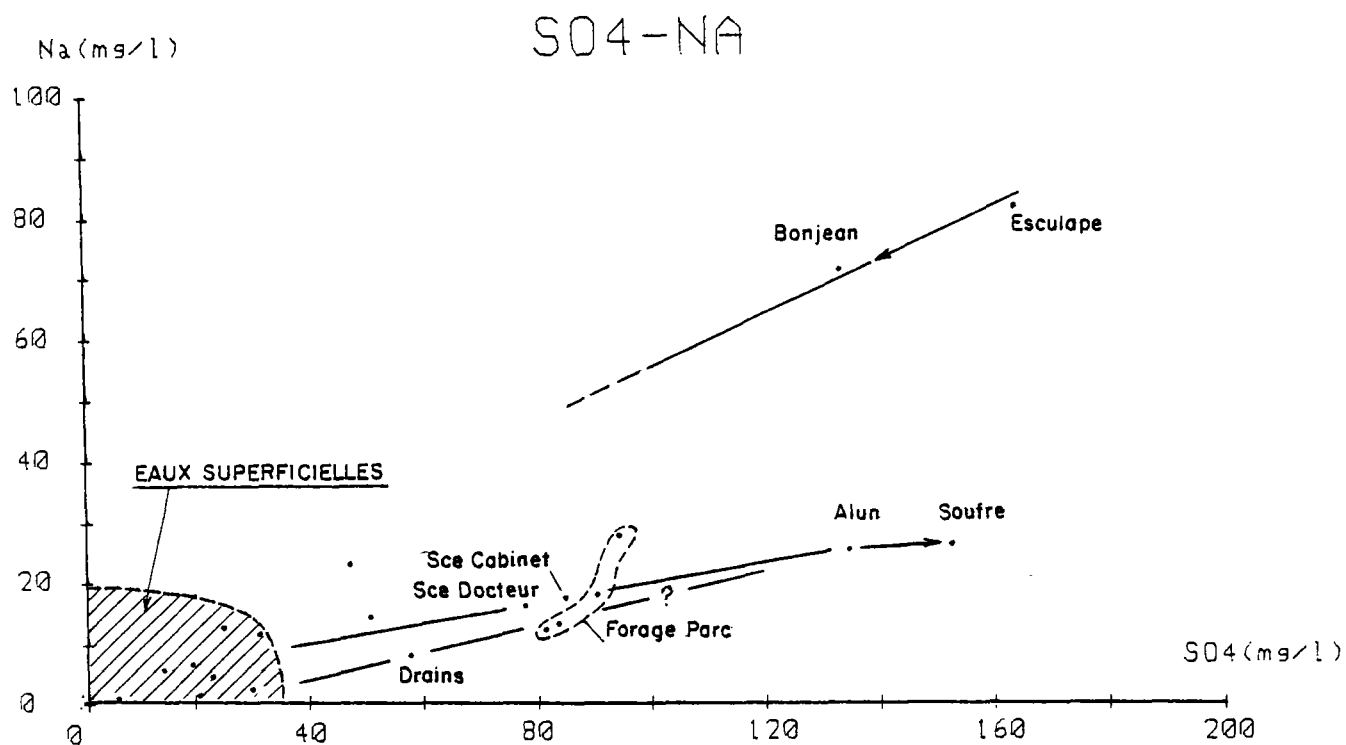
Les eaux du Forage du Parc et des sources Cabinet et Docteur, résultent également clairement de mélanges en proportions variables entre l'eau thermale du type Alun et les eaux dites superficielles.

V.4.3 - LES TENEURS EN SODIUM ET BORE

Lors du dépôt et de la formation des séries sédimentaires, certaines espèces chimiques, notamment chlore, bore, sodium, vont être contenues en proportions variables selon les lieux et les conditions de sédimentations ; ces éléments peuvent donc servir pour retracer des contextes géologiques de circulation et donc d'acquisition de la minéralisation différents.

Les diagrammes de la figure 11 montrent que les teneurs en sodium et en bore sont nettement différenciées dans les sources minérales de Marlioz et les sources d'Aix-les-Bains. Cette différenciation nous oblige à admettre, pour chacun de ces deux groupes, des circuits souterrains dans des séries géologiques bien distinctes.

La composition intermédiaire de l'eau du forage et des sources Docteur, confirme le modèle de mélange déjà avancé. Cette dilution par des eaux moins minéralisées, plus "superficielles", est aussi très probablement à l'origine de la composition chimique de Bonjean dans le groupe de Marlioz.



V.4.4 - MESURE IN SITU DES ESPECES REDUITES DU SOUFRE

Les eaux sulfureuses sont extrêmement fragiles et, au contact de l'atmosphère ou de certains matériaux, il peut se produire des modifications importantes de leurs caractéristiques chimiques (oxydation ou précipitation des sulfures dissous). L'instabilité naturelle de ces eaux nécessite impérativement la réalisation de mesures et d'analyses in situ des espèces réduites du soufre (cf. méthodologie, Annexe 4).

Les résultats des mesures effectuées sur les eaux sulfureuses d'Aix-les-Bains (Alun, Soufre et source du Petit Port) et de Marlioz (Esculape, Bonjean et Adélaïde), sont regroupés dans le tableau ci-après :

	ΣH_2S		RS^-	$S_2O_3^{--}$		SO_3^{--}
	10^{-5} mole/l	mg/l	10^{-5} mole/l	10^{-5} mole/l	mg/l	10^{-5} mole/l
Alun	7,0	2,3	2,5	0,0	0	0,0
Soufre	4,8	1,6	3,5	0,0	0	0,0
Petit Port	22,4	7,4	5,0	4,2	4,0	0,0
Esculape	44,0	14,5	0,0	0,0	0	0,0
Bonjean	42,4	14,0	0,0	0,5	0,5	0,0
Adélaïde	2,0	0,7	0,0	0,0	0	0,0

Comme on peut le constater, les eaux sulfureuses des sources d'Aix-les-Bains se distinguent très nettement de celles de Marlioz :

- les teneurs en sulfures et polysulfures (ΣH_2S) sont beaucoup moins élevées à Aix-les-Bains (2,3 mg/l pour Alun, contre 14,5 mg/l pour Esculape).
- aucune trace de sulfures organiques (mercaptans) n'est détectable à Marlioz ($< 0,1 \cdot 10^{-5}$ mole/litre), alors qu'elles atteignent 2,5 et $3,5 \cdot 10^{-5}$ mole/litre dans l'eau de Alun et de Soufre respectivement.

L'eau minérale du Petit Port est plus riche en sulfures (7,4 mg/l) et en sulfures organiques ($5 \cdot 10^{-5}$ mole/litre) que les eaux des sources d'Aix-les-Bains. Elle possède en outre des thiosulfates (4.0 mg/l). Ces teneurs sont très probablement inférieures à la réalité ; on peut en effet pressentir, étant donné les conditions d'émergence de cette source, une oxydation partielle de cette eau par mélange avec l'eau du lac.

Les teneurs plus faibles mesurées sur la source Soufre sont très probablement liées, d'une part aux conditions de captage, et d'autre part au mélange que subit cette source par rapport à l'eau de la source Alun.

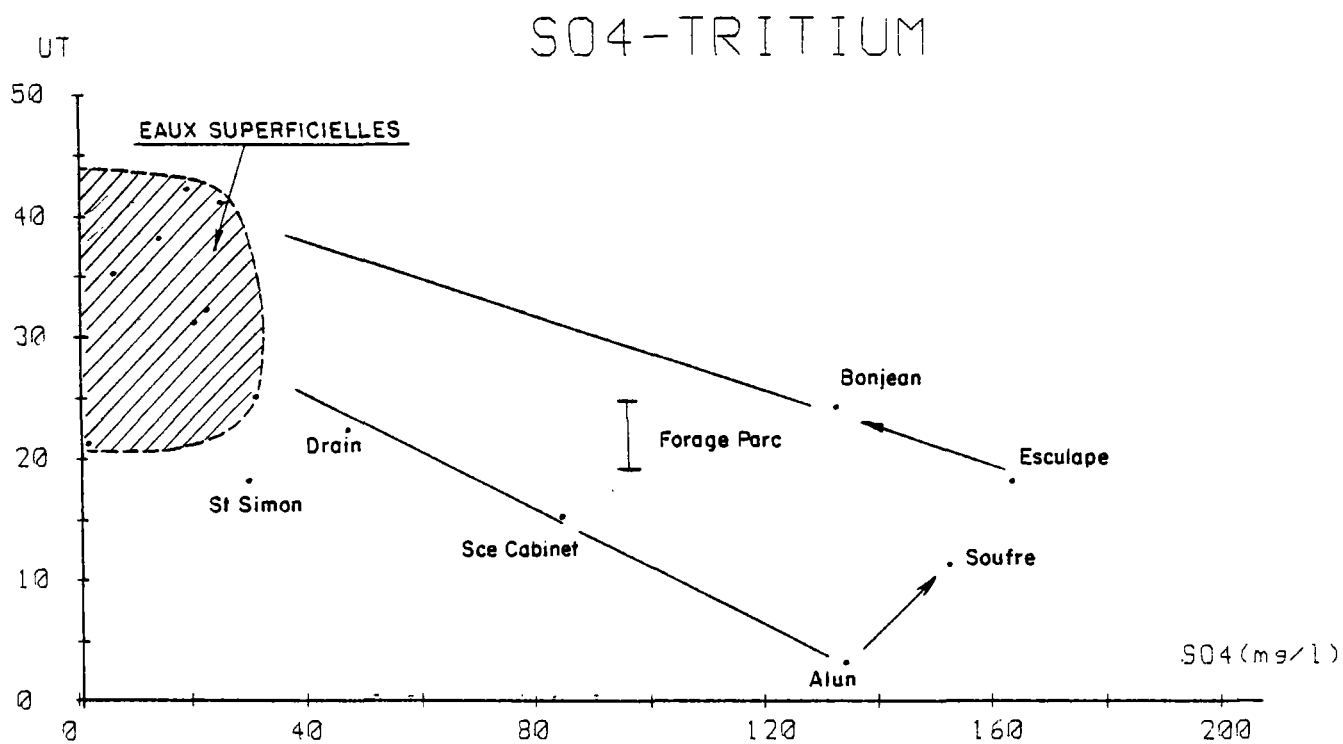
V.5 - CARACTERISTIQUES ISOTOPIQUES

V.5.1 - TENEURS EN TRITIUM

Les teneurs en tritium permettent, d'une part d'évaluer la durée du cycle souterrain de l'eau, et d'autre part de mieux appréhender les mélanges entre aquifères.

Les eaux superficielles présentent actuellement des valeurs de 30 à 40 Unités Tritium (sources Berthet, Gerle, Hautecombe, lac du Bourget...). L'eau thermale échantillonnée à la source Alun comporte quelques Unités Tritium (3 ± 1). Les études antérieures (SOGREAH, 1971) ont montré que lorsque cette source présente à l'émergence sa température maximum (45 à 46°1), les apports d'eaux superficielles devenaient négligeables et les teneurs en tritium de la source Alun atteignaient leur minimum. La température de l'échantillon prélevé sur la source Alun démontre la présence, ce jour-là, d'un apport d'eau froide superficielle, qui explique probablement les 3.U.T. mesurées. On peut donc admettre que les teneurs en tritium dans le pôle thermal d'Aix-les-Bains doivent être non détectables (< 1 UT), ce qui implique des temps de circulations dans le sous-sol, supérieurs à 30 ans.

Dans la figure 12, on remarque que l'augmentation des teneurs en sulfates de la source Soufre s'accompagne d'une hausse du tritium, ce qui indique que l'aquifère minéralisé qui participe au mélange est superficiel.



De la même façon pour Marlioz, la source Bonjean est diluée par une eau plus riche en tritium que celle d'Esculape.

Nous n'avons pas, au moment de la rédaction de ce rapport, les résultats des mesures fines de tritium (comptage enrichi) de l'eau du forage du Parc. Une mesure rapide ("comptage direct") indique une teneur d'environ 20 UT. Ce résultat devrait être précisé, mais il confirme dès à présent le mélange proposé entre le pôle thermal et l'eau froide de l'Urgonien.

V.5.2 - SOUFRE 34 DES SULFATES ET SULFURES

On peut retracer l'origine des sulfates dissous à partir de leurs valeurs isotopiques, connaissant l'évaluation chrono-stratigraphique du Soufre océanique établie à partir de l'étude de différents gisements d'évaporités marines.

Les valeurs mesurées sur les eaux thermales sont pour les sulfates de +21,0 ‰ et +23,3 ‰, pour Alun et Soufre respectivement. Ces valeurs correspondent assez bien à celles mesurées en 1975 pour ces deux sources (+23,3 ‰ et +24,1 ‰).

Les faibles teneurs en sulfures dissous n'ont pas permis l'analyse isotopique du soufre des sulfures, mais les valeurs de 1975 atteignaient -8,4 ‰ pour Alun.

Les valeurs isotopiques plus élevées pour Soufre que pour Alun indiquent que l'augmentation des teneurs en sulfates de cette source n'est pas liée à une oxydation de sulfures (aux valeurs négatives), mais à un mélange avec une eau riche en sulfates, aux valeurs isotopiques élevées (eau de lessivage de terrains oligocène gypseux, comme à Marlioz par exemple).

Les sulfures contenus dans les eaux thermales d'Aix-les-Bains, résultent de l'activité biochimique des bactéries sulfato-réductrices qui réduisent les sulfates en sulfures. On peut connaître la valeur en soufre 34 des sulfates initiaux qui sont à l'origine de la minéralisation de ces eaux. On obtient une valeur de +19,7 ‰ pour les sulfates dissous qui peut correspondre tout aussi

bien à une circulation dans des terrains du Jurassique supérieur que dans les séries oligocènes.

V.5.3- RELATIONS DEUTERIUM-OXYGENE

Les valeurs isotopiques de l'oxygène 18 et du Deutérium des eaux se placent sur la droite régionale des eaux météoriques définies pour la chaîne alpine :

$$\delta_D = 8 \delta^{18}O + 10$$

correspondant à la droite mondiale des précipitations (cf. figure 13).

Le gradient isotopique (en oxygène 18 et deutérium) est fonction de l'altitude des zones d'alimentation. Il a été défini à partir de différentes eaux superficielles, soit : $-0,3 \delta^{18}O$ pour 100 m d'altitude, pour les Alpes.

Dans la figure 13, nous avons reporté les valeurs en Deutérium et Oxygène 18 des différentes eaux étudiées avec l'altitude de leurs zones d'alimentation (impluvium).

Les sources thermales d'Aix-les-Bains se placent entre les eaux de Victoria (molasse de Tresserve), Saint-Simon (Urgonien de la Chambotte) et les sources (Berthet, Deux Reines) du pied du Revard.

On peut donc rejeter l'idée d'une alimentation à basse altitude par le Nord (plaine d'Albens), ainsi que celle d'une alimentation par des zones de haute altitude (1400 m), Massif du Revard, Montagne du Chat.

L'hypothèse d'une alimentation par l'Ouest, Montagne de la Charve (700 à 960 m), est tout à fait envisageable.

V.6 - GEOTHERMOMETRIE

La concentration de certains éléments dissous ou les rapports des concentrations

d'éléments entre eux, sont l'image de conditions d'équilibres qui sont elles-mêmes fonction de la température atteinte par l'eau dans le sous-sol.

L'utilisation des géothermomètres chimiques classiques Na-K, Na-K-Ca, Na-K-Ca-Mg, n'est pas envisageable car l'équilibre chimique vis-à-vis de certains minéraux, tels l'albite, l'adulaire, n'est pas atteint.

Les études de certains grands bassins sédimentaires (Dogger du Bassin parisien par exemple) ont montré que certains géothermomètres peuvent être appliqués, notamment ceux utilisant les teneurs en silice et le rapport isotopique en oxygène 18 des sulfates dissous et de l'eau.

Les valeurs obtenues au moyen de ces deux géothermomètres pour la source Alun (la moins "mélangée") sont de 68° et 69°.

L'excellente concordance de ces deux valeurs, obtenues à partir de deux méthodes indépendantes, permet de penser que l'équilibre isotopique de l'oxygène 18 entre sulfates dissous et eau est atteint.

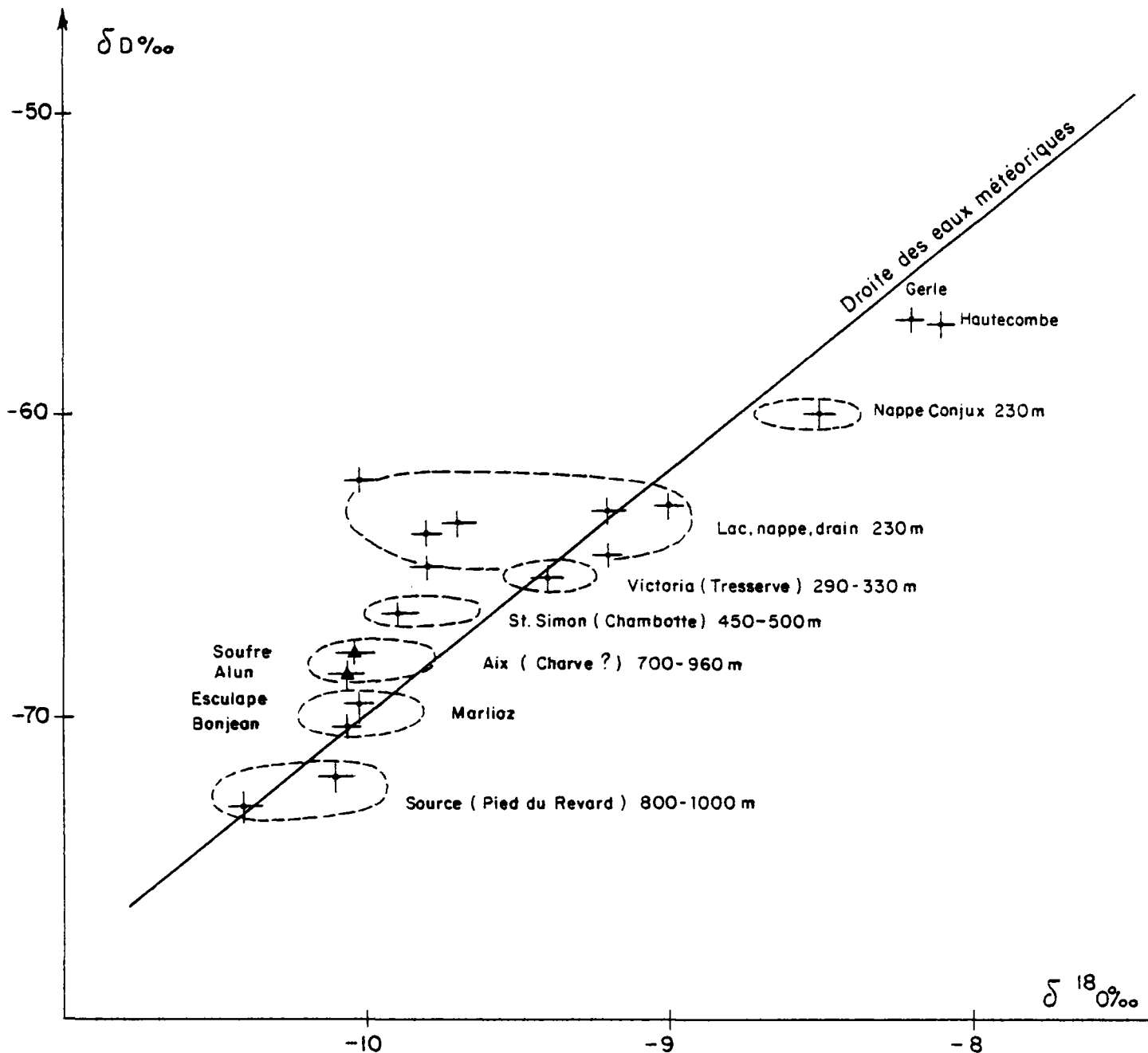
A cette température et ce pH ($\approx 6,5$), le délai de mise à l'équilibre isotopique est d'environ 700 ans.

Si l'on se réfère au modèle de circulation proposé dans cette étude, le calcul indique en première approche une vitesse de circulation souterraine de 10 m/an, tout à fait compatible avec des observations réalisées dans des contextes géologiques comparables.

De plus, cet équilibre isotopique n'étant apparemment pas perturbé pendant la remontée de l'eau thermale vers la surface, on peut admettre que la réduction bactérienne des sulfates, qui est à l'origine de la sulfuration, se produit nécessairement au sein du réservoir profond.

Fig. 13

RELATION DEUTERIUM-OXYGENE 18



V.7 - CARACTERISTIQUES DES EAUX DES FORAGES DE LA TAILLA ET DU PARC

V.7.1 - LE FORAGE DE LA TAILLA

L'eau à 65° rencontrée entre la cote - 1995 et - 2086 m a été échantillonnée et analysée le 20 Novembre 1975 à l'Institut Dolomieu de Grenoble. Les résultats d'analyse (cf. Annexe 4) indiquaient une eau peu minéralisée avec des teneurs en bicarbonate de 50,6 mg/l et de calcium de 14,8 mg/l. Ces résultats étaient peu compatibles avec les compositions chimiques des eaux chaudes circulant dans des couches calcaires.

Un essai de remise en production a été tenté afin de pouvoir obtenir une information représentative de l'eau géothermale profonde. Le niveau statique de l'eau inférieur à -130 m a imposé la descente d'une colonne d'air-lift à -150 m. Etant donné la faible productivité du puits, et donc des rabattements induits par le pompage, la vidange du forage n'a pas pu être réalisée avec les moyens mis en oeuvre (500 litres d'eau seulement ont pu être exhaurés ; un échantillon a été malgré tout prélevé).

Les résultats d'analyse chimique sont totalement différents de ceux obtenus en 1975. Ces deux séries de valeurs doivent donc être considérées avec précaution.

V.7.2 - LE FORAGE DU PARC

- Profils physicochimiques :

Un sondage de reconnaissance a été réalisé à proximité de l'Etablissement Thermal, à la suggestion du Ministère de tutelle des Thermes Nationaux. Ce sondage avait pour objectif une reconnaissance des calcaires urgoniens. Il a donc été tubé et cimenté jusqu'au toit des calcaires à -18 m (cf. Annexe 5). La foration a été poursuivie en trou nu jusqu'à -162 m. Des profils physicochimiques en continu ont été réalisés afin de caractériser les différentes venues d'eau interceptées.

Les résultats des mesures de température, conductivité, oxygène dissous, potentiel d'oxydo-réduction, sont reportés dans l'Annexe 4.

Les valeurs de température mesurées en débit artésien, ainsi qu'en cours de pompage (11 m³/h) (fig. 14) confirment les observations faites en cours de forage : l'augmentation, en fonction de la profondeur, de la température (de 19 à 23,8°), des différentes venues d'eau.

De la même façon la conductivité augmente légèrement avec la profondeur (fig. 15). Les profils d'oxygène dissous et de potentiel d'oxydo-réduction montrent la présence d'un milieu réducteur (potentiel négatif) de plus en plus pauvre en oxygène, compatible avec les sulfures détectés sur le site (teneurs restant inférieures à 1 mg/l).

Ces résultats soulignent l'existence au sein de l'Urgonien, d'un mélange entre l'eau du pôle thermal et de l'eau froide et peu minéralisée (cf. paragraphe V.4).

- Analyses bactériologiques :

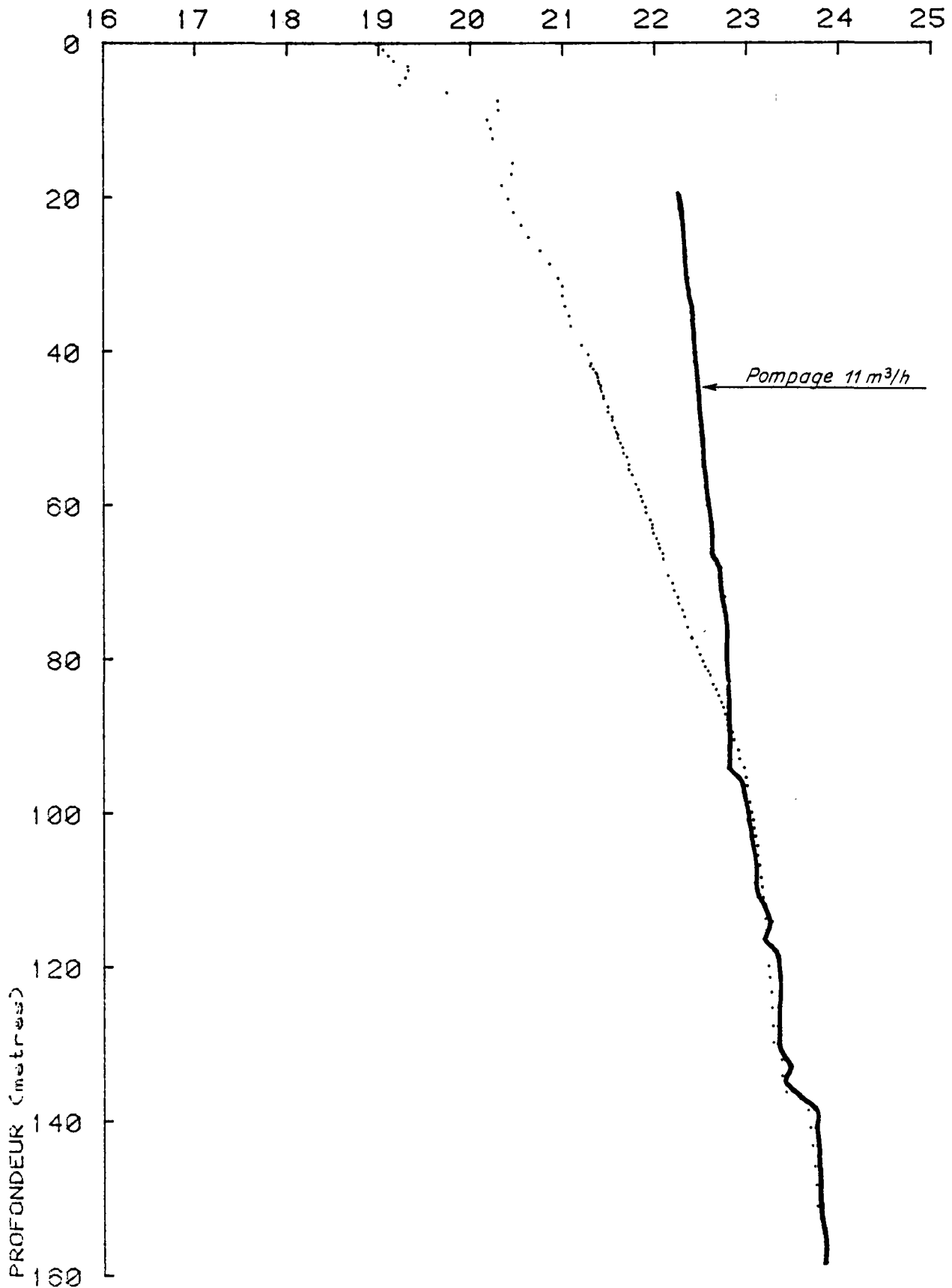
En cours de foration, les venues d'eau importantes ont été échantillonnées pour analyses chimiques et bactériologiques (cf. Annexe 4). Trois analyses bactériologiques ont été effectuées sur les échantillons prélevés à 85, 127 et 153 m de profondeur. A 85 m et à 153 m, l'eau est potable du point de vue bactériologique ; seul l'échantillon prélevé à 127 m est contaminé.

Il n'est pas exclu que ces traces de contamination soient induites momentanément par le matériel de forage encore présent dans le puits au moment du prélèvement.

Forage AIX LES BAINS

(Debit artésien)

TEMPERATURE (°C)

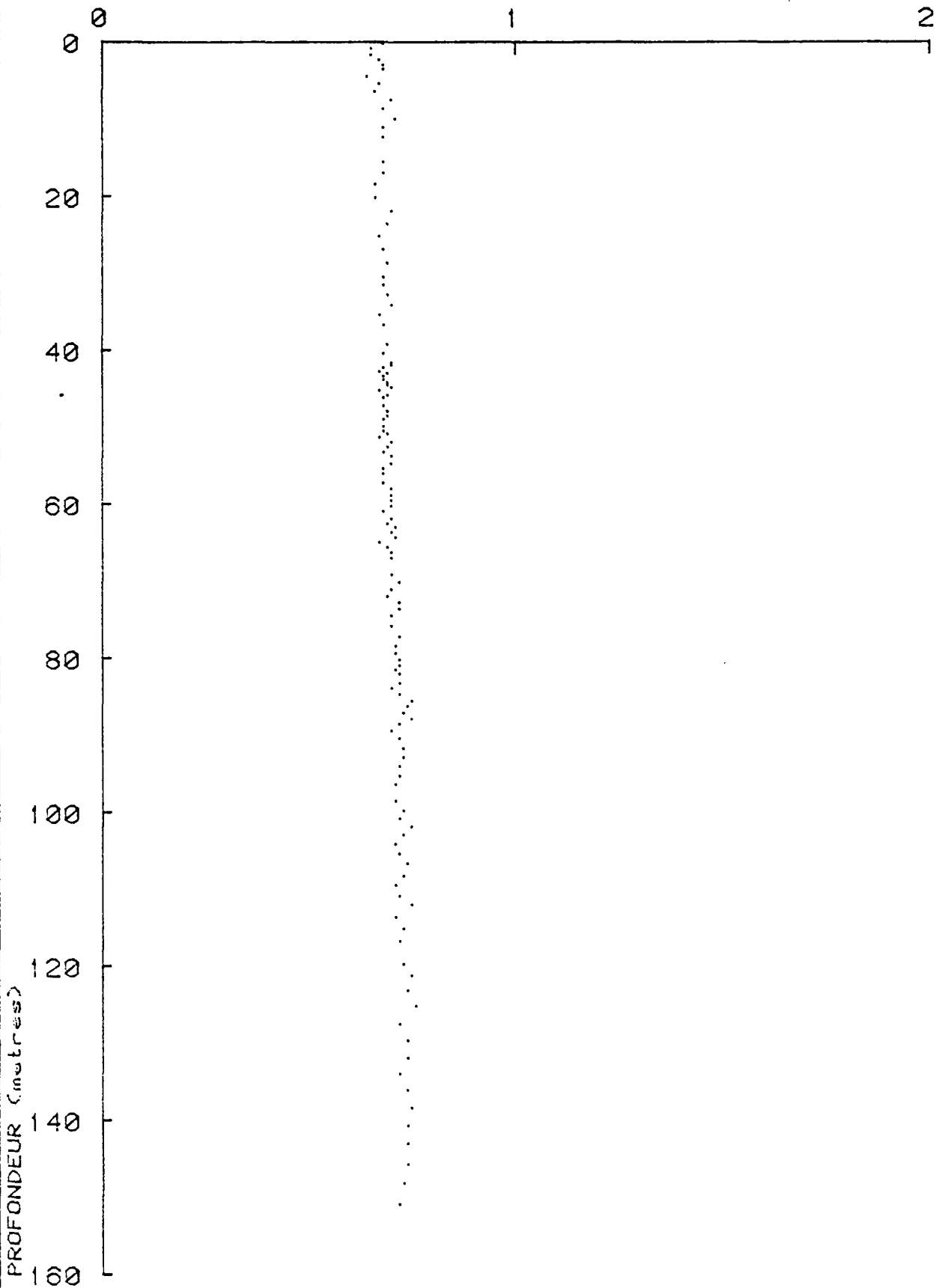


Forage AIX LES BAINS

FIG. 15

(Debit artésien)

CONDUCTIVITE (mS/cm)

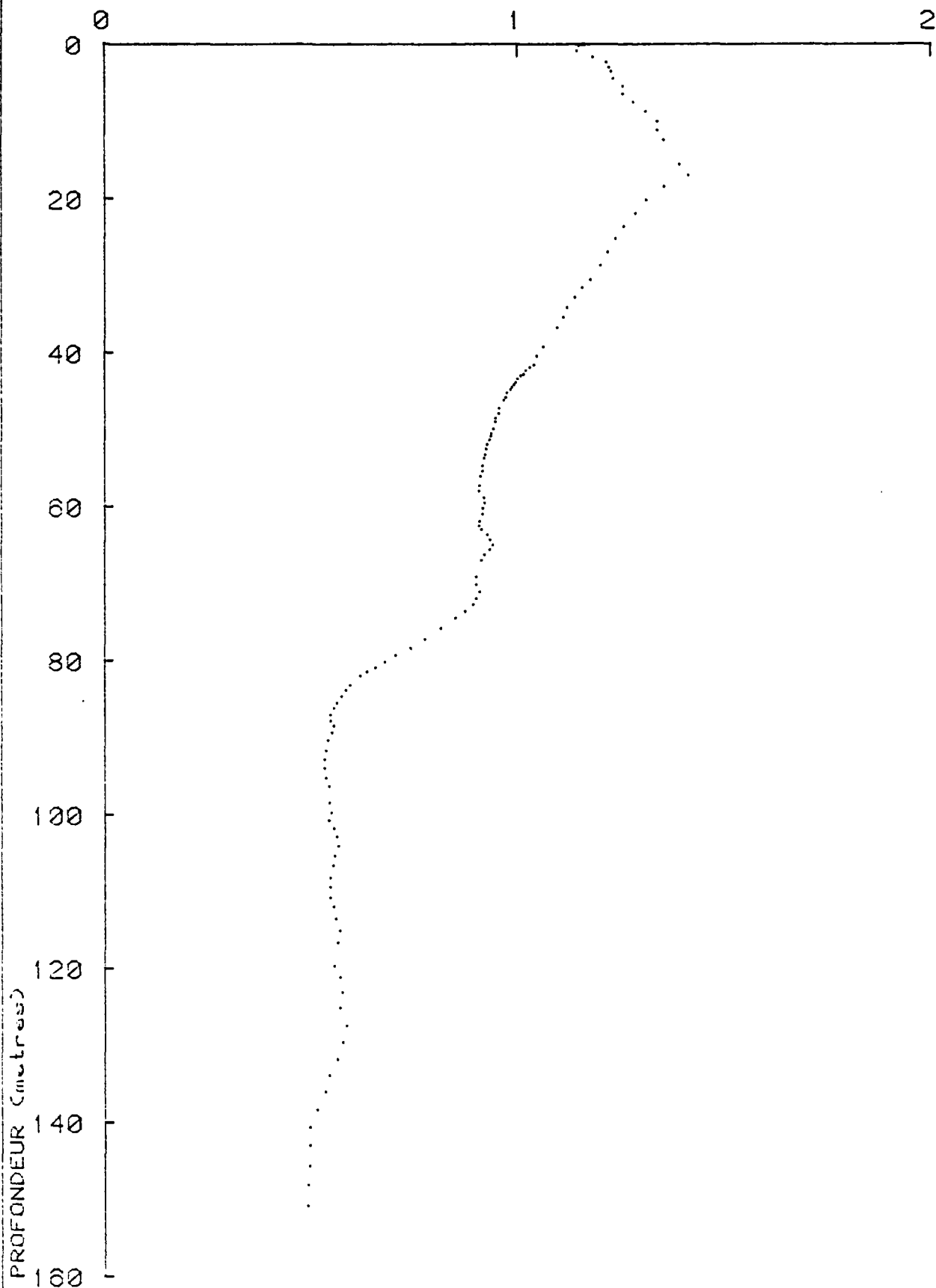


Forage AIX LES BAINS

FIG. 16

(Debit artésien)

OXYGENE DIS. (mg/l)

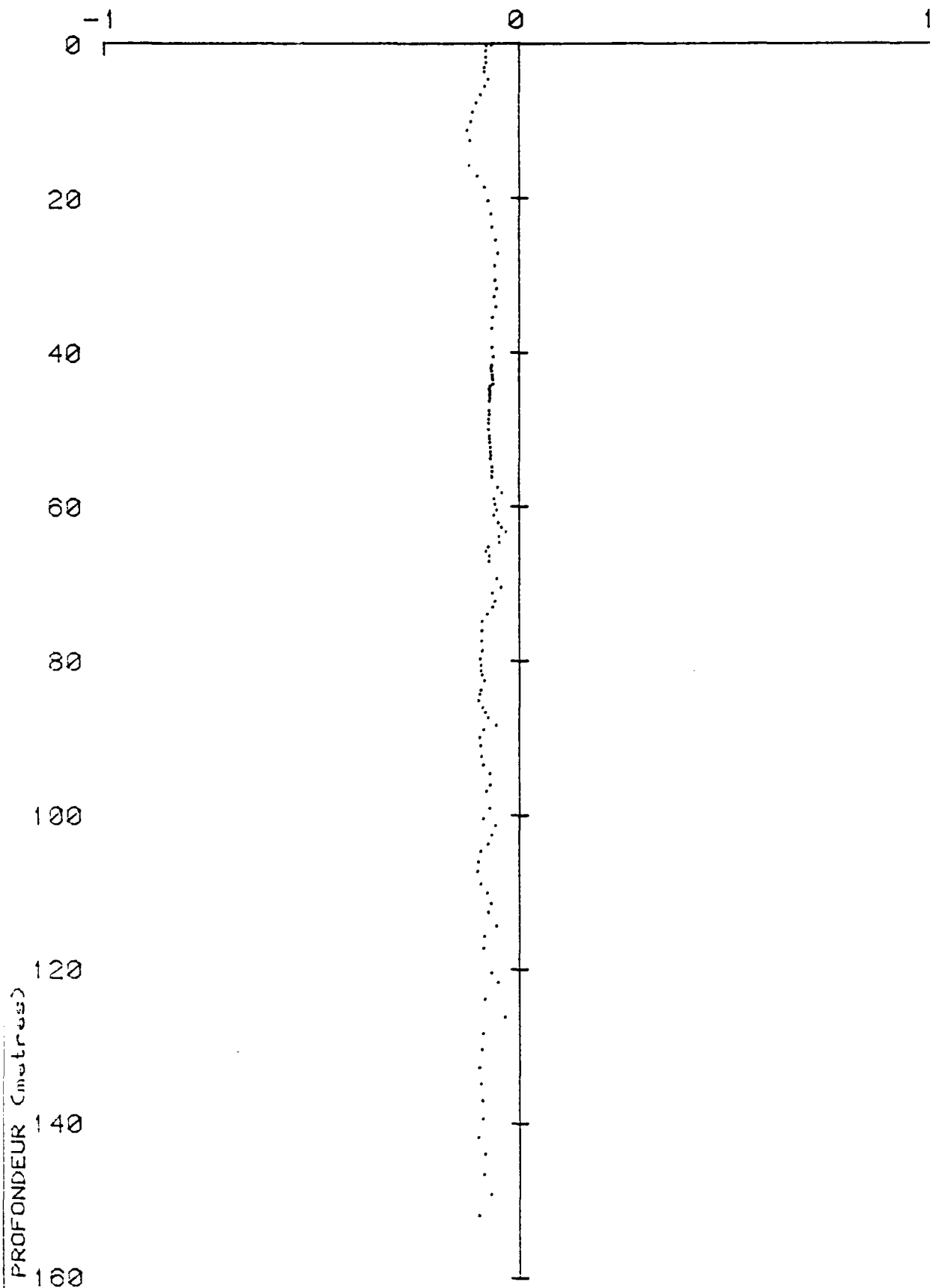


forage AIX LES BAINS

FIG.17

(Debit artésien)

POTENTIEL REDOX (Volt)



V.8 - CONCLUSIONS

L'ensemble des résultats de l'étude hydrochimique permet de mieux préciser le système hydrothermal d'AIX-LES-BAINS :

- l'eau sulfureuse découverte dans le Petit Port, de même que les sources minérales sulfureuses de Marlioz, sont indépendantes du système thermal d'AIX-LES-BAINS représenté par les sources Alun et Soufre.
- la source Alun est la plus représentative du pôle thermal profond, bien que parfois légèrement "perturbée" par des apports d'eau froide peu minéralisée, plus superficielle.
- la source Soufre subit un mélange plus important avec des eaux froides, riches en sulfates, dont la minéralisation pourrait provenir du lessivage de niveau gypseux de l'Oligocène. Ce mélange est très probablement à l'origine des fluctuations de qualité bactériologiques de cette source.
- l'existence de fuite d'eau thermale, au sein de l'Urgonien, est démontrée à proximité de l'Etablissement Thermal (sources et drains).
- les observations faites sur le sondage de reconnaissance réalisé dans le Parc de l'Etablissement Thermal, confirment l'existence de circulation d'eau thermale sulfureuse et de mélanges avec des eaux froides au sein de l'Urgonien.
- la composition chimique et isotopique de l'eau thermale de la Source Alun, permet d'établir que la température du pôle thermal est de 70°C environ.
- les analyses isotopiques réalisées permettent d'écarter les différentes hypothèses déjà émises quant à l'origine des eaux thermales et leur circuit souterrain, au profit d'un modèle impliquant une zone d'alimentation située à l'Ouest, sur le massif de la Charve.

- la bonne concordance de ces résultats avec les observations géologiques et les mesures réalisées sur le forage profond de La Tailla, permet de constater que les valeurs des températures profondes, calculées sont compatibles avec la réalité.

- l'équilibre isotopique de l'oxygène 18 (sulfates dissous - eau), atteint dans le réservoir profond, permet de déduire que le système thermal est caractérisé par :
 - . un temps de transit important (compatible avec des ordres de grandeurs de vitesse de circulation en milieu sédimentaire).

 - . une acquisition de la sulfuration (par réduction bactérienne) au sein du réservoir.

VI - CONCLUSIONS D'ENSEMBLE

Les sources thermales et minérales Alun et Soufre qui alimentent les Thermes Nationaux d'AIX-LES-BAINS, sont l'objet d'une exploitation intensive depuis des temps très anciens.

L'environnement urbain de densité croissante et les caractéristiques géologiques particulières des émergences des sources, rendent celles-ci très vulnérables à des pollutions propagées par les eaux des nappes subsuperficielles. Les fluctuations de qualité bactériologique de ces sources ont d'ailleurs depuis fort longtemps préoccupé l'Administration, et ont suscité ainsi un grand nombre d'observations, d'études et de travaux.

Tous les efforts, ayant porté sur les captages actuels des sources et sur l'assainissement de leur environnement, n'ont jamais abouti à un résultat entièrement probant ; la qualité bactériologique des eaux d'Alun et de Soufre a été améliorée, mais les captages actuels demeurent vulnérables.

La présente étude a donc été orientée vers la compréhension du système thermal et minéral d'AIX-LES-BAINS, dans son ensemble, afin de fournir aux autorités de tutelle des Thermes nationaux, une vision globale du système exploité, ainsi que les alternatives envisageables, afin de remédier à la vulnérabilité actuelle des sources.

Les études réalisées (géologie, hydrochimie, prospection gaz des sols), complétées par les données existantes et la réalisation d'un sondage de reconnaissance à proximité de l'établissement thermal, ont permis d'élaborer un modèle d'alimentation des sources thermales qui repose sur un faisceau de présomptions convergentes.

Les sources Alun et Soufre seraient alimentées par des infiltrations d'eau météorique sur l'ossature calcaire du Jurassique supérieur de la Montagne de la Charve, au Nord-Ouest d'AIX-les-BAINS (convergence d'arguments géologiques, topographiques et isotopiques).

Ces eaux chemineraient ensuite dans des séries du Jurassique supérieur, vers

l'Est et le Sud-Est, en passant sous le lac du Bourget (cote maximum atteinte : environ - 1500 m, température maximum : 68 à 70°C).

Une série de facteurs géologiques,

- l'existence au Nord d'un plan de chevauchement s'atténuant vers le Sud pour se transformer en pli-faille au niveau d'AIX-LES-BAINS,
- l'existence probable d'une faille de décrochement (Raphy-Saint-Simon),
- le fait que la voûte anticlinale d'AIX-LES-BAINS constitue un point bas des séries calcaires jurassiques et crétacées,

coïncident, pour faire de l'anticlinal d'AIX-LES-BAINS le premier point où ces eaux chaudes en charge, peuvent remonter à la surface. Cela se produit à la faveur du redressement des séries jurassiques et crétacées à cet endroit, et des fractures axiales qui affectent nécessairement ces séries. Ces fractures permettent notamment le passage de l'eau thermale du Jurassique supérieur dans l'Urgonien d'AIX-LES-BAINS (fig. 8).

A ce niveau, l'eau thermale se mélange avec des eaux froides de l'Urgonien (voir sondage de reconnaissance).

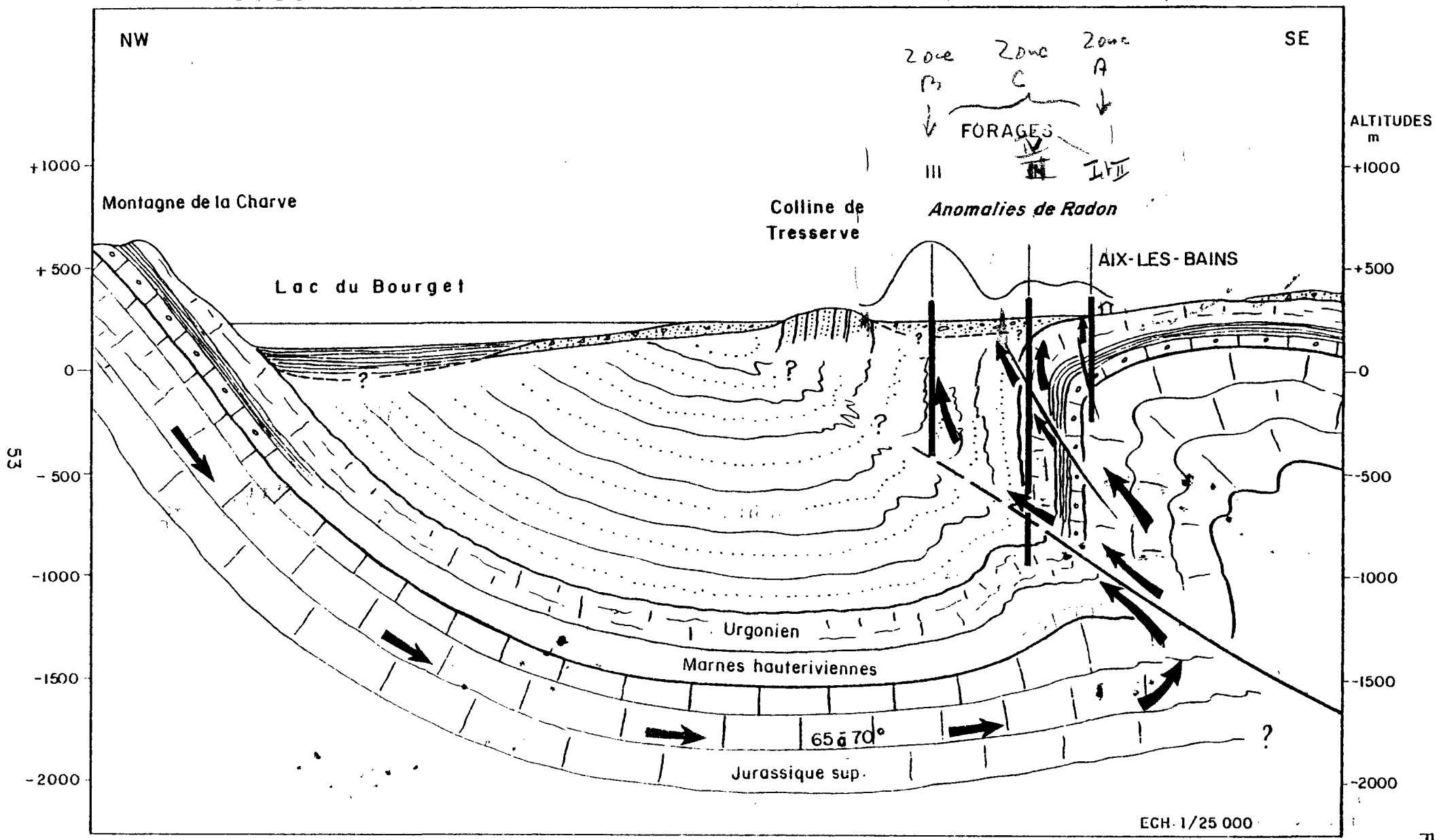
Une grande partie de ces eaux thermales mélangées voit le jour par les griffons d'Alun et de Soufre. La source Alun est à peine affectée par ce mélange ; elle est donc la plus représentative de l'eau thermale profonde. La source Soufre par contre, est nettement perturbée par des eaux riches en sulfates, superficielles et donc vulnérables à la pollution.

Par ailleurs, une partie de cette eau diffuse dans les calcaires (témoins : sources Docteur, source Cabinet, forage de reconnaissance, eau des Drains Nord et Sud).

Il convient de noter ici que, aussi bien le groupe de sources de Marlioz, que l'eau sulfureuse découverte dans le Petit Port, appartiennent à des systèmes complètement indépendants de celui des sources Alun et Soufre.

Les résultats de la campagne de prospection du radon dans les gaz des sols, ont

SYSTEME THERMAL D'AIX-LES-BAINS - SCHEMA DE SYNTHESE *Proie n° 4*



 Eau thermale
 Eau froide : superficielle et nappe de l'Urgonien

FIG. 18

R7 SGN 434 RHA

mis en évidence deux zones d'anomalies distinctes :

- l'une Est-Ouest, partant du Parc de l'établissement thermal, donc à la limite entre les séries urgoniennes et tertiaires redressées.
- l'autre Est-Ouest également, au niveau de l'extrémité Nord de la butte de Tresserve. Cette anomalie est beaucoup plus intense que la première ; elle est située entièrement dans les séries tertiaires redressées.

Selon le modèle de circulation proposé, ces anomalies correspondraient à des déversements d'eau thermale vers l'Ouest dans les séries tertiaires, à la faveur des fractures affectant le flanc redressé de l'anticlinal d'AIX-LES-BAINS.

RECOMMANDATIONS

Toutes les observations réalisées amènent à préconiser la réalisation d'un captage par forages.

Trois types d'emplacements de forages peuvent être définis (fig. 18). Leurs caractéristiques sont résumées dans le tableau ci-après.

Type	Objectif	Critère d'implantation	Profondeurs estimées	OBSERVATIONS
I	Base de l'Urgonien	Anomalie de radon et levers géologiques	≈ 200 m	Risque de vulnérabilité bactériologique minimisé mais non exclu
	Toit du Jurassique supérieur		≈ 400 m	Bonne protection probable
II	Urgonien subvertical : recouper un maximum de fractures	Anomalie de radon et levers géologiques	Impossible à préciser actuellement à déterminer en cours d'avancement du forage	Bonne protection ; coût supérieur au type I
III	Séries tertiaires redressées	Anomalie de radon	idem	<ul style="list-style-type: none"> - Coût probable comparable au type I - l'environnement géologique différent pourrait altérer la composition chimique recherchée

BIBLIOGRAPHIE

La plupart des documents consultés ont été mis à disposition par le Service des Mines de Chambéry, les Thermes Nationaux d'Aix-les-Bains, le Ministère des Affaires Sociales et de l'Emploi.

I - DOCUMENTS ANCIENS (antérieurs à 1956)

- Rapport de l'ingénieur FRANCOIS sur les travaux d'aménagement des captages des sources et bains d'Aix-les-Bains (1854 à 1860).

- Rapports de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie :

- . Deuxième rapport sur les sources thermales (de Novembre 1922 à Octobre 1924)
- . Troisième rapport (Novembre 1924 à Mars 1926)
- . Quatrième rapport (Avril 1926 à Septembre 1927)
- . Cinquième rapport (Octobre 1927 à Octobre 1928)
- . Sixième rapport (Octobre 1928 à Décembre 1929 inclus)

- Etudes diverses :

- . Le problème de l'origine des sources thermo-minérales d'Aix-les-Bains (Savoie) par L. MORET et G. SCHNEIDER - 1934
- . Idées nouvelles sur le problème géologique de l'origine des sources thermo-minérales d'Aix-les-Bains (Savoie) par L. MORET et G. SCHNEIDER - 1934

- . Conditions hydrodynamiques d'émergence des sources thermales d'Aix-les-Bains - G. SCHNEIDER - 1933
- . Variations de régime des sources thermales d'Aix-les-Bains - G. SCHNEIDER
- . Note explicative de la carte géologique au 1/10.000 des environs d'Aix-les-Bains - par J. FLANDRIN
- . Etude de la bande d'urgonien de la Chapelle-Saint-Victor - par J. FLANDRIN
- . "D'où vient l'eau soufrée d'Aix-les-Bains" - extrait de l'Echo de Savoie n° 13 du 28.3.1926
- . Carte géologique à 1/10.000 d'Aix-les-Bains
- . Coupe géologique entre Aix-les-Bains et Mouxy à 1/10.000, d'après J. FLANDRIN
- . Note "Amélie ou voyage à Aix-les-Bains" - des Mines de l'Etablissement thermal, 19.12.1923
- . Rapport de Mr le Professeur BORDAS sur les eaux d'Aix-les-Bains - 1923
- . Rapport géologique sur les causes de l'abaissement de la température des eaux thermales d'Aix-les-Bains - par J. REVIL, 28.02.1908
- . Etudes de Monsieur l'Ingénieur des Mines SCHNEIDER (de 1933 à 1935)
- . Les captages des sources thermales d'Aix-les-Bains par G. SCHNEIDER (1933)
- . Hydrogéologie des Eaux Minérales : étude critique - thèse doctorat Université de Lyon (Pharmacie 1942)
- . Ch. GORCEIX, 1922 : Répartition des températures dans le lac du Bourget - Revue Géographie Alpine, tome X

II - TRAVAUX RECENTS

- . B. BOSCH, J. DAZY et al. (1976) - Données nouvelles sur quelques sources thermo-minérales des Alpes françaises.
Congrès International : Thermal waters, geothermal energy and vulcanism of the Mediterranean sea - Athens 1976
- . J. DAZY et J.C. GRILLOT (1982) : le thermalisme péri-Alpin : exemple de la région savoyarde
Revue Géologie dynamique et Géographie physique - Vol. 23, fasc. 4, p. 319-328

- . A. DELAUNAY et J.P. RAMPNOUX (1981) : Les déformations du front des massifs des Bornes et des Bauges : analyse de la tectonique cassante de l'avant-pays savoyard
Bull. Soc. Géol. France, T XXIII, n° 2, p. 203-212

- . DOUDOUX et al. (1982) : Une interprétation nouvelle de la structure des massifs subalpins savoyards : nappes de charriage oligocènes et déformations superposées
C.R. Acad. Sciences, T 295, Série II, 63

- . P. GIDON (1959) : Hydrologie du Bassin d'Aix-les-Bains
Trav. Lab. Géologie, Faculté des Sciences de Grenoble

- . H. GRISOLLET (1961) : Notice climatologique sur Aix-les-Bains (Savoie)

- . M. LEPILLER (1975) : Données nouvelles concernant les émergences thermales ou sulfureuses de la région d'Annecy (Haute-Savoie) : Comparaison avec les Eaux thermales de la région d'Aix-les-Bains
Actes du 100e Congrès National des Sociétés Savantes, Paris, fasc. 1, p. 101-112

- . G. NICOUD (1980) : Sur l'origine des eaux thermo-minérales d'Aix-les-Bains (Savoie)
C.R. Acad. Sciences, Paris, T 291, série D-179

- . P. SEYER (1969) : Etude statistique du débit des sources thermales d'Aix-les-Bains
Revue de l'Industrie Minérale Française

- . P.M. de TRAVERSE et al. (1964) : Influence des précipitations sur la température et certains éléments des sources d'Aix-les-Bains
Ann. de l'Inst. d'Hydrologie et de Climatologie, T XXXII, n° 91, p. 107-114

III - RAPPORTS RECENTS

- B.R.G.M. (1977) : Projet d'utilisation du forage d'ESSO-REP, La Tailla 1, à Saint-Germain-la-Chambotte (73)
Rapport 77 SGN 122 JAL
- B.R.G.M. (1978) : Projet d'utilisation du forage d'ESSO-REP, La Tailla 1, à Saint-Germain-la-Chambotte (73)
Rapport 78 SGN 152 JAL
- SOGREAH (1964) : Thermes Nationaux d'Aix-les-Bains : Etude de la pollution des eaux des sources thermales (1962, 1963)
Rapport R 8648
- SOGREAH (1966) : Thermes Nationaux d'Aix-les-Bains : Etude de la pollution des eaux des sources thermales
(Campagne de sondages de Juin-Juillet 1966)
Rapport R 9342
- SOGREAH (1971) : Thermes Nationaux d'Aix-les-Bains : Etude de la pollution des eaux des sources thermales
Rapport de synthèse (1962-1971)
Rapport R 10442
- Université de Savoie (Sciences de la terre) (1985) : Hydrogéologie de la Montagne du Chat : Recherche sur l'origine de la pollution des sources captées

ANNEXE 1

ÉTUDE STRUCTURALE

1 - INTRODUCTION

Plusieurs hypothèses ont été émises depuis le début du siècle sur le schéma hydrogéologique qui détermine la présence d'eau thermo-minérale à AIX-LES-BAINS. Si la remontée des eaux dans l'Urgonien au droit des sources est assez bien expliquée, par contre, le cheminement souterrain est mal connu.

La présente étude a pour objectif de faire ressortir les éléments essentiels des connaissances géologiques actuelles du système et de les confronter avec une interprétation tectonique, notamment néotectonique, qui détermine l'ouverture de certaines familles de fractures.

2 - METHODOLOGIE

Le développement de cette étude a comporté les opérations suivantes :

- analyse des données bibliographiques existantes
- analyse stéréoscopique des photos aériennes au 1/15.000
- élaboration d'une carte géologique au 1/25.000 de la région à partir des cartes existantes au 1/50.000 (CHAMBERY et RUMILLY), complétées par des levés sur le terrain
- recueil de données structurales sur le terrain (fractures, failles, stratification) dans l'Urgonien, sur le site des sources et sur les massifs alentours (Voglans, Corsuet, Mont du Chat)
- analyse stéréographique des données structurales (stéréogrammes de Schmidt)
- intégration des données de l'interprétation du cliché satellite Landsat
- construction de coupes géologiques transversales au 1/25.000
- élaboration d'une carte "structurale" au 1/50.000
- synthèse structurale, esquisse tectonique
- construction d'un bloc diagramme
- schéma des circulations profondes en relation avec les données géologiques

3 - CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le lac du BOURGET se situe dans une large dépression synclinale encadrée par deux chaînes anticlinales : Mont du Chat à l'Ouest, et Chambotte-Corsuet à l'Est. Ces structures appartiennent au domaine jurassien. Les massifs subalpins commencent à l'Est avec le Mont Revard. Les caractères structuraux et lithologiques de ces deux régions et leurs relations sont largement décrits dans la bibliographie, aussi, ne seront-ils rappelés dans ce rapport que sur des cartes et des coupes géologiques.

Les sources thermales de MARLIOZ et d'AIX-LES-BAINS (Alun et Soufre) sont situées sur un bombement anticlinal de calcaire urgonien d'axe N 170 (anticlinal de la Roche du Roi). Celui-ci affleure sur un coteau isolé entre deux zones molassiques du Tertiaire à l'Est et à l'Ouest (fig. 1 HT). La source de RAPHY-St-SIMON est également issue de l'Urgonien, mais les conditions d'émergence et le contexte structural ne sont pas les mêmes qu'à AIX-LES-BAINS.

Au Nord, la montagne de Corsuet est un anticlinal à plongement axial vers le Sud. Il s'ennoie sous des alluvions quaternaires de la rivière du Sierroz, au Nord de la ville. Beaucoup plus au Sud, le massif urgonien de Voglans, éloigné de plusieurs kilomètres, constitue l'affleurement le plus méridional de cette chaîne abaissée.

4 - ANALYSE STRUCTURALE DETAILLEE

Un lever des structures (failles, diaclases, plans striés, joints de stratification) a été effectué en détail dans l'Urgonien des coteaux d'AIX-LES-BAINS et de BOIS-VIDAL, et de manière plus espacée dans la partie Sud périanticlinale de la montagne de Corsuet, et dans le massif de Voglans. Des mesures ont été faites également sur le flanc oriental du Mont du Chat et dans les formations tertiaires de Tresserve ; les stations de mesures sont repérées avec les principales indications structurales sur la carte au 1/10.000 (fig. 2 HT).

Au total, environ 500 mesures ont été collectées et analysées sur des stéréogrammes de Schmidt. Ces mesures permettent de souligner les points suivants :

* Plans de stratification

Les coteaux d'AIX-LES-BAINS montrent une assez grande régularité centrée N 168. La direction de la contrainte principale apparaît sensiblement Est-Ouest. Mais elle a pu varier, car il semble que deux familles de stries soient présentes, Est-Nord-Est, Ouest-Sud-Ouest et Nord-Ouest-Sud-Est ; leur superposition n'a pas été observée.

* Diaclases indifférenciées

La famille de fractures la plus représentée, est centrée N 125. Il s'agit soit de fractures restées irrégulières, karstifiées ou non et toujours peu étendues, soit d'un niveau de fissures denses parallèles (écartement de quelques centimètres à quelques décimètres), qui donne localement un débit parallélépipédique à la roche.

Les quatre autres familles, centrées N 15, N 45, N 60-80 et N 105, n'apparaissent pas toujours régulièrement.

* Failles et plans striés

La faille de Bois Vidal est bien identifiée, N 75-80, avec un jeu décrochant.

Les affleurements analysés sur les coteaux d'AIX-LES-BAINS montrent très peu de fractures avec des déplacements. Seules quelques paraclases, N 20-40, à jeu dextre, peuvent être signalées.

Les carrières d'Autogaz au Nord, montrent des fractures centrées N 138, à jeu principal dextre sur le flanc oriental du pli anticlinal de Corsuet.

* Secteur de Sierroz Nord

Un léger bombement anticlinal existe au sud-Ouest de Pont-Pierre, dont l'axe est environ N 165.

Trois familles de fractures sont présentes :

- . N 100-110, essentiellement des diaclases
- . N 115 et 25-40, diaclases et paraclases à jeu senestre
- . N 140-150, paraclases et petites failles décrochantes senestres

* La corrélation entre ces données structurales et celles recueillies aux alentours (anticlinal de Corsuet, massif de Voglans) permet de distinguer 5 familles de fractures, dont les caractères sont les suivants :

. Deux familles principales :

- N 60 - 80 : famille bien représentée par des diaclases, paraclases et failles à jeu dextre prédominant.
- N 100 - 130 : famille toujours présente sous forme de diaclases et paraclases souvent karstifiées, quelques failles polyphasées normales et/ou décrochantes dextres ou senestres.

. Trois familles secondaires ou locales :

- N 15 : diaclases subverticales peu nombreuses, mais toujours présentes et souvent ouvertes. Quelques paraclases et petites failles à mouvement dextre fréquent (failles N 15-25 à Voglans notamment).
- N 25 - 40 : quelques fractures ouvertes observées dans les gorges du Sierroz et à Voglans.

- N 140 - 150 : famille de fractures diverses partout présentes, rares sur les coteaux d'AIX. Les mouvements décrochants sont dextres ou senestres.

5 - COUPES GEOLOGIQUES

Trois coupes géologiques au 1/25.000 (cf. fig. 5 HT) ont été établies à partir des cartes géologiques existantes, des données de la bibliographie (notamment galerie du BOURGET, tunnels routiers et forage pétrolier de la Tailla), et de levés structuraux. Ces coupes sont notées du Nord au Sud T1, T2 et T3, sur la carte géologique au 1/25.000 (fig. 1 HT).

D'une façon générale, ces coupes montrent que le décollement de la couverture sédimentaire à faciès jurassien, sur le Trias et le socle hercynien, se traduit par une succession de plans de glissement qui déterminent des écaillés ou des pli-failles chevauchant vers l'Ouest. Les translations horizontales peuvent dépasser un kilomètre au Nord (cf. coupe T1).

A l'Est, le massif du Revard, qui constitue la bordure occidentale des chaînes subalpines, est probablement décollé sur 5 à 10 km (coupe T3).

Les données structurales essentielles pour chaque unité géomorphologique sont les suivantes :

* Chaîne de la Charve - Mont du Chat

Ce pli-faille montre un flanc oriental redressé et assez régulier. Aucun accident longitudinal important n'a été observé.

L'Urgonien karstifié couvre une grande partie du versant qui domine le lac. Le Jurassique supérieur (Portlandien et Kimméridgien) constitue l'ossature

de cette chaîne, avec une épaisse série de calcaires à zones dolomitiques, dont la karstification est en général moins développée que dans l'Urgonien.

Ce pli anticlinal présente d'une façon générale un plongement axial net vers le Nord.

* Dépression du lac du Bourget

Elle correspond à une structure synclinale ample dont le coeur est occupé par des formations tertiaires épaisses à faciès molassique. Le détail de cette structure est mal connu (faille longitudinale, replis ?). Il est probable que le point bas de cette structure se trouve à l'Est, près du pli-faille de Corsuet, voire sous le plan de chevauchement (coupe T1 et T2) ; sur la coupe T3, ce point bas serait situé au droit de la colline de Tresserve.

Il semble qu'un plongement axial existe du Nord vers le Sud (toit de l'Urgonien supposé vers la cote alt. -900 m sur T1 et T2, et la cote alt. -1200 m sur T3) ; mais un accident transverse (faille normale Est-Ouest) peut aussi expliquer ce décalage.

* Montagne de Corsuet

Il s'agit également d'un pli-faille dont les caractères ont été précisés par le forage profond de la Tailla (cf. coupe T1). Ce forage a montré qu'il existait une série allochtone chevauchant une série autochtone (cote alt. -1200m dans le forage). Cette dernière repose sur des formations du Lias et du Trias (réduits ?) discordantes sur le socle hercynien profond (vers la cote -3000 m). Par construction, la translation horizontale vers l'Ouest de la série allochtone, dépasse 1 km. Ce chevauchement sur les formations tertiaires entraîne une désolidarisation des séries calcaires karstifiées (Urgonien et Jurassique supérieur) entre la structure synclinale du Bourget et l'anticlinal de Corsuet. Cet accident important constitue un écran pour les circulations profondes, comme en témoignent les venues d'eau chaude (65°) rencontrées dans le Jurassique supérieur autochtone à la Tailla.

Ce pli-faille se poursuit vers le Sud (coupe T2) jusqu'à la rivière du Sierroz où il disparaît en dessinant une structure périantyclinale qui s'ennoie sous les alluvions quaternaires (torrentielles et glaciaires) et probablement tertiaires.

La coupe T3 fournit une interprétation du bombement anticlinal de la Roche du Roi : il s'agirait d'un pli-faille avec un flanc occidental subvertical fracturé (peut-être légèrement chevauchant sur les formations tertiaires à l'Ouest) et un flanc oriental peu incliné (10 à 20°) vers l'Est.

Cet anticlinal correspond à la poursuite vers le Sud du pli-faille de Corsuet, mais décalé horizontalement et verticalement. L'existence d'une faille Est-Ouest décrochante senestre doit être alors admise, entre le pli-faille de Corsuet et l'anticlinal de la Roche du Roi.

6 - SCHEMA STRUCTURAL

L'interprétation structurale est fournie par la carte au 1/50.000 (fig. 4 HT).

- Plis

Les deux chaînes anticlinales parallèles qui bordent le lac du BOURGET constituent la poursuite vers le Sud des chaînes du Grand Colombier à l'Ouest et du Gros Foug à l'Est. Les axes subméridiens au Nord prennent une direction N 160 au niveau du lac (Monts de la Charve et de Corsuet). Cette direction redevient méridienne au Mont du Chat ; elle est environ N 170 dans la région d'AIX-LES-BAINS et de VOGLANS.

- Fractures

Hormis les grands accidents en direction structurale qui déterminent les plans de chevauchement des plis jurassiens et des massifs subalpins décollés, il n'existe pas de grandes failles continues à l'échelle de la région.

Les failles les plus importantes, reconnues sur le terrain, sont réparties en 2 réseaux, obliques par rapport aux axes anticlinaux, et d'extension limitée aux plis.

. Le réseau principal, N 110-130 - représenté notamment par les failles actives de la Chambotte et du Col du Chat - est surtout développé dans le pli-faille de Corsuet. Il faut noter que les directions N 100 à N 135 sont largement exprimées à l'échelle de l'affleurement par des petites cassures (diaclasses et paraclases) dans toute la région.

. Le 2ème réseau de fractures, N 60-80 - représenté par :

* La faille du Bois Vidal (N 75)

Correspond au développement plus localisé mais dense de diaclasses et paraclases Est-Nord-Est - Ouest-Sud-Ouest à Est-Ouest, en particulier sur la structure périanticlinale de Corsuet et au Sud des gorges du Sierroz.

* La faille de Saint-Simon

L'existence d'une faille décrochante senestre Est-Nord-Est - Ouest-Sud-Ouest, doit être admise avec un coulissage horizontal apparent de près d'un km (?). Il est difficile d'expliquer autrement les relations entre la structure périanticlinale de Corsuet et la voûte anticlinale surbaissée d'AIX-LES-BAINS, avec à l'Ouest, des formations tertiaires subverticales. Celles-ci sont en direction conforme (environ N 170), et de ce fait, viennent buter au Nord, contre cet accident transverse. Cette faille, non décelable par ailleurs, sous des alluvions glaciaires et torrentielles épaisses, serait contemporaine des plissements. Il s'agirait d'un accident structural majeur, dont la direction probable est celle du Sierroz, c'est-à-dire N 70 (mais qui peut être Est-Ouest), qui délimite un compartiment abaissé au Sud jusqu'au massif de Voglans (faille Est-Ouest décrochante dextre hypothétique).

Une autre interprétation possible qui exclut l'existence de cette faille décrochante, s'appuie sur une relation non observable entre un léger bombement anticlinal d'axe subméridien disparaissant au Nord des gorges du Sierroz et l'anticlinal de la Roche du Roi.

* Faille du Col du Chat

Il est admis depuis longtemps que cet accident N 130 senestre est actif. Il recoupe l'anticlinal de la Charve dans une partie qui subit une légère torsion d'axe (10 à 20°).

Sa prolongation vers le Nord-Ouest en direction du Bugey est possible (non observée).

Le déplacement apparent horizontal le plus important se situe à l'Est, près du lac (plus de 100 m). Sa poursuite vers l'Est se heurte aux formations tertiaires redressées de Tresserve, aussi, cette faille doit-elle s'amortir rapidement sous le lac et n'avoir aucune liaison avec les structures orientales.

7 - TECTONIQUE

7.1 - RESUME DES DEFORMATIONS REGIONALES

- Premiers mouvements importants dès le Crétacé supérieur - Oligocène inférieur.
- Oligocène : plissement dans les zones internes qui créent une aire de distension suivant une direction subméridienne. Amorce des premiers plissements dans les zones subalpines et jurassiennes.
- Orogenèse mio-pliocène responsable des grands mouvements tangentiels

vers l'Ouest et le Nord-Ouest avec un déversement des plis.

- Les mouvements tardifs plio-quadernaires et même actuels ne modifient guère les structures.

7.2 - ESQUISSE TECTONIQUE (figure 3 HT)

Les failles décrochantes transverses sont nées pendant le plissement et l'écaillage de la couverture sédimentaire décollée vers l'Ouest.

- Les deux réseaux bien visibles sur le terrain et sur les photos aériennes et satellitaires, N 60-80 et N 110-130, traduisent une déformation cassante liée à l'activité tangentielle, avec une direction de compression σ_1 sensiblement Est-Ouest et une distension σ_2 subméridienne.

Les données structurales de terrain ne confortent pas toujours cette "loi régionale" ; ceci est dû à des variations locales des contraintes, variations déterminées probablement par des failles pré-existantes dans le socle hercynien (ou failles alpines précoces ?) et réactivées. Il semble que les contraintes compressives actuelles, qui provoquent les tremblements de terre et l'activité de la faille du Col du Chat (la plus marquée) aient subi une légère rotation horaire de 10 à 20° au niveau du compartiment tectonique abaissé d'AIX-LES-BAINS (cf. schéma fig. 4).

L'histoire tectonique locale est complexe et difficile à étayer - aussi, retiendrons-nous que le champ de contraintes régional détermine l'ouverture préférentielle des failles Est-Ouest, c'est-à-dire des 2 réseaux conjugués N 60-80 et N 110-130.

- Les cassures N 10 à N 30, exprimées essentiellement par des diaclases et des paraclases perpendiculaires aux joints de stratification correspondent à une fracturation axiale classique sur les plis.

N.B. Quelques fractures monophasées (parfois polyphasées) indiquent un mouvement décrochant souvent dextre qui traduit localement un régime de compression Nord-Sud (Sierroz et massif de Voglans). Il n'est pas possible d'établir si cette direction subméridienne, - observée par ailleurs en télédétection -, est apparue antérieure ou postérieure à l'époque oligocène. Les fractures N 150-160, qui paraissent anciennes, peuvent être induites par la distension subméridienne. Nous retiendrons que la direction régionale de la contrainte actuelle (Est-Ouest) a tendance à fermer les fractures N 10 à 30 et N 150 à 160, fractures qui par ailleurs ne montrent jamais de grands développements.

8 - SCHEMAS DE CIRCULATION DES EAUX THERMALES (fig. 6)

L'origine des eaux est à rechercher dans la zone jurassienne, dans un éventail qui couvre le quart Nord-Ouest déterminé par le pli de Corsuet au Nord, et la faille du Col du Chat à l'Ouest.

Le Jurassique supérieur calcaire, épais, fracturé et karstifié, constitue l'aquifère qui fournit les eaux chaudes, comme en témoigne le forage de la Tailla près de la Chambotte au Nord (cf. coupe T1, fig. 5).

- * L'hypothèse d'une relation entre les sources d'eau chaude d'AIX-LES-BAINS et les eaux infiltrées dans le pli-faille de la Chambotte-Corsuet paraît peu probable. Ceci nécessite en effet que les eaux circulant dans la série chevauchante rejoignent la série autochtone et franchissent la faille de St-Simon (Est-Nord-Est - Ouest-Sud-Ouest). Si cela paraît peu envisageable pour les circulations profondes, par contre les eaux de la source de St-Simon, beaucoup moins chaudes, donc moins profondes, trouvent probablement leur origine dans la structure périantyclinale de Corsuet et son flanc oriental replissé et peut-être faillé au niveau du Sierroz) ; les circulations resteraient dans la série allochtone (Jurassique, voire Crétacé inférieur) avant de remonter à la faveur de cet accident transverse jusqu'aux alluvions quaternaires.

* L'hypothèse la plus vraisemblable pour les sources Alun et Soufre est une alimentation par le Jurassique supérieur du pli-faille de la Charve au Nord de la faille du Col du Chat. C'est la thèse de MM. GIDON et NICOUD. Les eaux infiltrées sur la montagne de la Charve - voire le Mont Landard vers St-Pierre-de-Curtille - migrent vers l'Est dans les calcaires du Portlandien et du Kimméridgien du flanc oriental du pli jusqu'au fond du synclinal, sous le lac du Bourget et sous la structure chevauchante de la Chambotte-Corsuet. Ces eaux atteignent ici plus de 1 500 m de profondeur (près de 2 000 m à la Tailla) et sont en charge. Vers l'Est, elles n'ont guère la possibilité de remonter car les structures plongent dans cette direction sous des formations tertiaires épaisses. Par ailleurs, le plan de chevauchement du pli-faille constitue un écran qui piège l'eau en profondeur, au droit de la chaîne de la Chambotte-Corsuet. Ce n'est donc qu'à la faveur des failles transverses et/ou d'une continuité structurale (calcaires karstifiés du Jurassique supérieur, du Valanginien et de l'Urgonien) que la remontée des eaux peut se produire. C'est le cas à AIX-LES-BAINS avec les failles de St-Simon - et peut-être du Bois-Vidal - et les structures subverticales fracturées sur le flanc occidental de l'anticlinal de la Roche du Roi (cf. coupe géologique, fig. 5, et bloc diagramme, fig. 6). Ce dernier, par ailleurs, présente avec sa voute urgonienne surbaissée, un point bas favorable pour les émergences dans cette région.

Il faut mettre à part les petites sources froides de Marlioz qui, bien que minéralisées, ne peuvent pas avoir d'origine profonde. L'aquifère ne semble pas être l'Urgonien, mais plutôt l'Oligocène plaqué sur celui-ci. Cette hypothèse reste à démontrer.

ANNEXE 2

ÉTUDE DU CLICHÉ DU SATELLITE LANDSAT

1 - INTRODUCTION

L'étude de la fracturation d'échelle hectométrique à plurikilométrique affectant les terrains sédimentaires de la région d'AIX-LES-BAINS, a été abordée par le biais d'une analyse de l'imagerie satellitaire Landsat Thematic Mapper.

L'interprétation "téléstructurale" a été confortée par une collecte de données de terrain.

2 - DONNEES UTILISEES

2.1 - CHOIX DU TYPE DE CAPTEUR

L'imagerie satellitaire aujourd'hui disponible permet à l'utilisateur un choix important tant du point de vue de la résolution spectrale que de la résolution spatiale. Pour ce seul dernier paramètre, l'éventail des données disponibles passe par des images dont la résolution au sol (c'est-à-dire le plus petit objet distinguable) va de 2 000 par 2 000 mètres (satellites météorologiques), à 20 par 20 mètres et même 10 par 10 mètres (satellite Spot, mode panchromatique).

La rapidité d'accès aux données et la précision cartographique désirée ont conduit à l'utilisation de données Landsat Thematic Mapper.

La scène retenue (196/28) a été acquise le 30 Juillet 1985. Elle présente une excellente qualité radiométrique due en particulier à l'absence totale de couverture nuageuse.

2.2 - L'IMAGERIE LANDSAT TM

L'imagerie Landsat TM (Thematic Mapper) présente une résolution au sol de 30 mètres par 30 mètres pour six de ses canaux, allant du visible à l'infrarouge,

et une résolution de 120 par 120 mètres pour un canal "thermique". La représentation visuelle de ce type de données est obtenue par une composition colorée où les trois couleurs fondamentales (vert, rouge, bleu) sont attribuées à trois canaux spectraux.

Dans une telle composition trichromique, l'information décrivant un objet dans les trois bandes spectrales est déterminée par une couleur unique sur l'image résultat : la fonction qui permet de réaliser une composition colorée à partir de trois images spectrales, auxquelles sont affectées les trois couleurs primaires, est une bijection.

Une sélection parmi les 7 canaux de Landsat TM a dû être effectuée afin d'obtenir sur une composition trichromique, le maximum de complémentarité des canaux.

Une étude statistique globale préliminaire a montré que la plus riche complémentarité des réponses spectrales était à attendre dans la sélection suivante :

- le canal 4,
- un canal du visible (1, 2 ou 3),
- un canal du moyen infrarouge (7 ou 5),
- le canal 6 (thermique).

Dans le cas présent de recherche de fracturation en relation avec des remontées d'eaux thermominérales, il semblerait a priori intéressant d'utiliser l'information apportée par le canal 6. Pourtant, des essais déjà réalisés dans ce domaine, et surtout la température de remontée des eaux de l'ordre de 40 à 45° en milieu urbain (c'est-à-dire très peu différent du "bruit de fond" des températures au mois de Juillet en agglomération), imposent de rejeter cette solution.

Valorisant bien le phénomène "fracturation", la trichromie retenue est obtenue par la composition colorée suivante :

- canal 4 en rouge,
- canal 5 en vert,
- canal 2 en bleu.

Pour obtenir une lisibilité maximum, les trois canaux subissent un étalement de dynamique linéaire.

L'image résultat est portée à l'échelle de 1/50.000. Elle est, sur le site d'étude, pratiquement géométriquement conforme avec le fond topographique IGN correspondant.

3 - INTERPRETATION "TELESTRUCTURALE"

L'interprétation est appuyée sur des critères morphologiques classiques, en particulier pour les milieux jurassiques et crétacés marqués par un fort relief. Sur les milieux tertiaires et surtout au sein des épandages glaciaires, d'autres critères indirects peuvent devenir prépondérants, comme : des arrangements particuliers du parcellaire, la couleur des sols nus, des alignements dans le réseau hydrographique, etc.

Globalement, les discontinuités linéamentaires reconnues s'allongent sur des distances allant de quelques hectomètres à quelques kilomètres (cf. planche en Annexe).

Ces discontinuités s'organisent en trois grandes familles directionnelles :

- Une famille Nord-Est - Sud-Ouest à Est-Ouest :

Elle est formée de discontinuités linéamentaires de taille essentiellement kilométrique qui peuvent se disposer en longs faisceaux :

- . un faisceau allant de Grésy-sur-Aix à Cussy,
- . un faisceau allant de Tresserve à Le Revard

- Une famille Ouest-Nord-Ouest - Est-Sud-Est à Nord-Ouest - Sud-Est :

Elle présente une fréquence identique à celle de la famille décrite précédemment. De même, elle s'organise en faisceaux pouvant atteindre,

voire dépasser, la dizaine de kilomètres :

- . un faisceau allant d'Aix-les-Bains à Plainpalais,
- . un faisceau allant de St-Germain-la-Chambotte à Mognard.

- Une famille Nord-Nord-Ouest - Sud-Sud-Est à Nord-Nord-Est à Sud-Sud-Ouest

Elle est surtout représentée à proximité de la montagne du Semnoz où elle pourrait correspondre à des effets secondaires du chevauchement des chaînes subalpines. Elle est cependant également présente au Nord d'AIX-LES-BAINS sur la montagne de la Biolle et sur les chaînons jurassiques à l'Ouest du lac du Bourget. Dans ces derniers cas, les discontinuités de direction Nord-Nord-Ouest - Sud-Sud-Est sont le plus souvent isolées et s'allongent sur des distances allant de la centaine de mètres au kilomètre.

4 - TECTONIQUE REGIONALE

A. DELAUNAY et J.P. RAMPNOUX (1981) mettent en évidence "d'après la fracturation, un champ de contrainte dont les axes compressif de direction N 90E et extensif de direction N 180E, sont situés dans un plan horizontal. Ces directions de contraintes sont compatibles avec les structures plicatives régionales". Ces contraintes ont engendré une fracturation conjuguée de direction moyenne N 120E à N 80E. C'est près de cette fracturation fini-miocène majeure que "se localise la séismicité actuelle, ce qui conduit à considérer que ces cassures ont un rejeu actuel enregistrant les contraintes compressives du bâti alpin, avec des directions proches de celles développées à la fin du Tertiaire".

Il apparaît donc que, au moins d'un point de vue directionnel, les deux familles de discontinuités Nord-Est - Sud-Ouest à Est-Ouest et Ouest-Nord-Ouest - Est-Sud-Est à Nord-Ouest - Sud-Est, se corrèlent bien avec cette fracturation conjuguée fini-miocène.

5 - OBSERVATIONS DE TERRAIN

5.1 - LES FRACTURATIONS NORD-EST - SUD-OUEST à EST-OUEST et OUEST-NORD-OUEST - EST-SUD-EST à NORD-OUEST - SUD-EST

La petite fracturation, là où elle est mesurée, coïncide très bien avec les discontinuités linéamentaires les plus proches des stations de mesure.

Il apparaît clairement (comme le laissaient supposer les données bibliographiques) que la famille directionnelle Nord-Est - Sud-Ouest à Est-Ouest correspond à une fracturation de jeu en décrochement dextre. De même, la famille directionnelle Ouest-Nord-Ouest - Est-Sud-Est à Nord-Ouest - Sud-Est, correspond à une fracturation de jeu en décrochement senestre.

Par ailleurs, les seules observations de calcite cristallisée dans des fentes en ouverture, le sont le long de plans de direction N 115°E à N 120°E.

Ces données de terrain corroborent donc bien la relation entre les deux familles de discontinuités linéamentaires et la fracturation fini-miocène qui correspondrait à un régime de contrainte dont les axes de compression de direction N 90°E et d'extension de direction N 180°E sont situés dans un plan horizontal.

5.2 - LES FRACTURES SUBMERIDIENNES

Les observations faites sur les affleurements montrent l'existence locale d'une fracturation de direction moyenne N 15°E à N 30°E dont le jeu le plus récent est systématiquement senestre. Ces jeux senestres à déplacements subhorizontaux (stries très peu pentées) correspondent à un régime de compression sensiblement Nord-Sud.

Malheureusement, aucune relation de chronologie relative n'a pu être établie sur les affleurements visités entre cette fracturation subméridienne et le système

de fracturation conjuguée relatif à une compression Est-Ouest. Aussi, est-il impossible de dire si cette fracturation N 15°E à N 30°E a été engendrée lors d'une phase de compression Nord-Sud pyrénéenne, donc antérieurement à la mise en place des plis subalpins miocènes, ou lors d'une phase de compression Nord-Sud tardive post-miocène.

6 - CONCLUSION

L'interprétation de l'imagerie satellitaire Landsat Thematic Mapper a permis la reconnaissance de trois familles directionnelles de discontinuités. Bien qu'individuellement, chaque structure identifiée n'ait pas été l'objet d'une vérification du sol, les observations de terrain permettent de montrer que deux de ces familles directionnelles correspondent au système de fractures conjuguées (Nord-Est - Sud-Ouest à Est-Ouest et Ouest-Nord-Ouest - Est-Sud-Est à Nord-Ouest - Sud-Est) ayant joué ou rejoué lors de la phase de compression Est-Ouest finimiocène.

La troisième famille de discontinuités est à mettre en relation avec des fractures locales subméridiennes (Nord-Sud à Nord-Nord-Est - Sud-Sud-Ouest) dont le jeu le plus récent en décrochement senestre est compatible avec une direction de compression Nord-Sud.

ANNEXE 3

PROSPECTION DU RADON
DANS LES GAZ DES SOLS

1 - METHODE DE PRELEVEMENT DU RADON DES GAZ DES SOLS

Il s'agit d'une technique de terrain adaptée et mise au point par le B.R.G.M.

Les gaz des sols sont prélevés au moyen de cannes de prélèvement qui se composent d'un tube de 65 cm de longueur et de 1,5 cm de diamètre, avec, à l'intérieur, une tige pleine de 80 cm de longueur :

- mise en place de la canne de prélèvement : la canne est enfoncée au moyen d'une masse jusqu'à 75 cm de profondeur.
- extraction de la partie centrale : la tige pleine centrale est retirée, laissant ainsi un trou de 75 cm de profondeur, tubé sur 60 cm et en découvert sur les 15 derniers centimètres.
- raccordement du système : canne de prélèvement, fiole et pompe à vide manuelle,
- aspiration du gaz des sols : (10 fois environ le volume de la fiole).

On réalise une circulation des gaz à échantillonner au travers de la fiole de prélèvement chassant ainsi l'air qui y était contenu.

2 - METHODE DE MESURE

L'activité des fioles scintillantes est ensuite comptée dans un scintillomètre.

Les teneurs initiales (au moment du prélèvement) en radon, sont calculées connaissant le rendement des fioles et du scintillomètre, et en tenant compte de la désintégration naturelle du radon.

Nous utilisons le $\text{pCi/l} = 10^{-12} \text{ Ci/l}$, comme unité de concentration (le curie est l'activité de 1 g de radium, soit $3,7 \times 10^{10}$ désintégrations par seconde).

Notons enfin qu'à 1 pCi/l correspond une concentration de : $6,5 \cdot 10^{-13}$ ppm de radon (17.460 atomes/litre).

3 - DEROULEMENT D'UNE CAMPAGNE DE PROSPECTION

Certains paramètres peuvent modifier les teneurs des gaz des sols : pression atmosphérique, pluie, humidité du sol. Des variations importantes peuvent être enregistrées sur plusieurs mois d'intervalle, en fonction des conditions climatiques et météorologiques lors des mesures. Pour faire abstraction de ces variations éventuelles au cours d'une prospection, des "points de base" ont été fixés sur lesquels des contrôles systématiques en début de journée ont été effectués. Le recalage des mesures journalières permet d'obtenir un ensemble de valeurs homogènes et cohérentes qui autorise ainsi les comparaisons ultérieures et l'élaboration des cartes d'anomalie finales.

4 - TRAITEMENT DES RESULTATS

Un traitement informatique des teneurs mesurées permet de visualiser et de synthétiser les informations recueillies sous la forme d'une carte couleur. Cette procédure, entièrement automatisée, se déroule en exécutant les phases suivantes : numérisation, saisie des données et traitement :

- Numérisation :

- * Les informations (routes, rivières, localités...) permettant de se repérer sur la carte, sont saisies sur une table à numériser et stockées dans des fichiers auxquels on associe une épaisseur et un type de trait, ainsi qu'une couleur,

* Le numéro et la position des prélèvements sont saisis de manière identique sur la table à numériser.

- Saisie des données :

* Les données (teneurs mesurées) sont introduites en conversationnel ; elles sont associées à un numéro de prélèvement.

- Traitement graphique :

* Ce traitement consiste à superposer :

- . le fond de carte digitalisé,
- . la position et les numéros des prélèvements,
- . les courbes d'isoteneur obtenues par interpolation.

* Le logiciel LUCAS est mis en oeuvre pour réaliser ce traitement.

<u>n° du point de mesure</u>	<u>Teneur en pCi/l</u>	<u>n° du point de mesure</u>	<u>Teneur en pCi/l</u>
1	4 293	39	213
2	269	40	835
3	2 536	41	494
4	1 694	42	762
5	10 479	43	595
6	241	44	577
7	2 156	45	799
8	590	46	991
9	2 807	47	404
10	660	48	1 241
11	871	49	1 144
12	2 286	50	1 257
13	1 175	51	654
14	555	52	707
15	723	53	116
16	785	54	478
17	602	55	882
18	629	56	181
19	380	57	732
20	404	58	746
21	413	59	99
22	329	60	446
23	368	61	828
24	550	62	733
25	545	63	312
26	2 205	64	1 755
27	948	65	1 372
28	211	66	644
29	1 150	67	1 015
30	1 170	68	783
31	411	69	1 344
32	164	70	650
33	800	71	121
34	154	72	1 801
35	4 547	73	1 616
36	136	74	299
37	463	75	791
38	1 881	76	1 284

<u>n° du point de mesure</u>	<u>Teneur en pCi/l</u>	<u>n° du point de mesure</u>	<u>Teneur en pCi/l</u>
77	599	115	464
78	433	116	1 451
79	1 417	117	374
80	584	118	172
81	1 665	119	568
82	1 163	120	3 137
83	966	121	2 318
84	195	122	1 984
85	1 866	123	428
86	1 273	124	21
87	1 539	125	1 147
88	1 623	126	462
89	1 435	127	183
90	687	128	385
91	1 342	129	18
92	132	130	20 555
93	885	131	21 675
94	622	132	18 779
95	1 336	133	7 113
96	83	134	2 574
97	81	135	7 506
98	1 235	136	5 520
99	437	137	980
100	942	138	1 706
101	371	139	1 289
102	1 059	140	507
103	1 129	141	7 348
104	1 238	142	6 731
105	373	143	246
106	1 638	144	3 308
107	480	145	5 018
108	647	146	3 768
109	903	147	248
110	330	148	368
111	238	149	471
112	12 871	150	958
113	986	151	1 024
114	1 492	152	648

<u>n° du point de mesure</u>	<u>Teneur en pCi/l</u>	<u>n° du point de mesure</u>	<u>Teneur en pCi/l</u>
153	561	191	5
154	343	192	11 787
155	146	193	666
156	255	194	469
158	867	195	110
159	422	196	678
160	869	197	880
161	874	198	3 991
162	662	199	658
163	35	200	3 247
164	59	201	172
165	652	202	257
166	1 073	203	11 044
167	331	204	2 038
168	501	205	7 920
169	1 075	206	11 857
170	282	207	227
171	4 144	208	599
172	344	209	2 465
173	5 692	210	994
174	5 212	211	236
175	273	212	1 505
176	8 351	213	961
177	928	214	365
178	335	215	643
179	371	216	348
180	1 218	217	1 940
181	100	218	3 119
182	2 425	219	491
183	2 400	220	55
184	1 591	221	1 092
185	331	222	136
186	25	223	537
187	1 925	224	433
188	271	225	156
189	353	226	262
190	192	227	15

<u>n° du point de mesure</u>	<u>Teneur en pCi/l</u>	<u>n° du point de mesure</u>	<u>Teneur en pCi/l</u>
228	436	266	5
229	1 249	267	2 952
230	711	268	781
231	2 416	269	599
232	161	270	3 001
233	20	271	756
234	11 329	272	697
235	1 580	273	6 777
236	3 726	274	3 300
237	1 321	275	44
238	492	276	1 058
239	4 115	277	905
240	2 847	278	6 699
241	1 372	279	941
242	4 222	280	1 282
243	533	281	7 639
244	472	282	2 259
245	11 762	283	54
246	2 168	284	481
247	18 030	285	1 342
248	2 037	286	4 305
249	1 337	287	3 396
250	1 436	288	986
251	351	289	5 118
252	308	290	718
253	1 360	291	1 023
254	400	292	322
255	760	293	2 274
256	324	294	1 469
257	953	295	348
258	497	296	9 881
259	434	297	1 119
260	3 375	298	2 814
261	2 366	299	267
262	680	300	470
263	?	301	460
264	1 316	302	1 683
265	72	303	2 117

<u>n° du point de mesure</u>	<u>Teneur en pCi/l</u>	<u>n° du point de mesure</u>	<u>Teneur en pCi/l</u>
304	4 128	343	33 270
305	8 039	344	27 555
306	6 146	345	8 179
307	8 370	346	27 593
308	16 534	347	11 905
309	1 453	348	3 112
310	2 116	349	10 577
311	3 821	350	6 775
312	3 349	351	1 445
313	546	352	6 678
314	41	353	7 586
315	1 436	354	421
316	64	355	397
317	12 145	356	677
318	2 422	357	468
319	2 299	358	62
320	3 444	359	219
321	9 232	360	418
322	1 745	361	210
323	987	362	513
324	4 534	363	487
325	14 303	364	764
326	6 387	365	802
327	9 035	366	616
328	697	367	342
329	10 863	368	301
330	1 014	369	302
331	37	370	877
332	3 869	371	5 720
333	7 114	372	581
334	1 833	373	35
335	5 025	374	559
336	13 374	375	763
337	10 990	376	668
338	6 795	377	539
339	7 129	378	2 115
340	9 379	379	565
341	15 635	380	450
342	33 352	381	215

<u>n° du point de mesure</u>	<u>Teneur en pCi/l</u>	<u>n° du point de mesure</u>	<u>Teneur en pCi/l</u>
382	701	420	163
383	977	421	2 448
384	810	422	857
385	695	423	850
386	457	424	1 811
387	625	425	1 740
388	668	426	979
389	548	427	760
390	830	428	48
391	988	429	386
392	417	430	647
393	745	431	127
394	455	432	945
395	427	433	1 325
396	210	434	244
397	1 283	435	474
398	78	436	2 180
399	2 665	437	1 081
400	6 127	438	1 770
401	2 048	439	1 971
402	20 647	440	1 876
403	10 602	441	1 965
404	1 651	442	468
405	1 159	443	882
406	2 343	444	2 847
407	857	445	4 988
408	2 074	446	657
409	100	447	441
410	698	448	1 049
411	241	449	347
412	128	450	4 515
413	413	451	1 455
414	294	452	664
415	905	453	13 019
416	1 241	454	1 150
417	1 500	455	7 332
418	398	456	5 277
419	900	457	762

<u>n° du point de mesure</u>	<u>Teneur en pCi/l</u>	<u>n° du point de mesure</u>	<u>Teneur en pCi/l</u>
457	762	496	7 535
458	1 045	497	1 914
459	745	498	4 854
460	2 312	499	7 749
		500	4 620
461	718	501	591
462	128	502	7 015
463	348	503	6 611
464	9 060		
465	423		
466	587		
467	1 068		
468	735		
469	673		
470	754		
471	915		
472	76		
473	544		
474	994		
475	40		
476	4 706		
477	591		
478	222		
479	7		
480	1 430		
481	70		
482	482		
483	192		
484	70		
485	96		
486	1 103		
487	362		
488	253		
489	457		
490	450		
491	201		
492	640		
493	380		
494	499		
495	42		

DOSAGE DU RADON DANS L'ATMOSPHERE
AU-DESSUS DES SOURCES ALUN ET SOUFRE

Nom	pCi/l
Source ALUN	4 576
	4 462
	3 888
Source SOUFRE	293
	182
	136

ANNEXE 4

HYDROGÉOCHIMIE

RÉSULTATS DES MESURES ET
ANALYSES CHIMIQUES

METHODOLOGIE ANALYTIQUE

1 - MESURES IN SITU

- température (°C): avec un thermomètre électronique,
- conductivité électrique à 20°C; avec un conductimètre, réalisant la compensation automatique de température,
- pH avec un pH mètre millivoltmètre
tans tampons,
- oxygène dissous : O₂ (mg/l) au moyen d'un oxymètre portatif.

2 - MESURES IN SITU DES ESPECES REDUITES DU SOUFRE

Pour le dosage sur le site des espèces réduites du soufre, on utilise une méthode potentiométrique développée par BOULEGUE (1979), puis BOULEGUE et POPOFF (1980). L'échantillon est filtré à 0,45 m, amené au pH adéquat par addition de soude ou d'acide acétique, et est titré avec une solution de chlorure mercurique. Les variations de potentiel enregistrées par une électrode spécifique Ag/Ag₂S permettent de déterminer les espèces suivantes : sulfures, sulfures organiques, polysulfures, thiosulfates, sulfites.

Les titrations sont réalisées à la température de l'émergence dans une cellule thermostatée et sous circulation d'azote afin de prévenir toute oxydation en cours de dosage. Une chaîne de titration comportant un enregistreur couplé à une microburette automatique est utilisée.

3 - ECHANTILLONAGE

Pour l'analyse des éléments majeurs et éléments traces :

- filtration des eaux à 0,45 m par pression : on filtre systématiquement les échantillons à prélever afin de supprimer toute particule en suspension qui pourrait, lors du stockage, repasser en solution et, faire perdre de ce fait à l'échantillon, toute sa représentativité,
- acidification pour l'analyse des cations et éléments traces afin de prévenir toute précipitation susceptible de se produire dans le flacon pendant le stockage.

Pour analyse isotopique :

- Tritium, oxygène, Deuterium :

500 cc d'eau sont prélevés dans des flacons de polyéthylène remplis à reflux qui sont ensuite hermétiquement fermés.

- Oxygène, sulfate, soufre sulfate, soufre sulfure :

1 000 cc sont prélevés dans des flacons de polyéthylène contenant de l'acétate de cadmium.

TABLEAU 1 - MESURES PHYSICOCHIMIQUES IN SITU

	Températ.	Conduct.	Débit	pH	eH	O ₂ dis.
	°C	µS/cm	l/mn		mV	mg/l
Source Docteur *	23.9	625	0	6.89	113	6.8
Source Cabinet *	28.0	646	7.5	7.11	110	5.9
Alun *	43.8	691	2 238	6.50	-320	0.25
Soufre *	39.3	715	885	6.62	-278	0.25
Esculape *	10.8	918	1,0	6.86	-295	1.2
Bonjean *	10.7	890	0.97	6.25	-287	1.7
Pollet *	9.6	425	>2 000	7.23	58	10.4
Drain Nord *	12.6	866	10	6.77	-	8.4
Drain Sud *	10.9	790	16.2	6.80	-	9.3
Petit Port **	11.4	713	-	6.56	-284	-
Lac Aix **	6.1	360	-	6.97	116	-
Puits **	11.0	690	-	7.02	080	-
Gerle ***	8.1	100	>6 000	7.08	112	11.8
Conjux ***	11.4	568	-	7.04	203	6.3
Hautecombe **	8.4	484	-	7.33	120	10.5
Rigolet ***	9.6	376	-	7.17	110	9.5
Victoria ***	10.9	698	-	6.85	110	5.5
Forage parc (85 m)	22.6	546	-	7.52	-	-
Forage parc (109m)	23.2	555	-	7.46	-	-
Forage parc (127m)	23.3	562	-	7.40	-	-
Forage parc (153m)	23.8	581	-	7.55	-	-
Forage La Tailla	10	282	-	7.8	-	2

* Prélèvements et mesures : 22/12/86

** Prélèvements et mesures : 13/03/87

*** Prélèvements et mesures : 16/02/87

Forage du Parc : Prélèvements et mesures : 15 au 19/05/87

Forage de la Tailla : Prélèvements et mesures : 21/05/87

TABLEAU 2 - ANALYSES CHIMIQUES (en mg/l)

Eléments	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	NH ₄	NO ₂	F	PO ₄	SiO ₂
Seuil de détection	0.1	0.1	0.2	0.1	6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01	0.2	0.2	0.1
Source Docteur	106.3	10.7	15.4	4.0	284.	19.8	76.8	7.5	<	0.06	0.4	<	16.6
Source Cabinet	107.7	12.3	16.9	4.0	281.	20.7	84.0	6.9	<	0.08	0.4	<	17.7
Alun	99.0	19.1	24.7	3.6	262.	20.0	134.0	<	0.2	<	0.7	<	23.0
Soufre	108.3	18.1	25.6	4.0	268.	20.4	152.0	<	<	0.04	0.8	<	22.1
Esculape	101.8	17.1	81.1	4.4	339.	43.7	163.0	<	0.3	<	1.0	<	14.4
Bonjean	108.0	15.5	70.6	3.9	335.	38.5	132.0	<	<	<	0.9	<	13.6
Pollet	72.3	9.8	0.8	0.3	255.	2.2	19.6	2.1	<	<	<	<	4.2
Drain Nord	145.6	8.9	22.3	3.1	387.	58.2	46.2	24.6	<	<	<	<	8.7
Drain Sud	155.2	7.0	7.7	2.2	415.	24.0	57.8	14.1	<	<	<	<	8.6
Source Petit Port	140.0	11.0	12.0	2.8	462.	18.0	24.0	<	1.1	<	<	<	10.1
Lac Aix	65.0	6.1	6.0	2.1	206.	8.3	18.5	0.8	<	0.40	0.3	<	2.4
Puits	140.0	8.9	13.6	4.0	390.	22.0	50.0	23.0	<	<	0.2	<	9.3
Gerle	65.0	2.3	0.4	<	190.	1.6	5.1	2.6	-	-	-	-	2.
Conjux	105.0	18.4	4.0	2.1	370.	3.9	22.1	4.2	-	-	-	-	11.
Hautecombe	105.0	3.5	5.0	1.3	295.	14.0	13.4	3.5	-	-	-	-	5.
Rigolet	85.0	3.2	0.5	0.2	252.	1.3	0.6	8.0	-	-	-	-	4.
Victoria	122.5	16.5	11.0	7.0	360.	25.8	30.5	30.2	-	-	-	-	11.
Forage parc (85 m)	105.6	12.5	11.6	3.6	292.6	13.5	80.7	0.8	-	0	-	<	8.8
Forage parc (109 m)	106.6	11.9	12.4	3.6	252.6	15.2	82.8	1.0	-	0	-	<	9.1
Forage parc (127 m)	105.6	12.5	17.1	3.7	288.9	16.5	89.6	1.5	-	0	-	<	10.6
Forage parc (153 m)	96.7	14.9	27.2	4.1	292.6	17.9	93.6	1.2	-	0	-	<	11.8
Forage La Tailla	61.0	-	4.9	-	190.	4.4	7.2	<	<	<	-	<	-

TABLEAU 3 - ANALYSES CHIMIQUES (en ppb)

Eléments	Al	Fe	Mn	As	Cu	Pb	Zn	B	Sr	Sn	Sb	Ba	Li
Seuil de détection	5	5	20	20	5	20	5	5	10	20	20	5	5
Source Docteur	34.	<	<	<	<	<	<	99.	560.	46.	27.	13.	-
Source Cabinet	30.	<	<	<	<	<	<	112.	604.	52.	<	14.	-
Alun	40.	5.	<	<	<	24.	<	185.	901.	67.	52.	16.	30.
Soufre	40.	5.	<	<	<	41.	<	182.	909.	82.	53.	16.	30.
Esculape	35.	7.	<	<	<	<	<	615.	1074.	78.	30.	18.	40.
Bonjean	26.	<	<	<	<	<	<	553.	1011.	69.	<	17.	40.
Pollet	22.	<	<	<	<	<	<	11.	250.	20.	<	5.	-
Drain Nord	16.	<	<	<	<	<	<	29.	377.	61.	<	23.	-
Drain Sud	11.	<	<	<	<	<	<	21.	359.	71.	<	20.	-
Source Petit Port	48.	17.	75.	<	<	<	<	91.	413.	496.	13.	25.	-
Lac Aix	37.	13.	<	<	<	36.	<	41.	255.	202.	9.	9.	-
Puits	34.	<	<	<	8.	55.	56.	66.	395.	496.	13.	20.	-
Gerle	-	-	-	-	-	-	-	-	35.	-	-	-	-
Conjux	-	-	-	-	-	-	-	-	388.	-	-	-	-
Hautecombe	-	-	-	-	-	-	-	-	146.	-	-	-	-
Rigolet	-	-	-	-	-	-	-	-	103.	-	-	-	-
Victoria	-	-	-	-	-	-	-	-	269.	-	-	-	-

TABLEAU 4 - ANALYSES ISOTOPIQUES

	$^3\text{H(UT)}$	$\delta\text{D} (\%)$ v.s. S.M.O.W	$\delta^{18}\text{O} (\text{‰})$ v.s. S.M.O.W	$\delta^{34}\text{S} (\text{‰})$ v.s. CDT		$\delta^{18}\text{O}(\text{SO}_4)$
				HS-	SO ₄ --	
Source Cabinet	15 ± 3	-65,0 ± 0,5	- 9,8 ± 0,1	-	-	
Alun	3 ± 1	-68,7 ± 0,5	-10,6 ± 0,1	n.m	+21,0	+ 10,5
Soufre	11 ± 2	-67,9 ± 0,5	-10,4 ± 0,1	n.m	+23,3	+ 12,9
Esculape	18 ± 3	-69,5 ± 0,5	-10,2 ± 0,1	-5,3	+32,7	+ 8,8
Bonjean	24 ± 3	-70,4 ± 0,5	-10,6 ± 0,1	-	-	-
Pollet	31 ± 4	-62,2 ± 0,5	-10,2 ± 0,1	-	-	-
Drain N	22 ± 3	-63,0 ± 0,5	- 9,0 ± 0,1	-	-	-
Source Petit	41 ± 4	-64,8 ± 0,5	- 9,2 ± 0,1	-	-	-
Port						
Lac Aix	42 ± 4	-63,3 ± 0,5	- 9,2 ± 0,1	-	-	-
Gerle	35 ± 4	-56,9 ± 0,5	- 8,2 ± 0,1	-	-	-
Conjux	32 ± 4	-59,9 ± 0,5	- 8,5 ± 0,1	-	-	-
Hautecombe	38 ± 4	-57,1 ± 0,5	- 8,1 ± 0,1	-	-	-
Rigolet	21 ± 3	-63,7 ± 0,5	- 9,7 ± 0,1	-	-	-
Victoria	25 ± 3	-65,4 ± 0,5	- 9,4 ± 0,1	-	-	-

TABLEAU 9 : GEOTHERMOMETRIE

Source	T° émergence	SiO ₂ chalc.	SiO ₂ crist.b	SiO ₂ quartz	NaK	NaKCa	NaKCaMg	¹⁸ O[SO ₄ -H ₂ O]
Alun	43,8	19	37	69	237	25	25	68
Soufre	39,3	18	35	67	245	26	26	54
Esculape	10,8	3	19	52	140	39	39	84
Bonjean	10,7	1	17	50	141	34	34	-
Source Petit Port	11,4	0	7	40	301	9	9	-
forage parc 85 m	22,7	0	2	35	348	18	18	-
forage parc 153 m	23,8	0	12	45	241	29	29	-

AIX - les-BAINS Petit Port

2.04.1987

Diagraphie N° 1

P dbar	T deg C	C mS/cm	S %	O mg/l	R V
0.61	6.477	0.27	112.94	13.848	- 0.055
0.60	6.476	0.27	112.99	13.854	- 0.054
0.60	6.478	0.28	113.02	13.858	- 0.054
0.59	6.480	0.27	113.01	13.856	- 0.054
0.58	6.476	0.29	113.12	13.870	- 0.054
0.61	6.478	0.29	113.15	13.874	- 0.053
0.77	6.466	0.28	113.28	13.894	- 0.052
0.98	6.471	0.29	113.55	13.925	- 0.053
1.13	6.471	0.29	113.93	13.972	- 0.054
1.43	6.471	0.28	114.34	14.023	- 0.054
1.61	6.467	0.26	114.77	14.076	- 0.054
1.85	6.452	0.29	115.26	14.142	- 0.060

AIX - les - BAINS Petit Port

2.04.1987

Diagraphie N° 2

P	T	C	Q	O	R
dbar	deg C	mS/cm	%	mg/l	v
0.60	6.238	0.32	118.08	14.566	0.034
0.60	6.242	0.32	118.35	14.598	0.034
0.61	6.245	0.32	118.51	14.616	0.033
0.58	6.246	0.33	118.68	14.636	0.034
0.60	6.257	0.30	118.80	14.648	0.035
0.73	6.250	0.31	119.03	14.679	0.038
0.98	6.254	0.33	119.45	14.728	0.037
1.23	6.257	0.31	120.26	14.828	0.037
1.52	6.249	0.33	120.93	14.913	0.037
1.79	6.252	0.32	121.48	14.979	0.037
2.05	6.250	0.33	121.97	15.041	0.038
2.56	6.207	0.31	122.52	15.125	0.039
2.71	6.220	0.33	122.96	15.174	0.070

AIX - les - BAINS Petit Port

2.04.1987

Diagraphie N° 3

P	T	C	Q	O	R
dbar	deg C	mS/cm	%	mg/l	V
0.53	6.098	0.31	118.33	14.648	0.002
0.53	6.098	0.31	118.52	14.672	0.003
0.53	6.100	0.31	118.78	14.702	0.002
0.53	6.098	0.31	118.98	14.729	0.003
0.86	6.098	0.31	119.16	14.751	0.002
1.05	6.100	0.30	119.65	14.811	0.003
1.23	6.100	0.30	120.22	14.881	0.001
1.51	6.099	0.31	120.77	14.949	0.001
1.95	6.076	0.30	121.34	15.028	0.002
2.39	6.068	0.30	121.68	15.074	0.004
2.72	6.011	0.32	122.17	15.156	0.060
2.75	5.986	0.31	122.88	15.254	0.107

AIX - les - BAINS Petit Port

2.04.1987

Diagraphie N° 4

P	T	C	O	D	R
dbar	deg C	mS/cm	%	mg/l	V
0.66	6.111	0.31	130.49	16.148	0.022
1.03	6.103	0.33	110.81	13.715	0.021
1.59	6.082	0.33	113.65	14.075	0.021
2.06	6.085	0.33	116.02	14.367	0.020
2.53	6.009	0.27	118.47	14.698	0.023
2.78	6.040	0.35	120.39	14.925	0.011
2.86	6.171	0.35	121.31	14.989	0.005
2.86	6.172	0.36	121.83	15.054	0.018

AIX - les - BAINS Petit Port

2.04.1987

Diagraphie N° 5

P dbar	T deg C	C mS/cm	O %	O mg/l	R V
0.65	6.044	0.29	115.16	14.275	0.009
0.57	6.036	0.31	115.76	14.353	0.004
0.88	6.043	0.31	116.65	14.461	0.003
1.23	6.033	0.31	118.12	14.646	0.001
1.65	6.035	0.31	119.52	14.819	0.001
2.01	6.025	0.33	120.70	14.969	0.003
2.45	6.006	0.32	121.89	15.123	0.006
2.79	5.997	0.30	122.94	15.257	0.013
2.89	6.081	0.35	123.42	15.285	0.021
2.91	6.112	0.34	123.71	15.308	0.027

Diagraphie
 Forage du Parc le 20.05.87
 débit artésien

P	T	C	O	D	R	Time
dbar	deg C	mS/cm	%	mg/l	V	
0.08	19.018	0.66	12.62	1.166	- 0.061	16:01:31
0.08	19.014	0.66	12.65	1.169	- 0.061	16:01:47
0.06	19.021	0.66	12.59	1.163	- 0.061	16:02:03
0.08	19.021	0.65	12.56	1.161	- 0.061	16:02:19
0.08	19.018	0.66	12.51	1.156	- 0.061	16:02:35
0.08	19.014	0.64	12.47	1.152	- 0.061	16:02:51
0.08	19.002	0.66	12.41	1.148	- 0.061	16:03:07
0.78	19.037	0.64	12.39	1.144	- 0.076	16:03:23
1.95	19.111	0.68	12.96	1.195	- 0.073	16:03:39
2.86	19.303	0.65	13.30	1.222	- 0.080	16:03:55
3.83	19.329	0.68	13.38	1.228	- 0.078	16:04:11
5.16	19.248	0.68	13.59	1.250	- 0.074	16:04:27
6.53	19.822	0.68	13.81	1.256	- 0.089	16:04:43
8.12	20.365	0.69	14.46	1.300	- 0.100	16:04:59
9.97	20.188	0.71	14.85	1.340	- 0.112	16:05:15
11.76	20.247	0.68	14.83	1.337	- 0.118	16:05:31
13.81	20.323	0.68	15.16	1.365	- 0.115	16:05:47
16.09	20.541	0.68	15.64	1.402	- 0.112	16:06:03
18.18	20.336	0.68	15.19	1.367	- 0.088	16:06:19
20.70	20.446	0.68	14.49	1.301	- 0.071	16:06:35
23.04	20.524	0.67	14.13	1.267	- 0.064	16:06:51
25.45	20.658	0.69	13.77	1.231	- 0.055	16:07:08
28.05	20.842	0.69	13.55	1.207	- 0.058	16:07:24
30.61	20.951	0.68	13.20	1.174	- 0.056	16:07:40
32.28	20.991	0.69	12.94	1.149	- 0.059	16:07:56
34.14	21.029	0.70	12.63	1.121	- 0.054	16:08:12
36.01	21.094	0.70	12.52	1.110	- 0.065	16:08:28
37.72	21.157	0.70	12.19	1.080	- 0.065	16:08:44
39.62	21.226	0.69	11.97	1.059	- 0.064	16:09:00
41.50	21.319	0.70	11.82	1.043	- 0.064	16:09:16
41.98	21.321	0.70	11.66	1.030	- 0.067	16:09:32
42.60	21.366	0.72	11.52	1.016	- 0.065	16:09:48
43.02	21.379	0.67	11.42	1.007	- 0.064	16:10:04
43.61	21.404	0.70	11.32	0.998	- 0.063	16:10:20
44.15	21.406	0.69	11.26	0.992	- 0.069	16:10:36
44.70	21.423	0.70	11.19	0.986	- 0.070	16:10:52
45.20	21.426	0.67	11.07	0.975	- 0.071	16:11:08
46.02	21.448	0.71	11.04	0.972	- 0.070	16:11:24
46.55	21.487	0.68	10.95	0.963	- 0.071	16:11:40
47.43	21.497	0.68	10.88	0.957	- 0.070	16:11:56
48.36	21.529	0.68	10.82	0.951	- 0.072	16:12:12
49.26	21.576	0.68	10.74	0.943	- 0.073	16:12:28
50.32	21.605	0.69	10.70	0.939	- 0.071	16:12:44
50.85	21.609	0.68	10.66	0.936	- 0.070	16:13:00
51.60	21.621	0.69	10.61	0.931	- 0.069	16:13:16
52.57	21.658	0.68	10.57	0.927	- 0.067	16:13:32
53.44	21.686	0.70	10.52	0.922	- 0.067	16:13:48
54.67	21.726	0.70	10.48	0.918	- 0.064	16:14:04
55.69	21.751	0.66	10.44	0.914	- 0.063	16:14:20
56.58	21.790	0.69	10.44	0.913	- 0.062	16:14:37
57.46	21.803	0.69	10.40	0.909	- 0.043	16:14:53
58.61	21.845	0.67	10.52	0.919	- 0.057	16:15:09
59.59	21.877	0.70	10.54	0.920	- 0.058	16:15:25
60.71	21.917	0.70	10.51	0.917	- 0.060	16:15:41
62.00	21.955	0.69	10.46	0.912	- 0.046	16:15:57
62.72	21.970	0.69	10.47	0.913	- 0.030	16:16:13
63.67	21.990	0.69	10.45	0.928	- 0.046	16:16:29
64.60	22.024	0.70	10.78	0.939	- 0.057	16:16:45
65.50	22.055	0.69	10.75	0.935	- 0.079	16:17:01
66.57	22.085	0.72	10.56	0.918	- 0.069	16:17:17

forage du Parc (suite)

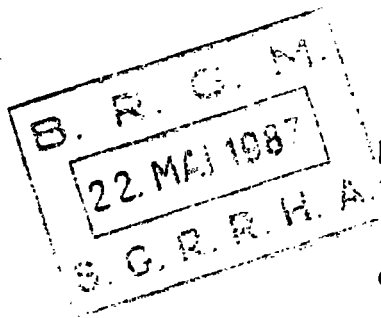
P	T	C	D	D	R	Time
dbar	deg C	mS/cm	%	mg/l	v	
67.97	22.127	0.69	10.46	0.909	- 0.068	16:17:33
69.42	22.168	0.72	10.38	0.901	- 0.036	16:17:49
70.85	22.207	0.69	10.51	0.912	- 0.061	16:18:05
72.05	22.269	0.73	10.43	0.903	- 0.063	16:18:21
73.32	22.286	0.70	10.19	0.883	- 0.071	16:18:37
74.56	22.318	0.72	9.78	0.847	- 0.088	16:18:53
76.65	22.401	0.71	9.18	0.794	- 0.089	16:19:09
78.42	22.462	0.72	8.56	0.739	- 0.089	16:19:25
79.76	22.516	0.70	8.04	0.693	- 0.092	16:19:41
80.88	22.549	0.72	7.63	0.657	- 0.089	16:19:57
81.60	22.585	0.70	7.32	0.631	- 0.087	16:20:13
82.46	22.633	0.72	7.07	0.609	- 0.090	16:20:29
83.36	22.645	0.71	6.88	0.592	- 0.092	16:20:45
84.45	22.670	0.72	6.71	0.577	- 0.096	16:21:01
85.66	22.738	0.72	6.54	0.562	- 0.087	16:21:17
86.71	22.771	0.74	6.42	0.551	- 0.078	16:21:33
87.94	22.791	0.74	6.40	0.549	- 0.071	16:21:49
89.02	22.833	0.73	6.49	0.556	- 0.095	16:22:05
90.47	22.871	0.72	6.32	0.541	- 0.091	16:22:22
92.37	22.912	0.72	6.27	0.537	- 0.083	16:22:38
93.92	22.975	0.72	6.25	0.534	- 0.070	16:22:54
95.70	23.001	0.74	6.36	0.543	- 0.078	16:23:10
97.08	23.023	0.72	6.38	0.545	- 0.074	16:23:26
98.84	23.045	0.75	6.37	0.544	- 0.069	16:23:42
100.48	23.071	0.74	6.38	0.544	- 0.068	16:23:58
102.11	23.090	0.75	6.57	0.561	- 0.076	16:24:14
103.66	23.106	0.72	6.67	0.569	- 0.091	16:24:30
105.45	23.130	0.75	6.56	0.559	- 0.097	16:24:46
107.48	23.150	0.71	6.45	0.550	- 0.095	16:25:02
109.47	23.165	0.74	6.43	0.548	- 0.079	16:25:18
111.19	23.194	0.72	6.50	0.554	- 0.065	16:25:34
113.46	23.207	0.71	6.59	0.561	- 0.055	16:25:50
115.70	23.219	0.71	6.69	0.570	- 0.091	16:26:06
118.00	23.231	0.72	6.58	0.560	- 0.084	16:26:22
120.07	23.248	0.74	6.57	0.558	- 0.042	16:26:38
122.63	23.274	0.72	6.84	0.582	- 0.083	16:26:54
125.65	23.281	0.73	6.82	0.579	- 0.042	16:27:10
128.92	23.306	0.75	6.81	0.579	- 0.090	16:27:26
132.12	23.390	0.75	6.63	0.563	- 0.096	16:27:42
135.15	23.365	0.72	6.35	0.539	- 0.086	16:27:58
138.45	23.679	0.72	6.12	0.516	- 0.084	16:28:14
141.71	23.718	0.72	5.83	0.492	- 0.083	16:28:30
145.55	23.747	0.74	5.90	0.497	- 0.087	16:28:46
149.32	23.770	0.72	5.90	0.497	- 0.083	16:29:02
153.32	23.810	0.73	5.77	0.486	- 0.090	16:29:18
158.00	23.869	0.74	5.72	0.481	- 0.108	16:29:35

**LABORATOIRE DÉPARTEMENTAL
D'ANALYSES**

Analyse des Eaux

28, place du Forum
73000 CHAMBÉRY-LE-HAUT
Tél. 79 70 22 30

N° 628.1718



PRÉLÈVEMENT D'EAU A ANALYSER

TYPE I - Analyse complète

Commune de AIX LES BAINS

En provenance du captage de

Point d'eau ou distribution publique - Communale - Sté

Prélèvement effectué chez : Forage 85 m.

Prélèvement demandé par la D.D.A.S.S. ou Autre demandeur.

Motif du prélèvement : Contrôle - Enquête - Épidémie - Surveillance - Confirmation.

Origine de l'eau : Source non captée - puits ou forage - citerne - surface.

Profondeur du puits ou forage : Mode de tirage :

Eau non traitée - Eau traitée - filtration - chlore ou produits chlorés (.....)

Causes évidentes de contamination :

Prélèvement effectué le 15 MAI 1987 à heures

Par : B.R.G.M.

Mode de transport sur glace : Durée du transport :

Analyse commencée le : 15 MAI 1987 à heures

RÉSULTAT

1° Dénombrement total des bactéries sur gélose nutritive :

Nombre de colonies après 24 heures à 37° 1 par 1 ml
Nombre de colonies après 72 heures à 20-22° 66 par 1 ml

2° Colimétrie :

Technique : MEMBRANES FILTRANTES TTC A 37° ; TEST DE SCHUBERT ; KLIGLER-HAJNA.

Bactéries coliformes : 0 par 100 ml

Escherichia coli (colibacilles) : 0 par 100 ml

3° Dénombrement des Streptocoques fécaux :

Streptocoques fécaux : 0 par 100 ml

Technique : Milieu B.E.A.

4° Dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs :

Clostridium sulfito-réducteurs : 0 par 100 ml

Technique : milieu V.F. + 5 p. 1 000 de sulfite de sodium.

5° Recherche de Bactériophages fécaux :

Bactériophages fécaux dans 100 ml (Shigella) : 0

OBSERVATIONS :

CONCLUSION : EAU POTABLE

Chambéry, le 20 MAI 1987

Le Chef de Laboratoire,

**LABORATOIRE DÉPARTEMENTAL
D'ANALYSES**

N° 639.1751

Analyse des Eaux

PRÉLÈVEMENT D'EAU A ANALYSER

28, place du Forum
73000 CHAMBÉRY-LE-HAUT
Tél. 79 70 22 30

TYPE I - Analyse complète

Commune de AIX LES BAINS

En provenance du captage de

Point d'eau ou distribution publique - Communale - Sté

Prélèvement effectué chez : Forage 127 m

Prélèvement demandé par la D.D.A.S.S. ou Autre demandeur.

Motif du prélèvement : Contrôle - Enquête - Épidémie - Surveillance - Confirmation.

Origine de l'eau : Source non captée - puits ou forage - citerne - surface.

Profondeur du puits ou forage : Mode de tirage :

Eau non traitée - Eau traitée - filtration - chlore ou produits chlorés (.....)

Causes évidentes de contamination :

Prélèvement effectué le 19.05.1987 à heures

Par : Bureau de recherches géologiques et Minières - S.G.R. Rhône Alpes

Mode de transport sur glace : Durée du transport :

Analyse commencée le : 19.05.1987 à heures

RÉSULTAT

1° Dénombrement total des bactéries sur gélose nutritive :

Nombre de colonies après 24 heures à 37° 21 par 1 ml

Nombre de colonies après 72 heures à 20 - 22° 38 par 1 ml

2° Colimétrie :

Technique : MEMBRANES FILTRANTES TTC A 37° ; TEST DE SCHUBERT ; KLIGLER-HAJNA.

Bactéries coliformes : 0 par 100 ml

Escherichia coli (colibacilles) : 0 par 100 ml

3° Dénombrement des Streptocoques fécaux :

Streptocoques fécaux : 15 par 100 ml

Technique : Milieu B.E.A.

4° Dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs :

Clostridium sulfito-réducteurs : 0 par 100 ml

Technique : milieu V.F. + 5 p. 1 000 de sulfite de sodium.

5° Recherche de Bactériophages fécaux :

Bactériophages fécaux dans 100 ml (Shigella) : 0

OBSERVATIONS :

..... Présence de streptocoques fécaux

..... Contamination fécale

CONCLUSION : EAU IMPROPRE à l'alimentation

Chambéry, le 26 MAI 1987

Le Chef de Laboratoire.



**LABORATOIRE DÉPARTEMENTAL
D'ANALYSES**

N° 639.1752

Analyse des Eaux

PRÉLÈVEMENT D'EAU A ANALYSER

28, place du Forum
73000 CHAMBÉRY-LE-HAUT
Tél. 79 70 22 30

TYPE I - Analyse complète

Commune de AIX LES BAINS

En provenance du captage de

Point d'eau ou distribution publique - Communale - Sté

Prélèvement effectué chez : Forage 153 m

Prélèvement demandé par la D.D.A.S.S. ou Autre demandeur.

Motif du prélèvement : Contrôle - Enquête - Épidémie - Surveillance - Confirmation.

Origine de l'eau : Source non captée - puits ou forage - citerne - surface.

Profondeur du puits ou forage : Mode de tirage :

Eau non traitée - Eau traitée - filtration - chlore ou produits chlorés (.....)

Causes évidentes de contamination :

Prélèvement effectué le 19.05.1987 à heures

Par : Bureau de Recherches géologiques et Minières - S.G.R. Rhône Alpes

Mode de transport sur glace : Durée du transport :

Analyse commencée le : 19.05.1987 à heures

RÉSULTAT

1° Dénombrement total des bactéries sur gélose nutritive :

Nombre de colonies après 24 heures à 37° 7 par 1 ml

Nombre de colonies après 72 heures à 20 - 22° 14 par 1 ml

2° Colimétrie :

Technique : MEMBRANES FILTRANTES TTC A 37° ; TEST DE SCHUBERT ; KLIGLER-HAJNA.

Bactéries coliformes : 0 par 100 ml

Escherichia coli (colibacilles) : 0 par 100 ml

3° Dénombrement des Streptocoques fécaux :

Streptocoques fécaux : 0 par 100 ml

Technique : Milieu B.E.A.

4° Dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs :

Clostridium sulfito-réducteurs : 0 par 100 ml

Technique : milieu V.F. + 5 p. 1 000 de sulfite de sodium.

5° Recherche de Bactériophages fécaux :

Bactériophages fécaux dans 100 ml (Shigella) : 0

OBSERVATIONS :

CONCLUSION : EAU POTABLE

Chambéry, le 26 MAI 1987

Le Chef de Laboratoire,



ANNEXE 5

FORAGE DE RECONNAISSANCE
AU PARC MUNICIPAL D'AIX-LES-BAINS

COMPTE-RENDU DES TRAVAUX

1 - OBJET DES TRAVAUX

Les travaux de forage entrepris à AIX-LES-BAINS ont eu pour objet la reconnaissance hydrogéologique des calcaires urgoniens à proximité des Thermes Nationaux.

2 - DESIGNATION-SITUATION DU FORAGE

Le forage se situe dans le parc municipal d'AIX-LES-BAINS, en contrebas des Thermes Nationaux ; son implantation est reportée sur le plan au 1/25.000, figure 1.

La désignation de l'ouvrage et sa localisation géographique s'établissent comme suit :

- n° BSS 725-07-17
- Coordonnées : X 818, 735
 Y 2082, 690
- Altitude NGF approximative estimée d'après la carte IGN au
1/25.000 : Z = 260 m

3 - MISE EN OEUVRE - PLANNING DES TRAVAUX

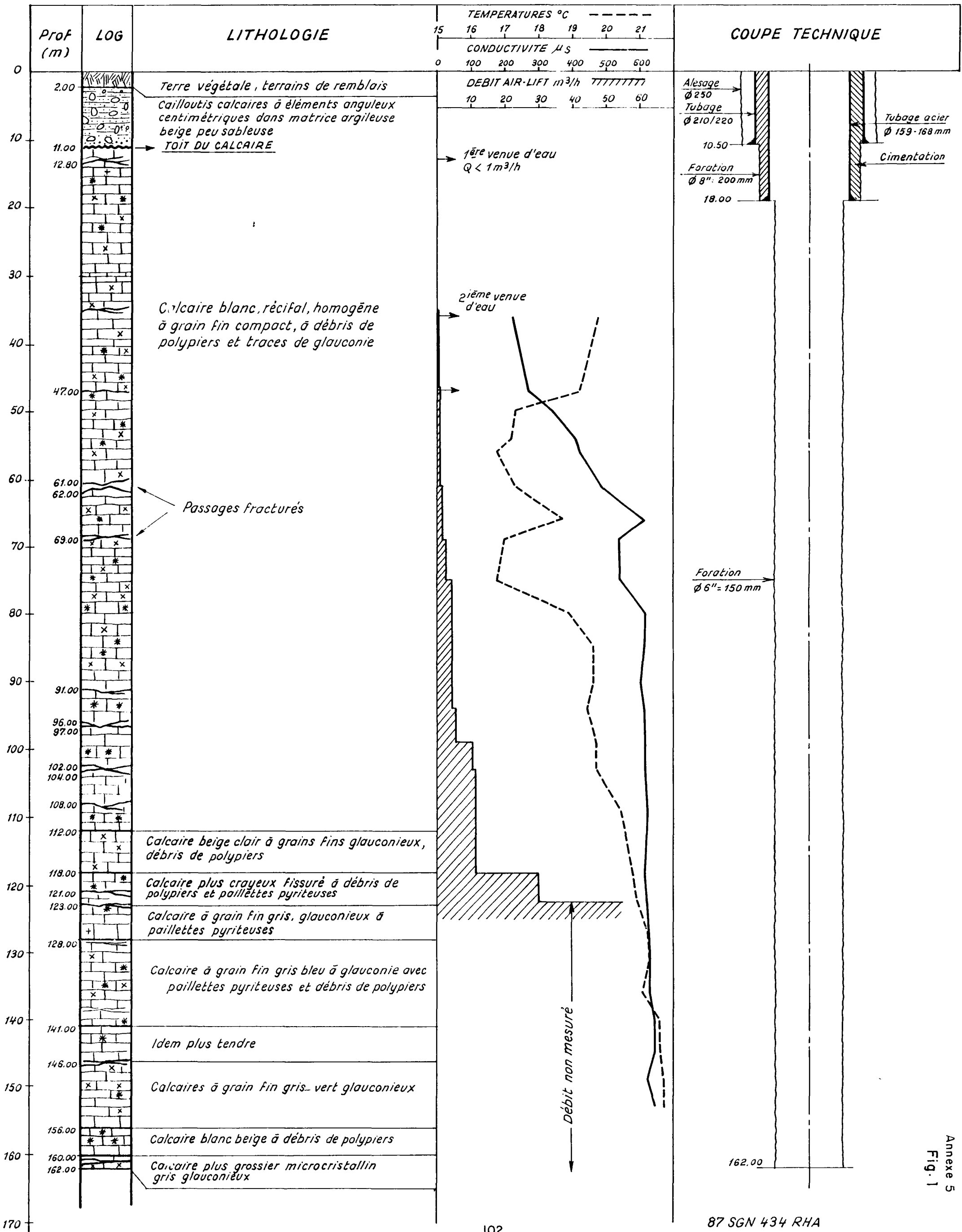
Les travaux de forage confiés à l'Entreprise BONIFACE à LUNEL (34) ont été réalisés au moyen d'une sondeuse mixte FORACO, type SM 70. Ils se sont déroulés du 12 au 19.05.87.

C'est la technique roto-percussion (marteau fond de trou), qui a été utilisée, en faisant suivre un tubage à l'avancement dans les formations superficielles bouillantes.

FORAGE DU PARC-AIX LES BAINS

Commencé le : 12.05.87
 Terminé le : 19.05.87
 Entreprise : BONIFACE

Technique de foration : marteau fond de trou



Annexe 5
Fig. 1

87 SGN 434 RHA

Un pompage d'essai à trois paliers de débits progressifs, a été mis en oeuvre à l'issue des travaux.

4 - RESULTATS OBTENUS

Les informations recueillies au cours des travaux de reconnaissance sont synthétisées sur la coupe Fig. 1 ; elle se résume comme suit :

4.1 - GEOLOGIE

Sous un recouvrement de 11 m d'épaisseur de formations morainiques constituées de cailloutis polygéniques, dans une matrice de nature argileuse, le forage a recoupé, de 11 à 162 m, une puissante série calcaire appartenant à l'Urgonien. Il s'agit d'un calcaire dur et compact présentant des niveaux fissurés à partir de 30 mètres.

4.2 - HYDROGEOLOGIE

Compte tenu de sa nature lithologique, cette masse calcaire ne présente une perméabilité qu'à la faveur de la fracturation ou des dissolutions qui l'affectent.

Le graphique des débits air lift cumulés reportés sur la coupe Fig. 1, illustre le potentiel aquifère des différents niveaux recoupés par le forage.

Une première venue a lieu à 12,80 m, mais elle provient du drainage des formations superficielles et a été aveuglée par la cimentation.

Les ressources de la série urgonienne se manifestent à partir de 30 m et restent très faibles jusqu'à 66 m. A partir de cette cote, elles évoluent d'une manière plus significative pour atteindre $11,4 \text{ m}^3/\text{h}$ à 109 m. Avec $30 \text{ m}^3/\text{h}$ mesurés en air lift, la productivité de la formation devient importante à partir de 118 m. Au-delà de cette cote, il n'était plus possible de canaliser les eaux d'exhaure afin de mesurer le débit d'air lif.

En définitive, la tranche la plus productive de la formation se situe à sa base de 118 à 162 m. Notons que le forage s'est révélé artésien à l'issue des travaux.

4.3 - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE L'EAU D'EXHAURE

Les paramètres observés au cours de la foration étaient la conductivité et la température de l'eau ; leur évolution est reportée graphiquement sur la coupe Fig. 1.

La conductivité des premières venues d'eau à 30 m (224 S) est relativement faible. Elle augmente progressivement jusqu'à 80 m pour atteindre $618 \mu\text{S}$, puis reste pratiquement constante jusqu'à la fin de la foration avec des valeurs comprises entre 600 et $644 \mu\text{S}$.

La température des premières venues d'eau à 30 m est relativement importante ($19,8 \text{ }^\circ\text{C}$). Elle baisse régulièrement pour atteindre le minimum observé de $16,8^\circ\text{C}$ à 56 m et à 75 m avec une sensible augmentation entre ces deux cotes. A partir de 80 m, la température évolue lentement pour atteindre $20,9^\circ\text{C}$ à 122 m. Elle reste pratiquement constante de 107 à 162 m avec des valeurs comprises entre 21 et $21,7^\circ\text{C}$.

Ces valeurs, mesurées en cours de foration, n'ont qu'une valeur indicative, car elles sont perturbées par la température de l'air comprimé injecté dans le forage. Les valeurs réelles sont fournies par les profils réalisés après foration (voir fig. 14 et Annexe 4).

4.4 - COUPE TECHNIQUE

Elle est représentée sur la Fig. 1 où sont schématisées les différentes phases

de foration et d'équipement de l'ouvrage :

- Foration au taillant Ø 6" (150 mm), de 0 à 14,00 m.
- Alésage au taillant aléreur Ø 10" (250 mm), de 0 à 11,00 m, dans les formations boulanges
- Mise en place d'un tubage de soutènement en acier (Ø 210/220 mm), de 0 à 10,50 m
- Reprise de la foration au taillant 8" (200 mm), de 10,50 m à 18,00 m
- Mise en place et cimentation d'un tubage en acier Ø 159/168 mm
- Poursuite de la foration de 18 à 162 m au taillant Ø 6" (150 mm)

Compte tenu de la bonne tenue des parois, l'ouvrage n'a pas été pourvu de colonne crépinée.

L'équipement en tête est constitué d'une bride Ø 250 mm, coiffée d'un couvercle de même diamètre, avec joint d'étanchéité. Une prise sur le côté avec vanne Ø 50/60 mm permet l'écoulement artésien de l'ouvrage.

5 - INCIDENCE DES TRAVAUX SUR LES SOURCES THERMALES EXPLOITEES

Une surveillance des sources thermales exploitées dans l'environnement du chantier, a été effectuée au cours des travaux. Elle portait sur les sources des Thermes Nationaux : Soufre et Alun.

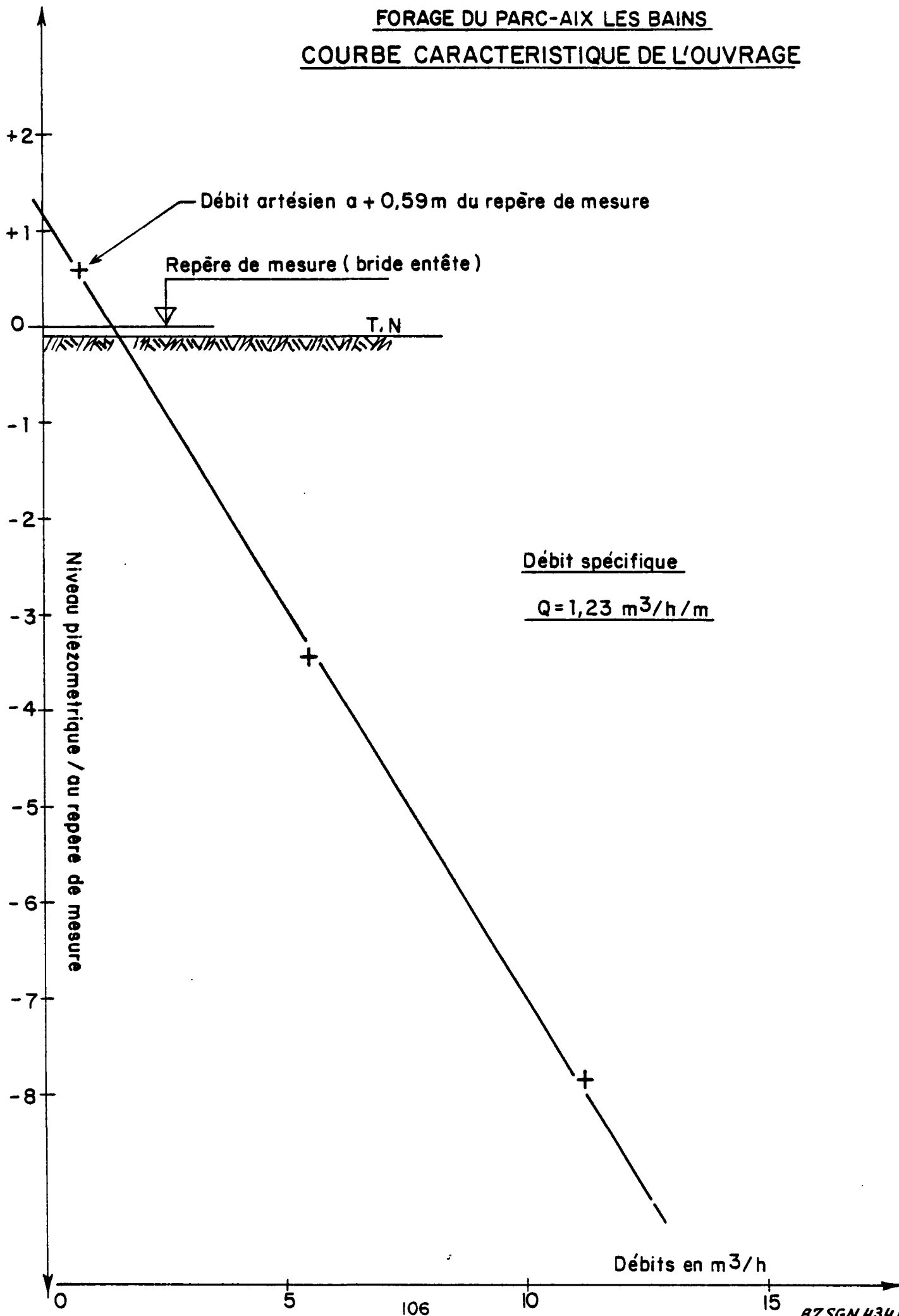
Les paramètres observés étaient :

- le débit
- la température (enregistrée en continu)
- la turbidité

Aucune anomalie n'a été constatée tout au long du déroulement des travaux.

Une attention particulière a également été portée aux sources minérales de MARLIOZ.

FORAGE DU PARC-AIX LES BAINS
COURBE CARACTERISTIQUE DE L'OUVRAGE



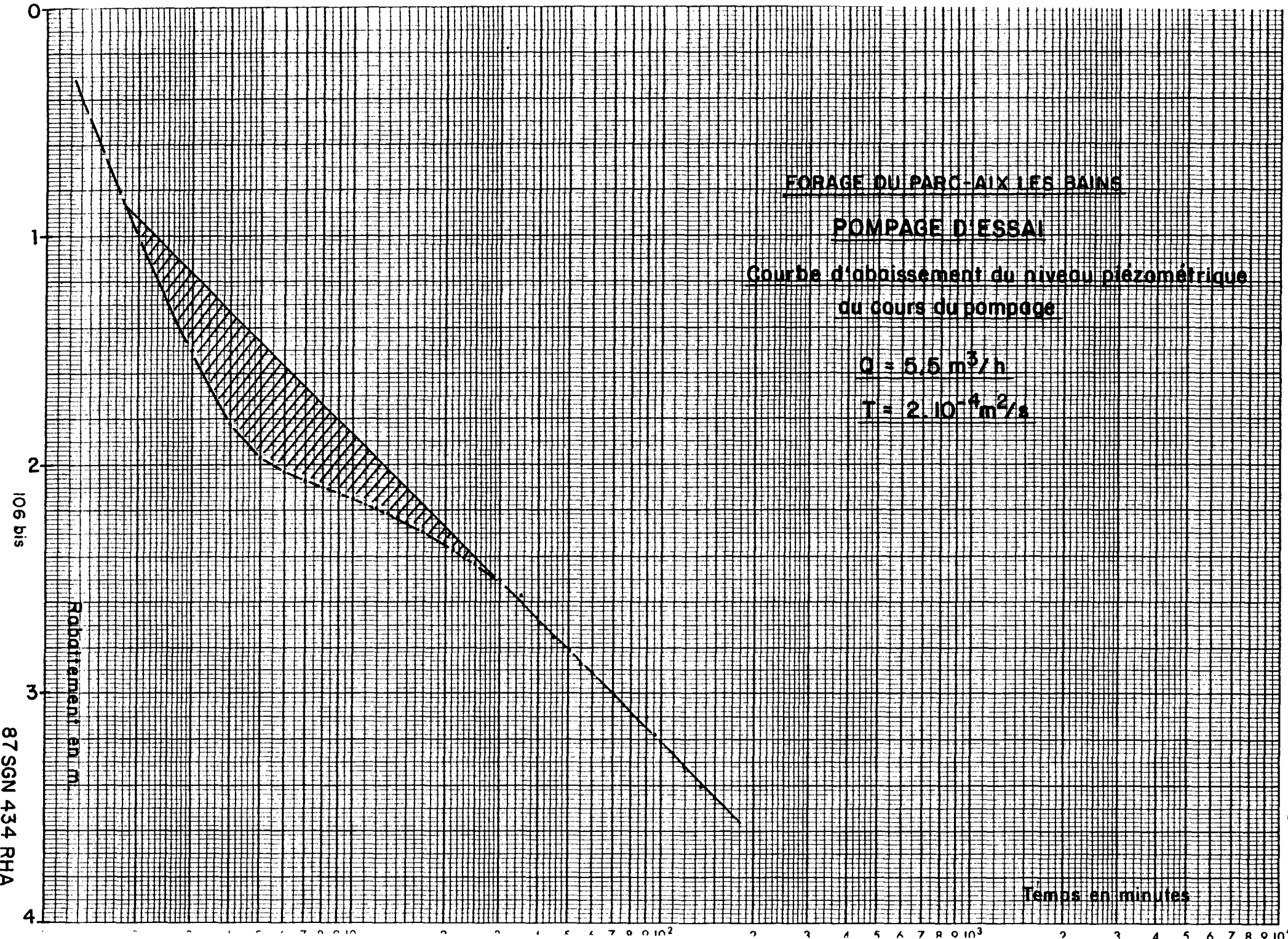
FORAGE DU PARC-AIX LES BAINS

POMPAGE D'ESSAI

Courbe d'abaissement du niveau piézométrique
du cours du pompage

$Q = 5,5 \text{ m}^3/\text{h}$

$T = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$



106 bis

87 SGN 434 RHA

6 - POMPAGES D'ESSAI

Ils se sont déroulés du 20 au 21.05.87. Les résultats obtenus sont présentés ci-après.

6.1 - COURBE CARACTERISTIQUE DE L'OUVRAGE (Fig. 2)

Cette courbe est établie à partir de la mesure du débit artésien de l'ouvrage et des rabattements (non stabilisés) obtenus à l'issue de 2 paliers de débits, à 5,5 et 11,2 m³/h, d'une durée de 2 h 30.

Les points reportés permettent d'ajuster une droite qui détermine :

- d'une part, le débit spécifique de l'ouvrage :

$$Q = 1,23 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

- d'autre part, le niveau piézométrique de l'ouvrage qui se situe à +1,10 m (environ) par rapport à la bride en tête de l'ouvrage.

6.2 - CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DE L'AQUIFERE (Fig. 3)

Les observations piézométriques réalisées au cours de l'essai à 5,5 m³/h sont reportées sur le graphique bi logarithmique Fig. 3. L'inflexion de la courbe dans sa partie initiale correspond à l'effet capacitif de l'ouvrage.

Dans la partie terminale, les points obtenus s'alignent suivant une droite qui, par la méthode THEISS-JACOB, détermine la transmissivité de l'aquifère :

$$T = 2.10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

On ne constate par ailleurs aucune amorce de stabilisation du niveau dynamique à l'issue du pompage.

Ces conditions correspondent à un aquifère de grande extension sans front de réalimentation à proximité.

CONCLUSION

Un forage de reconnaissance a été réalisé dans le parc municipal d'AIX-LES-BAINS, en contrebas des Thermes Nationaux. La foration a été poursuivie jusqu'à 162 m de profondeur dans une puissante série de calcaires urgoniens, sans atteindre sa base.

Il s'agit d'un calcaire compact présentant une certaine fracturation vers 30 m de profondeur, qui s'amplifie à partir de 70 m.

Du point de vue hydrogéologique, les ressources les plus significatives se situent à la base de la formation reconnue de 118 à 162 m.

Au cours de la foration, la conductivité de l'eau s'est stabilisée entre 618 et 644 μS à partir de 80 m, et sa température entre 21,3 et 21,7°C à partir de 127 m (températures mesurées en débit à l'air-lift).

Les travaux de forage n'ont eu aucune incidence sur le régime et la qualité des sources thermales exploitées.

Les pompages d'essai mis en oeuvre à l'issue des travaux de forage ont permis d'évaluer le débit spécifique de l'ouvrage et la transmissivité de l'aquifère qui s'établissent respectivement comme suit :

$$\begin{aligned} Q &= 1,23 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m} \\ Q &= 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$



BRGM

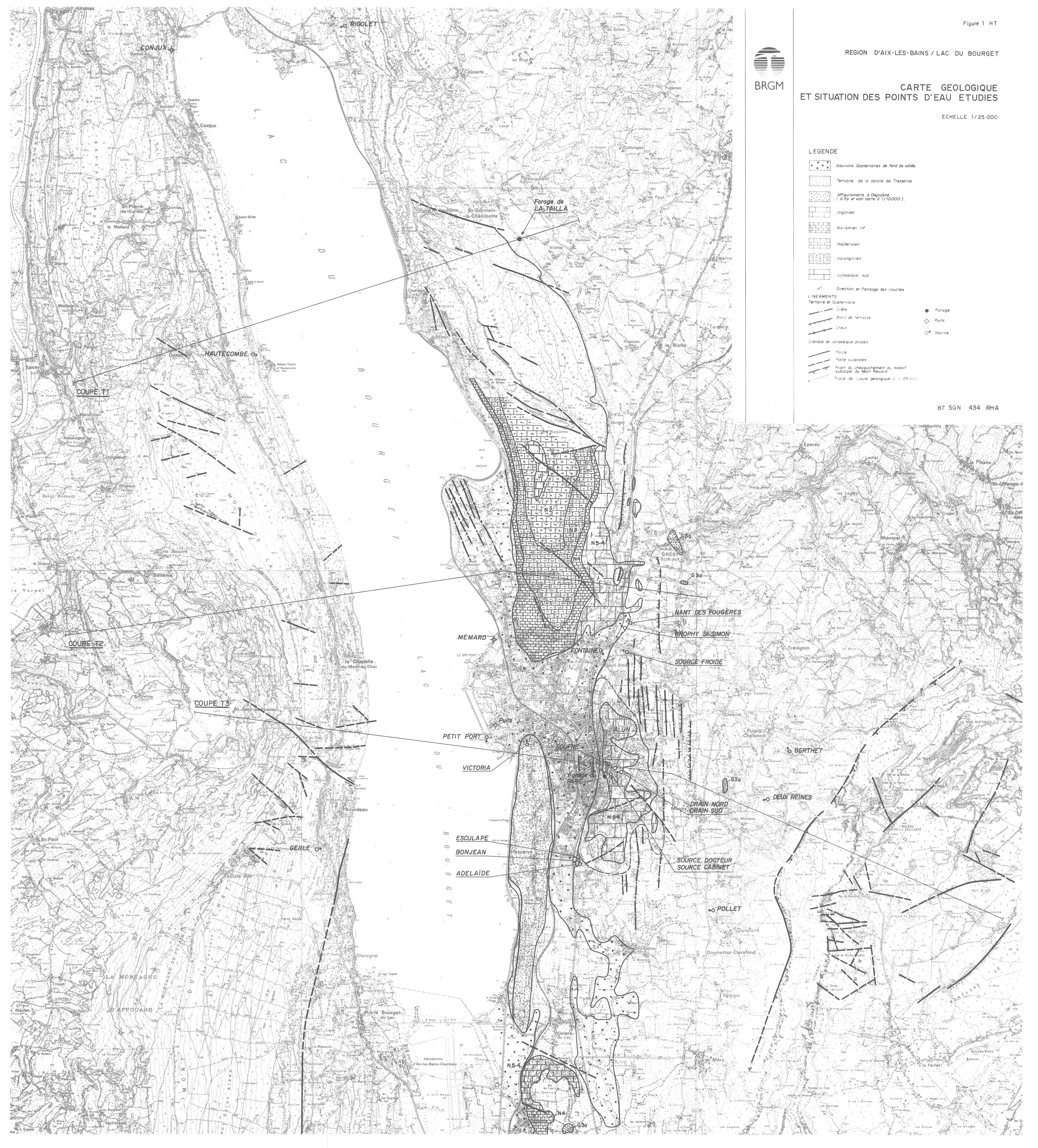
CARTE GEOLOGIQUE ET SITUATION DES POINTS D'EAU ETUDIES

ECHELLE 1/25 000

LEGENDE

- Alluvions Quaternaires de fond de vallée.
- Terraire de la colline de Tresserve.
- Affleurements d'Oligocène (G3a et voir carte à 1/10000).
- Urgonien
- Barémien inf
- Hauteriviens
- Valanginien
- Jurassique sup
- Direction et Pendage des couches
- LINEAMENTS**
- Tertiaire et Quaternaire
- Crête
- Bord de masse
- Crevasse
- Crétacé et Jurassique axes
- Faille
- Faille supposée
- Front du chevauchement du massif subalpin du Mont Revard
- Trace de coupe géologique à 1/25000
- Forage
- Puits
- Source

87 SGN 434 RHA



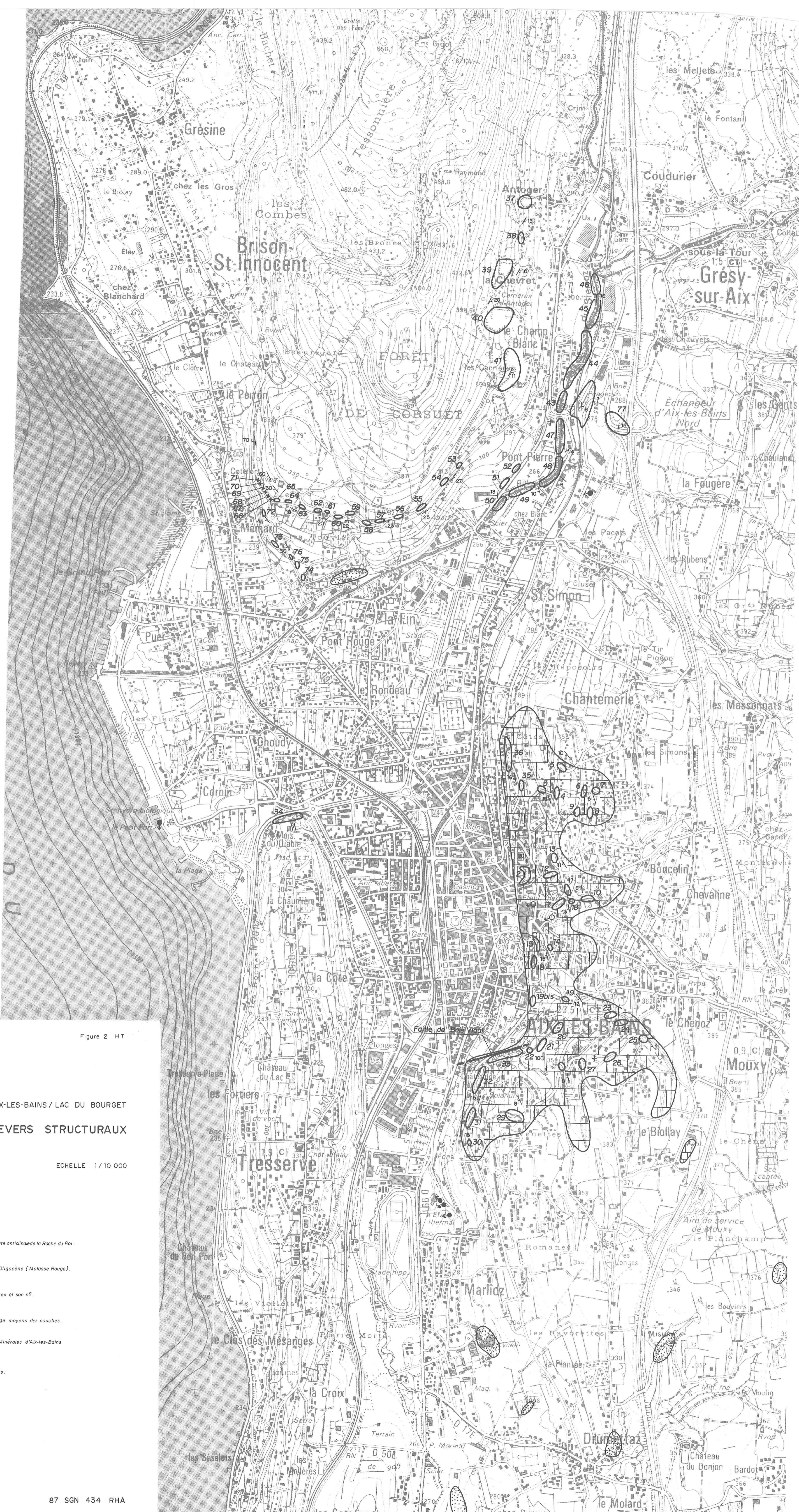
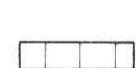


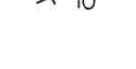




Figure 2 HT

REGION D'AIX-LES-BAINS / LAC DU BOURGET
 CARTE DES LEVERS STRUCTURAUX

ECHELLE 1 / 10 000

LEGENDE

-  Urgonien de la voute anticlinale de la Roche du Roi
-  Affleurements d'Oligocene (Molasse Rouge)
-  Station de mesures et son n°
-  Direction et Pendage moyens des couches
-  Sources Thermo-Minerales d'Aix-les-Bains et de St-Simon
-  Sources Minerales

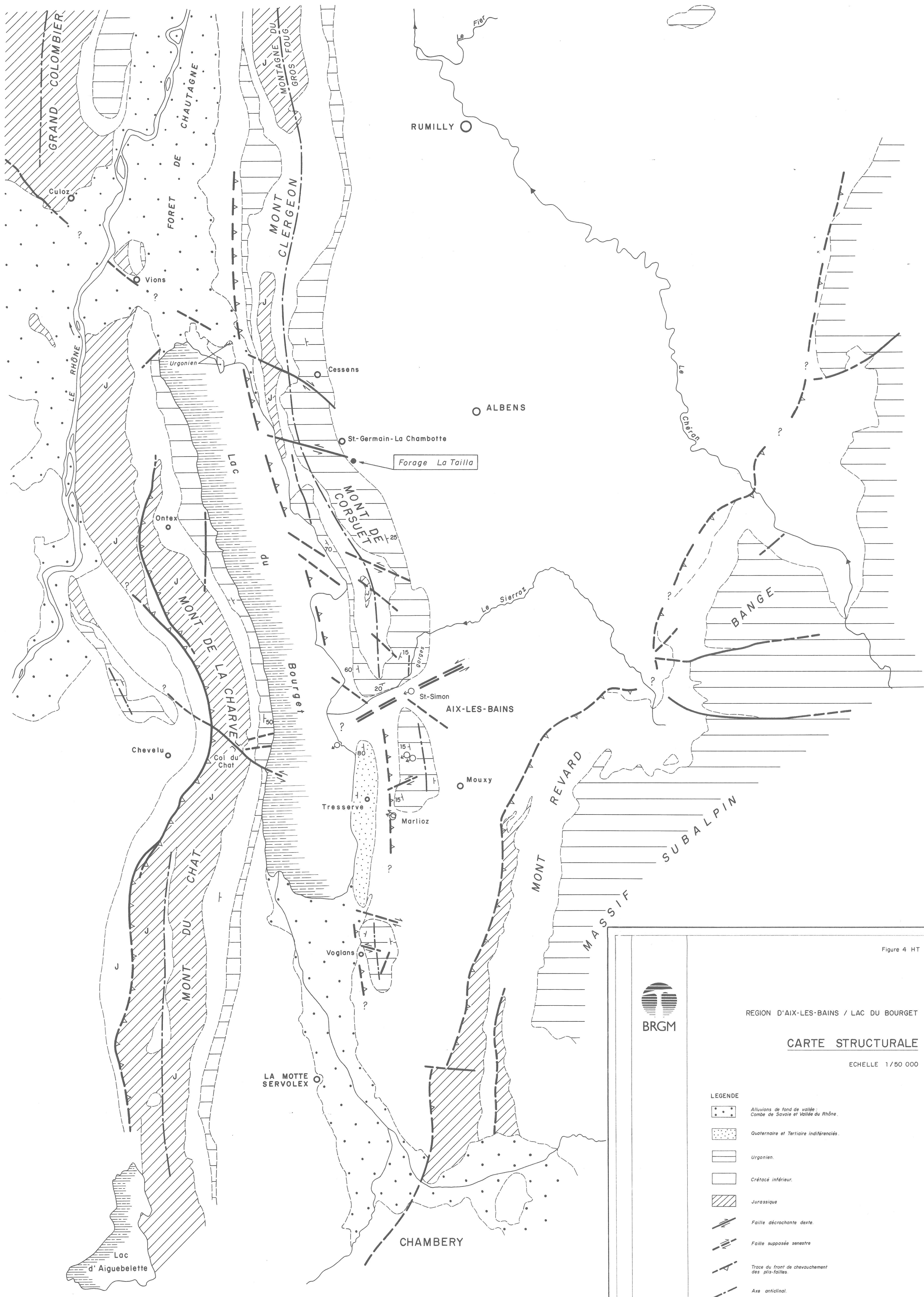


Figure 4 HT



REGION D'AIX-LES-BAINS / LAC DU BOURGET

CARTE STRUCTURALE

ECHELLE 1/50 000

- LEGENDE**
- Alluvions de fond de vallées.
Combe de Savoie et Vallée du Rhône.
 - Quaternaire et Tertiaire indifférenciés.
 - Urgonien.
 - Crétacé inférieur.
 - Jurassique
 - Faille décrochante dextre.
 - Faille supposée senestre
 - Trace du front de chevauchement des pli-failles.
 - Axe anticlinal.
 - Direction et Pendage moyen.

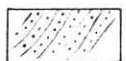



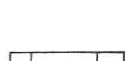
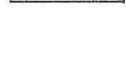
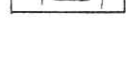
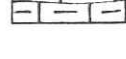




REGION D'AIX-LES-BAINS / LAC DU BOURGET

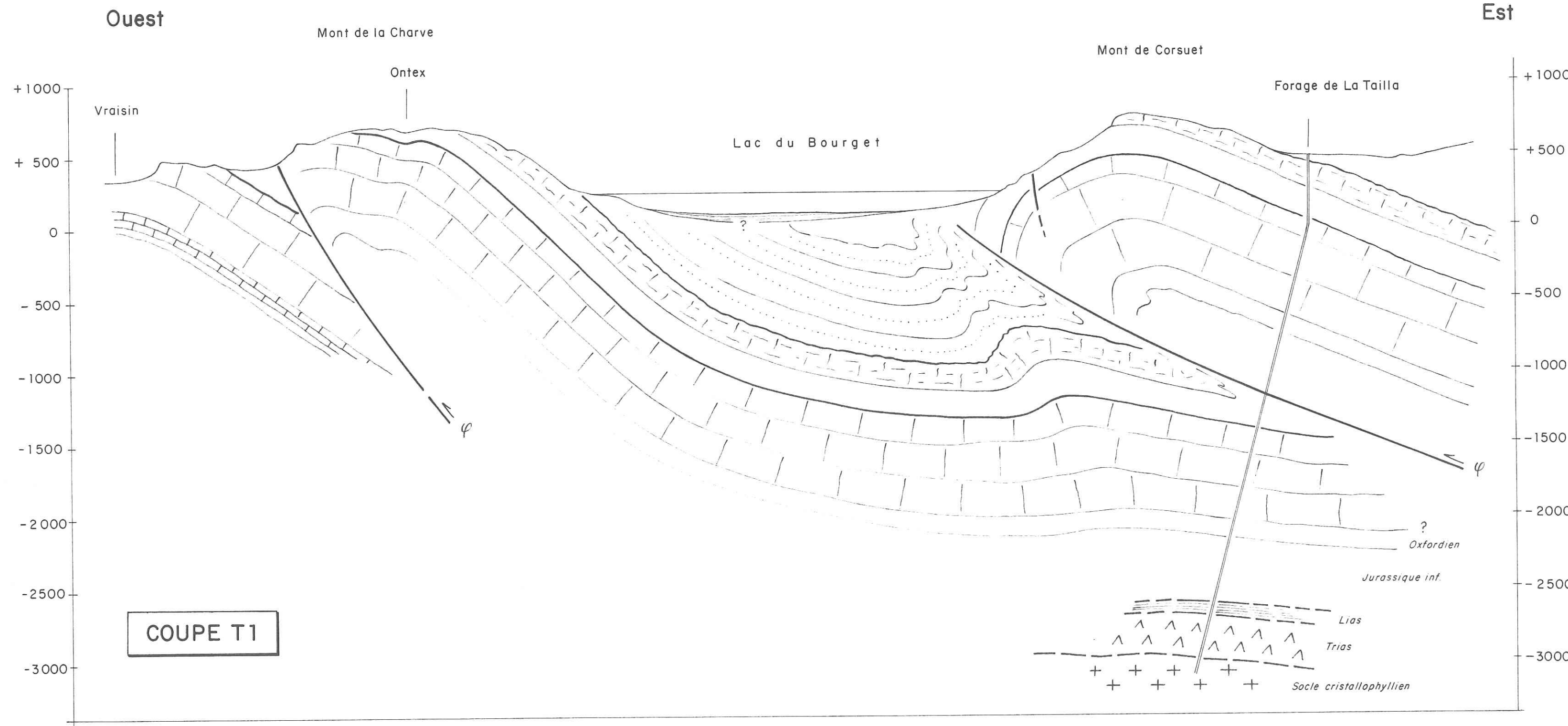
**COUPES
GEOLOGIQUES TRANSVERSALES**

ECHELLE 1 / 25 000

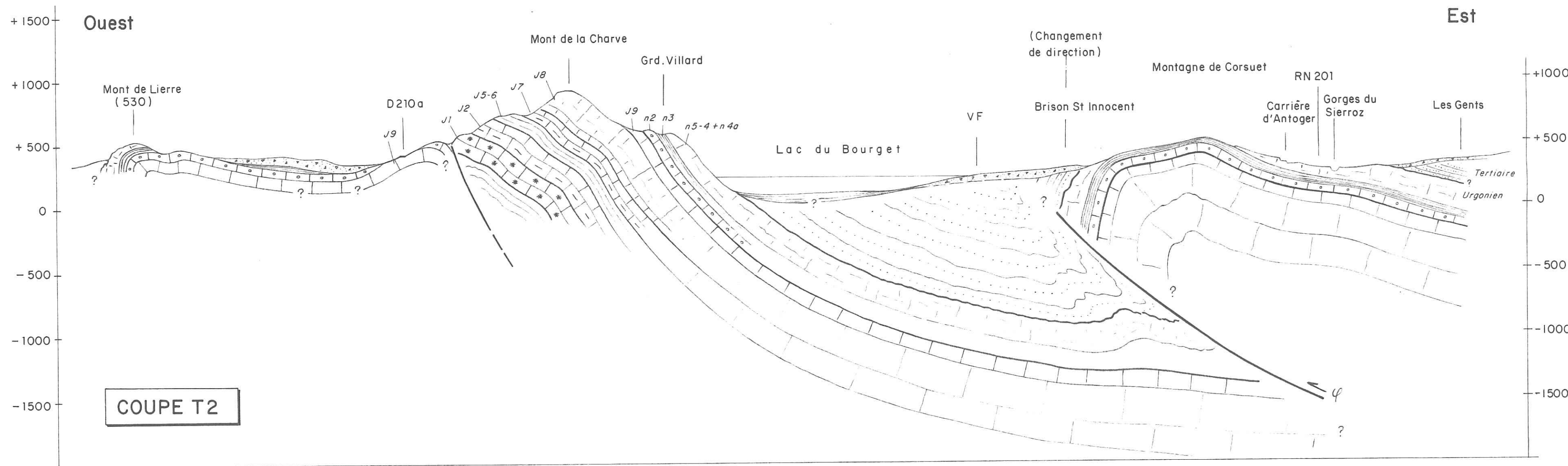
LEGENDE

-  *Tertiaire (molasse miocène + Oligocène)*
-  *Urgonien : Calcaires massifs, karstifiés*
-  *Hauterivien : Marnes et marno-calcaire gris-bleu*
-  *Valanginien : Calcaires bicolores, calcaires clairs en gros bancs (faciès jurassien), marnes sombres (zone subalpine) et marno-calcaires*
-  *Portlandien : Calcaire lithonique karstifié*
-  *Kimmeridgien : Calcaire et calcaire légèrement argileux à pyrite éparses*
-  *Séquanien : Calcaire en bancs marqués et marno-calcaire*
-  *Oxfordien : Calcaire pseudolithographique, marno-calcaires lités, et marnes foncées*
-  *Bathonien : Calcaires et calcaires argileux*
-  *Bajocien : Calcaires bioclastiques, à niveaux de silex*

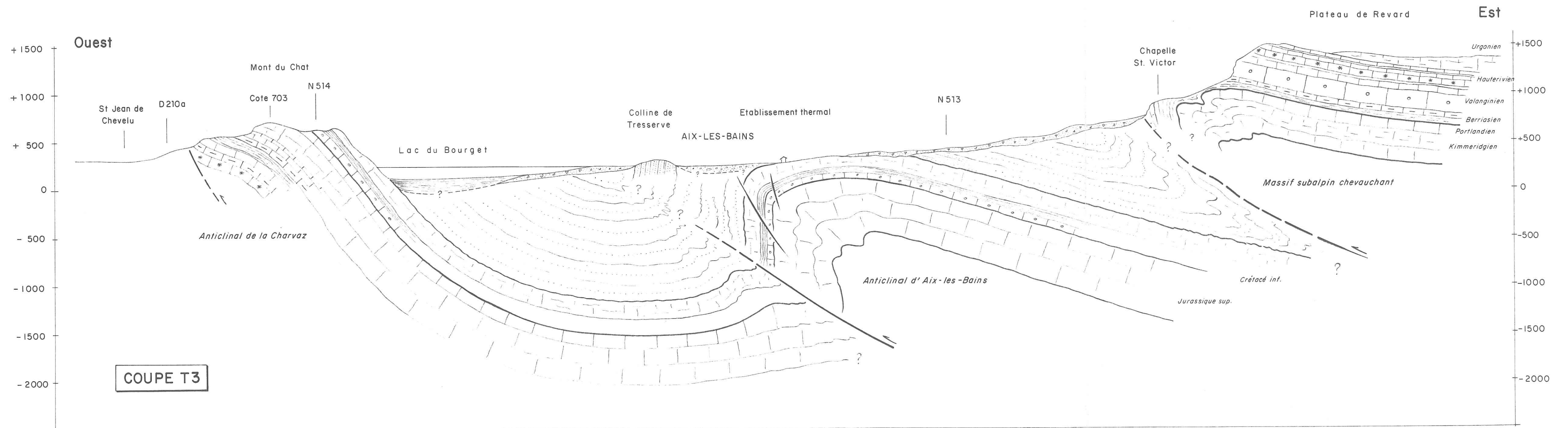
87 SGN 434 RHA



COUPE T1



COUPE T2



COUPE T3

AIX LES BAINS (Savoie)



CARTE TOPOGRAPHIQUE

0 300 600 m

