

A. CAZAL*, G. FENEYROU** et B. MOUSSIE*

=====

ETUDE DE LA CIRCULATION D'UNE EAU MINERALE
A TRAVERS UN AQUIFERE COMPLEXE .

* Centre d'Hydrogéologie de la Faculté des Sciences de Bordeaux .
** Service des Mines - arrondissement minéralogique de Toulouse .

Les venues d'eaux thermominérales sont généralement l'indice d'une structure géologique complexe en profondeur. La circulation de l'eau dans des terrains hétérogènes donne lieu à des phénomènes hydrogéologiques parfois délicats à interpréter.

La station thermale de Barbotan (commune de Cazaubon), à la limite du département du Gers et des Landes, se situe dans la partie septentrionale du Bas-Armagnac.

Cette région déprimée, occupée en majeure partie par les "sables fauves" du Tortonien supérieur recouvrant les dépôts molassiques, est limitée au Nord par une ride anticlinale, s'étendant d'Ouest en Est, de Roquefort des Landes à Cézán - Lavardens.

Si cet accident est jalonné par une série de pointements orogéniques (Roquefort, Créon, Cézán-Lavardens) perçant soit le revêtement des sables des Landes, soit les dépôts éocènes, oligocènes, miocènes, il paraît également souligné par des venues d'eaux thermominérales à Lavardens, Castéra-Verduzan et Barbotan.

Ce dernier gisement est remarquable par la température élevée de ses eaux qui atteint 36 à 37°. Avant d'être exploitées par forages, celles-ci, qui proviennent des sables grossiers, sortaient naturellement d'une fontaine tourbouse au fond d'un vallon.

Si leur renommée du point de vue thérapeutique paraît très ancienne (vestiges Gallo-romains), l'origine de leur jaillissement n'a été entrevue qu'à la suite des premiers travaux de captage de 1889 - 1891. E. Jacquot et Willm, dans leur ouvrage sur les eaux minérales de la France (1894) mettaient déjà en relation la présence de ces "eaux chaudes sulfureuses" avec celle d'un accident structural.

Le développement de la station a conduit la Société des Thermes à faire entreprendre des études hydrogéologiques afin de mieux connaître les ressources disponibles. Des campagnes de recherche, tendant, non seulement à préciser la géométrie et l'extension du gisement, mais portant également sur l'hydrodynamique, l'étude des températures et l'hydrochimie, ont apporté de nombreux renseignements. Ceux-ci concordent pour admettre l'existence

d'un aquifère multicouche .

Ces résultats nous ont alors permis, dans le cadre des dernières recherches géologiques connues, de proposer une interprétation de la structure géologique du gisement .

I Historique des travaux antérieurs

Le gisement thermal de Barbotan a déjà fait l'objet d'études particulières, généralement anciennes . Son existence est mentionnée par ailleurs à l'occasion de travaux géologiques plus généraux .

- E. Benoist et J. T. Billiot (1891), A. Degrange-Touzin (1892) décrivent des petites Nummulites recueillies vers 45 m de profondeur à Barbotan .

- Jacquot et Willm (1894), dans leur description des régions hydrothermales de la France, pensent que les failles qui accompagnent les rides antioclinales de la Chalosse sont à l'origine des sources thermales, notamment celles de Barbotan . La composition chimique de l'eau (minéralisée en "sulfure de calcium") permettrait en outre, selon ces auteurs, de déceler la présence de pointements triasiques dans le sous-sol .

- H. Douvillé (1919) reprend l'étude des Nummulites de Barbotan parmi lesquelles il détermine Nummulites planulatus Lansk, N. biarriatzensis d'Arch., N. elegans, de l'Yprésien .

- L. Mengaud (1916 - 27 - 39 - 40) étudie avec plus de minutie la région de Barbotan . Il fait état, en particulier, d'un sondage (dit sondage Daguet) à 600 m au Sud de la zone thermique, resté jusqu'à 225 mètres dans une série "monotone de terrains argileux, marneux molassiques et calcaires" d'origine lacustre, attribués au Miocène inférieur . Il décrit, d'après une analyse chimique de la Faculté de Médecine de Toulouse, l'eau thermique comme "légèrement sulfureuse, faiblement minéralisée, calcaire, magnésienne, silicatée avec trace de bromure et de fer" .

- L. Mengaud et F. Laguin tirent argument des renseignements fournis par le forage Daguet pour montrer que les terrains yprésiens plongent rapidement vers le Sud .

- J. Cuvillier, J. Dupouy-Camet et V. Saéal (1951) considèrent "l'Yprésien marin imprégné d'eau chaude sulfureuse de Barbotan comme un jalon de l'alignement anticlinal Roquefort-Lavardens". Ils relèvent que la forte température de l'eau, excluant toute origine miocène, traduit un phénomène hydrogéologique profond d'au moins 600 mètres.

Se référant à la nature de la minéralisation de cette eau, bicarbonatée calcique, sulfatée calcique et chlorurée sodique, ces auteurs pensent à une eau de lessivage triasique. Ils expliquent la quantité relativement importante du CO_3Ca et la nature sulfureuse des eaux par une réduction d'une partie du SO_4Ca par des matières organiques.

- H. Coustau et Cl. Sourisse (1964) dans deux rapports inédits (S.N.P.A.) se basant d'une part sur la ressemblance de la composition chimique des eaux de Barbotan avec celle des sables de la base des molasses de Lussagnet, Nogaro I et Geaune, d'autre part sur l'homogénéité des températures, considèrent le gisement de Barbotan comme un exutoire naturel des sables dits de "Lussagnet" le long de la ride Roquefort - Créon - Lavardens. Ils notent que la composition chimique de l'eau de Barbotan est différente de celle des eaux de Castera-Verduzan qui accusent un caractère sulfaté calcique (pointement oréacé de Bordère - Cézan-Lavardens).

- Enfin les auteurs de la Carte géologique au 1/80.000 de Montréal, F. Crouzel, M. Kiéken et H. Vogt (1965) expliquent la présence de venues thermales par une importante faille limitant au Nord la structure de Créon et passant à proximité de Barbotan. Aux eaux thermales considérées comme sulfurées-calciques, ils attribuent des caractéristiques proches de celles des eaux de lessivage du Trias.

2 Campagnes de recherches

I/ Situation existante

Entre 1889 et 1962, 26 sondages connus ont été réalisés. Implantés de façon anarchique sur une surface restreinte, ils ont été exécutés suivant l'idée que l'eau chaude gisait quel que soit l'endroit, à 30 mètres sous le sol : ce qui explique à l'heure actuelle un certain nombre d'écueils (II) fig I.

D'un point de vue technique, la réalisation des ouvrages restait très rudimentaire en particulier pour les 16 premiers (absence de crépine) .

Malgré la multiplication des forages, le débit total obtenu ne variait que dans une faible proportion : c'est ainsi qu'entre 1893 et 1961, et malgré un pompage, il était passé de 843 à 1150 litres par minute seulement . D'autre part un forage de 55 m (XXIII), achevé en 1957 dans la partie Nord de la station, donnait de l'eau atteignant une température à peine supérieure à 20° .

Une telle situation paraissait interdire tout développement ultérieur de la station . La Société des Thermes décidait alors d'entreprendre des recherches hydrogéologiques pour évaluer les limites du gisement .

2/ Forages de recherche

- Une première campagne (1963 - 1964) au cours de laquelle furent foncés dans la zone thermique déjà connue quatre sondages (S_1 à S_4), permit de montrer l'existence de trois horizons poreux perméables caractérisés chacun par des niveaux piézométriques et des températures différentes (voir Tableau I page suivante) .

S ₁ cote du sol: II6,2 profondeur : 42 m			S ₂ cote du sol: II6,2 profondeur : 40,4m			S ₃ cote du sol: II7,8 profondeur : 63,5m			S ₄ cote du sol: II6,2 profondeur : 44,3m		
C.T.A. (1)	N.P. (2)	T. (3)	C.T.A. (1)	N.P. (2)	T. (3)	C.T.A. (1)	N.P. (2)	T. (3)	C.T.A. (1)	N.P. (2)	T. (3)
						II3,9	II6,7	tiède (4)			
			II2,2	II5,7	31°	I05,7	II7,7	tiède (4)			
I04,4	II6,3	34°	I04,2	II8,7	34°				I03,2	art.	32°
						I01,5	II7,95	30°	89,2	II7,3	33°
						89,0	II8,51	31°			
			84,2	II9,4	37°				83,7	II6,35	35°
80,9	II9,2	37°				75,2	I21,3	25°			

(1) cote du toit de l'aquifère

(2) niveau piézométrique

(3) température à l'origine

(4) température exacte inconnue (non jaillissant)

Les remarques suivantes se dégagent de l'examen de ce tableau :

- Les niveaux piézométriques croissent avec la profondeur, ce qui est normal pour un complexe aquifère ascendant .

- Les températures croissent également avec la profondeur, sauf pour l'horizon le plus bas, rencontré par S₃ (25°) .

Par ailleurs, des carottes extraites des niveaux de grès pyriteux et de calcaire gréseux nummulitiques ont montré un fort pendage, subvertical à 70° .

A la suite de ces travaux, des cartes de la répartition des températures de l'eau relevées sur les nombreux forages existants montraient la localisation des plus fortes températures suivant un axe de direction générale Est-Ouest à Sud-Est - Nord-Ouest (exemple : fig. 2 : carte des isothermes entre les cotes - 32 et - 27) .

Ces observations ont guidé les recherches de la campagne 1964 - 1965 qui avaient pour but de préciser l'extension du gisement en direction de l'Ouest (sondages S₆ - S₈ - S₉) et d'obtenir des renseignements complémentaires sur le plongement des couches vers le Sud (sondage S₇) .

Tous ces sondages ont atteint les formations aquifères recherchées (Tableau 2) .

Tableau 2

S ₆ et S ₈ cote du sol 118 profondeur : 60 m.			S ₇ cote du sol 116,50 profondeur : 133 m.			S ₉ cote du sol 125 profondeur : 96 m		
C.T.A. (1)	N.P. (2)	T. (3)	C.T.A. (1)	N.P. (2)	T. (3)	C.T.A. (1)	N.P. (2)	T. (3)
78	119,3	36°1 ou 37°	103	119,3	35°4	74	118,7	
			35	121,5	36°5			

(1) cote du toit de l'aquifère - (2) niveau piézométrique - (3) θ à l'origine

Il faut noter que le sondage S₉ a seul atteint vers 96 m. de profondeur des couches de sables nummulitiques .

Les résultats ont ainsi apporté une confirmation de l'hypothèse de l'extension du gisement vers l'Ouest et du plongement des couches vers le Sud :

Au cours de cette même campagne, des essais de débit de courte durée ont, comme nous le verrons plus loin, vérifié l'existence d'un aquifère multicouche .

La dernière campagne de recherche 1965 - 1966 a eu pour objet d'étudier les relations entre les divers niveaux perméables, d'exécuter des mesures complémentaires (diagraphie électrique, thermométrie, pendagémétrie) afin d'implanter dans les meilleures conditions possibles les ouvrages définitifs exploitant les deux horizons les plus intéressants .

Par ailleurs, deux forages :

- le Mouley : x 409,5 y 186,65 z 163,50 926-8 32

- le camping Jean Marie : x 410,5 y 186,4 z 159,40 926-8-36

implantés respectivement à 800 et 1300 mètres au Nord du gisement ont apporté de nouveaux éléments sur la structure géologique .

Sous une épaisseur de 71 et de 50 mètres de sables fauves, de calcaires de Herret et de molasse miocène, les sables grossiers ont été traversés dans le premier, sur 20 mètres et dans le second sur 35 mètres .

3 Mise en évidence des différents horizons aquifères et étude de leurs relations .

A/ Niveaux piézométriques :

La fermeture de tous les ouvrages en vue de la mesure des pressions lors des essais de débit a montré que les niveaux piézométriques relevés jusqu'alors étaient sous-estimés en raison du fonctionnement des ouvrages voisins .

Le tableau ci-joint donne la répartition des potentiels mesurés sur les différents forages, le seul écoulement existant s'effectuant par les

exutoires naturels .

Nous devons noter que le niveau piézométrique représente en fait le potentiel puisque les poids spécifiques de l'eau sont voisins, et les ouvrages sont peu profonds .

S_I "nappe sup."	Z	XX	S_7 "nappe sup."	Cèdre
117,86	118,20	118,28	118,30	116,81

S_I "nappe moy."	Y	S_4	F	$S_6 S_8$	S_7 "nappe moy."	S_9
120,22	120,09	119,26	119,14	120,8	121,5	119,6

S_3	Mouley	Camping
122	119,34 ? 123 ?	120,57

Ces différents tableaux montrent la répartition des potentiels en 3 groupes correspondant à 3 horizons différents . La comparaison de ces valeurs avec celles obtenues sur les forages en cours d'exécution ($S_I - S_2 - S_3$) montre que les 2 "nappes supérieures" ont des exutoires plus importants que la "nappe inférieure" qui ne parvient pas ou difficilement à l'émergence.

B/ Essais de débit : interprétation

a/ Essais de courte durée .

L'existence de ces 3 horizons a été vérifiée à l'aide d'essais de

débit de faible durée (inférieure à 48 heures) . Ils ont permis de déterminer les forages atteignant la même zone productrice :

"nappe supérieure" : S_I petit, Z, XX, S₇ supérieur, Cèdre etc.....

"nappe moyenne" : S_I grand, Y, S₄, S₅, F, S₆, S₈, S₇ moyenne, S₉

"nappe inférieure" : S₃, XXIII (fig. I) .

Sur tous les forages captant le même horizon, des rabattements notables ont été relevés tandis que sur ceux captant les autres couches l'influence du rabattement était peu marquée . En particulier deux essais effectués sur le forage S₇ à deux profondeurs différentes (86 à 90 m et 25 à 55 m) ont permis de mesurer des interférences directes alternativement sur le groupe des forages atteignant la "nappe moyenne" et celui captant la "nappe supérieure" .

b/ Essais de longue durée :

Ils étaient destinés à rechercher les relations éventuelles entre les différentes couches perméables .

- Essai sur la "nappe supérieure" (du 6/12 au 15/12/1965) débit moyen 30 m³/h .

La planche ci-jointe (fig. 3) montre l'évolution des niveaux en fonction du temps sur le forage S₇ et dans 2 piézomètres, S_I"petit" situé dans la même couche et S_I"grand" atteignant la nappe moyenne .

Un phénomène très net de drainance apparaît après environ 4 heures . Les rabattements observés ne s'accroissent alors que très lentement . Au bout de ce même temps une répartition identique des niveaux peut être observée sur les piézomètres atteignant la "nappe moyenne" . En fin d'essai, les valeurs des potentiels et des rabattements étaient les suivantes :

"Nappe supérieure"	S _I "petit"	Z	XX	S ₇	Cèdre
Rabattements	0,56	0,46	2,43	4,10	0,44
Potentiels	116,80	115,60	114,10	112,40	116,37

"Nappe moyenne"	S _I "grand"	Y	S ₄	S ₅	S ₆ + S ₈
Rabattements	0,17	0,14	0,09	0,23	0,09
Potentiels	120,16	119,95	119,50	119,91	120,60

Sur la figure n° 4 sont d'autre part indiquées les courbes d'égal rabattement mesuré sur 29 piézomètres d'observation atteignant le premier horizon perméable superficiel constitué de sables grossiers (profondeur 2,5 à 4 mètres) .

Cette figure montre que, contrairement à ce que l'on pourrait penser, les rabattements les plus forts s'individualisent dans une zone assez éloignée (60 m) du forage vers le Nord, ce qui semblerait indiquer la localisation et la direction d'affleurement de la couche sous les dépôts superficiels .

Les observations et les coupes relevées dans les divers sondages montrent que la géométrie du gisement est complexe .

Il est donc pratiquement impossible d'appliquer rigoureusement les lois du régime transitoire en vue de la détermination des caractéristiques hydrauliques des différents horizons perméables . L'existence de l'affleurement de la couche, situé à proximité du puits de pompage, joue dans une première phase le rôle d'une limite non alimentée . L'influence du puits image qui lui correspond sera alors sensible dès le début de l'essai .

Il n'est donc pas possible de calculer, même approximativement, la transmissivité réelle . Seul un ordre de grandeur peut être déduit de la transmissivité apparente qui est comprise entre 2 et $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Le phénomène de drainage observé peut être confirmé par la répartition des potentiels dans les 2 couches . Celle ci montre une possibilité de circulation de la couche moyenne vers la couche supérieure .

L'accroissement du gradient hydraulique entre les 2 horizons résultant du pompage, atteint environ $4 \cdot 10^{-2}$ sur le sondage S_I . A cette forte valeur correspond nécessairement une circulation du fluide dans la

couche semi perméable constituée de sables fins et argileux .

En l'absence de tout pompage, la drainance existe normalement comme l'indique la répartition des potentiels entre les 2 horizons malgré les différences de profondeur . L'essai montre qu'avec le temps, la pression diminue dans la couche drainée . Le schéma classique de Hantush ne s'applique donc pas à ce cas .

L'absence du plateau de drainance sur le graphique, que l'on devrait observer aussi bien selon la conception de Hantush que selon celle de Boulton, s'explique par la faible valeur du coefficient d'emmagasinement de la couche drainée . Il en résulte très rapidement une dépression lorsque un faible volume d'eau est libéré .

Il n'a pas été possible, en raison de la géométrie du système, de calculer un facteur de drainance du mur qui soit vraiment représentatif des phénomènes de filtration entre les couches .

- Essais sur la "nappe moyenne" du 2/3/1966 au 10/3/1966, débit moyen $90 \text{ m}^3/\text{h}$. (pompage sur S_6 et S_8) .

La planche ci-jointe (fig. n° 5) montre l'évolution des niveaux* en fonction du temps sur le forage S_8 , les piézomètres S_I "petit" ("nappe supérieure"), S_I "grand" ("nappe moyenne") et S_3 atteignant la "nappe inférieure" .

Environ 4 heures (15.000 secondes) après le début du pompage, un changement de pente se manifeste sur la courbe des niveaux dans le forage S_8 .

La même modification de pente, mais retardée, peut être constatée sur le piézomètre S_I "grand" .

Au contraire sur le sondage S_I "petit", on observe, à partir de 10.000 secondes, une droite de pente beaucoup plus faible . Sur S_3 , la pente de la courbe observée en fin d'essai est voisine de celle trouvée sur la couche testée .

* Les premiers niveaux sont calculés pour tenir compte de légères variations de débit .

En fin d'essais les rabattements et les potentiels étaient les suivants :

"nappe supérieure"	S _I "petit"	Z	XX	S ₇
rabattement	0,41	0,33	0,27	0,34
potentiel	116,92	116,65	117,39	117,92

"nappe moyenne"	S _I "grand"	Y	S ₄	S ₅	S ₆	S ₈	S ₉
rabattement	1,95	2,07	1,83	2,14	7,97	4,33	1,35
potentiel	117,03	116,69	116,20	116,06	111,40	113,05	118,25

"nappe inférieure"	S ₃
rabattement	0,50
potentiel	116,80

Ces valeurs montrent qu'un phénomène de drainance entre la "nappe supérieure" et la "nappe moyenne", et en direction de cette dernière, ne peut se produire que dans une zone d'extension limitée . Cependant des circulations existent de la "nappe inférieure" vers la "nappe moyenne" .

Ceci confirme les observations déjà faites sur les valeurs de la pente des graphiques relatifs à la couche supérieure . Il est permis de penser que l'apport est faible ce qui n'entraînerait qu'une légère dépression des niveaux .

Pour les mêmes raisons que précédemment, il n'est pas possible de calculer exactement les caractéristiques hydrauliques . La valeur de la transmissivité apparente serait dans ce cas comprise entre 3 et $4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Le facteur de drainance du mur paraît être bien inférieur à celui du toit .

La pente assez forte relevée sur le graphique des niveaux dans le sondage S₃ s'expliquerait par une transmissivité plus faible ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s.}$) de cette couche comme cela a été constaté aux forages de Mouley et du camping Jean Marie situés en dehors de la zone tectonisée .

Comme dans le cas précédent, nous avons pu à l'aide de piézomètres de surface, déterminer les zones d'affleurement de cet horizon sous les dépôts superficiels . La figure n° 4 montre que les rabattements les plus élevés se situent à une certaine distance (35 m) en direction du Nord .

La comparaison de cette figure avec celle obtenue par le pompage sur la couche supérieure indiquerait que l'affleurement de la couche moyenne se situe immédiatement au Nord de celui de la couche supérieure .

Notons, pour terminer, que dans les 2 essais, la pseudo-alimentation résultant de la diminution du débit naturel aux émergences, qui intervient forcément puisque un rabattement est observé en surface, est confondue avec les autres apports et ne peut donc être mise en évidence sur les graphiques d'évolution des potentiels .

C/ Températures :

La répartition des températures, d'une part en fonction des profondeurs, d'autre part par rapport à la distance aux zones d'émergence supposées, indique bien l'existence de 3 horizons bien individualisés (fig. n° 6). Du Sud vers le Nord, la température de la "nappe supérieure" passe de 36° en profondeur à 31° en surface . Celle de la couche moyenne diminue de 37 à 34° . La "nappe inférieure" ne vient pas à l'émergence . La répartition des températures y est plus complexe : du Sud au Nord : 26° au S₃, 22°2 au XXIII, 15°5 au Mouley et 17° au camping Jean Marie . L'interprétation de ces variations de température sera donnée ultérieurement .

D'autre part, l'évolution des températures au cours de pompages est caractéristique de chacun des horizons (fig. n° 7) . Pour la "nappe supérieure", une diminution assez brutale se manifeste au début du pompage .

Elle correspond à un apport d'eau provenant des horizons situés près de la surface du sol sous l'effet de la dépression. Ensuite la diminution de température est freinée. Ceci peut être attribué à l'apport d'eau chaude de la "nappe moyenne".

Pour la "nappe moyenne", l'accroissement régulier de la température montre que la nappe est bien protégée de la surface par la "nappe supérieure" et confirme la faible valeur du facteur de drainance du mur de la "nappe moyenne".

Dans la "nappe inférieure", une augmentation très rapide de la température ne peut être attribuée à une drainance à partir de la "nappe moyenne" en raison des valeurs respectives des potentiels de ces 2 nappes, mais à un appel d'eau réchauffée par conduction à partir des couches chaudes très proches. La preuve en est qu'assez rapidement, la température de l'eau diminue pour retrouver sa valeur initiale.

B/ Hydrochimie :

Les résultats de l'analyse chimique des eaux des divers forages de la station confirment l'interprétation déjà donnée en 1964 par H. Coustau et Cl. Sourisse : à savoir la parenté de ces eaux peu minéralisées (R.S. 200 mg/l) du type bicarbonaté calcique, faiblement sulfatées et chlorurées avec celles des eaux de la nappe sous molassique (Géaune - Nogaro). Elles diffèrent notablement des eaux d'origine triasique (Carresse) ou sénonienne (Dax) (fig. n° 8). Elles n'ont pas par ailleurs, de ressemblance avec les eaux circulant dans les "Sables fauves".

Cependant quelques variations de la composition chimique, liées aux conditions de circulation de l'eau, confirment également la présence de plusieurs horizons.

En particulier, la minéralisation augmente sensiblement dans les eaux des forages du camping Jean Mario et Mouley. Dans ces deux forages, au contraire, la concentration en magnésium diminue fortement. Ces deux phénomènes, le second étant lié à un échange de base avec le sodium des terrains molassiques, ont pour origine une faible vitesse de circulation.

Un autre fait particulièrement remarquable, réside dans la variation de la concentration en sulfates en fonction de la température (fig. n°9

Dans les zones où l'eau circule rapidement une température élevée est accompagnée par une faible concentration en SO_4 et une quantité de SH_2 plus importante. Tandis que dans les zones de circulation lente, caractérisées par une température plus faible, l'oxydation des pyrites permet l'accroissement de cette concentration (fig. n° 8). Corrélativement, la teneur en calcium reste inchangée. C'est ainsi que les sables de l'horizon aquifère supérieur sont généralement pauvres en pyrite et que l'eau devient légèrement ferrugineuse (0,1 mg/l.).

En résumé, la "nappe supérieure" paraît être caractérisée par un accroissement des concentrations en sulfate et en fer au fur et à mesure que l'on s'approche de l'affleurement.

La réduction des sulfates paraît être le caractère distinctif de l'eau de la "nappe moyenne" qui est de ce fait plus riche en SH_2 .

La composition chimique de l'eau de la "nappe inférieure" tendra à varier en fonction de la proximité de l'accident tectonique. Elle se rapproche de celle des eaux de la "nappe supérieure" mais la minéralisation s'accroît en direction du Nord.

4 •/ Interprétation géologique :

La dernière édition de la Carte Géologique de Montréal au 1/80.000 s'inspirant des travaux de la S.N.P.A. et en particulier des résultats obtenus par sismique-réflexion, indique l'existence d'une faille importante bordant au Nord la structure de Créon. Se poursuivant vers l'E. - S.-E., celle-ci passerait à 1,3 Km au N. - N.-E. de Barbotan, effondrant de 300 m le flanc nord de la structure anticlinale. L'examen des isobathes de la base du Tertiaire montre également que l'anticlinal paraît affecté d'un décrochement longitudinal (fig. 10).

Le flanc sud de la structure sur lequel se situeraient les émergences de Barbotan ne serait, selon la Carte Géologique, affecté d'aucune faille le pendage général étant de 10° .

Les coupes de terrains rattachés sur la zone thermique de Barbotan mettent en évidence les faits suivants :

Groupe de forages de la partie nord de la station :

- Les vingt à trente premiers mètres sont constitués d'une alternance de sables grossiers et de sables fins à très fins, micacés, plus ou moins argileux .

- Entre vingt et trente cinq mètres de profondeur, sur une épaisseur apparente de 5 à 6 m, des sables très grossiers constituent le milieu poreux où circulent les eaux les plus chaudes .

- Un niveau de grès pyriteux, puis de sables fins, micacés, oncochant des grès verdâtres, glauconieux, à ciment calcaire, pétris de Nummulites (*N. planulatus*)^{*} (for. XXII. XV. S₃) forment écran entre le milieu poreux précédent et l'horizon inférieur constitué de dépôts sableux grossiers, siège d'une circulation d'eau à faible température .

Certains forages (Roquober I - XXIII) paraissent avoir traversé des terrains marno-argileux séparant l'horizon aquifère moyen de l'horizon inférieur . D'après les descriptions des forages, on peut penser être en présence de formations d'âge miocène (?) .

Il faut noter que les niveaux riches en pyrites se situent à des cotes de plus en plus élevées en direction du Nord et du Nord - Nord-Est .

Par ailleurs, rappelons, d'une part que c'est dans ce groupe de forages que la détermination de nombreuses Nummulites recueillies entre 30 et 35 m a prouvé l'âge yprésien des terrains situés à cette profondeur ; d'autre part, que des pendages de 70° y ont été relevés sur des carottes (S₃).

Groupe de forages situés dans la partie sud de la station

On y relève une épaisseur de 60 à 75 m de sables hétérométriques, grossiers à moyens, où la pyrite paraît absente . Un niveau de sable très

* aimablement déterminées par Melle Veillon .

très grossiers, d'une puissance apparente de 10 à 15 m séparé ou non des terrains supérieurs soit par des sables très fins, soit par des argiles noirâtres, pyriteuses, correspond à l'horizon perméable emprunté par les eaux chaudes .

Entre 80 et 180 m, des dépôts détritiques de plus en plus fins, où la proportion de la fraction argileuse s'accroît avec la profondeur, renferment de nombreux foraminifères .

En dessous de 180 m, des marnes argileuses, grès bleuâtre et blancâtre ont été traversées sur une vingtaine de mètres .

Les diagrammes électriques d'une part, le log de température et de la pendagémétrie d'autre part, effectués sur le forage S₁₀ (fig. II) montrent :

- Entre 15 et 42 m des sédiments détritiques d'une bonne porosité affectés d'un faible pendage de 2 à 12° vers le S. - S-E ; à cette portion correspond un accroissement régulier mais important des températures (1°8 pour 10 m) .

- Entre 42 m et 72 m, des sables d'une porosité un peu moindre, affectés encore de faible pendage, mais de direction très variable, ce qui pourrait faire penser, soit à une stratification entrecroisée, soit à un certain bouleversement dans les couches à l'approche d'un accident tectonique ; en relation avec cette plus faible porosité, l'accroissement des températures n'est que de 5/10 de degré pour 10 m .

Ces deux ensembles sédimentaires constituent le magasin de la "nappe supérieure" .

- De 72 m à 80 m des sables grossiers très poreux, de pendages assez variables en valeur et en azimut et pouvant atteindre un angle de 35° ; ils sont le siège d'une augmentation brutale de température (3° pour 10 m.) .

Ils correspondent à la zone de circulation des eaux les plus chaudes ("nappe moyenne") .

- Depuis 95 m jusqu'à 180 m, un relèvement important (pendage 50 à 70°) en direction S.-W. et S.-E. des couches détritiques, hétérogènes et tr

argileuses et par conséquent d'une perméabilité assez médiocre ; ce qui se traduit par un abaissement de température de 1° pour 10 mètres jusqu'à 110 m celle-ci devenant ensuite à peu près constante à 5/10 de degré près . Ces couches sont sans doute d'âge yprésien .

En dessous de 180 m, des pendages moins prononcés (30 à 50°), mais de directions assez variables (E. - N.-E. à W. - N.-W.) .

Forages au Nord de Barbotan :

Les deux ouvrages effectués au Nord de la zone thermale, celui de Mouley et celui du camping ont rencontré :

- les sables fauves sur une hauteur de 15 m
- les calcaires de Herret, l'un sur une épaisseur de 10 m, l'autre de 5 m .
- des molasses, sur 27 m pour le premier, sur 20 m pour le second .
- un horizon de transition sable-argileux d'une puissance de 10 m .
- enfin des sables grossiers, azoïques atteints par le premier à 70 m de profondeur, par le second à 50 mètres .

En résumé, les terrains traversés dans la région de Barbotan révèlent la présence dans la partie supérieure, de sables grossiers, quartzeux, micacés, mal calibrés, azoïques, très certainement d'origine fluviatile . Affectés semble-t-il de faibles pendages, dans la mesure où ceux-ci sont décelables dans un tel matériau, ils s'épaississent du N.-E. vers le S.-W., venant à l'affleurement dans la cuvette de Barbotan, ces mêmes sables, s'ils sont retrouvés sous 70 m de terrains molassiques à 700 m au Nord, sont enfouis sous une épaisseur de plus de 200 m à 600 m au Sud du gisement .

Ces sables continentaux paraissent correspondre à ceux étudiés à Garlin, Lussagnet, Geaune et Audignon 6 par A. Vatan (1946) et A. Rochignac (1964) . Issus d'un épendage en provenance du Massif Central, ce matériel détritique pourrait être daté de l'Eocène supérieur . C'est un horizon ou une succession d'horizons détritiques grossiers appartenant à ces formations qu'empruntent les eaux chaudes pour remonter en surface . Ceux-ci paraissent

s'appuyer plus ou moins directement, par l'intermédiaire de sables contenant des Nummulites romaniônes, sur des couches d'yprésien marin peu perméables et très redressées .

La série yprésienne, comparée à celle trouvée à Garlin, paraît très incomplète, sans doute à la suite de biseautages d'origine tectonique .

Les résultats obtenus sur la nature des terrains et leur pendage à l'aide de sondages, confirment les observations faites lors de l'étude de l'hydrodynamique, de la répartition des températures et de l'hydrochimie : à savoir, l'existence de plusieurs horizons poreux perméables, la direction de leur plongement, la disposition de leurs affleurements et la présence d'une discontinuité brutale des terrains et des températures individualisant une partie septentrionale .

Les renseignements hydrauliques et thermiques ont permis dans certains cas, de suppléer au manque de renseignements géologiques .

Ceci nous amène à proposer un schéma de la structure géologique du gisement de Barbotan, qui, s'il n'est pas encore tout à fait satisfaisant, rend compte d'une façon cohérente à la fois des données géologiques à l'échelle régionale et locale et des phénomènes hydrauliques . (fig. n° 12).

Les éléments d'ordre géologique, hydrogéologique et thermique paraissent en accord pour admettre l'existence d'une faille secondaire conforme, légèrement inverse d'orientation S.-E. - N.-W.

Probablement en relation avec la faille principale, elle limite avec celle-ci une écaille correspondant sensiblement à l'axe anticlinal, légèrement basculé vers le Sud .

Cette faille a favorisé la remontée des eaux thermo-minérales en redressant le long du flanc sud de l'anticlinal, l'Yprésien marin sur lequel des sables grossiers d'origine fluviatile constituent une veine fluide ascendante .

La faille sépare hydrauliquement les sables de la partie septentrionale dont les eaux relativement froides se chargent chimiquement par suite d'une faible circulation .

Aux épontes de cette veine fluide se produisent au Sud des échanges hydrauliques vers les couches détritiques supérieures et vers le Nord des échanges thermiques par conduction vers l'aquifère isolé .

CONCLUSION

Grâce à l'existence d'une faille secondaire affectant localement la structure antioclinale de Roquefort - Cezan - Lavardons, le réservoir profond des sables de Lussagnet est mis en communication avec la surface . Etant donné la rapidité de l'ascension, la température de l'eau à l'émergence peut atteindre 37° . Une telle température suppose une origine de l'eau située entre 600 et 800 mètres de profondeur .

L'étude des propriétés thermiques et hydrodynamiques a montré qu'en fait la venue au jour de ces eaux thermales se fait de façon complexe . Ceci n'a rien d'étonnant si on considère qu'un accident tectonique, affectant ces couches géologiques, va établir entre elles des relations complexes . C'est ainsi que la piézométrie, les essais de débit, la mesure des températures et l'hydrochimie ont mis en évidence l'existence d'un aquifère multicouche .

- Une première couche aquifère ("nappe supérieure"), très hétérogène dans la composition de ses terrains, met à l'émergence des eaux à 34° .

- Une deuxième couche aquifère ("nappe moyenne"), de faible épaisseur, mais formée de sables grossiers ayant une excellente perméabilité, constitue une zone de circulation rapide qui amène à l'émergence des eaux de $36^{\circ}5$ à 37° et fournit une certaine quantité d'eau à l'horizon supérieur .

- Une troisième couche aquifère ("nappe inférieure") appartenant en réalité du point de vue géologique au même niveau que la première, en est isolée plus ou moins efficacement par la faille . Rattachées au compartiment nord, les communications avec l'horizon moyen paraissent difficiles . Mais ce dernier transmet de la chaleur par conduction . Les températures, quoiqu'il en soit, restant encore anormalement élevées pour la profondeur, décroissent rapidement vers le Nord en s'éloignant de la zone faillée .

Enfin d'après les diagraphies on peut supposer l'existence d'un quatrième horizon aquifère dans l'Yprésien . Il est permis de penser que sa perméabilité est moins élevée, ce qui amène une température de l'eau plus faible . En raison du biseautage des couches le long de la faille, des communications doivent exister en profondeur avec l'horizon moyen .

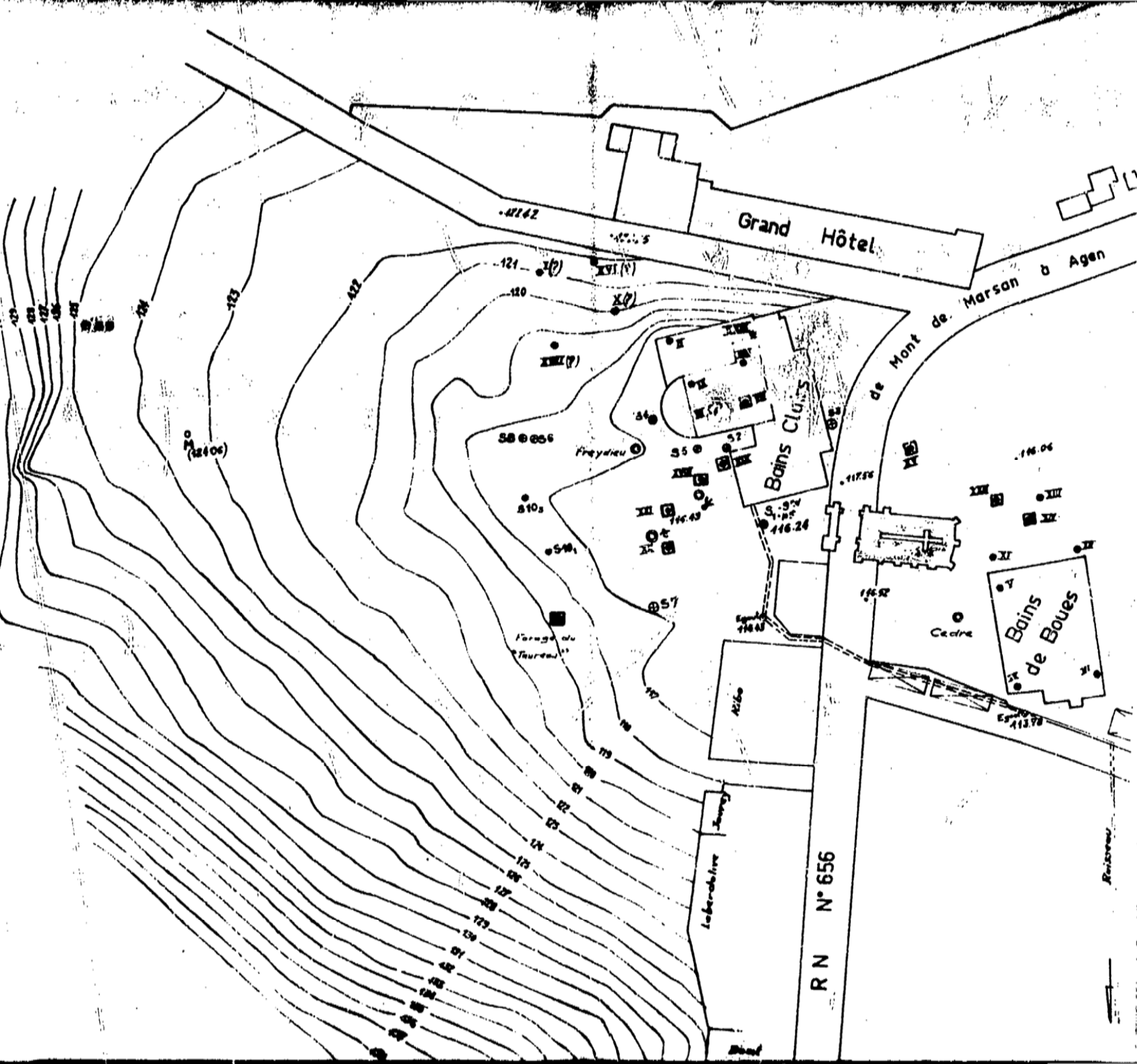
Les émergences d'eaux thermales ont souvent une structure complexe et leur étude mériterait d'être développée . C'est ainsi que des recherches récentes ont permis de mettre en évidence, à Eugénie les Bains (Landes), deux niveaux aquifères directement superposés ayant des potentiels, des températures et des compositions chimiques de l'eau fort différents . L'un d'eux fait partie du même ensemble que Barbotan, tandis que l'autre se rattacherait à la nappe du Crétacé supérieur .

B I B L I O G R A P H I E

- BENOIST E. (1891) : Nummulites recueillies dans un sondage fait à l'Etablissement Thermal de Barbotan, commune de Cazalbon (Gers)
Soc. Linn. Bordeaux t XLIX p. 30
- BERKALOFF E. (1963) : Essai de puits . Interprétation nappe libre avec strate conductrice d'eau privilégiée, rapport D.R.G.M. D.S. A 13
- BOULTON N.S.(1954) : Unsteady radial flow to a pumped well allowing for delayed yield from storage ; Ass. Int. Hydrol. Scient. pub. 37, p. 472 - 477 .
- CARTE GEOLOGIQUE de Montréal : 2ème édition 1965 .
- COUSTAU H. (1964) : Alimentation et exutoire des sables de Lussagnet, origine des eaux thermales de Barbotan . Rapport interne S.N.P.A.
- CROUZEL F. (1956) : Le Miocène continental du Bassin d'Aquitaine, Bull. Serv. Carte Géol. France T. LIV, n° 248, 264 p.
- CUVILLIER J., DUPOUY-CAMET J. et SACAL V. (1951) : l'Anticlinal de Roquefort des Landes et les pointements crétacés de Créon-Saint Julien, Bull. Soc. Géol. France T. 6. p. 553 - 584 .
- DAGUIN F. (1941) : Les rides et les accidents anticlinaux du Centre de l'Aquitaine occidentale, Bull. Serv. Carte Géol. France, T. XLII n° 207 p. 21 - 24
- DEGRANGE TOUZIN A. (1893) : Sur les Nummulites recueillies dans le forage de Barbotan et sur d'autres Nummulites provenant d'un sondage fait à l'Île Fumadello, P.V. Soc. Linn. Bordeaux T. XLV, p. 110
- DOUVILLE H. (1919) : L'Eocène inférieur en Aquitaine et dans les Pyrénées, Mém. Expl. Carte Géol. France p. 84
- DUPOUY-CAMET J. (1952) : Recherches structurales sur les accidents triasiques du Sud Ouest de l'Aquitaine . Bull. Serv. Carte Géol. France T. XLIX, n° 233, 287 p.

- HANTUSH M.S. (1956) : Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers
Trans. Amer. Geoph. Union, Vol. 37 p. 702 - 714
- EMSELLEM Y. (1967) : Les transferts de pression entre nappes et la drainage dans les ensembles aquifères hétérogènes,
B.R.G.M., chronique d'Hydrogéologie (sous presse) .
- MENGAUD L. (1926) : Sur quelques sondages profonds dans le Bassin d'Aquitaine . Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse T. LIV,
p. 122 - 142
- (1927) : Note complémentaire sur les sondages de l'Aquitaine .
Ibid. T. LIV p. 411 - 419
- (1939) : Sondages profonds dans le département du Gers,
l'Armagnac agricole et viticole 21ème année p. 189 -
200 Vie Fézonsac
- (1941) : Notes hydrogéologiques sur la région centrale et
orientale de l'Aquitaine . Bull. Serv. Carte Géol.
France T. XLII n° 203 p. 125 - 129
- RECHIGNAC A. (1964) : Etude minéralogique des principales formations détritiques du Paléogène Aquitain Ac. Soc. Linn. Bordeaux
T. 101 n° 2 52 p.
- VATAN A. (1944) : Premiers résultats d'une étude de l'origine du matériel sédimentaire du Bassin d'Aquitaine C.R.Som.
S.G.F. p. 83 - 85
- (1945) : Etude minéralogique des provinces distributives du matériel sédimentaire d'Aquitaine . B.S.G.F. T. 15
p. 657 - 670
- (1948) : La sédimentation détritique en Aquitaine aux temps tertiaires . C.R. somm. Soc. Géol. France p. 48 - 50

PLAN DE SITUATION

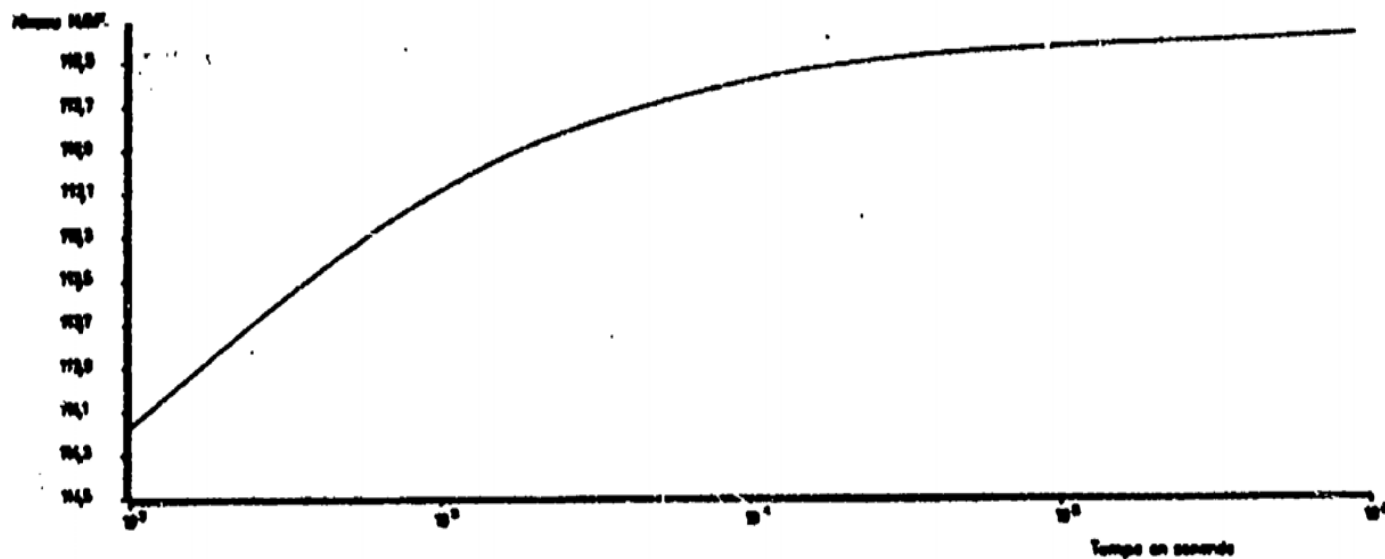


- Anciens sondages (1891-1962)
- Captages déclarés d'intérêt public
VI, VII, XIV, XV, XVII
- Nouveaux sondages de recherche
- ⊙ Sondages période intermédiaire
- Nouvel ouvrage de captage

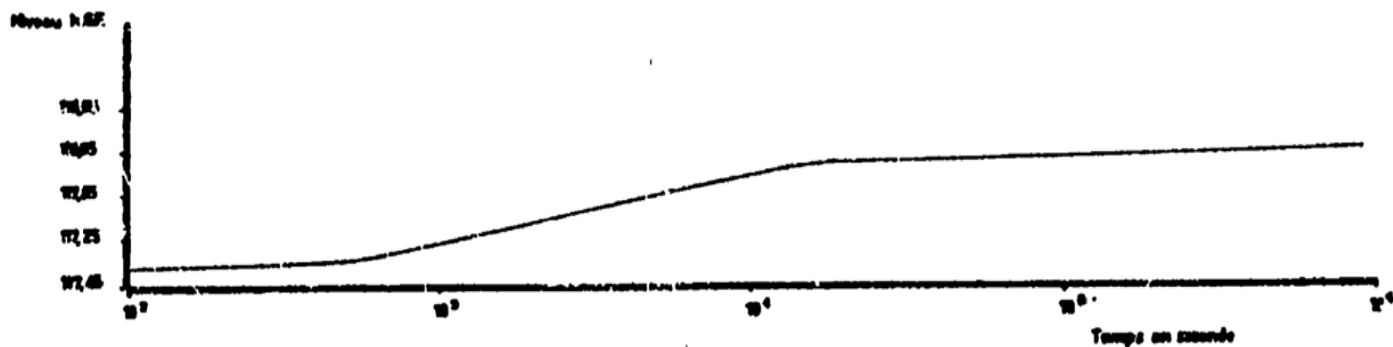
POMPAGE SUR S7.

Evolution du niveau en fonction du temps

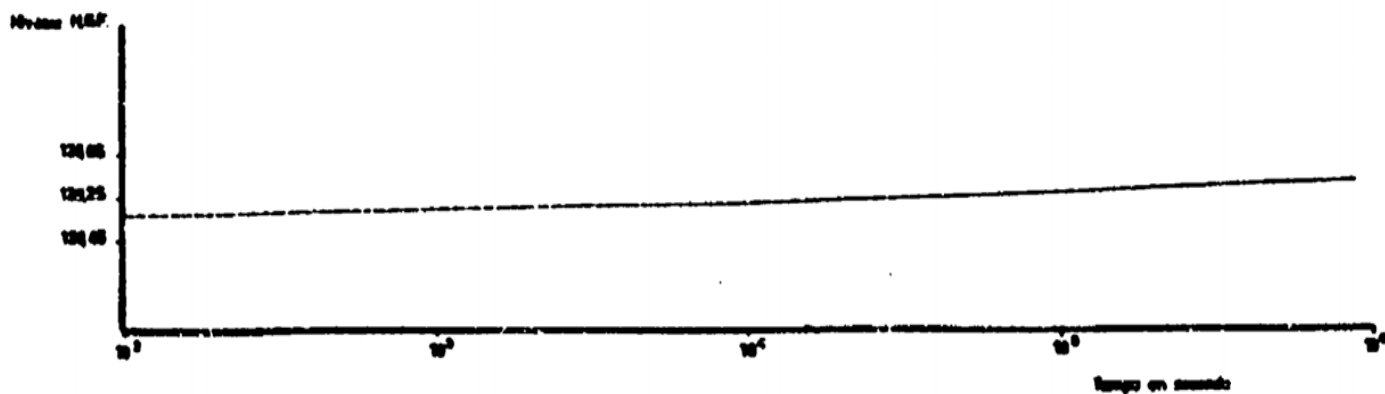
1°) de S7



2°) de S7 Petit



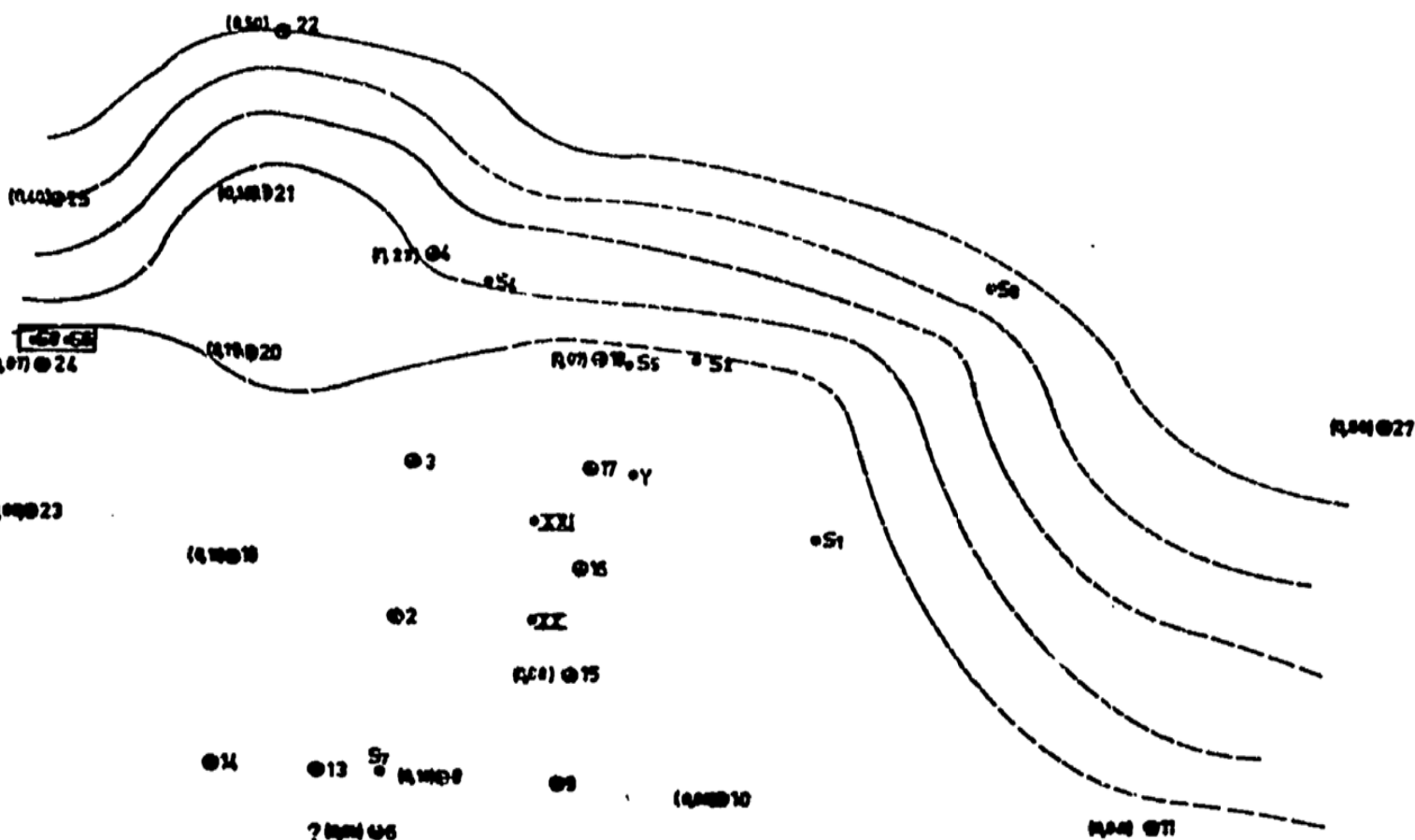
3°) de S7 Grand



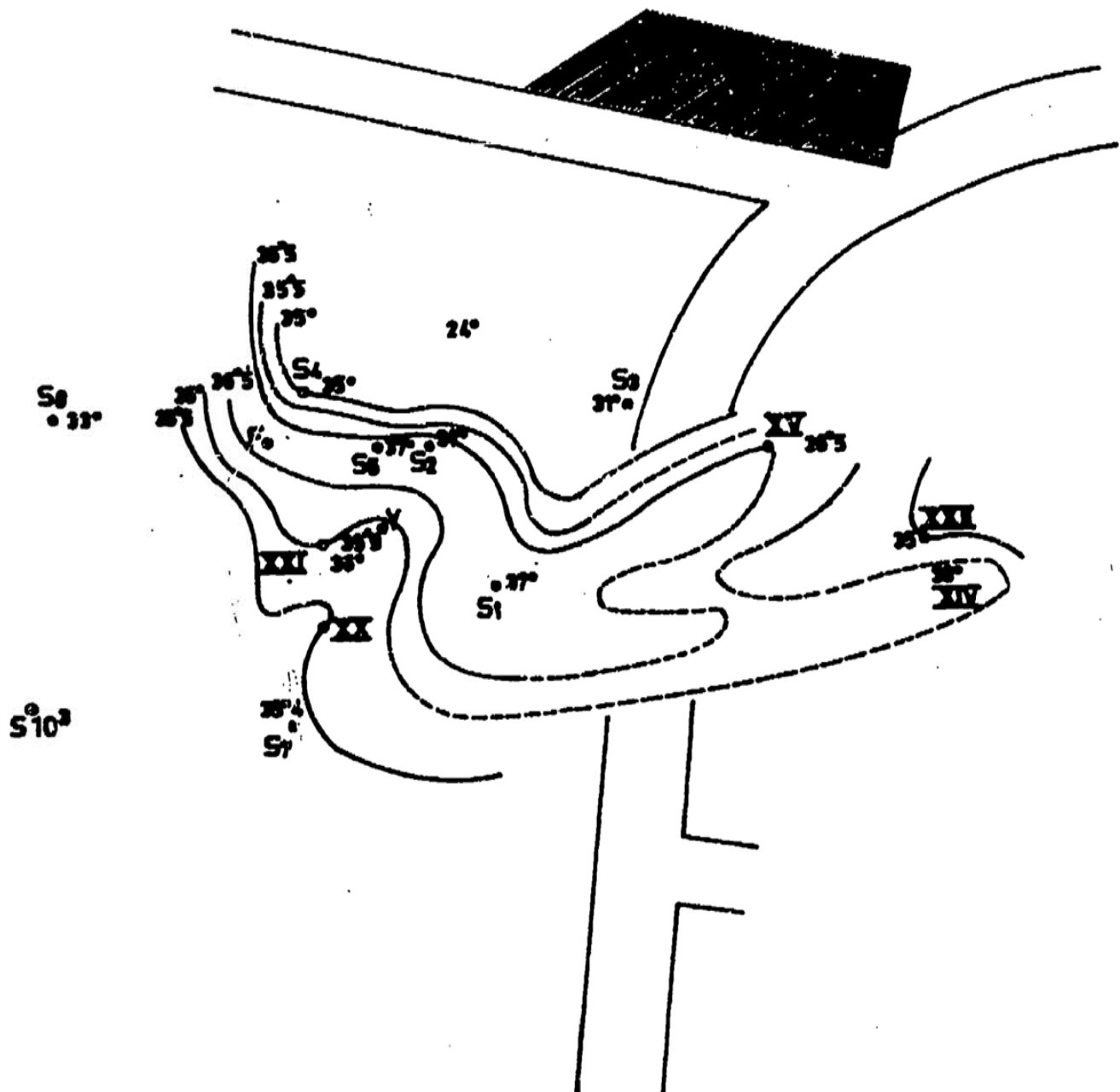
Exercices

Pompage sur S8+S6 du 2 au 10/3/66

rabattements observés en surface



COURBES ISOTHERMES ENTRE LA COTE -82 ET -87 N.G.F.

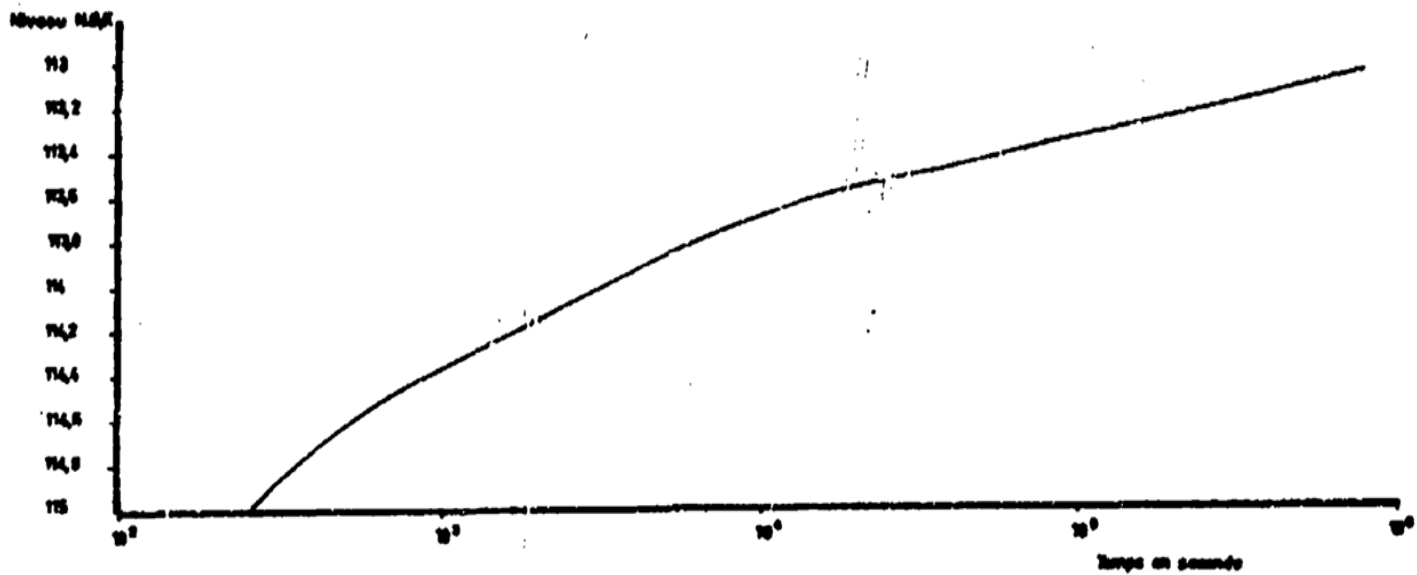


ECHELLE: 1/1000

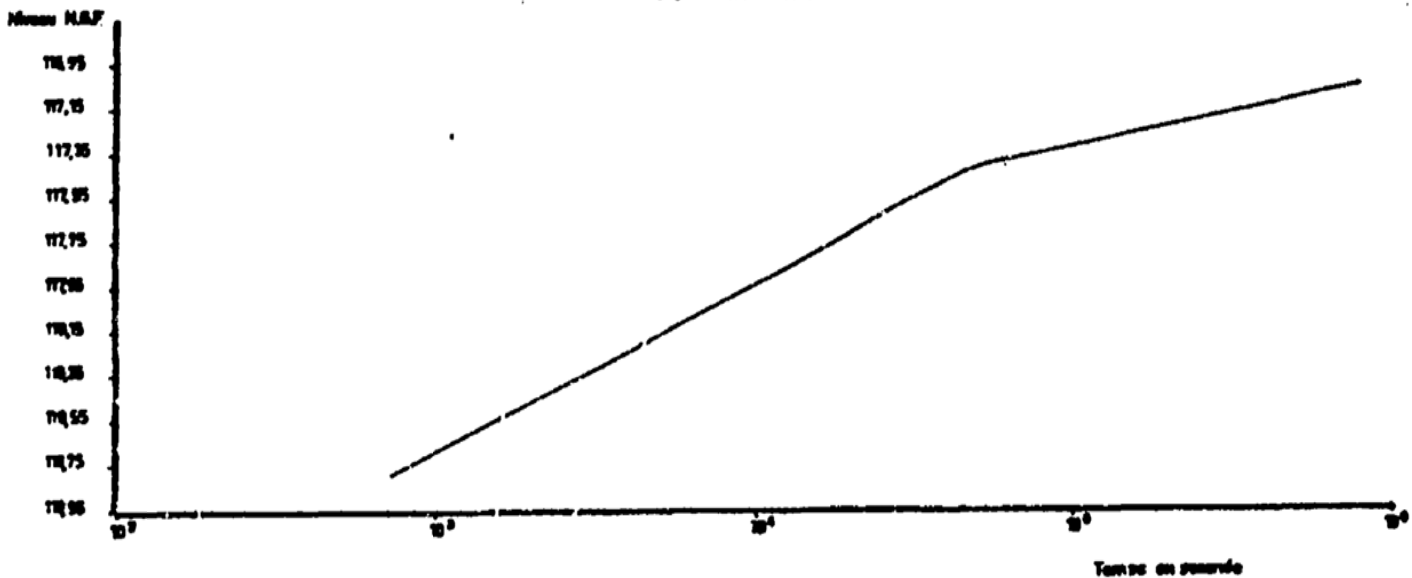
0 10 20 m

Evolution du niveau en fonction du temps

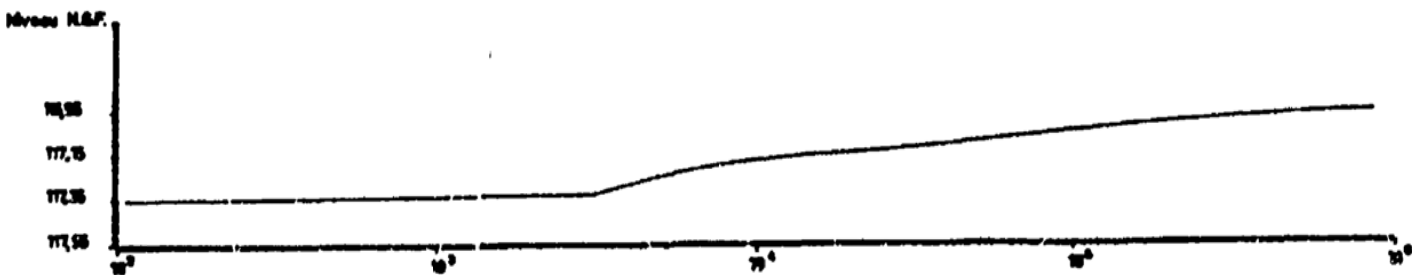
1°) de S8



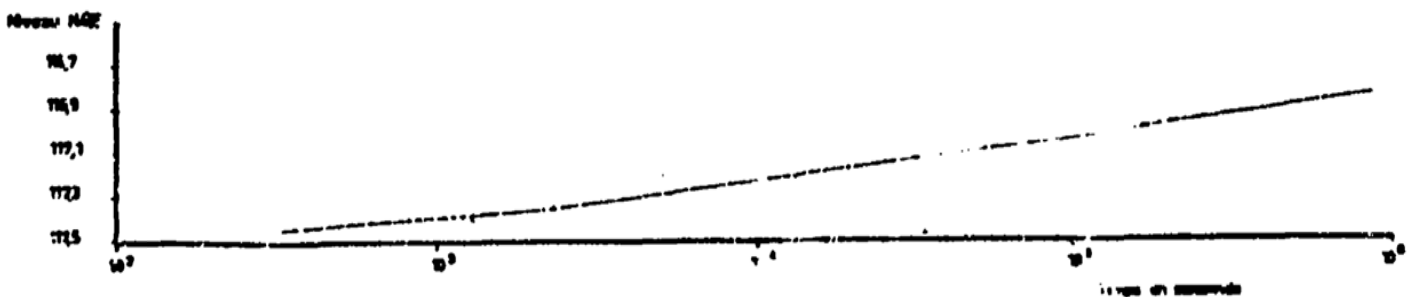
2°) de S1 Grand



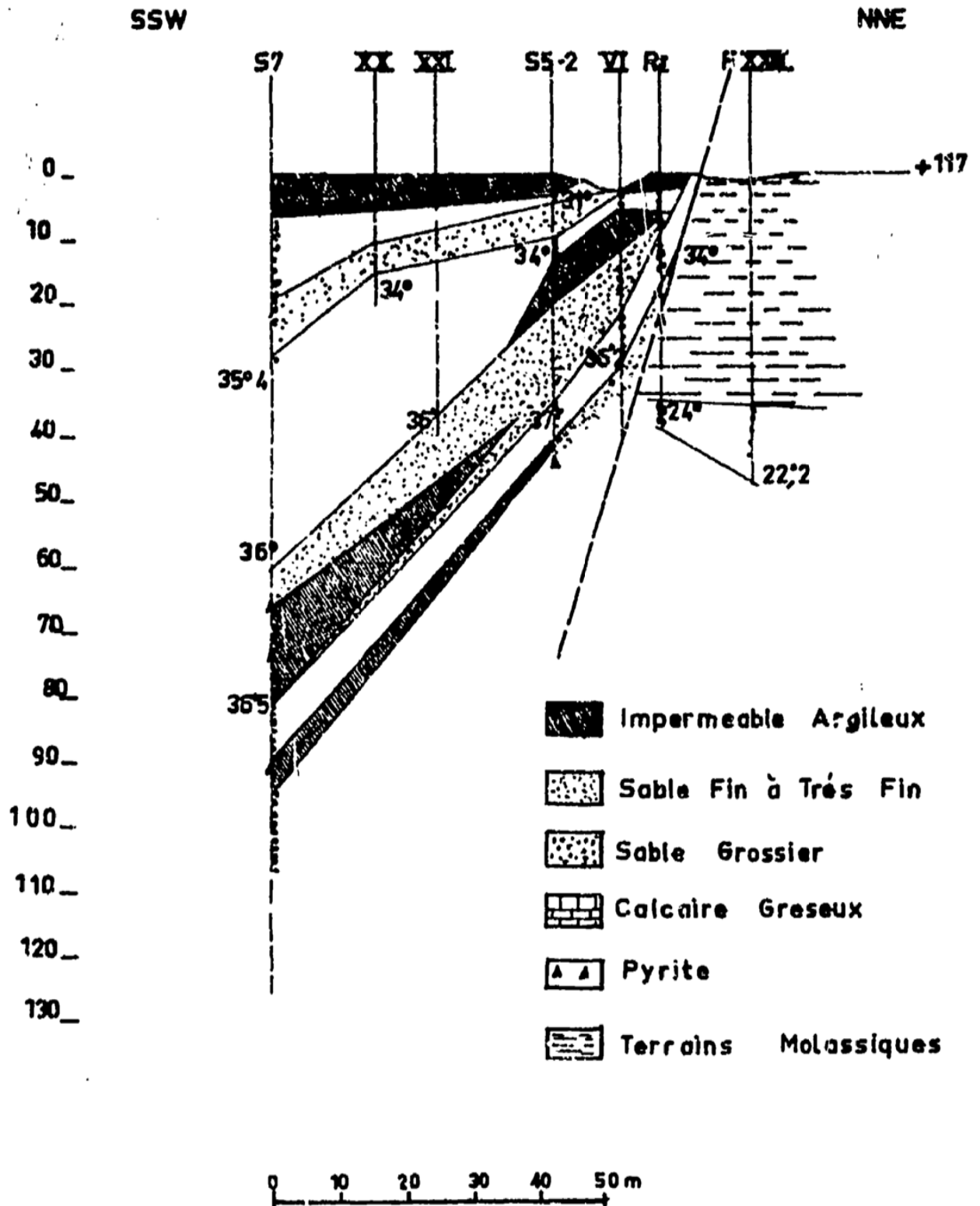
3°) de C1 Petit



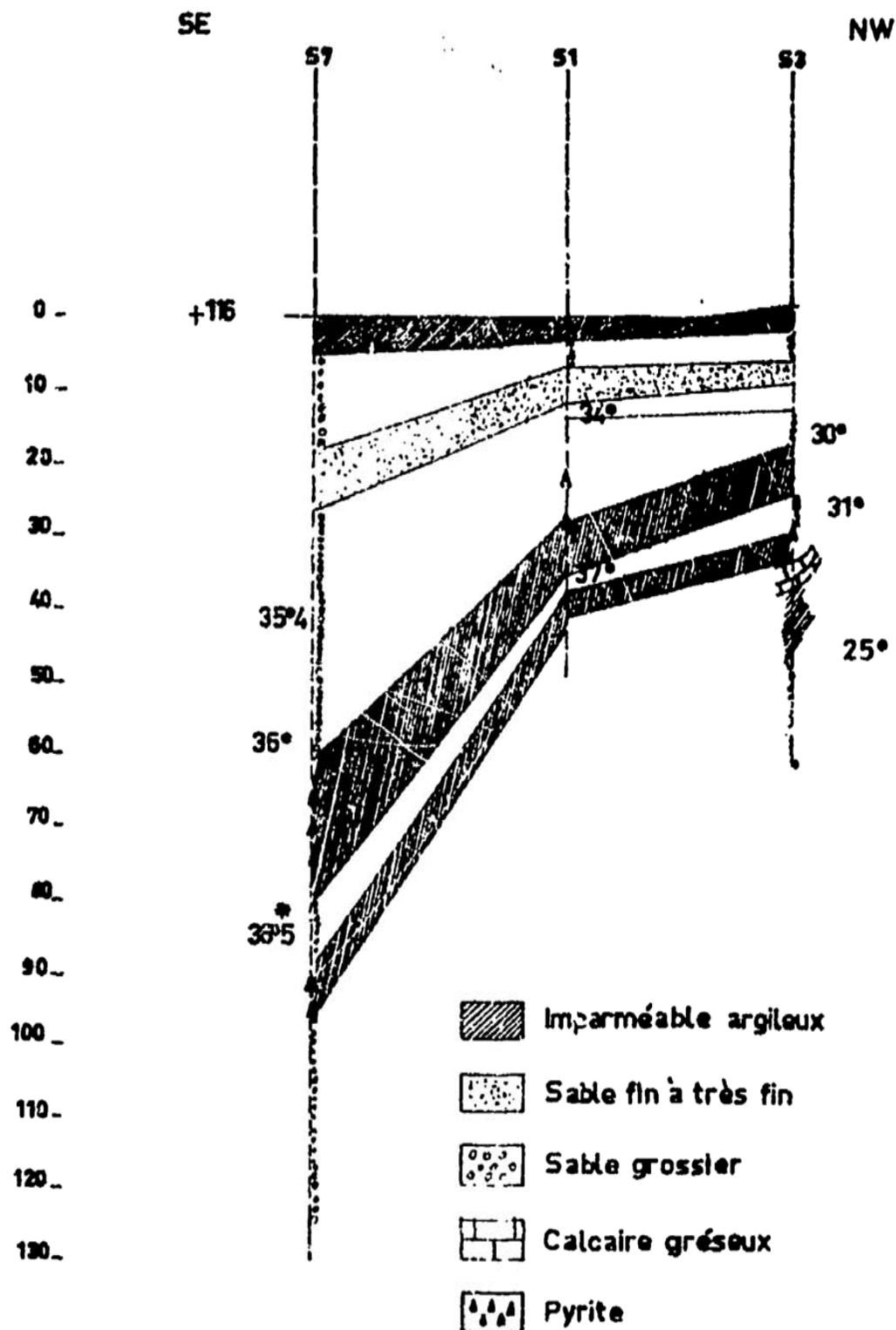
4°) de S3



DISTRIBUTION DES TEMPERATURES

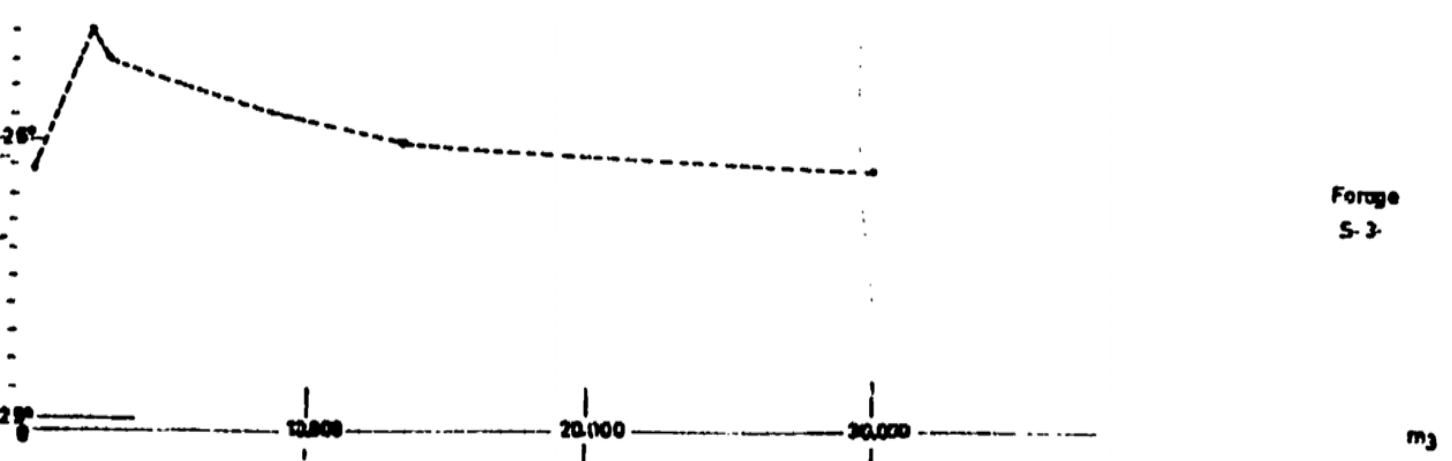
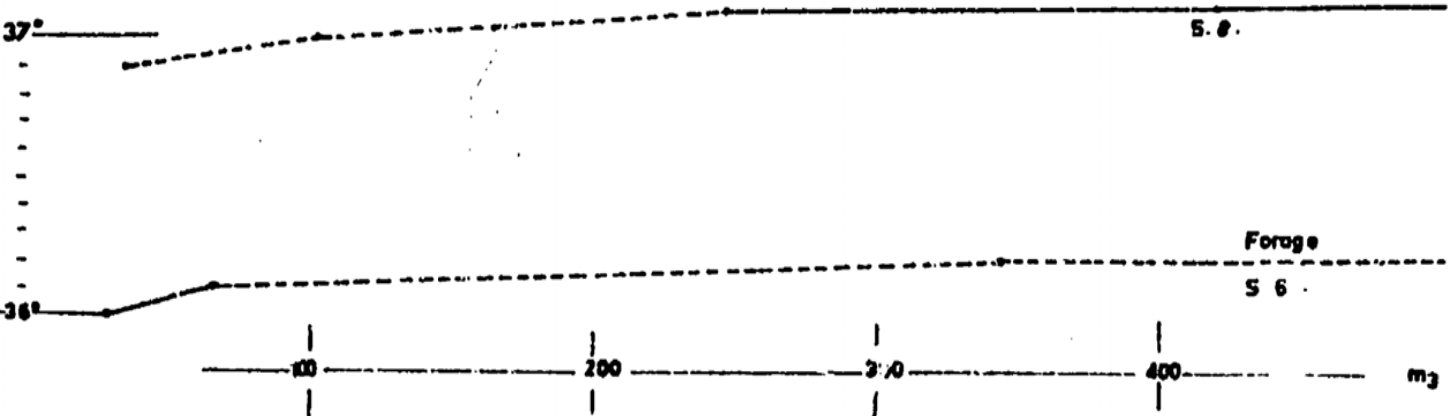
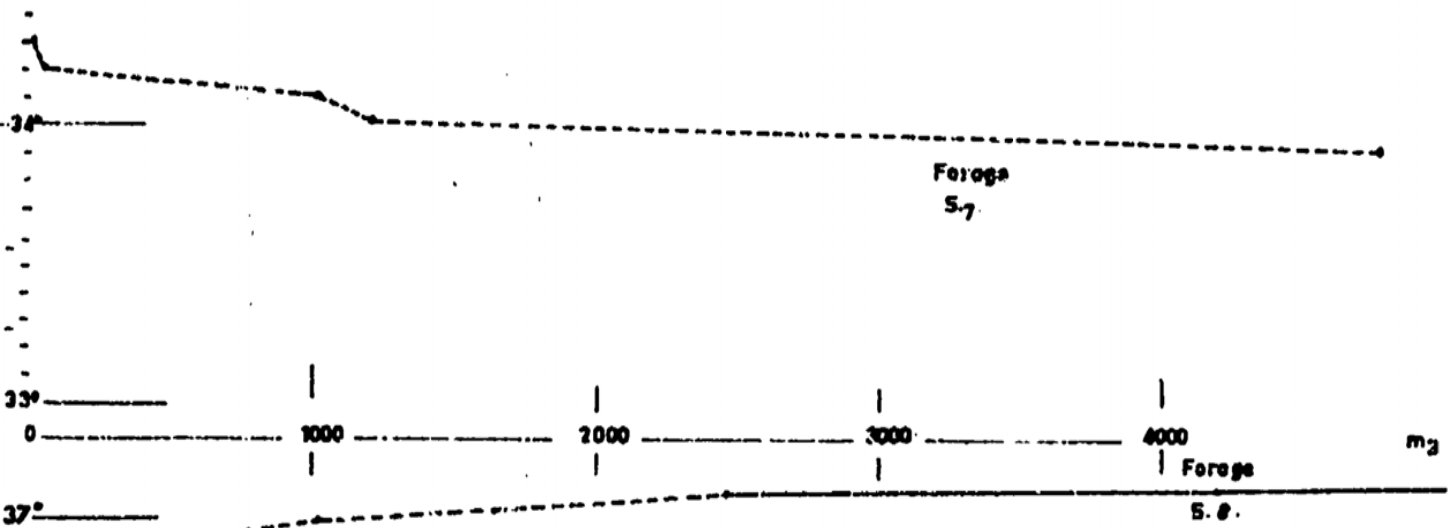
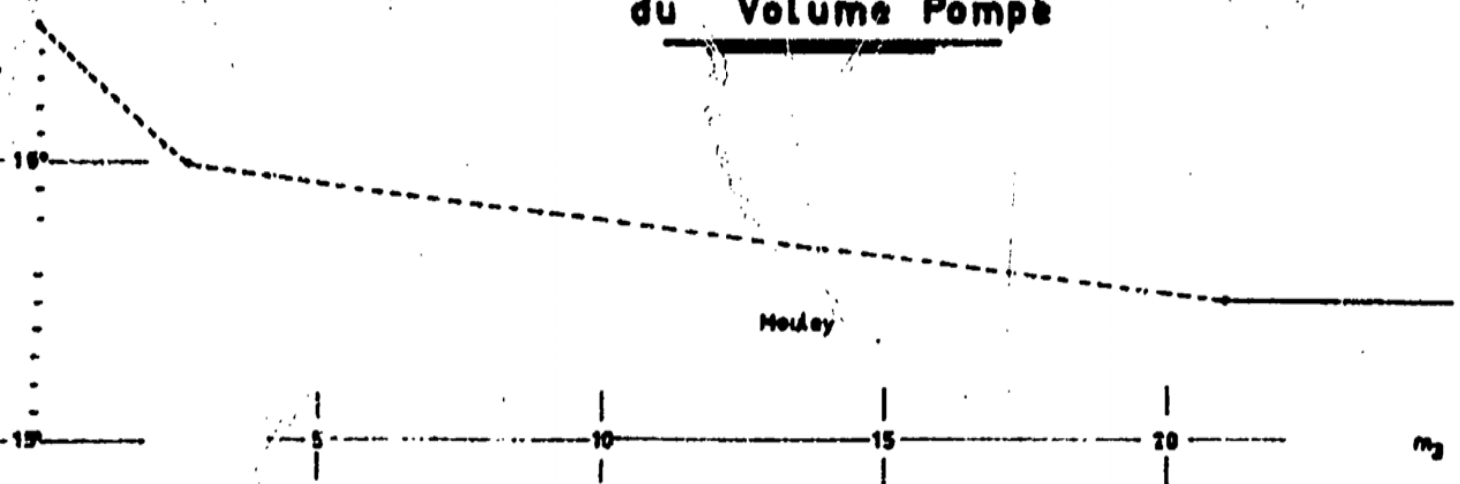


DISTRIBUTION DES TEMPERATURES



* Pompage à très faible débit n'ayant pas permis d'atteindre la température maximum

Evolution des Températures en Fonction du Volume Pompé



Concentration en sulfates en fonction de la température

