



Ministère de l'Industrie,
de la Poste et des
Télécommunications



DOCUMENT A ACCES
RESERVE

**Challes-les-Eaux (73) :
synthèse des connaissances hydrogéologiques
et avis sur le périmètre de protection
de la source minérale**

Décembre 1995
R 38 697



Étude réalisée dans le cadre
des actions de Service Public du BRGM

95 - A - 122



Ministère de l'Industrie,
de la Poste et des
Télécommunications



DOCUMENT A ACCES
RESERVE

**Challes-les-Eaux (73) :
synthèse des connaissances hydrogéologiques
et avis sur le périmètre de protection
de la source minérale**

Décembre 1995
R 38 697



Étude réalisée dans le cadre
des actions de Service Public du BRGM

95 - A - 122

BRGM
SERVICE GEOLOGIQUE REGIONAL RHONE-ALPES
29, boulevard du 11 Novembre 1918 - B.P. 2059
69616 - Villeurbanne Cedex
Tél. : 72 82 11 50

Mots-clés : Challes-les-Eaux, département Savoie, région Rhône-Alpes, France, source minérale.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

BOUILLIN O. (1995) : Challes-les-Eaux (73) : synthèse des connaissances hydrogéologiques et avis sur le périmètre de protection de la source minérale. Rapport BRGM R 38697 SGR/RHA 95, 21 pages, 1 annexe et 19 figures.

(c) BRGM, 1995, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

**CHALLES-LES-EAUX (73)
SYNTHESE DES CONNAISSANCES HYDROGEOLOGIQUES
ET AVIS SUR LE PERIMETRE DE PROTECTION DE LA SOURCE
MINERALE**

RESUME

La source minérale de Challes-les-Eaux, exploitée par la Société Anonyme des Eaux de Challes, a été déclarée d'intérêt public par le décret du 3/5/1895 qui instituait un périmètre de protection de 53 hectares 72 ares. Cette source est dite "Reine du Soufre".

Les multiples problèmes quantitatifs et qualitatifs liés à son exploitation ont conduit la Société des Eaux Minérales de Challes à faire réaliser, de 1958 à 1988, un certain nombre d'études en vue de la création d'un nouveau captage, offrant de meilleures performances.

Un forage a donc été réalisé début 1988 et autorisé, pour cinq ans renouvelables, par arrêté du 15 juin 1992 sous la dénomination "captage Cent-Sept".

Aucune nouvelle disposition n'a été prise concernant le périmètre de protection qui était attaché à la source.

Dans ce contexte juridique particulier, la DRIRE Rhône-Alpes a demandé au BRGM de tenter d'apporter, à partir de l'analyse de la documentation disponible, un certain nombre de précisions susceptibles d'orienter son action réglementaire. Ces précisions, d'ordre technique, concernent :

- le contexte général du site,
- la protection naturelle géologique existante dans les limites du périmètre de protection associé à la DIP de 1895 vis-à-vis de la source "Reine du Soufre" et vis-à-vis du captage "Cent-Sept",
- l'adéquation de ce périmètre à l'exploitation du captage "Cent-Sept",
- les désignations des travaux souterrains susceptibles d'avoir une influence sur la ressource minérale et de justifier une autorisation préalable par voie d'arrêté ministériel.

Le présent rapport analyse en détail les études géologiques et hydrogéologiques disponibles, en établit une synthèse, et précise les conditions vraisemblables d'alimentation de la source minérale.

Il précise l'évolution de la qualité physico-chimique de l'eau du forage "Cent-Sept", à partir des analyses disponibles et conclut sur l'inadéquation du périmètre de protection de la source "Reine du Soufre" pour la protection du forage "Cent-Sept".

Un certain nombre de recommandations techniques sont faites, dans la perspective de la révision de ce périmètre, mais des investigations complémentaires sur le site seront très vraisemblablement nécessaires.

Ce travail a été réalisé dans le cadre des activités de Service Public du BRGM, sur la fiche-programme "appui aux administrations".

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION.....	1
2. AVERTISSEMENT.....	2
3. HISTORIQUE.....	2
4. PROBLEME POSE.....	4
5. SYNTHESE DES INFORMATIONS.....	4
6. AVIS SUR LE CONTEXTE GEOLOGIQUE ET L'ORIGINE DE L'EAU MINERALE	7
7. EVOLUTION DE LA QUALITE DES EAUX DU FORAGE "CENT-SEPT"	11
8. AVIS SUR LE PERIMETRE DE PROTECTION	13
9. RECOMMANDATIONS.....	16
10. DOCUMENTATION CONSULTEE.....	17

ANNEXE :

INFORMATIONS DETAILLEES ISSUES DE LA DOCUMENTATION CONSULTEE	20
1 CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	21
1. 1. Stratigraphie	21
1. 2. Structure	21
2. CONDITIONS D'EMERGENCE DE LA SOURCE	24
3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE.....	24
4. MINERALISATION DES EAUX DE CHALLES.....	27
5. ORIGINE DES EAUX DE CHALLES.....	27

FIGURES

- Figure 1 : extrait de la carte topographique IGN à 1/20 000
- Figure 2 : assemblage extrait des cartes géologiques Chambéry et Montmélian à 1/50 000
- Figure 3 : schéma structural extrait de la carte géologique Montmélian à 1/50 000
- Figure 4 : coupe stratigraphique schématique, établie par BURGEAP - 1959 - (extraite du document (3))
- Figure 5 : carte établie par BURGEAP - 1959 - (photocopie réduite extraite du document (3))
- Figure 6 : coupes établies par BURGEAP - 1959 - (extraites du document (3))
- Figure 7 : croquis pour expliquer la genèse de l'eau minérale, établi par BURGEAP - 1984 - (extrait du document (18))
- Figure 8 : carte établie par B. DOUDOUX - 1976 - (extraite du document (6))
- Figure 9 : coupe établie par B. DOUDOUX - 1976 - (extraite du document (6))
- Figure 10 : coupe établie par CGG - 1958 - (extraite du document (2))
- Figure 11 : carte du toit des calcaires établie par CGG - 1958 - (photocopie réduite, extraite du document (2))
- Figure 12 : schéma structural établi par le BRGM - 1987 - (extrait du document (13))
- Figure 13 : forage "Cent-Sept" : évolution de la résistivité, de la teneur en Cl⁻, du degré sulfohydrométrique français et de la température
- Figure 14 : forage "Cent-Sept" : graphique d'évolution de la résistivité
- Figure 15 : forage "Cent-Sept" : graphique d'évolution de la teneur en Cl⁻
- Figure 16 : forage "Cent-Sept" : graphique d'évolution du degré sulfohydrométrique français

Figure 17 : périmètre de protection réglementaire de la source de Challes-les-Eaux : plan établi par la DRIRE

Figure 18 : périmètre de protection réglementaire de la source de Challes-les-Eaux : plan établi par la DDE

Figure 19 : proposition de périmètre de protection pour le forage 107

1. INTRODUCTION

La source minérale de Challes-les-Eaux, exploitée par la Société Anonyme des Eaux de Challes, a été déclarée d'intérêt public par le décret du 3/5/1895 qui instituait un périmètre de protection de 53 hectares 72 ares. Cette source est dite "Reine du Soufre".

Les multiples problèmes quantitatifs et qualitatifs liés à son exploitation ont conduit la Société des Eaux Minérales de Challes à faire réaliser, de 1958 à 1988, un certain nombre d'études en vue de la création d'un nouveau captage, offrant de meilleures performances.

Un forage a donc été réalisé début 1988 et autorisé par arrêté du 15 juin 1992 sous la dénomination "captage Cent-Sept". Cette autorisation, valable pour 5 ans, est renouvelable sur demande du titulaire. L'arrêté fixe un débit maximal d'exploitation de 0,9 m³/heure et définit un périmètre sanitaire d'émergence de 800 m², entièrement clôturé et propriété de la Société des Eaux Minérales de Challes. Il fournit également les références d'analyse des eaux.

Aucune nouvelle disposition n'a été prise concernant le périmètre de protection qui était attaché à la source.

Dans ce contexte juridique particulier, la DRIRE Rhône-Alpes a demandé au BRGM de tenter d'apporter, à partir de l'analyse de la documentation disponible, un certain nombre de précisions susceptibles d'orienter son action réglementaire. Ces précisions, d'ordre technique, concernent :

- le contexte général du site,
- la protection naturelle géologique existante dans les limites du périmètre de protection associé à la DIP de 1895 vis-à-vis de la source "Reine du Soufre" et vis-à-vis du captage "Cent-Sept",
- l'adéquation de ce périmètre à l'exploitation du captage "Cent-Sept",
- les désignations des travaux souterrains susceptibles d'avoir une influence sur la ressource minérale et de justifier une autorisation préalable par voie d'arrêté ministériel.

Le présent rapport rend compte de cette réflexion et développe un certain nombre de conclusions qui pourront éventuellement servir de base à la redéfinition, selon les procédures réglementaires, d'un périmètre mieux adapté à la protection du forage "Cent-Sept".

Ce travail a été réalisé dans le cadre des activités de Service Public du BRGM, sur la fiche-programme "appui aux administrations".

2. AVERTISSEMENT

Afin que le lecteur puisse bien faire la différence entre les observations et interprétations issues des différentes études ou documents consultés et les commentaires ou réflexions qui ont été ajoutés, on a adopté, pour cet exposé, les distinctions suivantes :

- en caractères typographiques "*italiques*" : les observations et interprétations issues des différentes études ou documents consultés,
- en caractères typographiques "romains" : les commentaires ou réflexions.

Des numéros entre parenthèses renvoient aux documents consultés dont la liste est fournie en annexe. Cette liste, présentée dans un ordre arbitraire, précise le lieu d'archivage de ces documents.

Toutes les figures, la plupart extraites des documents consultés, sont placées en annexe.

De nombreux noms de lieux étant cités, on pourra se référer à la carte topographique fournie en figure 1.

3. HISTORIQUE

(3) *La découverte des eaux de Challes, par le Docteur DOMENGET, date de 1841. Celui-ci fit reconnaître les propriétés thérapeutiques de la source et fit entreprendre les premiers travaux de captage.*

(24) *La Société des Eaux Minérales de Challes fut constituée le 2/7/1870 (acte de M^o Gabet, notaire à Chambéry) et l'Etablissement Thermal construit en 1874. celui-ci a, par la suite subi de très nombreuses améliorations et agrandissements.*

(2) *La source minérale de Challes-les-Eaux, exploitée par la Société Anonyme des Eaux de Challes, a été déclarée d'intérêt public par décret du 3/5/1895. Ce décret institue un périmètre de protection de 53 hectares 72 ares, avec obligation de bornage (le plan annexé au décret n'a pas été retrouvé en archives, une photocopie incomplète format A4 d'un plan établi le 22/1/1970 par le Service des Mines et une photocopie, également incomplète, d'un plan établi par la DDE 73 ont été utilisés à défaut).*

(24) fournit les précisions suivantes : "*source de Challes nommée "la Reine du Soufre"- présentée en 1841 à l'Académie de Médecine - Reconnue par la séance du 27 septembre 1842 par l'Académie de Médecine - reconnue d'utilité publique le 27 octobre 1841 - Périmètre de protection accordé par décret du 3 mai 1895". L'acte du 27/10/1841 n'a pas été retrouvé en archives et semble improbable. (22) fournit l'explication suivante "aucune autorisation d'exploitation n'était nécessaire sous le régime sarde et ensuite aucune autorisation au sens actuel du terme n'a été accordée explicitement pour l'exploitation de cette source de même*

que pour les autres sources de Savoie placées sous le même régime (...) La déclaration d'intérêt public a été demandée depuis 1861.."

La dénomination "Reine du Soufre" n'apparaît pas dans la DIP dont le libellé est "la source minérale située à Challes".

(25) précise "l'usage la fit désigner "de Challes". Plus récemment, elle reçut, s'il s'agit bien toujours du même captage, l'appellation d'eau de soufre et depuis 1956 "la Reine du Soufre". En fait la dénomination "Reine du Soufre" était utilisée depuis longtemps comme en atteste un courrier sur papier à en-tête "la Reine du Soufre" datant du 11/9/1929 (archivé à la DRIRE 73), et sans doute dès l'origine si l'on en croit (24).

(3) *En 1855 le captage se composait d'un grand bassin de 3 m de profondeur, d'un puits et d'un petit bassin. Un second captage fut entrepris en 1873, découvrant les griffons de la source à 6m de profondeur sous le sol.*

Des travaux plus récents ont eu lieu en 1925 suite à la mise au point par le Docteur Rey d'un nouveau procédé de captage qui utilise à la fois la méthode des différences de pression sur les griffons et celle des pressions hydrostatiques réciproques.

(5) *précise que le captage de la source, dans sa forme actuelle (c'est à dire en 1962) date de 1925 et utilise toujours le même principe, mais que le prélèvement de l'eau minérale par les sphères du docteur Rey a été remplacé par un pompage plus approprié. D'après (22) la modification de l'installation de pompage aurait été faite en 1960.*

Les modalités précises de captage et leur évolution n'ont pas été examinées. Elles sont complexes et traduisent une forte interaction locale des eaux minérales et superficielles.

(13) *L'eau minérale de la source "Reine du Soufre" est caractérisée par des difficultés d'exploitation liées à un débit faible et une qualité bactériologique fluctuante, conséquence de la vulnérabilité de la source à des pollutions par les eaux banales environnantes. Le débit d'exploitation par pompage (pompe péristaltique) varie entre 300 et 500 l/jour. Le stockage pendant l'intersaison, dans des bouteilles de verre hermétiquement closes, permet de couvrir les besoins correspondants à la saison thermale.*

(14) *Un forage de 145 mètres de profondeur a été réalisé en février 1988 afin d'assurer, dans de meilleures conditions, le captage de l'eau minérale.*

(15) *L'exploitation de ce nouveau forage, dénommé captage "Cent-Sept" (en raison de la cote 107 de la principale venue d'eau), a été autorisée pour 5 ans, renouvelables sur demande du titulaire, par arrêté du 15 juin 1992. Cet arrêté fixe un débit maximal d'exploitation de 0,9 m3/heure et définit un périmètre sanitaire d'émergence de 800 m2, entièrement cloturé et propriété de la Société des Eaux Minérales de Challes. Il fournit également les références d'analyse des eaux.*

La demande de renouvellement de cette autorisation a été déposée récemment, la Chaîne Thermale du Soleil se substituant à la Société des Eaux Minérales de Challes-les-Eaux (information fournie par la DRIRE 73).

4. PROBLEME POSE

Aucune modification n'a, jusqu'à présent, été apportée au périmètre de protection de la source institué par le décret du 3/5/1895. Ce périmètre, sur lequel s'appliquent les dispositions réglementaires de protection des sources minérales, reste donc en vigueur actuellement.

La localisation et le mode de captage ayant changé, il est apparu nécessaire d'examiner l'efficacité et l'adéquation du périmètre de protection existant, en tenant compte des informations fournies par les nombreuses études réalisées sur le site (cet examen a pour support les documents disponibles mais n'a pas donné lieu à des investigations complémentaires sur le terrain).

Cette question s'est révélée particulièrement délicate à traiter. En effet, dès un premier "balayage" rapide de l'abondante documentation disponible, il est apparu que le gisement ne semblait pas vraiment défini et que les avis différaient quant à l'origine de l'eau et à son cheminement. Ce premier constat a malheureusement été confirmé par un examen attentif des documents disponibles qui laisse subsister plusieurs hypothèses et interrogations. Ces incertitudes ne sont évidemment pas sans conséquence sur la définition même du périmètre de protection de la source, définition qui n'est d'ailleurs abordée par aucune des études consultées.

Dans ce contexte le risque était grand d'une analyse subjective, n'ajoutant qu'un nouvel avis aux nombreux déjà émis. On a donc cherché à assurer une certaine objectivité à l'analyse et à la synthèse des documents disponibles en procédant de la façon suivante, en trois étapes :

- analyse détaillée, dans l'ordre chronologique, de chacun des documents. On a principalement retenu dans cette analyse les observations originales et interprétations justifiées (de terrain : cartographie, pendages, débits,...; de laboratoire : analyses) ;
- regroupement, point par point de tous les éléments d'information recueillis et comparaison ;
- synthèse, analyse critique et réflexion d'ensemble, conclusions et propositions.

Le détail des informations recueillies est fourni en annexe.

5. SYNTHESE DES INFORMATIONS

L'examen détaillé (*cf.* annexe) de toutes les observations et interprétations fournies révèle donc des contradictions. Un regroupement et une synthèse rapide des informations acquises s'impose donc et servira de base au raisonnement ultérieur.

On retiendra donc les éléments suivants :

1) Deux hypothèses ont été émises concernant l'origine de la minéralisation des eaux :

- *origine triasique* (Moret, BURGEAP 1984, Dazy)
- *minéralisation au sein des calcaires marneux riches en pyrite* (Revil-Lemoine, BURGEAP 1959, BRGM).

Mais seule l'hypothèse de l'origine triasique rend compte de l'ensemble du faciès des eaux et notamment des fortes teneurs en Sodium et de la présence d'éléments traces (comme le Bore) que l'on rencontre dans les eaux du Trias (Dazy).

La teneur en Soufre 34, plus élevée que les valeurs habituellement obtenues sur les sources thermo-minérales des Alpes, peut s'expliquer par une évolution en milieu réducteur riche en matières organiques à partir d'une source de sulfates triasiques (Dazy).

---> Seule l'hypothèse de l'origine triasique explique de façon satisfaisante la minéralisation de l'eau de Challes.

2) *La source émerge dans le Séquanien, séparé du Trias par une épaisseur d'au moins 1000 mètres de terrains sédimentaires, à dominante marneuse (tous les auteurs). Néanmoins les terrains pourraient être amincis pour des raisons tectoniques ou sédimentaires (Moret) et le Trias pourrait remonter à la faveur de discontinuités structurales liées à un écaillage (BURGEAP).*

---> L'origine triasique de l'eau est difficile à envisager compte-tenu de l'épaisseur des terrains et elle implique, dans tous les cas, une circulation profonde des eaux.

3) *Le flanc ouest du Mont St Michel est constitué de calcaires du Portlandien et du Kimméridgien supérieur à pendage très net et fort (45°) vers l'ouest, ce qui correspond sensiblement à la pente du terrain.*

4) *Le pied du Mont St Michel correspond à une zone fortement tectonisée avec un accident sensiblement nord-sud au niveau de Challes, s'infléchissant vers le nord-est plus au nord. Cet accident (faille de Bellevarde) est, dans les coupes faites au niveau de Challes :*

- *sensiblement vertical* (BURGEAP 1959, Doudoux)
- *à pendage ouest* (BURGEAP 1984, BRGM)

---> Le forage a permis de montrer que cet accident était vertical au niveau de Challes.

5) La source émerge au sein d'une structure qui donne lieu à deux interprétations :

- *anticlinal droit sensiblement nord-sud (Doudoux, CGG). Le coeur de cet anticlinal est affecté par une faille qui constitue le prolongement vers le sud de la faille de Camelot.*

- *en pli-anticlinal (BURGEAP), ou pli-faille à coeur disloqué (BRGM), sensiblement nord-sud, déversé à l'est (BURGEAP, BRGM). Dans ce cas le prolongement de la faille de Camelot n'est pas clairement identifié (BRGM) ou plus ou moins confondu avec la faille de Belvarde (BURGEAP).*

6) *Plusieurs sources émergent sur le flanc du Mont St Michel, au sein duquel les circulations sont de type karstique. La faille de Belvarde joue le rôle de drain, des colorations ayant mis en évidence une liaison entre la ferme de Belvarde et la source de Triviers (Rampnoux).*

Les failles décrochantes jouent le rôle d'écran dans les circulations des eaux normales (Zamolo, BURGEAP)

7) Deux opinions sont émises en ce qui concerne la zone d'infiltration des eaux météoriques :
- *le Mont St Michel (BURGEAP, Moret, BRGM)*
- *le Grand Joueret (Doudoux)*

8) En ce qui concerne le cheminement de l'eau minérale, on trouve les avis suivants :
- *infiltration sur le Mont St Michel, transit profond et remontée le long de la faille bordière du Mont St Michel (BURGEAP, BRGM)*
- *les venues d'eau sulfurée de Challes semblent bien être en relation avec la faille de Camelot (Dazy)*
- *aucune liaison n'est prouvée entre la source et la faille de Camelot, l'origine de l'eau est plus lointaine et plus profonde (Doudoux)*

9) La température de l'eau n'est pas élevée : 15-16 °.

---> Ceci implique soit un cheminement à faible profondeur (100-200 m maximum ?), soit une remontée très lente, permettant à l'eau de se refroidir.

10) Les débits sont faibles :
- *300-500 l/jour pour la source*
- *0,9 m³/h pour le forage*

11) *les valeurs isotopiques en O18 et en Deutérium montrent que l'eau minérale, de même que les sources d'eau banale voisine possèdent une même zone d'alimentation dont l'altitude correspond à celle du Mont St Michel (BRGM)*

---> Le sommet du Mont St Michel est à 895 m.

12) La teneur en Tritium des eaux du forage était de 3 ± 1 UT en 1987 (BRGM). En ce qui concerne la source, les données sont sujettes à caution en raison du mélange avec les eaux superficielles : 25 UT en 1987 (BRGM), 54 UT en 1977 (Dazy).

---> Le temps de transit de l'eau est long.

13) L'interprétation du pompage d'essai réalisé sur le forage conduit à des caractéristiques hydrodynamiques qui indiquent une transmission de l'eau difficile par un réseau de fissures très lâche, mais très étendu (BRGM).

---> L'eau circulerait dans un réseau de fissures lâches, mais très étendu.

6. AVIS SUR LE CONTEXTE GEOLOGIQUE ET L'ORIGINE DE L'EAU MINERALE

Aucun des modèles qui ont été proposés ne permet d'expliquer tous les faits constatés en raison des deux principales contradictions suivantes :

- le faciès de l'eau est triasique mais le Trias se situe à très grande profondeur (plus de 1000 mètres)
- le transit de l'eau est profond (BURGEAP et BRGM) mais sa température est basse,

On peut remarquer en outre que le rôle de la faille de Bellegarde est plutôt complexe : si l'on en croit les faits et les hypothèses (BURGEAP et BRGM), elle constituerait un écran permettant la remontée des eaux normales et jouerait le rôle de drain nord-sud sur 300 mètres de dénivellée pour les mêmes eaux (faits) mais elle permettrait aussi la remontée indépendante des eaux minérales (hypothèse). Ce fonctionnement s'il n'est pas impossible, semble néanmoins bien compliqué.

Il apparaît donc clairement que le problème de l'origine de l'eau de Challes pourrait être aisément résolu s'il était possible de démontrer que le Trias n'est pas, ou du moins pas partout, aussi éloigné que cela a été presque unanimement admis.

La réflexion a donc été poussée dans ce sens à partir de l'analyse des documents concernant la géologie du secteur.

En premier lieu, les épaisseurs probables de la série sédimentaire ont pu être estimées grâce aux travaux de JC. Barféty (26). Les informations qu'il apporte à ce sujet résultent cependant principalement d'interpolations (en raison de l'impossibilité de faire des observations directes dans ce secteur) et doivent donc être prises comme des ordres de grandeur.

En se référant à la description qu'il donne des domaines sédimentaires (cf. (26) p. 535 à 553) on obtient :

- *Hettangien : calcaires et marnes, épaisseur inférieure à 20 mètres.*
- *Sinémurien à Carixien : épaisseur difficile à préciser, 50 à 100 mètres de calcaires ?*
- *Domérien : le secteur étudié se trouve en limite de dépôts calcaires d'épaisseur inférieure à 40 mètres (au nord-ouest) et de calcaires et marnes de 50 à 100 mètres d'épaisseur (au sud-est).*
- *Toarcien inférieur et moyen : une cinquantaine de mètres de marnes, au maximum.*
- *Toarcien supérieur-Aalénien : épaisseur difficile à préciser. Le secteur étudié se trouve en limite de dépôts calcaires peu épais (à l'ouest) et d'argilites à nodules siliceux d'une épaisseur supérieure à 300 mètres (à l'est).*
- *Bajocien inférieur et moyen : épaisseur difficile à préciser. Le secteur étudié se trouve en limite de dépôts calcaires d'une épaisseur d'environ 50 mètres (au nord-ouest) et de marno-calcaires et calcaires gréseux d'une épaisseur de 200 à 300 mètres (au sud-est).*
- *Bajocien supérieur à Oxfordien inférieur : calcaires peu épais.*
- *Oxfordien moyen à Tithonique : épaisseur non précisée. Le secteur étudié se trouve en limite de dépôts calcaires peu épais (au nord-ouest) et de calcaires argileux et marnes épais (au sud-est).*

Des cartes d'isopaques sont fournies (cf. (26) p. 477-482) et donnent, avec les incertitudes déjà mentionnées, des épaisseurs d'une centaine de mètres, à l'est du secteur étudié, pour le Lias calcaire (Hettangien à Carixien), d'une centaine de mètres également, à l'est du secteur étudié, pour le Lias schisteux (Domérien-Toarcien).

L'imprécision semble plus importante en ce qui concerne le Dogger (Aalénien-Bajocien moyen) qui, si l'on se réfère à la description des domaines sédimentaires pourrait avoir une épaisseur de l'ordre de 100 à 200 mètres. Cette épaisseur est peut être plus importante puisque la carte des isopaques indique 500 mètres, avec un amincissement à 200 mètres au voisinage est du secteur étudié.

Une information complémentaire concernant l'épaisseur du Séquanien est fournie par la légende de la carte géologique de Montmélian (17) qui indique que *son épaisseur n'excède pas 100 mètres dans le sud des Bauges.*

L'épaisseur des formations situées entre le sommet du Séquanien (premier contact stratigraphique visible sur la carte) et le Trias pourrait donc, sous réserve d'incertitudes inévitables, être comprise entre 500 et 800 mètres et non pas supérieure à 1000 mètres comme cela était admis. On notera que l'on rejoint ici l'opinion de L. Moret qui n'excluait pas un amincissement de la série sédimentaire dans ce secteur.

Cette épaisseur est cependant encore trop importante pour être compatible avec la température des eaux minérales. Cette contradiction, pour être éclaircie requiert un examen attentif des structures.

Le flanc ouest du Mont St Michel, constitué de calcaires du Kimméridgien supérieur et du Portlandien, est incontestablement à pendage très net et fort (45°) vers l'ouest. Le pied du Mont St Michel correspond à une zone fortement tectonisée avec un accident sensiblement nord-sud dans le secteur de Challes, s'infléchissant vers le nord-est plus au nord. Cet accident (faille de Belvarde) est vertical au niveau de Challes.

La source émerge au sein d'un anticlinal droit, sensiblement nord-sud et non dans un pli faille. Les observations de couches à pendage vers l'est au pied du Mont St Michel sont, en effet, nombreuses et précises :

- BURGEAP en indique sur sa coupe CC' de 1959 (en contradiction d'ailleurs avec sa carte au point 7),
- B. Doudoux et CGG en décrivent, avec beaucoup de précision pour le premier.

Le coeur de cet anticlinal, d'âge séquanien, est affecté par une faille qui constitue le prolongement vers le sud de la faille de Camelot et se traduit par une zone fortement broyée.

Il est donc clair que le Mont St Michel correspond à un compartiment structural abaissé par rapport à celui dans lequel émerge la source. Dans sa partie ouest, au contact de la zone faillée et de l'anticlinal où émerge la source, le Trias se situe donc très certainement à une profondeur bien supérieure à 500 mètres (500 mètres minimum + l'épaisseur du Kimméridgien supérieur et du Portlandien).

En ce qui concerne la structure du compartiment dans lequel émerge la source, nous avons vu (B. Doudoux) qu'il s'agissait d'un anticlinal. Cet anticlinal, dit anticlinal de la Roche est déversé vers l'est dans sa partie nord et plus droit dans sa partie sud, c'est à dire dans la région de Challes. B. Doudoux précise, dans la légende de la carte géologique de Chambéry : "le fait remarquable est (..) que l'anticlinal de la Roche, simple pli droit au sud, devient au nord un pli faille couché". La faille de Camelot qui affecte le coeur de cet anticlinal et qui est droite dans sa partie sud présente donc un pendage ouest dans sa partie nord et le secteur des gorges de Camelot et du Grand Joueret doit être localement légèrement chevauchant sur le compartiment du Mont St Michel.

La faille de Camelot est elle susceptible d'atteindre le Trias ? oui, très vraisemblablement. En effet, la structure profonde en écailles du Massif des Bauges est attestée par les études qui ont été faites des profils de sismique réflexion profonde ECORS-CROP (19) et (20). De plus le schéma structural de la carte géologique Montmélian (cf. figure 3) indique qu'il s'agit d'un accident à coulissage dextre de grande envergure puisqu'il est supposé se raccorder aux fractures du Massif de la Chartreuse. Il s'agit donc d'un accident profond.

Dans la structure anticlinale de la Roche, le point topographiquement le plus haut du contact Séquanien - Kimméridgien supérieur est très proche du sommet du grand Joueret à 800 mètres d'altitude environ (cf. figure 8). A cet endroit, si l'épaisseur des terrains entre le sommet du Séquanien et le Trias est de 500 mètres, cela signifie que le toit du Trias est à la cote 300 mètres environ.

On remarquera que cette cote (300 m) est la même que celle à laquelle émerge la source.

Le Trias, dans ce cas, est donc beaucoup plus accessible et on peut faire l'hypothèse suivante : l'eau s'infiltré dans le secteur du Grand Joueret et dans la partie amont des gorges de Camelot, puis elle est très vraisemblablement concentrée gravitairement par la faille qui la met en contact avec le Trias et lui permet ensuite, par un drainage transversal analogue à celui qui a été démontré pour la faille de Bellevarde, d'émerger dans la partie basse du système. Il est vraisemblable que ce drainage est assez superficiel en fin de parcours en raison de la faible température de l'eau.

Ce raisonnement reste valable pour une épaisseur de terrains de l'ordre de 600-800 mètres, le circuit de l'eau étant alors un peu plus profond (100 à 300 mètres en dessous du niveau d'émergence), à moins que les formations triasiques, plastiques, ne soit elles-mêmes remontées dans la zone faillée, ce qui est tout à fait possible.

L'origine triasique des eaux, très difficile à envisager au niveau du Mont St Michel, s'explique ainsi aisément si l'on situe la zone d'alimentation de la source de Challes au niveau du Grand Joueret.

On rejoint donc l'hypothèse faite par B. Doudoux et reprise par J. Dazy mais qui n'avait pas reçu d'explication.

L'idée que la zone d'alimentation de la source était située vers le Mont St Michel a été considérée comme un fait acquis par la plupart des intervenants (excepté B. Doudoux et J. Dazy). C'est sans aucun doute cette idée fautive, mais la plus vraisemblable à première vue, qui est à l'origine de toutes les contradictions des hypothèses formulées.

Si l'origine de l'eau semble ainsi précisée, le gisement n'en est pas pour autant défini et il n'est pas évident de le faire.

La présence de circulations d'eau minérale à la faveur de la zone anticlinale fracturée est attestée par la présence de la source et par la réussite du forage. Y a-t-il ou non, dans la partie aval du système anticlinal, vers le sud, un gisement d'eau minérale ? Aucune observation ne permet de conclure, avec certitude, sur ce point.

On remarquera seulement que la position de la source "Reine du Soufre", au point où la crête de marnes et de calcaires argileux séquanien disparaît sous la plaine alluviale, de même que la présence probable d'autres venues minérales au sein de la nappe alluviale, dans le même secteur, évoquent un fonctionnement en "trop-plein" qui pourrait correspondre à la zone d'émergence d'un aquifère fissuré, captif sous les alluvions fluvio-glaciaires.

Aucune information ne permet de connaître l'ampleur et l'extension de la zone fracturée au sud des Thermes. On notera cependant que la campagne "radon" conduite par le BRGM fait apparaître une zone d'anomalies au sud, dans le quartier de Pré Carré, ce qui pourrait s'expliquer par le prolongement vers le sud de cette zone de fractures.

Une autre observation mérite d'être évoquée : la présence, au flanc sud-est du Mont St Michel de la source de la Boisserette, dont la minéralisation correspond aussi à un faciès triasique (cf. Dazy et al. (9)). Un examen de la carte géologique permet d'envisager un fonctionnement hydraulique du flanc sud-est du Mont St Michel comparable à celui du flanc sud-est du Grand Joueret. : une zone de fractures, partiellement masquée par les formations glaciaires, pourrait longer ce flanc sud-est du Mont St Michel et permettre la remontée d'eaux qui, en raison de structures géologiques favorables et de différences d'altitude, ont pu être en contact avec les formations triasiques. Cette zone fracturée est masquée par les alluvions dès son débouché dans la plaine de Challes, au droit du ruisseau de la Boisserette.

Comment s'organise le réseau de failles dans le secteur situé au sud des Thermes, entre Triviers et St Jeoire ? Rien ne permet de le préciser. Mais deux de ces failles : Camelot et sans doute Boisserette, jouent très vraisemblablement le rôle de drain pour les eaux minérales. Du fait de la convergence de ces accidents, on pourrait faire l'hypothèse d'une forte fracturation des formations séquanienues dans le secteur de Triviers-St Jeoire. La présence d'un gisement d'eau minérale, alimenté par ces accidents, pourrait alors être supposée, dans la partie sud de la plaine de Challes.

7. EVOLUTION DE LA QUALITE DES EAUX DU FORAGE "CENT-SEPT"

Les résultats des analyses réglementaires effectuées depuis 1988 par l'Institut Pasteur de Lyon sur les eaux du forage "Cent-Sept" et archivées à la DRIRE de Savoie ont pu être exploitées. Seules ont été retenues les analyses correspondant à des prélèvements au robinet de sortie de l'ouvrage. On dispose d'environ une analyse par mois.

On trouvera ci-joint :

- un tableau (cf. fig. 13) récapitulant les paramètres suivants :

- résistivité,
- teneur en Cl⁻ (mg/l)
- degré sulfohydrométrique français
- température

- trois graphiques correspondant à l'évolution de la résistivité (cf. fig. 14), de la teneur en Cl⁻ (cf. fig. 15), et du degré sulfohydrométrique français (cf. fig. 16). L'évolution de la température, qui varie de 15 à 17 degrés ne paraît pas significative.

L'examen de ces graphiques témoigne d'une certaine dérive de la qualité des eaux du forage :

- la résistivité qui avait déjà sensiblement augmenté pendant la période des essais du forage a confirmé cette tendance. Une croissance sensible est observée de 1988 à début 1992 (la résistivité passe de 150 à 250 ohms/cm, environ). L'augmentation semble ensuite plus lente (de 250 à 300 ohms/cm, environ) mais en même temps une légère composante cyclique apparaît avec une baisse de la résistivité plus faible en hiver, alors que le forage doit être

moins (ou pas) sollicité. On notera en outre deux "pics" de forte résistivité en septembre 1993 et en juillet 1995.

- la teneur en Cl⁻ est relativement stable, autour de 150 mg/l, jusqu'à l'été 1993, avec cependant deux "pics" correspondant à des concentrations plus fortes en août 1990 (347 mg/l) et, dans une moindre mesure en avril 1993 (227 mg/l). En septembre et octobre 1993 on observe une chute très importante (teneurs de 50, puis 24 mg/l) suivie d'un retour, en novembre, à une situation presque normale mais instable puisqu'en décroissance quasi-constante depuis, avec une légère amélioration dans le courant de l'hiver 1994-95.

- le degré sulfohydrométrique français décroît, lui aussi, de façon très sensible pendant les premières années. Sa décroissance est ensuite plus lente, avec des chutes brèves mais très marquées en novembre 1992 et avril 1993, et plus faibles en septembre 1993, janvier 1994 et juillet 1995.

L'eau du forage n'est donc plus exactement conforme à l'analyse physico-chimique de référence jointe à l'arrêté d'autorisation du 15/6/1992 :

- sa résistivité a, depuis l'analyse de référence, toujours dépassé la valeur de 211,8 ohms/cm (correspondant à la conductivité de référence de 4720 μ S/cm). Sur les 12 derniers mois (octobre 1994-octobre 1995) sa valeur moyenne est de 259 ohms/cm (correspondant à une conductivité de 3861 μ S/cm), soit une dérive de l'ordre de + 22 %.

- sa teneur en Cl⁻ est régulièrement inférieure à la valeur de référence (129,5 mg/l) depuis septembre 1993, à l'exception de trois analyses proches de celle-ci. Sur les 12 derniers mois (octobre 1994-octobre 1995) sa valeur moyenne est de 89,5 mg/l, soit une dérive de l'ordre de - 31 %.

Sans faire une analyse détaillée des corrélations éventuelles entre les précipitations et la minéralisation de l'eau, on remarquera que l'augmentation de la résistivité et la forte chute des teneurs en Cl⁻ observées en septembre-octobre 1993 coïncident avec un épisode pluvieux très marqué (les pluies cumulées pour ces deux mois à Chambéry représentent 221 % de la normale).

Un examen plus détaillé de l'évolution de la qualité des eaux, en fonction de la pluviométrie d'une part, et des volumes pompés d'autre part, apporterait, sans aucun doute, des informations complémentaires utiles.

On peut cependant conclure que le forage n'est pas à l'abri des venues d'eaux superficielles et que ceci se traduit par une évolution progressive de la qualité de l'eau minérale et par une dilution qui peut être importante lors de pluies très abondantes.

8. AVIS SUR LE PERIMETRE DE PROTECTION

Deux plans sommaires, incomplets et non concordants, du périmètre de protection attaché à la source "Reine du Soufre" sont disponibles :

- l'un établi par la DRIRE (cf. fig. 17)
- l'autre établi par la DDE (cf. fig 18)

Le plan original, annexé au décret du 3/5/1895, n'a pas été localisé dans l'inventaire rapide des archives qui a été fait.

Les divergences entre les deux plans disponibles portent :

- sur la partie nord : le périmètre de protection englobe le Château-Hotel pour la DRIRE et passe nettement au sud, à mi-distance environ entre celui-ci et l'Etablissement thermal pour la DDE,
- sur sa partie sud : tout le quartier situé entre la rue Jean Jaurès, prolongée par le chemin rural de Triviers, la RN 6 et l'Avenue Domenget (quartier de Pré Carré) est englobé dans le périmètre de protection pour la DDE et n'en fait pas partie selon la DRIRE.

L'examen précis de ces divergences nécessiterait le recours aux plans cadastraux. Il semble cependant que le plan de la DRIRE soit le plus exact car il correspond le mieux à la description donnée par le décret du 3/5/1895 qui indique que le périmètre passe au nord-est de la parcelle du Château de Challes, et, dans sa partie sud-ouest, par un chemin qui aboutit à l'Avenue Domenget (et non par la RN6). C'est donc le tracé de la DRIRE que l'on retiendra (cf. fig. 17).

Le forage Cent-Sept est situé à l'intérieur du périmètre de protection de la source "Reine du Soufre", dans la partie nord-est de celui-ci.

L'examen du contexte hydrogéologique a montré que la protection naturelle géologique existante dans les limites du périmètre de protection associé à la DIP de 1895 est faible : l'eau minérale circule, et émerge, à la faveur d'une zone très fracturée surmontée, dans sa partie basse, par un aquifère alluvial de faible épaisseur (jusqu'à une dizaine de mètres environ, localement plus) contenant une nappe en charge sous une couverture limono-argilo-tourbeuse de quelques mètres.

Cette nappe alluviale serait alimentée au sud à partir du seuil de St Jeoire, à la fois par les pertes de la Boisserette et par les éboulis de pied de pente du Mont St Michel et du Rocher Cazard (une participation des calcaires du Mont St Michel est probable à travers de ces éboulis). Elle est drainée à l'aval par de nombreuses émergences signalées aux environs des Thermes et par le ruisseau la Mère.

Elle se trouve compartimentée, selon une direction sensiblement nord-sud :

- d'abord par la crête de marnes et calcaires argileux séquanien au sein desquels émerge la source et qui affleure au nord de l'Etablissement Thermal,

- ensuite, vers l'ouest, par une crête correspondant au Kimméridgien du flanc ouest de l'anticlinal de la Roche. Cette crête traverse la plaine entre Chaffat au nord et le rocher Cazard au sud. Son passage se traduit par 3 pointements rocheux : 2 au milieu des marais et le 3° au niveau de la gendarmerie.

La source émerge immédiatement au sud du point où la crête de marnes et calcaires argileux séquaniens disparaît sous la plaine alluviale et les conditions d'émergence font que l'eau minérale est très fortement influencée par l'eau de la nappe alluviale, de très mauvaise qualité dans ce secteur.

Qu'en est-il de l'appendice nord de la nappe alluviale, situé entre les Thermes et la localité Le Puits, secteur dans lequel se trouve le forage Cent-Sept ? il ne semble pas y avoir d'information précise à ce sujet, hormis son épaisseur (7 mètres d'alluvions argilo-graveleuses et 17 mètres d'alluvions sablo-graveleuses). Compte-tenu de la topographie, on peut raisonnablement penser que cette partie de la nappe alluviale est alimentée par le nord, dans le secteur du Puits, par le ruissellement issu des gorges de Camelot (on remarquera d'ailleurs que, d'après la carte topographique, ce thalweg ne donne pas lieu à un écoulement pérenne, ce qui pourrait confirmer l'hypothèse de l'infiltration des eaux de ruissellement). Il semblerait, d'après les constatations faites lors de la réalisation du forage, que la qualité des eaux de cette nappe soit, là aussi, médiocre.

Compte-tenu de sa profondeur, et des dispositions qui ont été prises pour éviter le mélange avec les eaux de la nappe alluviale, le forage est mieux protégé que la source. On a vu cependant qu'il n'était pas à l'abri de mélange avec des eaux superficielles. Le fait que ce mélange ne se traduise, jusqu'à présent, que par des variations de la qualité chimique des eaux signifie peut-être seulement que la pression polluante est relativement faible dans le secteur du Puits et les gorges de Camelot.

Ces réflexions conduisent évidemment à envisager une protection accrue dans tout le bassin d'alimentation du réseau de fractures sollicité par le forage :

- protection forte (de type périmètre rapproché) dans tout le secteur topographiquement le plus bas, et notamment au niveau de la localité le Puits et dans ses environs jusqu'à Chaffat. Ce secteur est en effet susceptible de polluer la nappe alluviale, et aussi, de façon directe, les fractures des formations séquaniennes, à l'amont hydraulique du forage,
- protection de type périmètre éloigné dans toute la partie haute : Gorges de Camelot et une partie du Grand Joueret. Ce périmètre peut sembler excessif eu égard au temps de transfert de l'eau, mais il faut bien voir qu'il doit garantir aussi la qualité des eaux plus superficielles, avec laquelle des mélanges, non localisés, se produisent. A titre de comparaison, on notera que le périmètre de protection éloigné proposé pour la source de Triviers englobe toute la partie ouest du Mont St Michel jusqu'à la ferme de Bellevarde, en passant par Montmerlet.

L'extension, vers le nord, du périmètre de protection attaché à la source devrait garantir le maintien de la qualité bactériologique des eaux du forage mais ne résoudra pas la dérive

constatée de ses qualités physico-chimiques qui résultent de mélanges naturels dont on ignore à quel niveau ils se produisent.

Le forage étant situé dans un secteur hydrauliquement plus à l'amont que la source, le périmètre de protection, étendu comme proposé ci-dessus, devrait également garantir le maintien des performances que l'on peut attendre de cet ouvrage.

Cette extension du périmètre de protection n'assurera cependant une protection efficace que de l'amont du gisement.

Si, comme on en a fait précédemment l'hypothèse le gisement d'eau minérale se développe vers le sud, c'est une zone beaucoup plus étendue dans cette direction, allant jusqu'au seuil topographique de St Jeoire-Prieuré qu'il faudrait également protéger.

Vers l'ouest, la crête kimméridgienne qui traverse la plaine entre Chaffat au nord et le rocher Cazard au sud semble compartimenter suffisamment la nappe alluviale pour que les variations de pression à son aval ne soient que peu ressenties à l'amont. Elle constitue en outre la limite ouest des formations séquanienues fracturées. On pourrait donc prendre cette crête comme limite est du périmètre de protection, ce qui aurait pour conséquence :

- d'exclure du périmètre le triangle étroit situé entre la RN6 et le ruisseau la Mère, à l'ouest d'une ligne Chaffat-gendarmerie,
- d'inclure dans le périmètre une partie de l'agglomération de Challes qui n'en fait pas partie actuellement, à l'ouest de la RN6 depuis la gendarmerie au nord, jusqu'au rocher Cazard au sud (quartiers de la mairie et du stade).

En résumé, on pourrait conseiller (cf. figure 19) :

pour la protection du forage Cent-Sept :

- une extension du périmètre de protection existant de façon à englober la localité du Puits et ses environs jusqu'à Chaffat et à la partie basse des gorges de Camelot. Ce périmètre, sensiblement rectangulaire, passe par Chaffat au nord-ouest, la gendarmerie et le rocher Cazard à l'ouest, le Château de Triviers au sud et le pied du Mont St Michel à l'est, jusqu'au débouché des gorges de Camelot. Il est matérialisé sur la figure 19 par un trait pointillé ;
- une vigilance particulière sur un périmètre plus étendu, correspondant à la zone d'infiltration qui englobe les Gorges de Camelot et une partie du Grand Joueret. Cette zone correspond aux parties nord et est du périmètre matérialisé sur la figure 19 par un trait plein, jusqu'au niveau du Château de Triviers ;

pour la protection du gisement supposé :

- outre les mesures détaillées ci-dessus : une vigilance particulière sur la partie sud du périmètre matérialisé sur la figure 19 par un trait plein, et la maîtrise de pollutions susceptibles d'être apportées par le ruisseau de la Boisserette.

Dans les deux cas, le triangle étroit situé entre la RN6 et le ruisseau la Mère, à l'ouest d'une ligne Chaffat-gendarmerie semble pouvoir être exclu des périmètres.

Dans le périmètre de protection, il conviendra :

- d'interdire tout forage de recherche ou d'exploitation d'eau,
- de prévenir tout risque de pollution chronique ou accidentelle,
- de veiller au maintien de l'équilibre hydraulique fragile entre la nappe alluviale et les formations sous-jacentes et de ne pas modifier l'hydrodynamique de la nappe alluviale. On évitera donc de laisser percer la couche peu perméable qui la maintient en charge. Tous les travaux devront faire l'objet de précautions : pas de minage, pas de pompage dans la nappe, surveillance d'éventuelles venues d'eau minéralisées. On demandera, préalablement à l'autorisation de travaux, la fourniture d'une ou plusieurs coupes géologiques (reconnaitances à la pelle mécanique ou au pénétromètre réalisées dans les règles de l'art et aussitôt rebouchées avec les matériaux d'origine) et on veillera à ce qu'une couche d'argile naturelle compacte d'au moins 3 mètres d'épaisseur puisse être conservée intacte entre la nappe alluviale et le niveau le plus profond atteint par les dits travaux. Seules les excavations de quelques mètres de profondeur pourraient donc être autorisées dans les secteurs où la nappe alluviale bénéficie d'une bonne protection superficielle ; elles devraient être interdites lorsque la couche superficielle est amincie ainsi que sur les affleurements calcaires,
- de favoriser l'amélioration de la qualité de l'eau de la nappe alluviale ou, au minimum, de ne pas laisser les choses s'aggraver : tous les rejets devraient être obligatoirement raccordés à un réseau collectif, évacuant en dehors du périmètre de protection (aucun rejet, y compris en eau superficielle, ne sera autorisé dans le périmètre); toutes les installations à risque (cuves à fuel par exemple) devraient être munies d'une enceinte étanche avec système de contrôle.

Aucune modification ne semble, par contre, être nécessaire pour le périmètre sanitaire d'urgence du captage "Cent-Sept". Ce périmètre semble être adapté au contexte hydrogéologique et à la nature de l'ouvrage (forage).

9. RECOMMANDATIONS

Le périmètre de protection de la source "Reine du Soufre" n'est donc pas adapté à la protection du forage "Cent-Sept", ni, à plus forte raison, à celle du gisement supposé.

Une définition du périmètre qui pourrait convenir cette protection a été proposée, en fonction des données disponibles.

L'analyse du dossier géologique et hydrogéologique de Challes-les-Eaux a cependant fait apparaître un certain nombre de défauts de connaissances sur ce site. Il serait utile de vérifier,

par des investigations complémentaires sur le terrain, les hypothèses et avis qui ont pu être émis au vu de la documentation disponible.

Les investigations complémentaires devraient donc être conduites :

- étude structurale détaillée du secteur, accompagnée d'une étude bibliographique approfondie relative à l'épaisseur des formations, afin de vérifier, ou non, le bien-fondé des hypothèses concernant l'origine de l'eau,
- campagne d'analyses chimiques sur l'ensemble de la nappe alluviale entre Le Puits et St Jeoire-Prieuré afin d'identifier d'éventuelles venues minéralisées, notamment dans la partie sud,
- examen de la fissuration superficielle du Séquanien dans la partie basse des Gorges de Camelot et, si cela est possible, la réalisation d'un traçage en vue d'essayer d'identifier l'origine des infiltrations d'eau superficielle,
- réalisation d'analyses physico-chimiques plus complètes sur l'eau du forage "Cent-Sept", en période d'abondantes précipitations.

Ces investigations permettraient de préciser les propositions qui ont été faites en s'appuyant sur une meilleure connaissance du site et du fonctionnement du système.

10. DOCUMENTATION CONSULTÉE

- (1) D I P , avec définition du périmètre de protection (3/5/95) - 1895. (archivage DRIRE).
- (2) Etude hydrologique par prospection électrique dans la région de Challes-les-Eaux - 1958 - rapport CGG. (archivage DRIRE).
- (3) Etude hydrogéologique de la source de Challes-les-Eaux - 1959- rapport BURGEAP R.258, Archambault J., Lermuzeaux A. (archivage DRIRE).
- (4) Note sur le captage de l'établissement thermal de Challes-les-Eaux - 1962 - rapport BURGEAP R.317, Archambault J., Bricka S. (archivage DRIRE).
- (5) Note géologique critique sur la source minérale de Challes-les-Eaux - 1962 - rapport Université Grenoble, Moret L. (archivage DRIRE).
- (6) Rapport géologique sur les conditions d'implantation d'une base de loisirs à Challes-les-Eaux - 1976 - expertise Géologue agréé, Doudoux B. (archivage BRGM (avec carte géol couleur) et DRIRE (avec carte géol NB + plans détaillés annexés)).
- (7) Note géologique concernant l'incidence éventuelle de deux constructions sur la source minérale de Challes-les-Eaux - 1977 - expertise Géologue agréé, Doudoux B. (archivage BRGM).

- (8) Rapport géologique sur la définition des périmètres de protection du captage communal de Triviers, Commune de Challes-les-Eaux - 1980 - expertise Hydrogéologue agréé, Rampnoux J-P. (archivage BRGM).
- (9) Nouvelles données géochimiques et isotopiques sur les eaux minérales de Challes-les-Eaux - 1988 ?- note Université Grenoble - BRGM, Dazy J., Bosch B., Rochat J. (archivage DRIRE).
- (10) Aménagement d'un étang, incidence éventuelle sur le régime de la source thermale de Challes-les-Eaux. Note préliminaire - 1983 - rapport SONDALP Lyon - BRGM, Archambault C., Royer J-M. (archivage DRIRE).
- (11) Aménagement d'un étang, incidence éventuelle sur le régime de la source thermale de Challes-les-Eaux, note complémentaire - 1983 - rapport BRGM RP 83 RHA 024, Royer J.M. (archivage BRGM).
- (12) ZAC du centre de Challes-les-Eaux - Etude géotechnique d'orientation - 1984 - rapport BRGM 84 AGI 029 RHA, Gouisset Y., Michalski E.R. (archivage BRGM).
- (13) Etude du système minéral de Challes-les-Eaux - 1987 - rapport BRGM 87 SGN 723 RHA, Barat A., Iundt F., Lopoukhine M. (archivage BRGM).
- (14) Réalisation d'un forage thermal à Challes-les-Eaux - Rapport de fin de mission - 1988 - rapport BRGM 88 SGN 499 RHA, Barat A., Iundt F. (archivage DRIRE).
- (15) Arrêté d'autorisation d'exploiter du captage Cent-Sept (15/6/92) - 1992 - (archivage DRIRE).
- (16) Carte géologique à 1/50000 CHAMBERY - 1963 - Gidon M., Perrier G., Doudoux (archivage BRGM).
- (17) Carte géologique à 1/50000 MONTMELIAN - 1969 - Barféty JC., Gidon M. (archivage BRGM).
- (18) Protection et amélioration des ressources en eau minérale de Challes-les-Eaux - 1984 - rapport BURGEAP R.572-E.1531, Archambault J., Agaledes P. (archivage DRIRE).
- (19) Interprétation structurale des données du profil de sismique réflexion profonde ECORS-CROP Alpes entre la front Pennique et la ligne du Canavese- 1990 - Mém. Soc. géol. Fr., Tardy M. et al. (archivage Univ. Grenoble).
- (20) Crustal reflexions beneath the Alps and the alpine foreland : geodynamic implications - 1991 - Geodynamics, Mugnier JL, Marthelot JM. (archivage Univ. Grenoble).

- (21) Régime des eaux souterraines dans les massifs calcaires. Hydrogéologie du secteur sud-est du massif des Bauges. Bassins versants du Ternèze et du Nant d'Aillon - 1980 - Thèse Zamolo G. (archivage Univ. Grenoble).
- (22) "Contrôle des Eaux minérales. Source ""la Reine du Soufre"" à Challes-les-Eaux. Rapport de l'Ingénieur des Mines" - 1966 - document DRIRE, Vuillot J. (archivage DRIRE 73).
- (23) "Demande d'autorisation d'exploiter ""Source 107"". Rapport de l'Ingénieur de l'Industrie et des Mines" - 1990 - document DRIRE, Pignol C. (archivage DRIRE 73).
- (24) Demande concernant la régularisation de l'autorisation d'exploitation d'eau minérale naturelle et d'établissement thermal - date ? >1957 - Société des eaux minérales, Planche P. (archivage DRIRE 73).
- (25) Courrier de la DDASS de Savoie à la DRIRE - 1958 - document DDASS (archivage DRIRE 73).
- (26) Le Jurassique dauphinois entre Durance et Rhône : étude stratigraphique et géodynamique ; évolution d'une portion de la marge nord-téthysienne (Alpes occidentales françaises) - 1985 - Thèse d'Etat, Barféty JC. (archivage BRGM).

ANNEXE

**INFORMATIONS DETAILLEES ISSUES DE LA DOCUMENTATION
CONSULTEE**

1 CONTEXTE GEOLOGIQUE

1. 1. Stratigraphie

La stratigraphie précise du secteur concerné, du Trias au Séquanien, est impossible à appréhender avec précision. En effet le contact stratigraphique le plus bas qu'il soit possible d'observer est le contact J6-7 - J8 soit Séquanien-Kimméridgien moyen. Aucune observation directe proche n'est possible pour les formations antérieures d'où de grandes incertitudes quant à leur épaisseur.

Schématiquement, d'après BURGEAP (3), la stratigraphie du secteur concerné est la suivante :

- *Trias de type "germanique réduit". La partie supérieure du Trias, argileuse et salifère, peut migrer, sous l'effet de plissements, dans les couches du Lias.*
- *Lias inférieur calcaire, Lias supérieur schisteux. 1000 m d'épaisseur totale environ.*
- *Jurassique moyen schisteux ("terres noires")*
- *Jurassique supérieur de plus en plus calcaire: Le Portlandien forme des falaises de calcaires compacts, parfois dolomitiques.*
- *Crétacé : type mixte avec alternances de calcaires compacts et de marnes.*

Les formations rencontrées dans la région de Challes correspondent au Jurassique supérieur. On observe un passage continu de séries plus marneuses (Séquanien et Kimméridgien inférieur) à des séries plus calcaires (Kimméridgien supérieur et Portlandien).

Les formations kimméridgiennes sont, dans la plaine de Challes, recouvertes de dépôts fluvioglaciers.

La figure 4 fournit une coupe stratigraphique schématique du secteur.

1. 2. Structure

Plusieurs interprétations, qui diffèrent de façon notable et révèlent parfois des contradictions, ont été faites. Il est indispensable de les examiner en détail et de se référer, pour cela, aux cartes et coupes fournies en annexe.

(3) pour BURGEAP (cf. carte et coupe, figures 5 et 6) :

- *sur le flanc ouest du Mont St Michel, les calcaires du Portlandien et du Kimméridgien supérieur ont un pendage très net et fort (45°) vers l'ouest, ce qui correspond sensiblement à la pente du terrain. Des faciès calcaires se rencontrent à proximité immédiate de l'établissement thermal (cave d'une maison à 150 m au NE de la source). Le pied du Mont est formé de calcaires compacts et on note certains pendages très voisins de la verticale. Plus au sud, les photos aériennes montrent des pendages est, voisins de la verticale.*

- au pied ouest du Mont des faciès marneux sont observés aux affleurements voisins des Chavonnes, le Puits, Hotel du Château, Etablissement thermal, St Jeoire-Prieuré. Les pendages sont forts (60° vers l'ouest) dans la région de l'hôtel du Château et à l'ouest de St Jeoire. Ils sont plus faibles au N vers les Chavonnes et le Puits (35-40° ouest).
- une zone broyée d'une largeur de 100 m environ est observée au NE du Puits et interprétée comme une faille de rejet important mettant en contact faciès marneux et faciès compact.
- les calcaires compacts reparaissent en longues crêtes à pendage ouest fort (60° et plus) à l'ouest de St Jeoire-Cazard
- des calcaires compacts de même pendage que ceux de St Jeoire sont observés dans la région de Chaffat-Barby. L'escarpement qui part de l'est de Barby et remonte en suivant le versant du Mont St Michel est interprété comme la fermeture nord de l'accident tectonique de Challes.
- les pendages observés vers l'est sont exceptionnels et presque verticaux.

En conclusion l'interprétation classique faisant de la région de Challes un anticlinal simple est remise en cause. Il s'agirait plutôt d'un anticlinal très dissymétrique, avec flanc est très réduit en épaisseur et intensément tectonisé au pied du Mont. L'est de l'anticlinal est parcouru par un réseau de failles et correspond à une zone broyée. L'hypothèse d'un pli-faille est proposée.

(18) le même auteur apporte par la suite, sur la base des mêmes observations, une interprétation structurale différente dont il indique qu'elle tient compte de travaux plus récents (principalement (6), (7) et (9)). Cette interprétation (cf. figure 7) se fonde sur un contexte régional de structures en écaillés. L'existence de fractures transversales (est-ouest ou ESE-ONO) dans le massif calcaire au droit et au sud de l'établissement thermal est signalée.

(6) pour B. DOUDOUX (cf. carte et coupe annexée, figures 8 et 9)

La structure du secteur situé au pied du Mont St Michel est une structure anticlinale (anticlinal de la Roche-Rocher Cazard). Cet anticlinal est déversé vers l'est dans sa partie nord et plus droit dans sa partie sud. Le Kimméridgien du flanc ouest de l'anticlinal de la Roche traverse la plaine entre Chaffat au nord et le rocher Cazard au sud. Son passage se traduit par 3 pointements rocheux : 2 au milieu des marais et le 3° au niveau de la gendarmerie. Deux failles de direction générale NE-SW affectent le massif :

- la faille de Belvarde qui, descendant du NE, passe à la ferme de Belvarde puis longe le pied du Mont St Michel et se perd en direction de Triviers,
- la faille de Camelot qui emprunte les gorges de Camelot puis oblique vers le Sud et se perd au niveau du Puits dans la dépression glaciaire qui mène au Casino. Au point où elle disparaît, cette faille de Camelot met en contact un Séquanien à pendage est et un Séquanien à pendage ouest. Le tracé de cette faille reste imprécis à l'aval du Puits. L'hypothèse qu'elle passe à l'est de l'établissement thermal dans l'axe de la dépression venue du Puits est la plus vraisemblable.

(7) le même auteur apporte par la suite les précisions suivantes :

Les entailles réalisées pour des constructions à 200 m au N-NE de l'Etablissement montrent les assises séquaniennes fortement pentées vers l'est buter à l'ouest contre d'autres assises

séquaniennes très schistosées, parfois chaotiques mais d'une manière générale fortement pentées à l'ouest. Les deux constructions sont donc à cheval sur la faille de Camelot ou sur un diverticule de celle-ci et la faille passerait donc à ce niveau un peu plus haut qu'indiqué précédemment .

(2) pour CGG la description structurale est la suivante :

- *flanc ouest du Mont St Michel : calcaires avec fort pendage vers l'Ouest (flanc occidental de l'anticlinal de la Boisserette)*
- *changement de pendage avec plongement des calcaires vers l'est observé à l'est de l'établissement thermal, vers la cote 350 environ*
- *affleurements de calcaire à pendage ouest dans la région du Cazard (au sud), de l'hôtel et du réservoir de la localité du Puits (au nord).*
- *à 300-400 m au nord-est du Puits, couches très redressées et parfois broyées (ceci pourrait correspondre à l'axe de l'anticlinal).*

L'étude par prospection électrique réalisée par CGG a permis de mettre en évidence, sous le recouvrement quaternaire, l'allure du toit des calcaires (cf carte et coupe annexes figures 10 et 11). *Il s'agit d'une crête allongée NNE-SSW. Cet axe est jalonné par des affleurements aux cotes 298,5 et 296. Il semble se poursuivre en direction des affleurements situés dans la cave de l'Etablissement thermal. Le substratum calcaire s'enfonce assez rapidement vers l'ouest de cette crête et plus lentement vers l'est où il donne naissance à une sorte de dépression allongée SW-NE. Le point le plus bas de cette dépression est situé à une cinquantaine de mètres au NE de l'Etablissement thermal. A partir de cette dépression le substratum calcaire remonte en direction du S-E et du sud.*

La carte des résistivités montre une zone résistante correspondant grossièrement à la zone haute des calcaires. Un axe conducteur dont le tracé est assez voisin de celui de la crête des calcaires a été mis en évidence : on peut penser à une zone broyée et altérée dans les calcaires qui coïnciderait avec l'axe de l'anticlinal. On pourrait être en présence de couches très redressées, broyées et altérées, telles qu'elles ont été observées au NE de la localité du Puits.

(13) le BRGM fournit un aperçu géologique comparable à (3) et un schéma structural proche de (18) (cf. annexe fig. 12). *Les principales caractéristiques de ce schéma sont les suivantes :*

- *forts pendages ouest des calcaires du Mont St Michel avec amorce synclinale supposée en profondeur,*
- *zone disloquée en pied de Mont à pendage ouest,*
- *à l'ouest de cette zone disloquée, pendages ouest, structure en faille-pli anticlinal à coeur disloqué.*

(14) le même auteur rendant ultérieurement compte des opérations de forage fournit la coupe de celui-ci implanté au NE des Thermes, à mi-distance de ceux-ci et de l'Hôtel :

- *0-7 m : alluvions argilo-graveleuses, éléments grossiers, matrice à dominante argileuse, terrain relativement imperméable ;*
- *7-24 m : alluvions fluvioglaciales sablo-graveleuses, terrain très perméable, ;*

- 24-145 m : formations marno-calcaires litées séquanien, terrains à dominante marneuse, masses grises litées, rares bancs calcaires décimétriques à métriques, peu compacts.

Le contact marno-calcaires séquanien - calcaires jurassiques n'a pas été recoupé, son pendage paraît donc sub-vertical à proximité immédiate du forage.

2. CONDITIONS D'EMERGENCE DE LA SOURCE

Les conditions d'émergence de la source sont très précisément décrites par B. DOUDOUX (6) :

La source émerge immédiatement au sud du point où disparaît sous la plaine alluviale une longue croupe N-S de marnes et calcaires argileux séquaniens à pendage W. Les venues minérales ont été captées à travers des alluvions aquifères plus ou moins intriquées à l'amont avec des moraines et des éboulis. Ces formations se relient à l'aval aux alluvions de la plaine.

CGG (2) précise (cf. ci-dessus) que la crête calcaire allongée NNE-SSW semble se poursuivre en direction des affleurements situés dans la cave de l'Etablissement thermal et que la source pourrait être située sur le prolongement de cet axe.

3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Une description des points d'eau banale situés dans l'environnement immédiat de la source minérale est fournie par BURGEAP (3) :

plusieurs sources d'eau émergent sur le flanc ouest du Mont St Michel : la circulation des eaux semble plus en rapport avec la fissuration qu'avec la stratigraphie. La source la plus abondante et la plus constante est le captage de la commune, c'est elle qui est la plus basse.

Les sources répertoriées sont les suivantes :

- captage de la commune cote 300 m (roche en place)
- source Carita : 320 m (drain dans un placage éluvial)
- captage de l'établissement thermal : 335 m
- source au NE de St Jeoire : 340 m

Les débits sont irréguliers, influencés par les pluies et les sources, excepté le captage communal peuvent tarir momentanément.

Le débit de la source du captage communal est de 20 l/s environ ce qui est cohérent avec une surface d'alimentation de 5 à 10 Km² (= la plus grande partie du Mont St Michel) ce qui n'exclut pas l'éventualité de relations avec la nappe de la vallée de Fornet Mont Levin.

Le puits de la plaine de Challes fournit l'eau courante de l'Etablissement Thermal : le niveau statique est au-dessus du sol, le trop plein s'écoule dans une mare située à l'est de l'établissement et de là vers le ruisseau la Mère. L'artésianisme de ce puits montre bien que l'eau provient du Mont St Michel.

JP. RAMPNOUX (8) apporte des informations détaillées sur une source située un peu plus au sud et qui est captée pour alimenter Triviers :

le captage est situé derrière le chateau-hôtel de Triviers. L'émergence se fait au pied du versant rocheux, dont le drainage est dans son ensemble diffus avec cependant une concentration des eaux par le ruisseau temporaire dit de la Furieuse dont l'alimentation principale est une résurgence karstique. Les venues captées sortent des calcaires Kimméridgien dont la direction axiale est sensiblement NNE-SSW. Ces calcaires sont fortement tectonisés et diaclasés. Ceci est à mettre en liaison avec la grande faille qui prend naissance immédiatement à l'amont du captage et qui s'élève, par le bar St Michel vers la ferme de Bellevarde. Il s'agit d'un exutoire karstique. La faille joue un rôle primordial dans la concentration des eaux karstiques car elle draine vers la source non seulement les eaux de l'amont immédiat, mais aussi celles du secteur de Bellevarde. Ceci a été prouvé par des expériences de coloration réalisées par P. Gidon qui ont établi une liaison entre la Ferme de Bellevarde et la source de Triviers.

G. Zamolo (21) fait remarquer que dans le Massif de Curienne, les failles décrochantes semblent jouer le rôle d'écran dans les circulations des eaux normales.

On retrouve un avis comparable chez BURGEAP (3) qui estime vraisemblable que les assises marneuses, laminées par failles, forment des écrans étanches, favorisant l'accumulation de l'eau au flanc du Mont St Michel.

La nappe des alluvions fluvio-glaciaires, au sein de laquelle émerge la source minérale, est bien décrite par B. DOUDOUX (6) :

Dans le parc, tout autour des Thermes, se manifestent, au moins en hautes eaux, de nombreuses émergences. Il y en a tout le long du ruisseau la Mère, il y en a également entre l'Etang et le Casino, en rive droite de l'émissaire de l'Etang et au fond même de l'Etang. Un puits qui n'est plus utilisé est annexé à l'Etablissement thermal, immédiatement à l'est de celui-ci. Il débite en permanence spontanément. Il existe donc dans tout le parc une nappe dont le niveau est très proche du sol, ou même artésienne. En basses eaux la charge diminue notablement puisque la Mère tarit dans sa traversée du Parc, de même que la plupart des venues à l'exception peut être des venues issues du puits et des venues du fond de l'Etang. L'épaisseur des alluvions dans le Parc serait faible.

Dans la plaine à l'ouest et au nord-ouest du Parc vient le marais traversé obliquement par la série discontinue d'îlots rocheux. La présence de ce marais indique un niveau d'eau à faible profondeur mais on ne remarque pas de venues latérales dans les berges des deux ruisseaux qui parcourent cette zone. L'alimentation des fossés se ferait donc de manière diffuse par le fond, à partir d'une nappe en charge. Ceci a été confirmé par les études CPGF et Solecto. Les conclusions de ces études sont les suivantes : en dehors des îlots rocheux, le terrain est constitué par une couverture de limons, argiles, tourbes de quelques mètres au sud, jusqu'à 8 m au nord puis par une couche d'alluvions fines sablo-argileuses, graveleuses vers le haut, de plus de 7 mètres. La nappe est en charge.

L'alimentation de cette nappe se fait sans doute à l'amont à partir du seuil de St Jeoire, à la fois par les pertes de la Boisserette et par les éboulis de pied de pente du Mont St Michel et

du Rocher Cazard. Une participation des calcaires du Mont St Michel est probable à travers de ces éboulis.

Un suivi piézométrique a été assuré sur cette nappe par le BRGM (11) pendant 2 mois (du 22/6 au 23/8/83). Une baisse générale de la nappe d'amplitude de 0,1 à 1,4 mètres selon les points a été observée pendant cette période. Les points situés à l'amont immédiat de la crête calcaire ont des variations de niveau très faibles (0,1 à 0,3 m), les points situés au bord de la RN6 ont des variations de niveau relativement faibles (0,1 à 0,65m). Sur les autres piézomètres, à l'aval, la variation est plus forte : 0,6 sur un piézomètre proche de la Mère et 1,4 m à flanc de coteau. Ceci indique que la crête calcaire compartimente la nappe et que les variations de pression à l'aval de cette crête sont très peu ressenties à l'amont.

Le BRGM fournit également les précisions suivantes :

(10) la nappe des alluvions est en charge sous une couverture argileuse épaisse de quelques mètres au sud-est de la crête rocheuse et d'au moins une dizaine de mètres au nord-ouest. Les deux ruisseaux drainent la nappe. Les résistivités varient de 1070 à 1640 pour la nappe et de 1580 à 2400 pour les ruisseaux avec une décroissance nette le long de la Mère dont les eaux sont chargées par les apports de la nappe plus minéralisés.

(11) l'eau des piézomètres situés à proximité de l'Etablissement thermal est parfois très minéralisée avec des teneurs importantes en Na et Cl (origine locale liée à la pollution de la nappe alluviale ou contexte géologique ?).

En ce qui concerne les eaux minérales, outre la source "Reine du Soufre", le puits de la Boisserette situé sur la commune de St Jeoire-Prieuré, à 1,5 Km au sud-est de l'établissement thermal (2 puits + une galerie, profondeur totale 8,7 m), possède un faciès chimique comparable mais avec une minéralisation moindre et des teneurs en sulfures nettement plus faibles (cf BRGM (13)).

Le BRGM (14) signale en outre que la construction de la maison David, située au nord-est de l'Etablissement Thermal avait permis de mettre en évidence des venues d'eau sulfureuse.

Le BRGM (13) souligne une baisse régulière de la minéralisation totale de la source qui est passé, en 25 ans environ, de 1,9 g/l en 1961 à 0,94 g/l en 1987. Les chlorures ont baissé de 177 mg/ à 58 mg/l pendant la même période. Cette évolution traduit une participation croissante d'eau faiblement minéralisée à la composition chimique de la source (dégradation des conditions de captage ou évolution naturelle au sein du gisement ?).

Enfin le forage réalisé par le BRGM (14) apporte les informations suivantes :

- le remplissage fluvio-glaciaire est aquifère, l'eau est de faible température (< 10°), peu minéralisée, avec une faible odeur de soufre par moments.
- le forage est resté sec de 32 à 107 m. A 107 m il a rencontré une venue d'eau sulfureuse de débit faible. Le débit s'est stabilisé à 1 m³/h vers 115 m.
- une venue d'eau plus minéralisée en pied de tubage confirme la présence, à la base du remplissage fluvio-glaciaire, d'eaux très minéralisées qui sont remontées à la faveur de la fissuration de la roche marno-calcaire et ont été piégées par le recouvrement.

- l'acidification du forage a permis le doublement du débit instantané.
- le niveau statique avoisinait - 4 mètres.
- un essai de pompage de courte durée (24 h) a permis d'observer un débit stabilisé à 0,9 m³/h pour un rabattement de 16,38 m.
- son interprétation conduit à des caractéristiques hydrodynamiques qui indiquent une transmission de l'eau difficile par un réseau de fissures très lâche, mais très étendu.

4. MINERALISATION DES EAUX DE CHALLES

Le BRGM (13) précise que le faciès physico-chimique de l'eau de la source de Challes est essentiellement bicarbonaté sodique, avec une très forte teneur en sulfures (environ 133 mg/l). Sa minéralisation globale (0,94 g/l) ainsi que ses concentrations en chlorures et sulfates la différencient nettement des eaux bicarbonatées calciques de surface.

L'eau du forage est à faciès sulfaté sodique nettement dominant. Sa minéralisation est forte (11,8 g/l) pH 7,9 et sa température de 15°C. Cette eau est beaucoup plus minéralisée que celle de "Reine du Soufre". Les teneurs en sulfures dissous sont supérieures à celles de "Reine du Soufre". On a cependant observé une baisse sensible de la minéralisation pendant la période des essais de mars à mai 88, cette baisse ne semblait pas stabilisée après 3 semaines de pompage.

En ce qui concerne les éléments-traces, la présence de Bore est à signaler.

5. ORIGINE DES EAUX DE CHALLES

Un certain nombre de faits et d'avis relatifs à l'origine des eaux de Challes sont à retenir :

Le BRGM (13) indique que

- les valeurs isotopiques en O18 et Deutérium sont très proches pour l'eau minérale, l'eau banale du captage, la source des Thermes et le puits de la Boisserette. Cette similitude montre que ces sources possèdent une même zone d'alimentation dont l'altitude correspond à celle du Mont St Michel. Les analyses de Tritium datées de 1987, permettent de distinguer l'eau de la source banale alimentant anciennement les Thermes (36 UT) de l'eau minérale (25 UT) qui a une durée de circulation souterraine plus importante, et donc un trajet plus profond. L'eau du puits de la Boisserette (8 UT) a un transit encore plus long. Elle correspondrait à un système hydrothermal distinct de celui de "Reine du Soufre".
- la teneur en Tritium de l'eau du forage est de 3 ± 1 UT. L'eau du forage représente donc le pôle profond du système hydrominéral de Challes, sans mélange avec les eaux superficielles.

J. DAZY et al (19) rappellent les deux hypothèses qui ont été proposées pour expliquer l'origine de la minéralisation :

- pour REVIL (1908) et LEMOINE (1914) : la minéralisation résulte de la dissolution dans les calcaires marneux du Mont St Michel dont provient l'eau qui émerge par suite de la disposition synclinale des couches. Cette hypothèse se fonde sur le fait que l'eau est froide et que les calcaires marneux du Kimméridgien sont légèrement bitumineux (1%) et présentent des inclusions microscopiques de pyrite. La teneur en soufre de l'eau de Challes résulterait dans cette hypothèse de réactions transformant les pyrites en sulfate de calcium. Celui-ci subirait à son tour une réduction en H₂S et S⁻⁻ en présence des hydrocarbures par des agents bactériens anaérobies. Au niveau du griffon se produiraient d'autres réactions secondaires du fait de l'action des Sulfuraires, bactéries aérobies dont la présence a été reconnue à Challes, oxydant cette fois les sulfures en soufre.
- pour MORET (1946) l'origine de l'eau serait profonde, le niveau minéralisateur correspondant aux dépôts évaporitiques du Trias.

J. DAZY et al. soulignent que l'hypothèse de REVIL-LEMOINE ne rend pas compte de l'ensemble des caractéristiques de l'eau en particulier des fortes teneurs en Na⁺, la présence d'éléments traces, la teneur en tritium inférieure aux teneurs des eaux de pluie. L'hypothèse de MORET permettrait mieux d'expliquer le caractère sodique de cette eau et la présence des éléments-traces que l'on rencontre toujours dans les eaux issues du Trias. Cependant la profondeur à laquelle se trouvent probablement les dépôts du Trias sous le Jurassique et le Lias permet difficilement d'envisager cette hypothèse.

Toutes les interprétations, ou presque, qui ont été fournies s'appuient sur l'une ou l'autre de ces deux hypothèses, sans arriver à en résoudre les contradictions.

L. MORET (5) indiquait lui-même que l'origine des eaux pouvait être recherchée dans les infiltrations sur le Mont-St Michel. En ce qui concerne l'origine de la minéralisation, elle serait d'origine triasique plutôt que dans la transformation des pyrites contenues dans les calcaires séquanien par processus biochimique, en présence de matières organiques ou d'hydrocarbures. La solution triasique serait envisageable en raison de l'amincissement des terrains dus à la tectonique mais aussi à des défauts de sédimentation au niveau des seuils vindéliens sur le prolongement desquels on se trouve. Il conclut cependant que "l'origine de l'eau reste cependant mystérieuse".

L'opinion de BURGEAP a varié dans le temps :

- initialement (3) BURGEAP considérait que compte tenu de l'épaisseur des assises argileuses du Lias (>1000m) le Trias semblait sans rapport avec la minéralisation de Challes. Il indiquait qu'aucune certitude n'apparaissait concernant l'origine de la minéralisation des eaux de Challes mais que les données géologiques et chimiques fournissaient les bases d'une hypothèse : la circulation de l'eau se trouve sans doute limitée en profondeur par les assises argileuses et schisteuses du Jurassique et du Lias et latéralement à l'Est par des failles qui transforment calcaires marneux et marnes en écrans imperméables. Le caractère calco-sodique des eaux et l'abondance du sodium fait penser que la minéralisation se situe à la base du Séquanien ou au sein d'un étage antérieur. Ces assises n'existent qu'en profondeur à Challes mais elles affleurent dans la vallée de Fernet Mont Levin.

BURGEAP faisait en outre, les deux remarques suivantes :

- la circulation de l'eau se produit plus facilement suivant la stratification,
- on doit tenir pour certain que le réseau de fissures est faiblement ouvert et de dimensions restreintes d'où un débit très limité.

- ultérieurement (18) BURGEAP estime que le Trias est présent en profondeur à l'aplomb de la zone de Challes et que, plastique, il est apte à s'insérer dans les discontinuités structurales et donc à remonter vers la surface. Ceci conduit au schéma présenté en figure 7 où l'origine météorique des eaux se situe sur le Mont St Michel et où les circulations profondes se minéralisent au contact du Trias présent à la base du niveau d'écaillage.

Pour le BRGM (13) cf figure 12 :

- les eaux météoriques qui s'infiltrent sur le Mont St Michel alimentent à la fois les sources d'eau banale situées au pied du Mont et le système hydrominéral. Ce dernier correspond à une circulation plus longue et plus profonde au sein des calcaires, jusqu'au contact de la zone de broyage qui serait à l'origine de l'acquisition de la minéralisation et permettrait la remontée de l'eau. La localisation de la source au contact d'un banc calcaire intercalé au sein des marnes séquaniennes s'expliquerait par une remontée secondaire le long de ce banc soit directement soit après circulation de l'eau à la base des alluvions.
- les couches marneuses du Lias et du Callovo-Oxfordien sont susceptibles de renfermer d'importantes quantités de matières organiques et peuvent être à l'origine de cette minéralisation.

B. DOUDOUX (7) écrit : "Il n'est aucunement prouvé que cette source ait à voir avec cette faille (de Camelot). D'autre part, l'origine de cette source doit être beaucoup plus lointaine et nettement plus profonde. Etant donné les abaissements axiaux constatés vers le Sud, je situerais quant à moi l'origine de l'eau de la source loin au NE ou N-NE en direction du Grand Joueret".

J. DAZY et al (9) indiquent que "la source de Challes est située au pied du flanc ouest du pli droit de la Boisserette (Mont St Michel) affecté d'un accident tectonique important, la faille de Camelot mise en évidence par DOUDOUX B. et dont le prolongement sous les alluvions glaciaires de la plaine passe à proximité de la source. Les venues d'eau sulfurée de Challes semblent bien être en liaison avec cet accident comme le montre l'interprétation des données chimiques et isotopiques".

Des analyses isotopiques du tritium et du soufre 34 ont été réalisées sur un échantillon prélevé à la source le 14/4/77 :

- elles donnent 54 ± 1 UT pour l'eau minérale et 65 ± 1 pour l'eau douce ce qui met en évidence une origine météorique des eaux, mais n'exclut pas l'hypothèse d'un mélange entre eaux d'origine profonde et eaux superficielles.
- en ce qui concerne le soufre la composition isotopique (rapport $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) a été déterminée sur les espèces réduites et oxydées. Les deux échantillons sont nettement

enrichis en isotopes lourds et différent en cela des valeurs habituellement obtenus sur les sources thermominérales des Alpes. Elles sont, par contre, comparables à celles présentées par les gisements de pétrole.

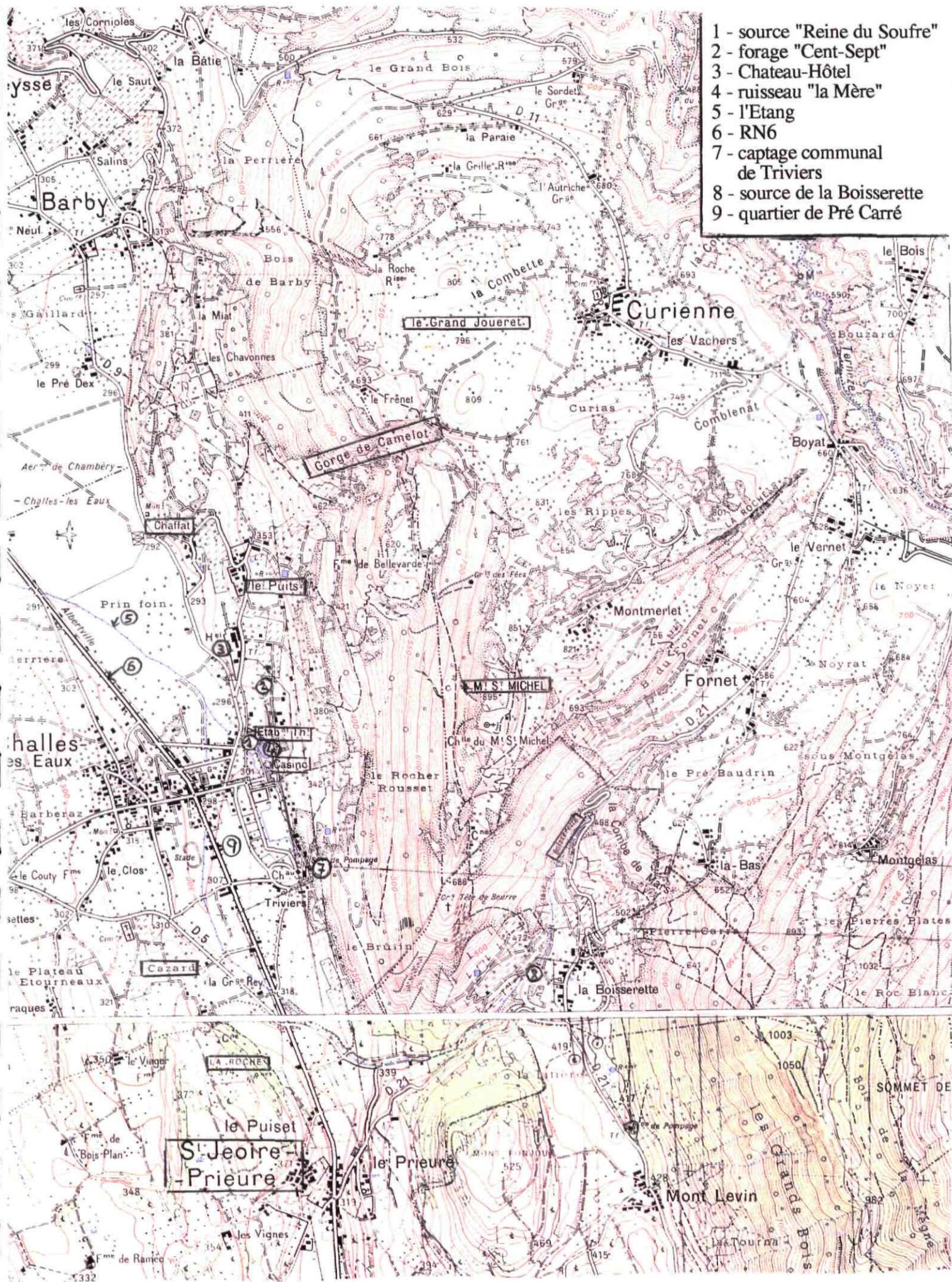
La teneur en soufre 34 des sulfates marins a varié au cours des temps géologiques, les gypses permo-triasiques présentant une teneur oscillant entre 12 et 15 ‰. Les mesures effectuées sur les sulfates des sources de Challes et de la Boisserette donnent des valeurs de 33,5 et 38,5 impliquant un âge cambrien ce qui n'est pas vraisemblable. Mais des teneurs comparables sont observées dans certains dômes de sel où, à partir d'un sulfate de départ de composition isotopique uniforme (16‰), la réduction bactérienne a été localement poussée très loin.

L'hypothèse suivante est donc émise : à partir d'une source de sulfates triasiques de composition isotopique δ^{34S} : + 13 ‰ une réduction biogénique poussée en milieu réducteur riche en matières organiques a pu entraîner, au cours des temps géologiques la mise en solution de sulfates enrichis en 34S avec des δ de l'ordre de + 35 + 40 ‰. La migration de ces eaux va s'effectuer à travers les terrains du Lias et du Callovo-Oxfordien riches en hydrocarbures et en méthane. Cette remontée est facilitée par les nombreux accidents tectoniques telle la faille de Camelot. Au contact des couches hydrocarbonées de ces terrains la composition chimique des eaux subit des modifications :

- réduction chimique des sulfates dissous au contact du méthane avec mise en solution de HS⁻ et production de HCO₃⁻ ou CO₂ et H₂O,*
- échanges de bases et mise en solution de Na⁺ qui, par suite de la production de CO₂ et de HCO₃⁻ va être à l'origine du faciès hydrogéo-carboné sodique des eaux.*

Comparée aux autres émergences sulfurées du Massif des Bauges (sources de la Boisserette, de Morion et de la Compote) les eaux de Challes présentent des caractéristiques comparables y compris pour le soufre, mais des teneurs en tritium supérieures (de 1 à 18 UT pour les sources des Bauges, 54 UT pour Challes) ces valeurs sont à comparer avec celle des eaux superficielles récentes > 80 UT. D'où, à nouveau, l'hypothèse d'un mélange pour Challes.

FIGURES



- 1 - source "Reine du Soufre"
- 2 - forage "Cent-Sept"
- 3 - Château-Hôtel
- 4 - ruisseau "la Mère"
- 5 - l'Étang
- 6 - RN6
- 7 - captage communal de Triviers
- 8 - source de la Boisserette
- 9 - quartier de Pré Carré

Figure 1 : extrait de la carte topographique IGN à 1/20 000

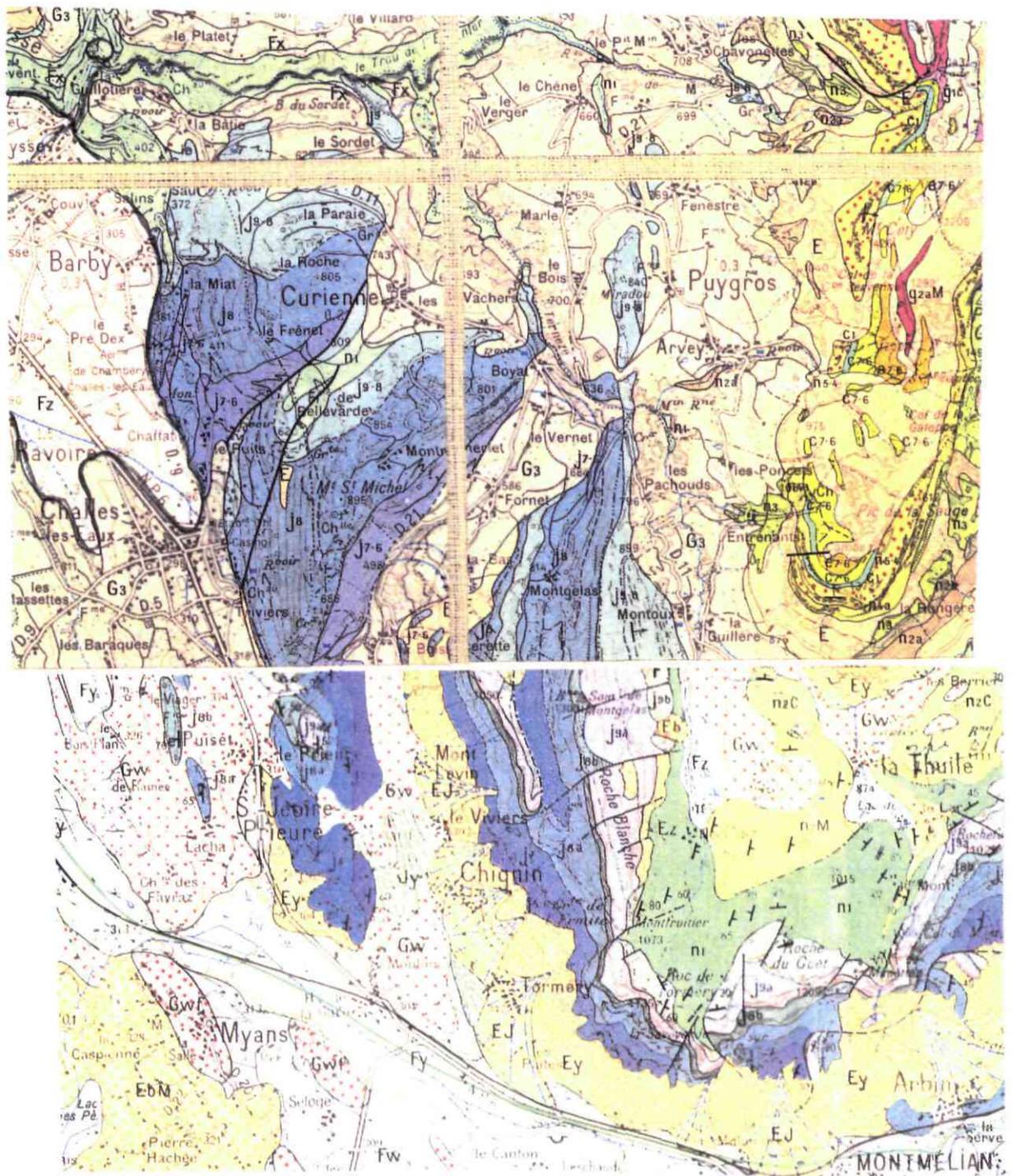
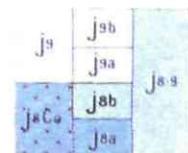


Figure 2 : assemblage extrait des cartes géologiques Chambéry et Montmélian à 1/50 000



- J⁸⁻⁹ : Tithonique, Kimméridgien supérieur
- J⁹ : "Portlandien" jurassien
- J^{9b} : Tithonique supérieur
- J^{9a} : Tithonique inférieur
- J^{8b} : Kimméridgien supérieur
- J^{8Co} : Calcaires récifaux (Kimméridgien supérieur ?)
- J^{8a} : Kimméridgien moyen (Kimméridgien auct.)



Kimméridgien inférieur-Oxfordien terminal ("Séquanien" auct.)



Oxfordien supérieur ("Rauracien" auct.)

SCHÉMA STRUCTURAL

ABRÉVIATIONS (Nomenclature des accidents)

a - d'Ouest en Est :

- AR : Anticlinal du Ratz.
- AL : Anticlinal de l'Épine.
- FV : Faille de Voreppe.
- AO : Anticlinal chartreux occidental.
- AM : Anticlinal chartreux médian.
- ☉ : Chevauchement du Pli-faille de Chartreuse orientale.
- SP : Synclinal de la Pinée-G^o Som.
- AE : Anticlinal de l'Écoutoux.
- SS : Synclinal du Sappey-Entremont.
- AP : Anticlinal de Perquelin.
- AMo : Anticlinal de Montagnole.
- AB : Anticlinal de Barberaz.
- SO : Synclinal chartreux oriental.
- ARo : Anticlinal de la Roche.
- ABo : Anticlinal de la Boisserette.
- CM : Chevauchement du Montgelas.
- SG : Synclinal de la Galoppaz.
- AC : Anticlinal du Charvet.

b - du Nord au Sud :

- DC : Décrochement du Pas de la Coche.
- DF : Décrochements du Pas de la Fosse.
- DA : Décrochement du Col de l'Alpette.
- DCA : Décrochement du Col de l'Alpe.
- DB : Décrochement du Col de Bellefonds.

AA'-BB' : Tracés des plans de coupes interprétatives.

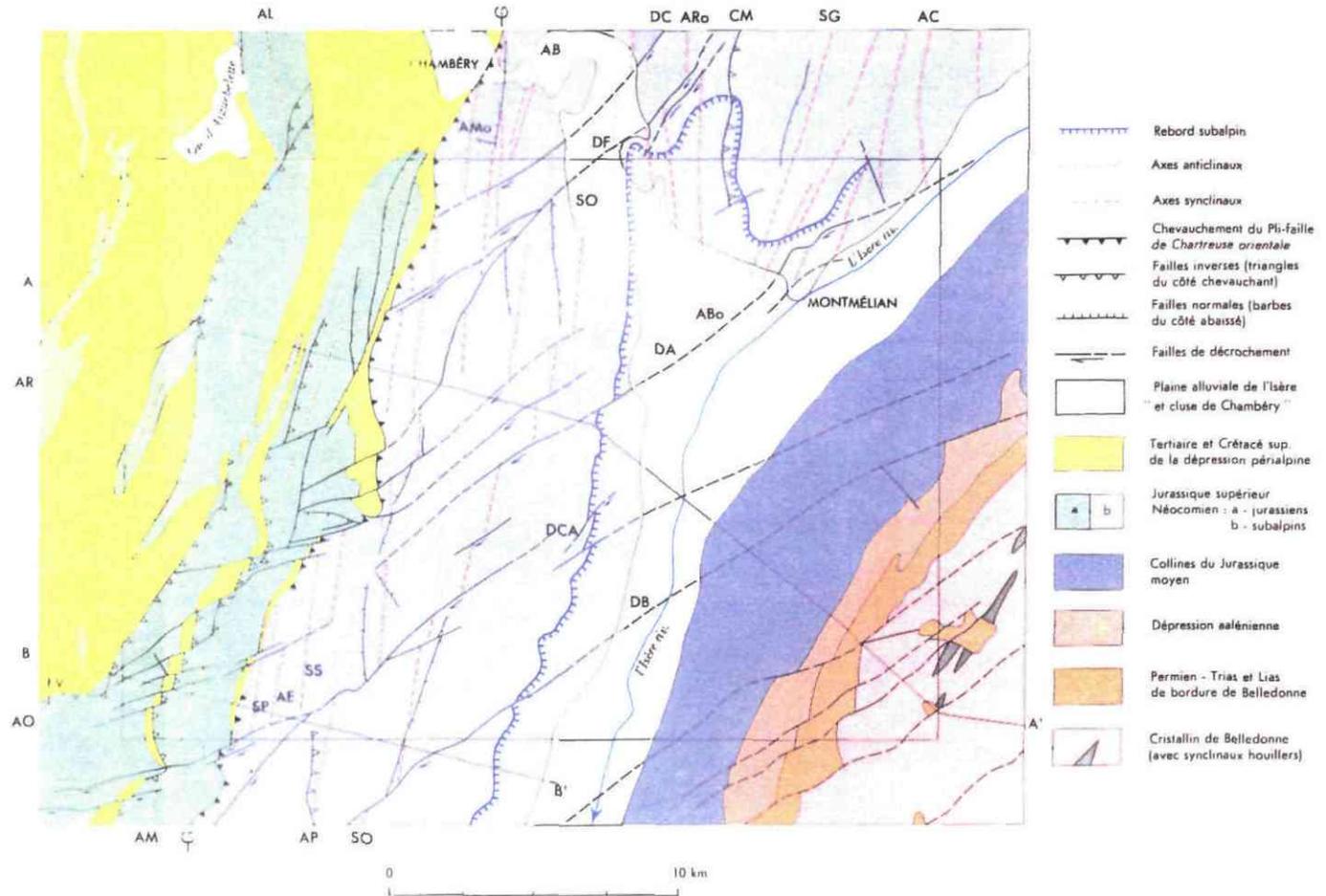
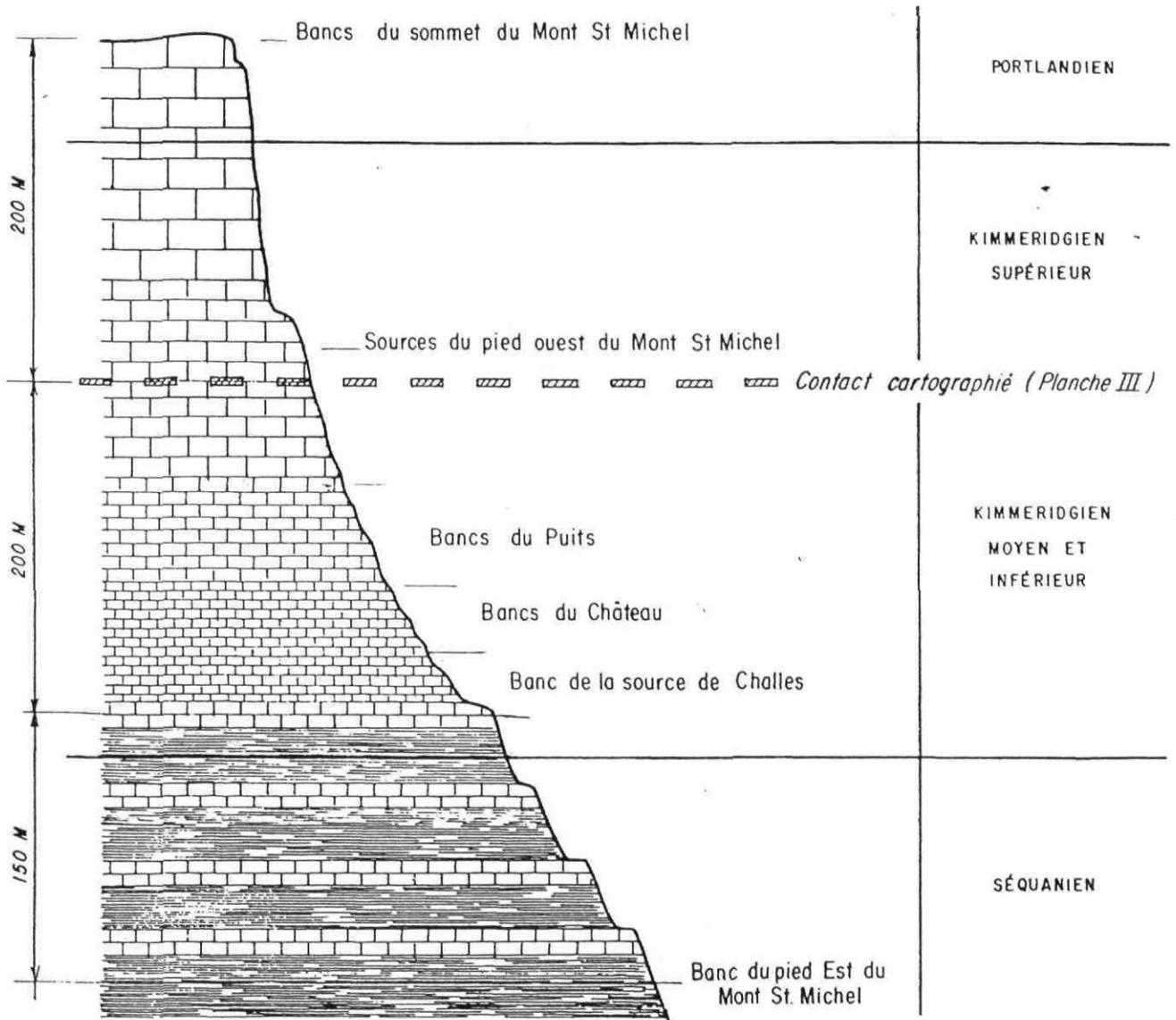


Figure 3 : schéma structural extrait de la carte géologique Montmélian à 1/50 000

COUPE STRATIGRAPHIQUE SCHÉMATIQUE



BURGÉAP - 692 - R. 258 - OCT. 1959

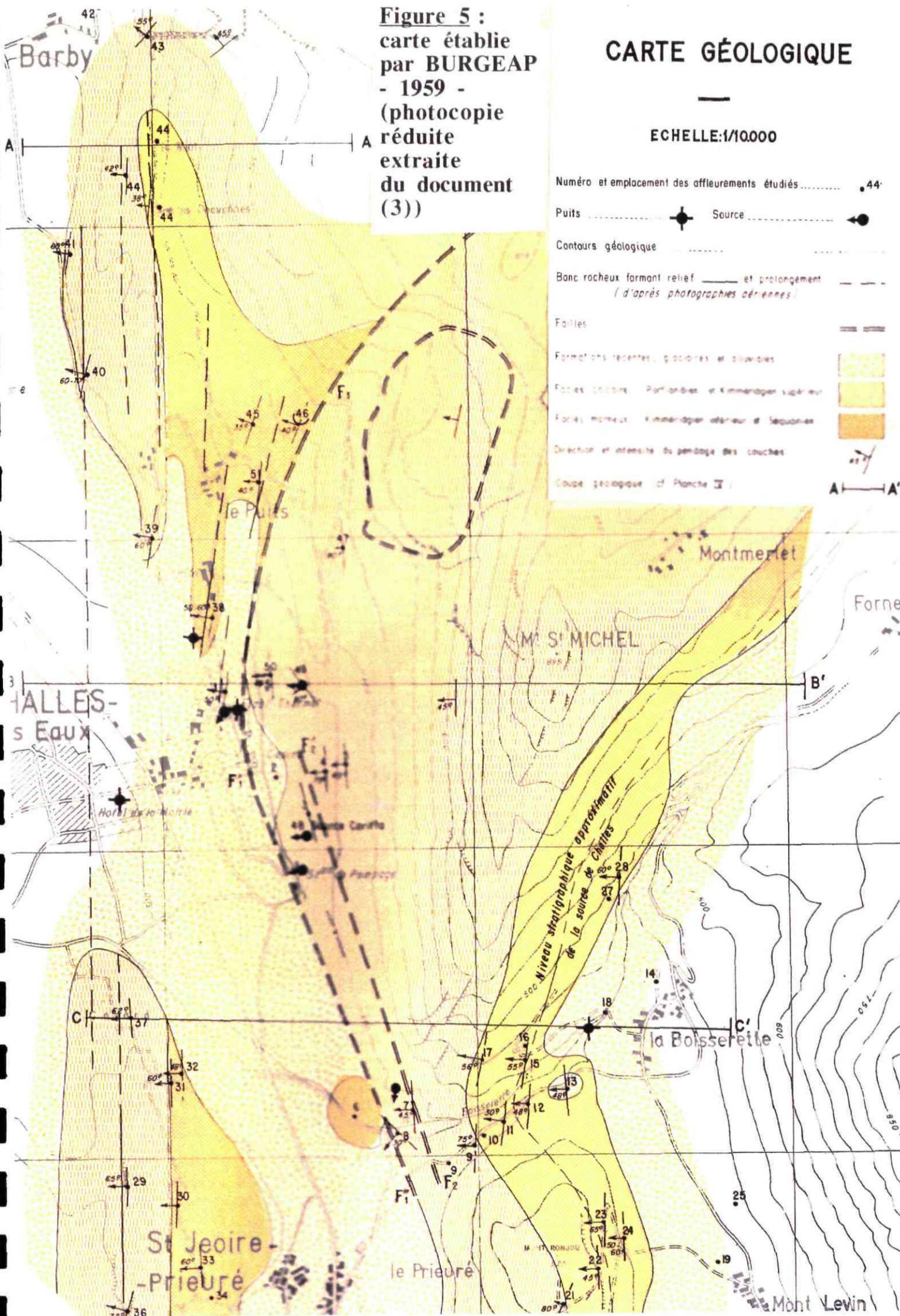
Figure 4 : coupe stratigraphique schématique, établie par BURGÉAP - 1959 - (extraite du document (3))

Figure 5 :
carte établie
par BURGEAP
- 1959 -
(photocopie
réduite
extraite
du document
(3))

CARTE GÉOLOGIQUE

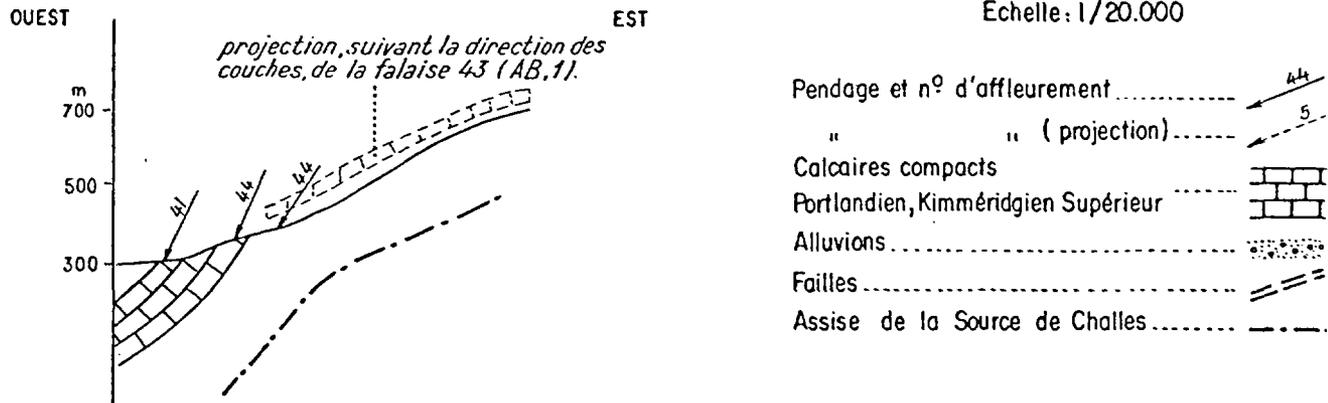
ECHELLE:1/10.000

- Numéro et emplacement des affleurements étudiés ● 44
- Puits ● Source ●
- Contours géologique - - - - -
- Banc rocheux formant relief ——— et prolongement
(d'après photographies aériennes) - - - - -
- Fautes = = = = =
- Formations récentes, glaciaires et alluviales [Stippled pattern]
- Fautes locales : Permianes et Kimmeridgien supérieur [Yellow pattern]
- Fautes locales : Kimmeridgien inférieur et Séquanois [Orange pattern]
- Direction et intensité du pendage des couches ↘ 45°
- Coupe géologique cf. Plaque III A — A'

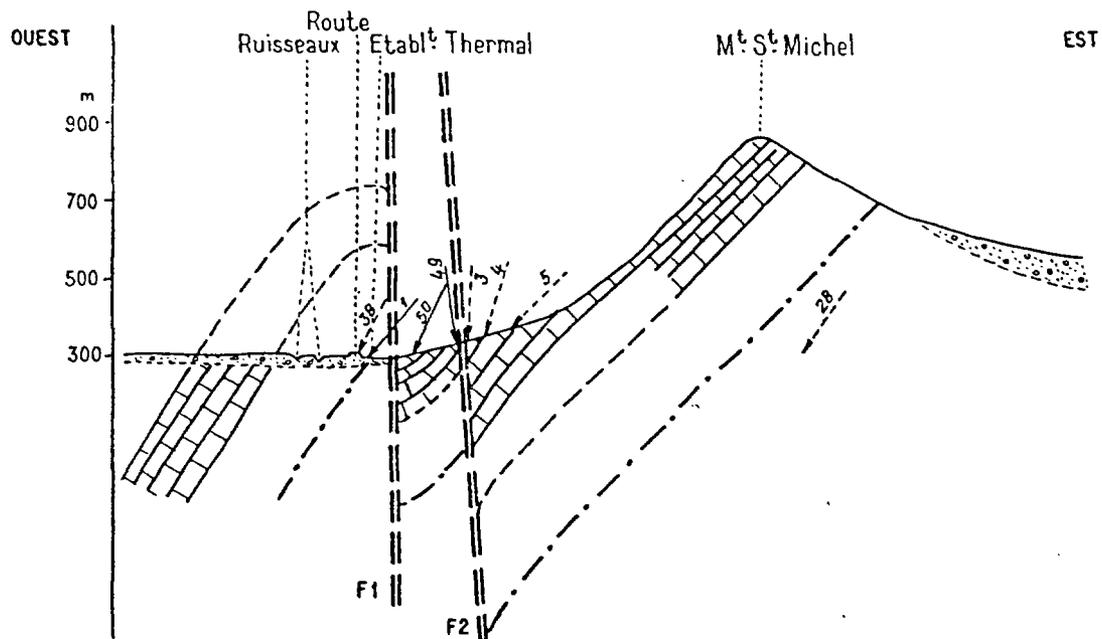


INTERPRÉTATION PAR COUPES

1) Coupe Nord (Fermeture) AA'



2) Coupe passant par l'Etablissement Thermal BB'



3) Coupe passant par le hameau de la Boisserette CC'

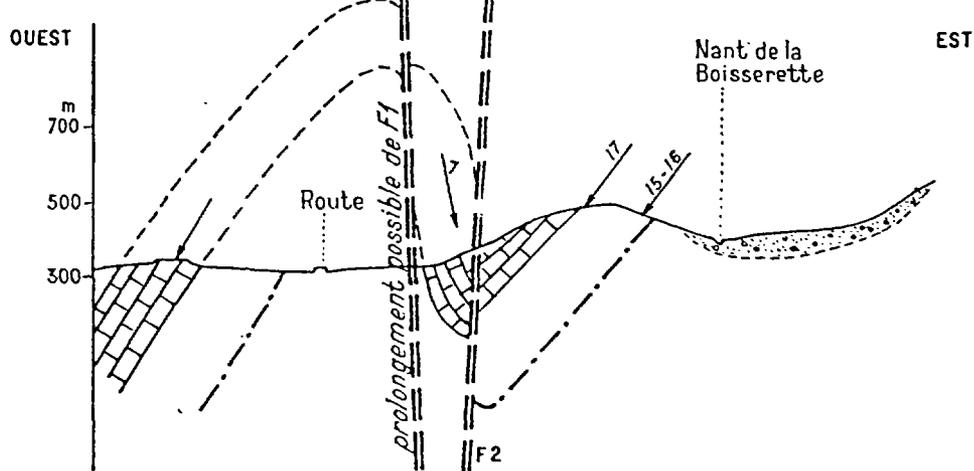


Figure 6 : coupes établies par BURGÉAP - 1959 - (extraites du document (3))

CROQUIS POUR EXPLIQUER
LA GENÈSE DE L'EAU MINÉRALE

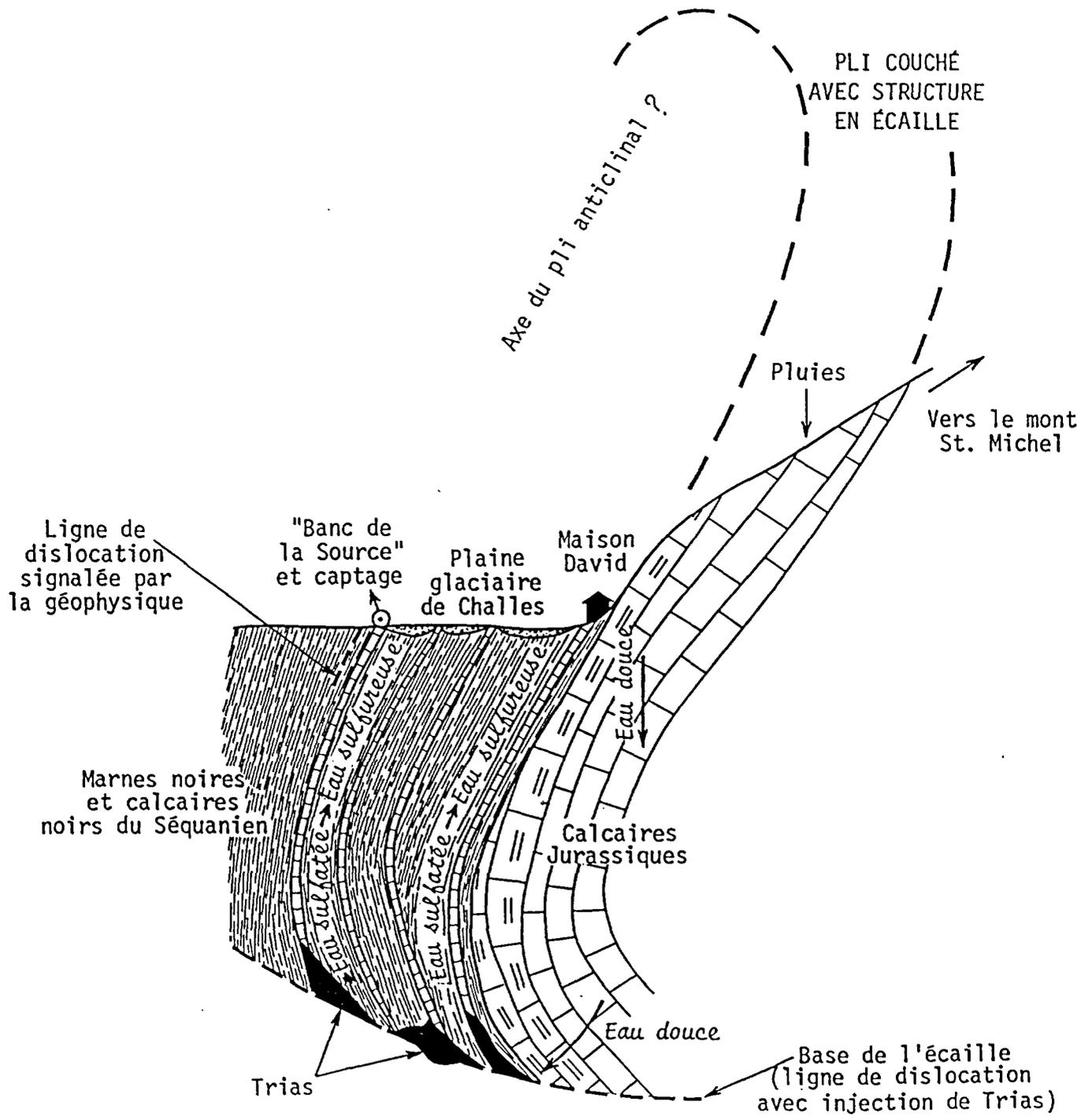


Figure 7 : croquis pour expliquer la genèse de l'eau minérale, établi par BURGEAP - 1984 - (extrait du document (18))



- | | | | |
|--|-------------------------------|---|---------------|
|  | Alluvions, glaciaire, éboulis |  | Séquanien |
|  | Berriasien |  | Pendages |
|  | Tithonique |  | f1 f2 failles |
|  | Kimméridgien | | |

Figure 8 : carte établie par B. DOUDOUX - 1976 - (extraite du document (6))

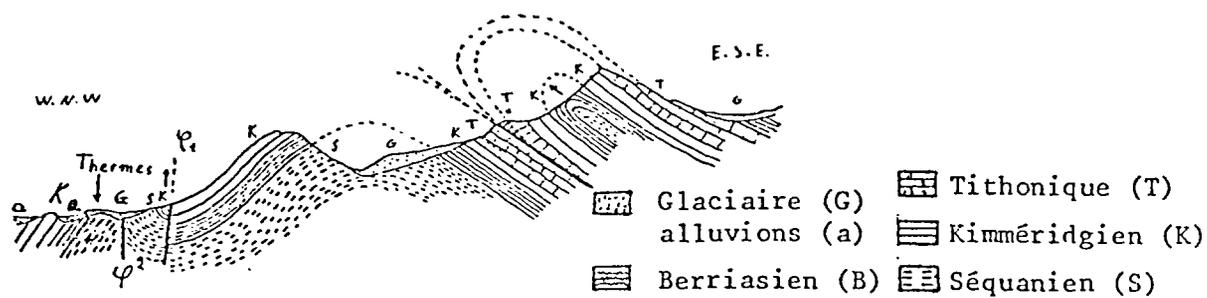


Figure 9 : coupe établie par B. DOUDOUX - 1976 -
 (extraite du document (6))

-4a-

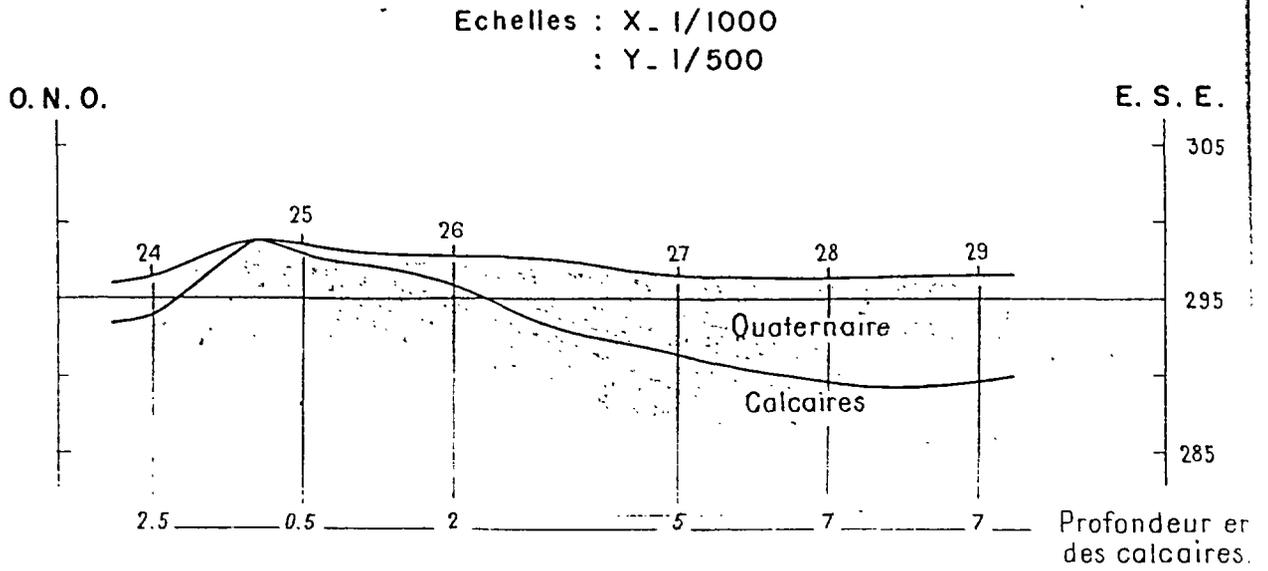
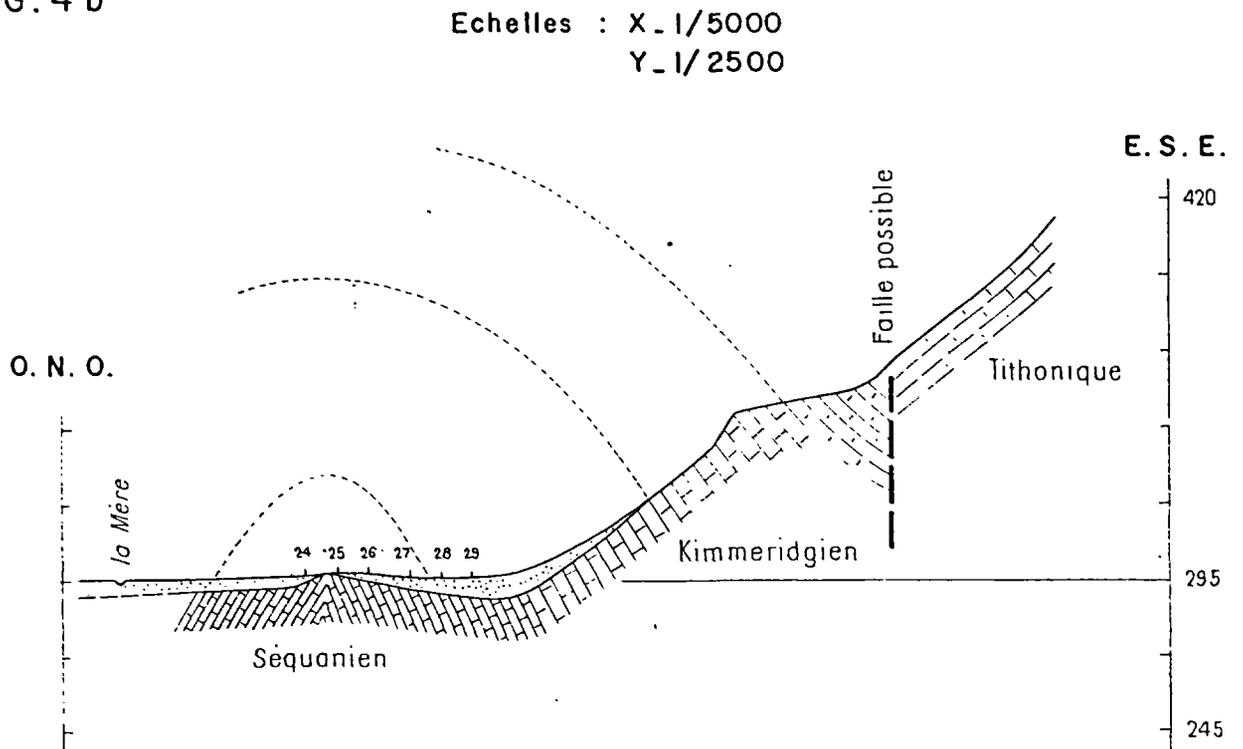
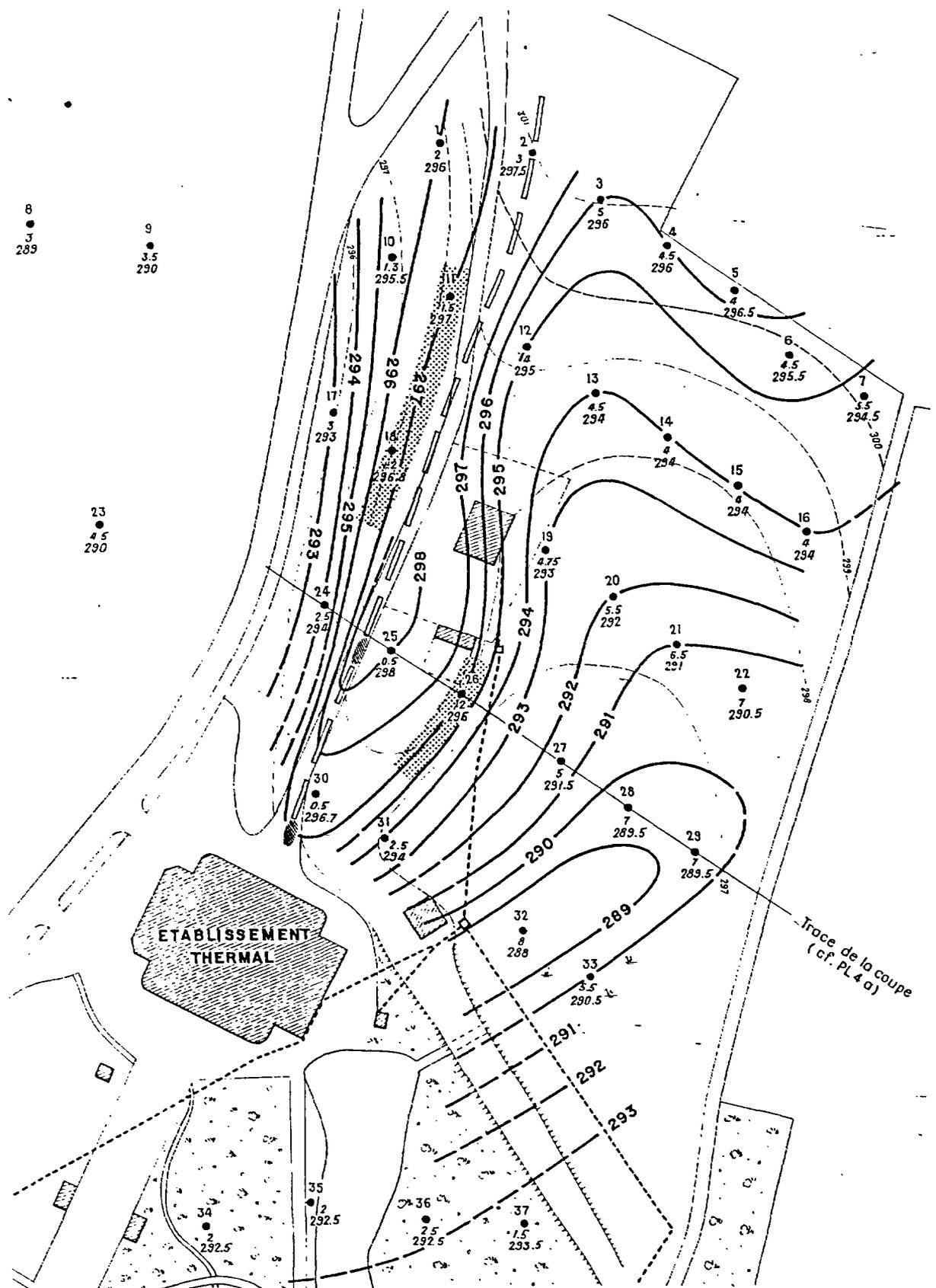


FIG. 4 b



35.143 P

Figure 10 : coupe établie par CGG - 1958 -
(extraite du document (2))



- Sondage électrique et son numéro. ● 32
- Epaisseur en m. du recouvrement quaternaire. — 8
- Cote du toit des calcaires. — 288
- Courbe de niveau du toit des calcaires et sa cote. — 290 —
- Ligne de crête des calcaires. ▬ ▬
- Affleurement marno-calcaire. ▨
- Zone proposée pour d'éventuelles recherches. ▤

Figure 11 : carte du toit des calcaires établie par CGG - 1958 -
 (photocopie réduite, extraite du document (2))

SCHEMA STRUCTURAL

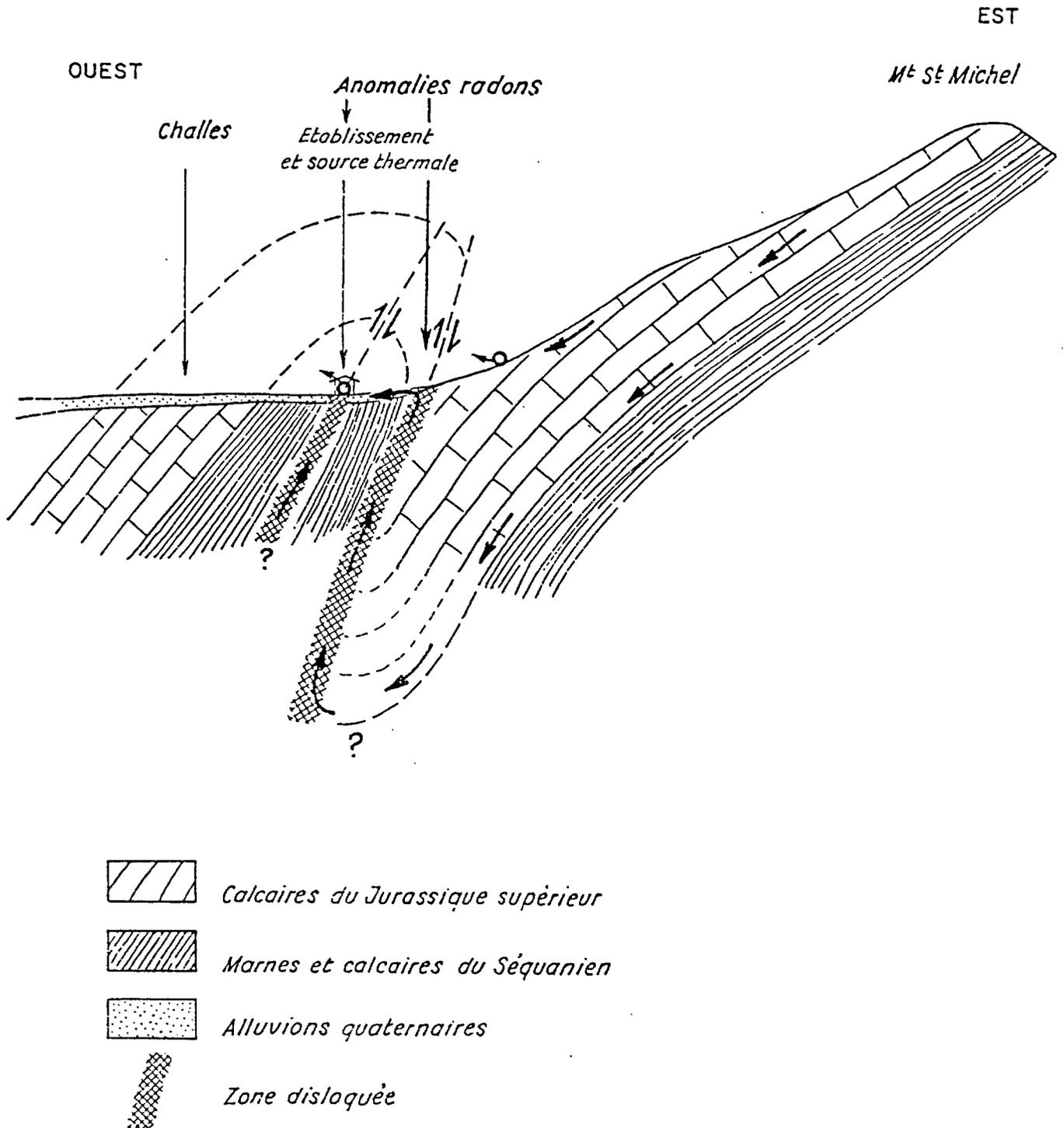


Figure 12 : schéma structural établi par le BRGM - 1987 -
(extrait du document (13))

Challes-les Eaux : analyses effectuées à la sortie du forage "Cent-Sept"

Dates	Résistivité à 20°	Chlorures mg/l Cl-	Degrés sulfohydro métriques français	Température °C
13/10/88	152	212	1077	16
14/02/89	211	113		15
22/03/89	215	138	661	15
12/10/89	199	166		15
8/03/90	195	173	670	16
16/05/90	185	159	556	
4/07/90	199	125	810	16
30/08/90	200	347	553	17
8/11/90	222	151	536	15
10/01/91	225	161	512	15
5/03/91	210	153	513	15
6/05/91	221	149	466	16
8/07/91	225	135	461	16
1/08/91	245	112	423	16
10/10/91	245	104	411	15
7/11/91	243	131	421	15
5/12/91	258	138	425	15
9/01/92	255	135	415	15
6/02/92	241	133	449	15
3/03/92	255	150	429	16
2/04/92	270	145	422	15
4/05/92	245	160	414	16
4/06/92	245	140	427	16
2/07/92	259	147	428	15
19/08/92	235	122	413	15
17/09/92	235	150	435	16
6/10/92	245	185	423	15
5/11/92	240	134	205	15
3/12/92	237	151	416	15
7/01/93	220	157	434	15
4/02/93	215	176	466	15
4/03/93	225	156	446	15
14/04/93	230	227	174	16
3/05/93	235	145	429	15
3/06/93	245	156	418	15
1/07/93	245	136	405	16
5/08/93	245	130	355	16
22/09/93	320	50,8	240	16
6/10/93	240	24,3	375	15
3/11/93	235	135	376	15
8/12/93	240	128	394	15
6/01/94	235	97	303	16
3/03/94	229	108	422	15
13/04/94	235	107	409	15

Challes-les Eaux : analyses effectuées à la sortie du forage "Cent-Sept"

Dates	Résistivité à 20°	Chlorures mg/l Cl-	Degrés sulfohydro métriques français	Température °C
4/05/94	235	107	397	15
9/06/94	247	102	389	15
6/07/94	270	91	352	16
11/08/94	265	92	370	16
20/09/94	250	88	348	15
5/10/94	275	73	322	15
2/11/94	250	80	352	15
7/12/94	250	93	362	15
12/01/95	240	101	398	15
9/02/95	235	133	396	16
9/03/95	231	105	410	16
6/04/95	225	109	417	17
22/05/95	251	90	376	15
6/06/95	261	85	360	16
5/07/95	325	58	232	16
12/09/95	273	82	337	16
5/10/95	294	65	319	16

CHALLES-LES-EAUX : évolution de la résistivité au forage "Cent-Sept"

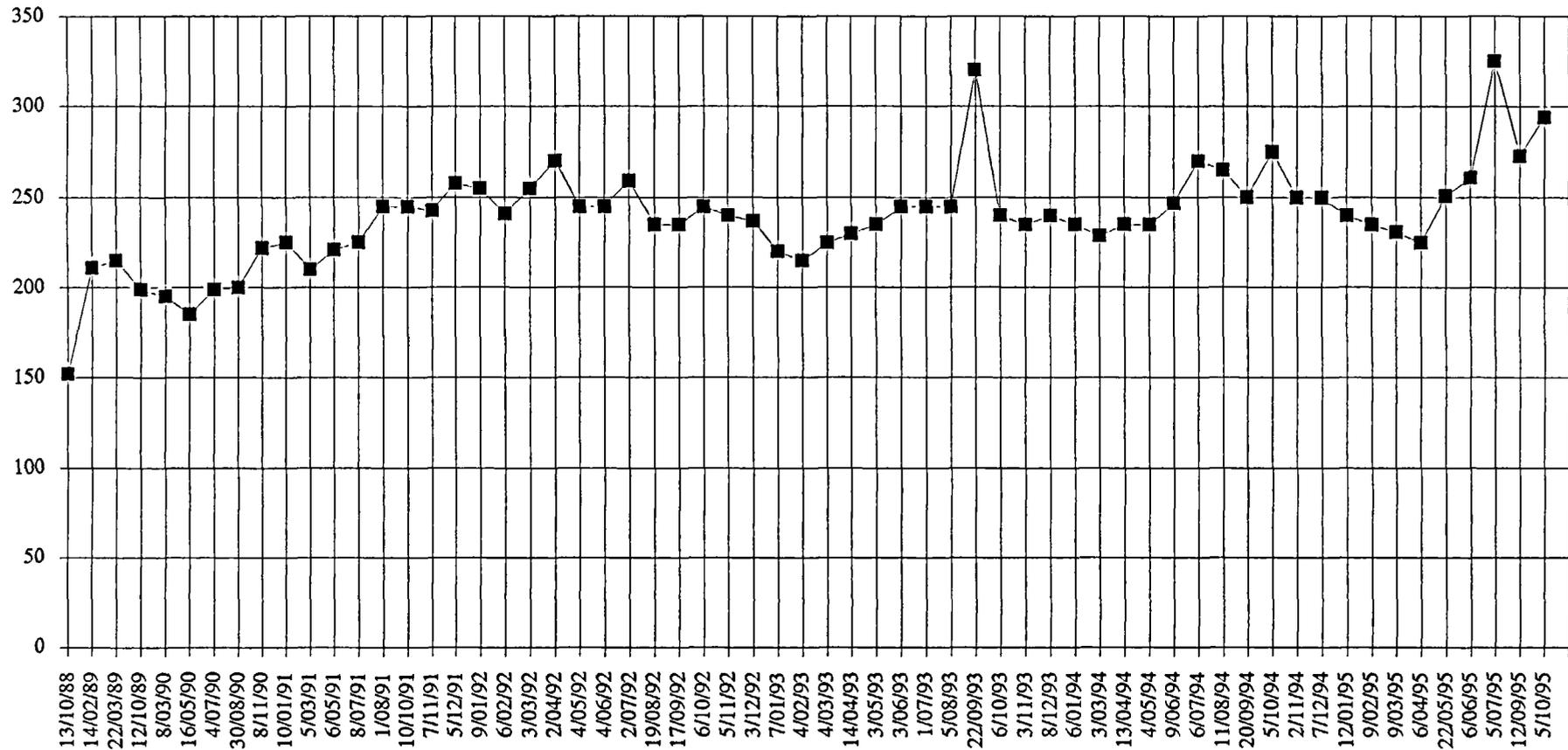


Figure 14

CHALLES-LES-EAUX : évolution de la teneur en Cl- au forage "Cent-Sept"

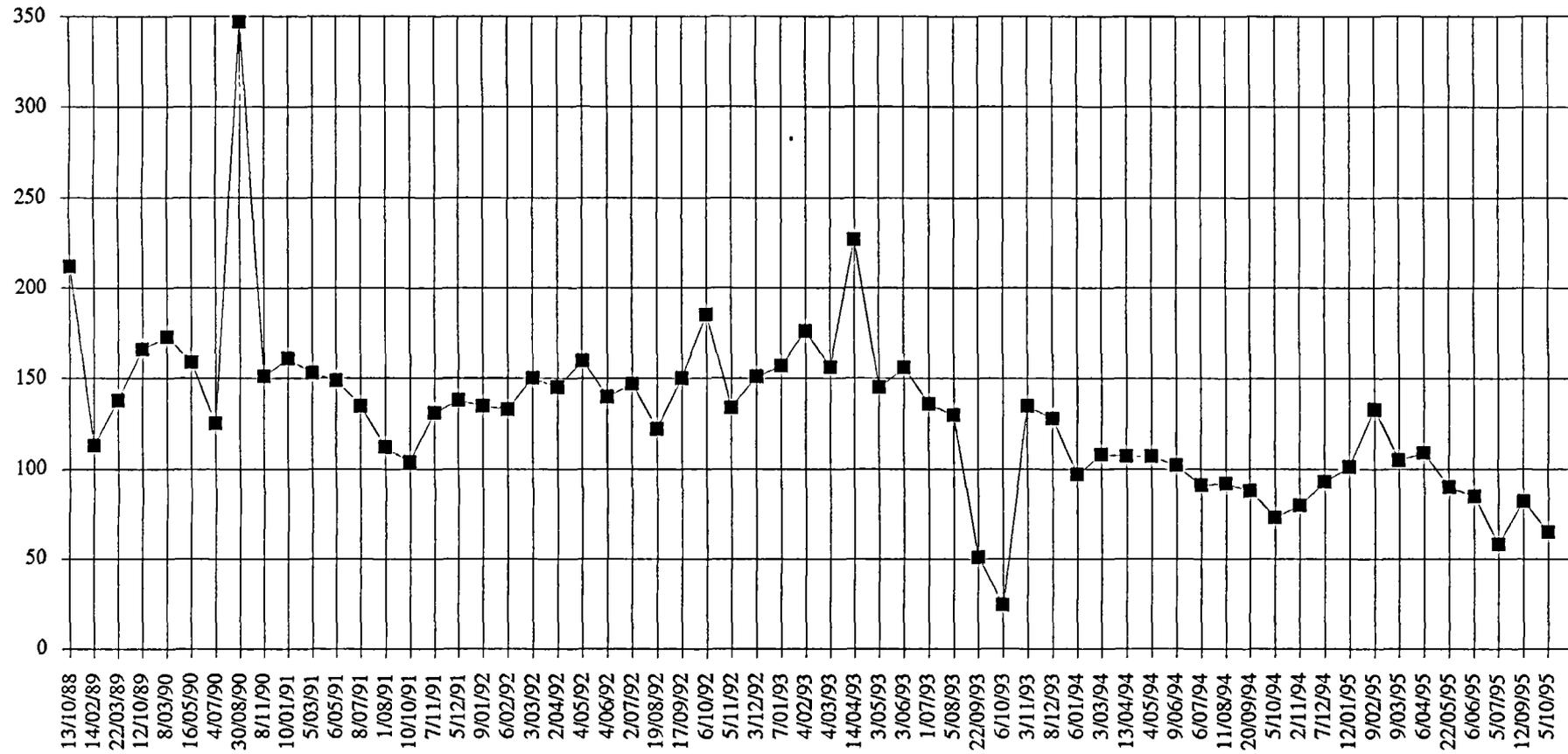


Figure 15

CHALLES-LES-EAUX : évolution du degré sulfhydrométrique français au forage "Cent-Sept"

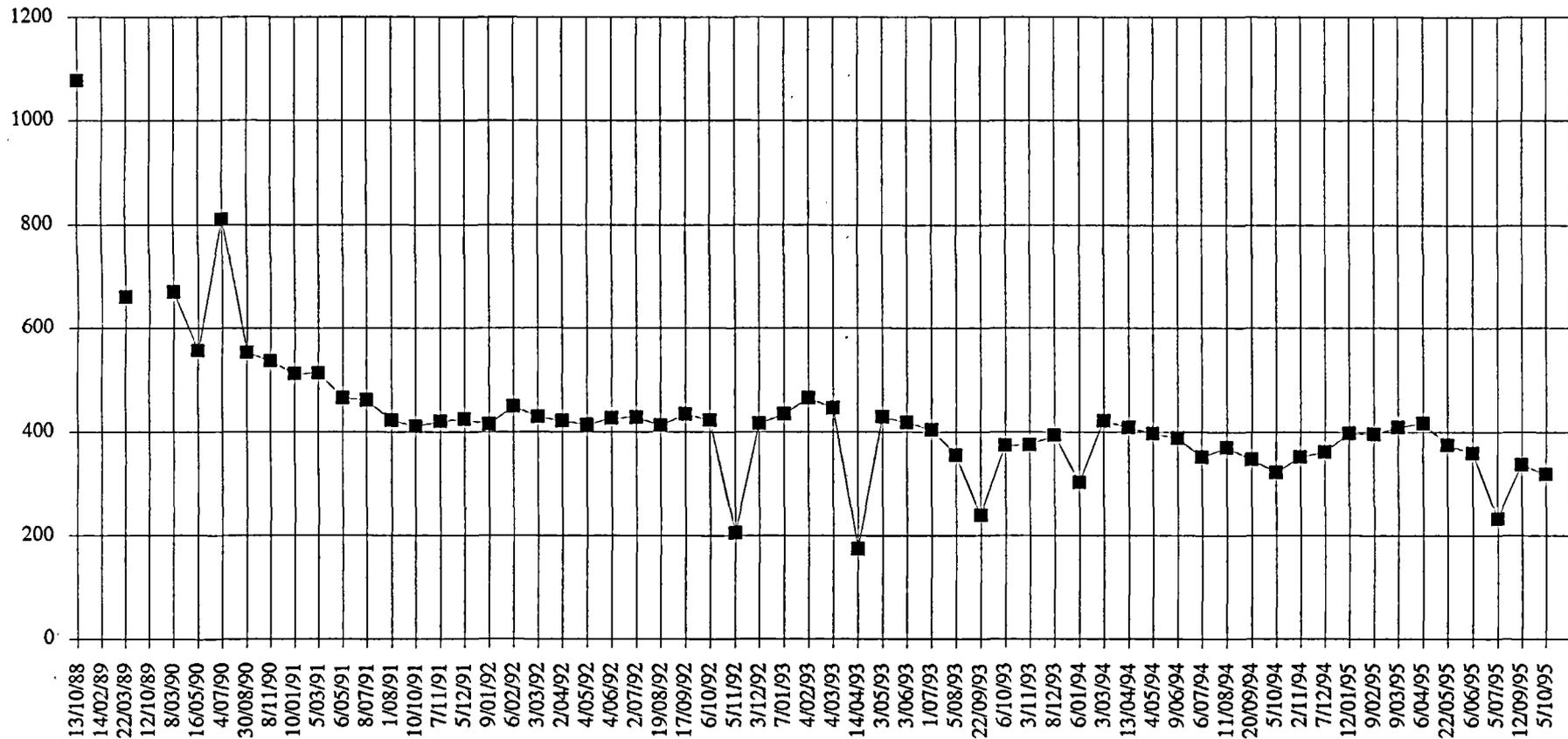
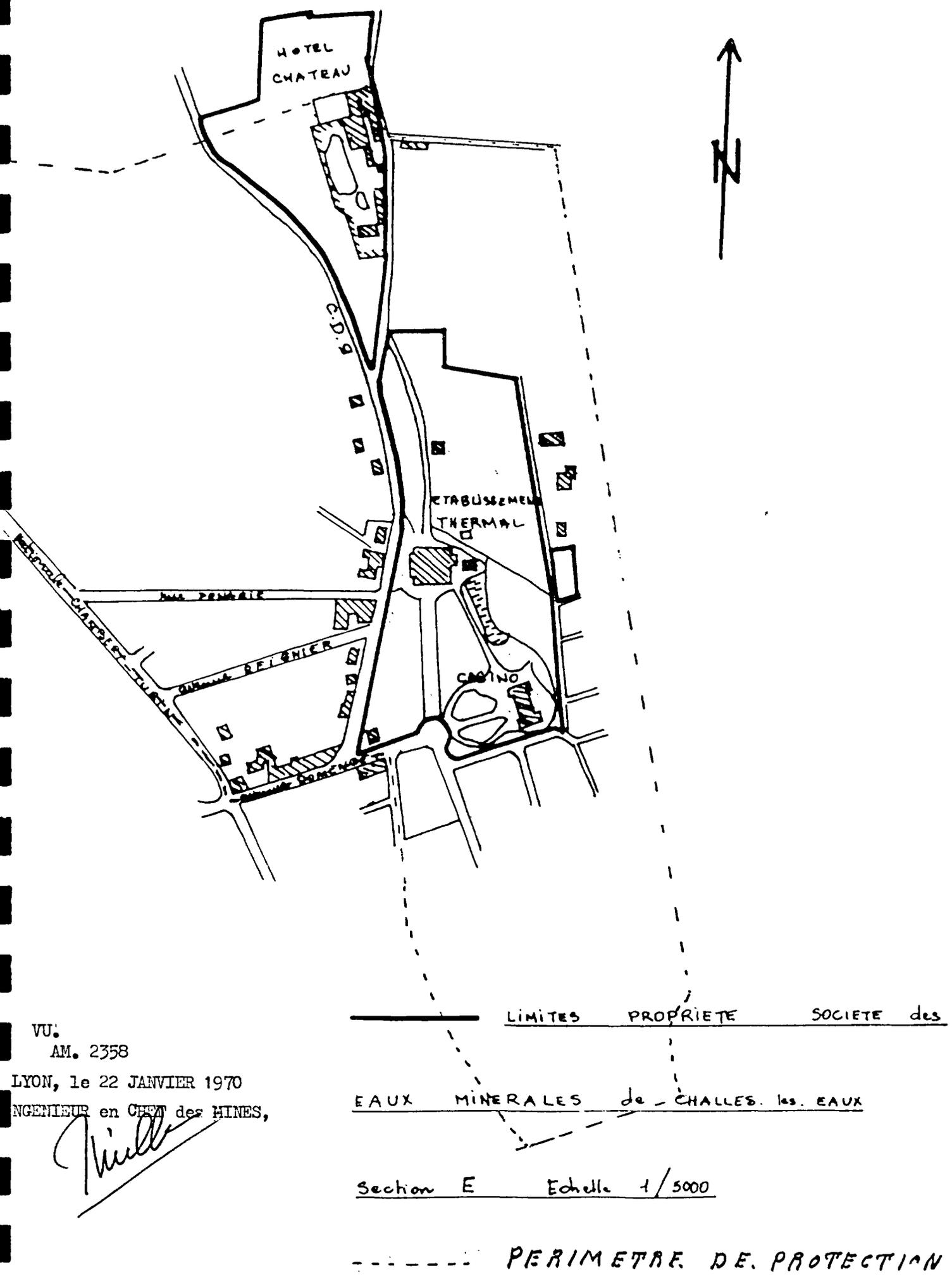


Figure 16



VU:
AM. 2358

LYON, le 22 JANVIER 1970
INGENIEUR en CHEF des MINES,

Thiell

Figure 17 :

périmètre de protection réglementaire de la source de Challes-les-Eaux : plan établi par la DRIRE

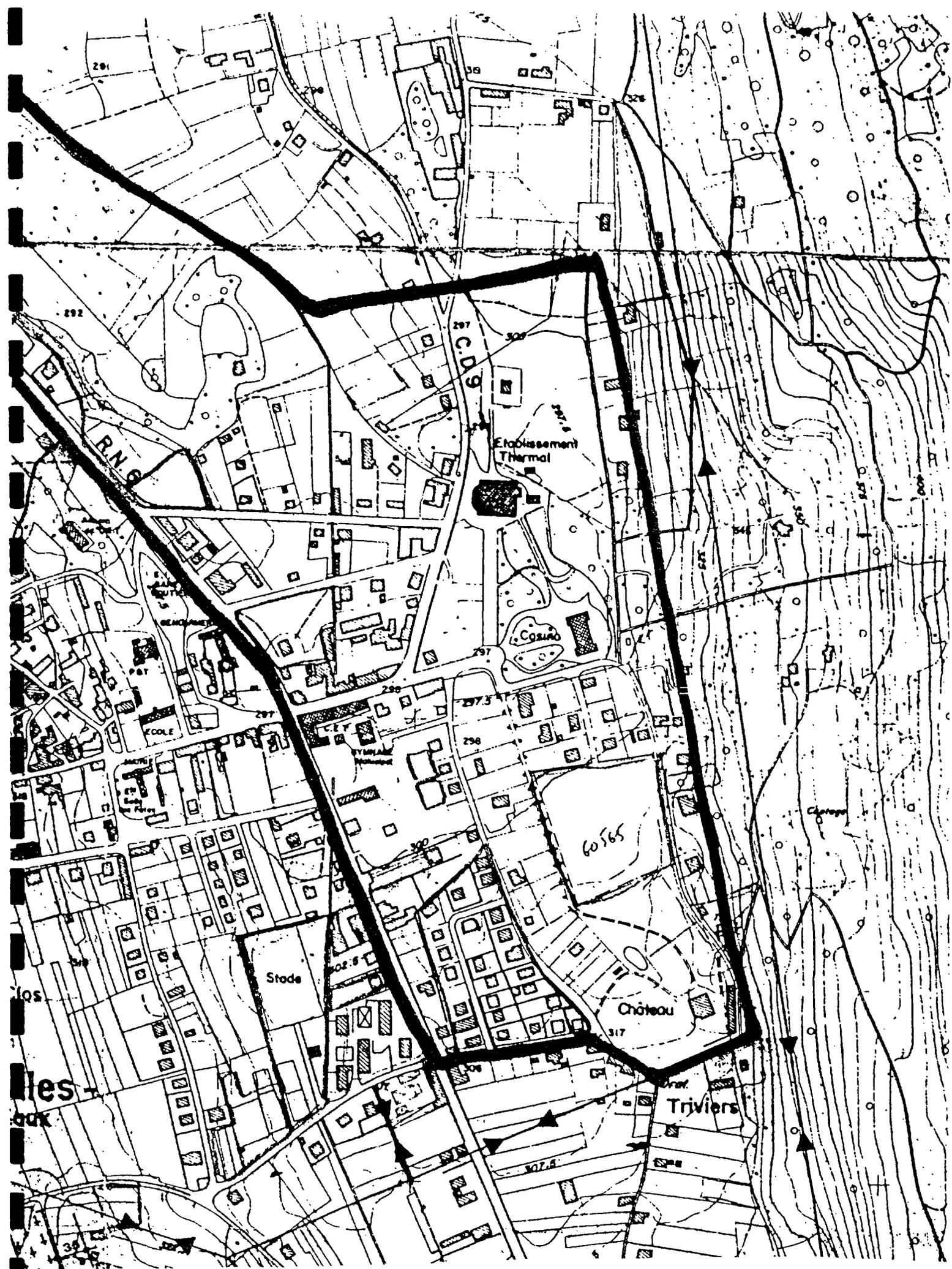
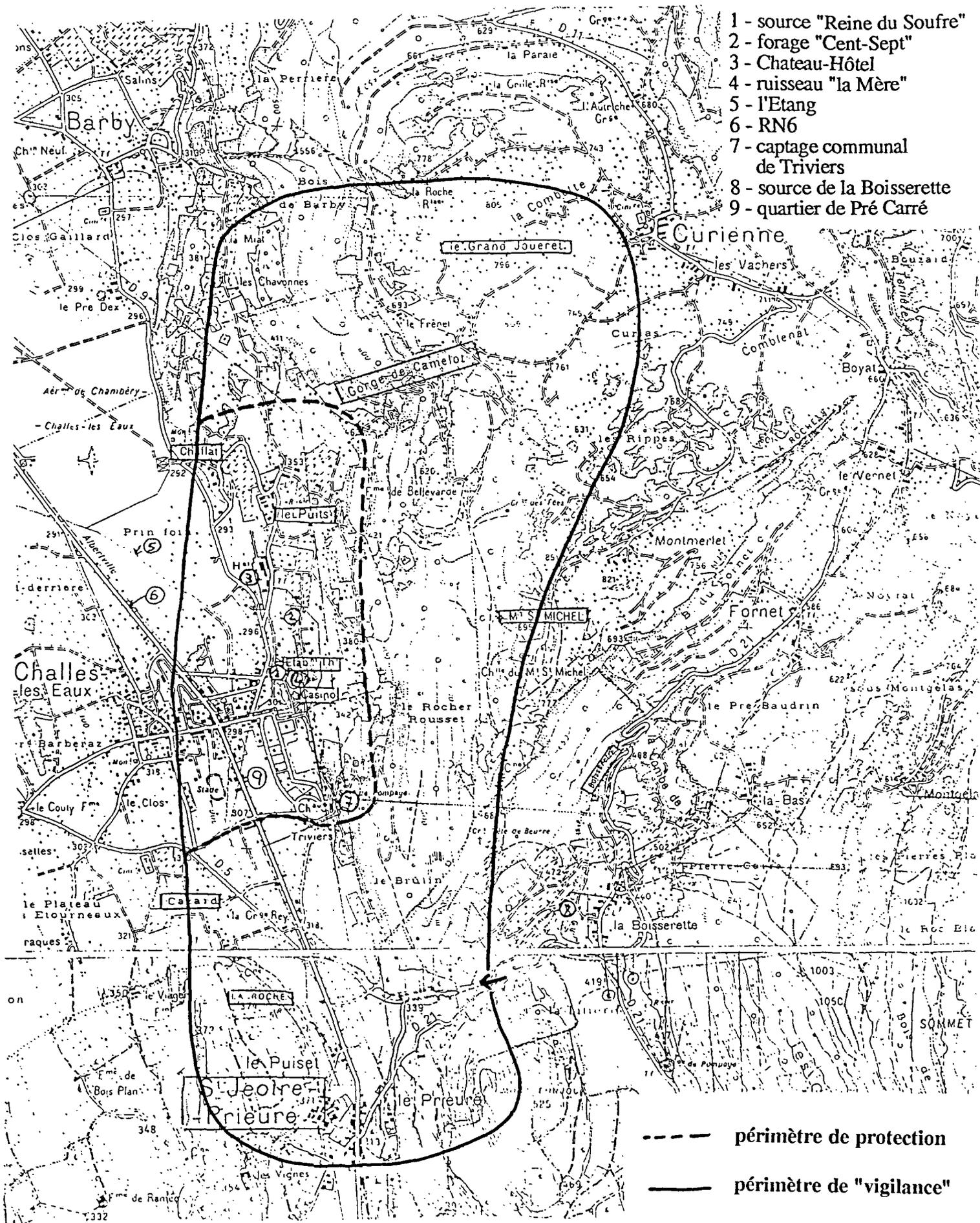


Figure 18 : périmètre de protection réglementaire de la source de Challes-les-Eaux : plan établi par la DDE



- 1 - source "Reine du Soufre"
- 2 - forage "Cent-Sept"
- 3 - Château-Hôtel
- 4 - ruisseau "la Mère"
- 5 - l'Étang
- 6 - RN6
- 7 - captage communal de Triviers
- 8 - source de la Boisserette
- 9 - quartier de Pré Carré

--- périmètre de protection
 ——— périmètre de "vigilance"

Figure 19 : proposition de périmètre de protection pour le forage 107