



Ministère de l'Economie
des Finances et de l'Industrie
Secrétariat d'Etat à l'Industrie

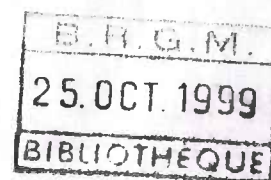


DOCUMENT PUBLIC

***Synthèse des connaissances sur la ressource
thermale du Bas - Adour
Recommandations de protection et de suivi***

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service Public du BRGM 98-J-111

**Mars 1999
R 40539**



Mots clés : Eaux thermales et minérales, thermalisme, protection, piézométrie, charges hydrauliques, hydrogéochimie, exploitation, gestion, suivis, synthèse, Bas-Adour, Dax, France.

En bibliographie ce rapport sera cité de la façon suivante :

BERARD P., LACHASSAGNE P., SEGUIN J.J., SOURISSEAU B. (1999)

58 pages, 7 tableaux, 12 figures, 10 annexes

Copyright

Ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM

RESUME

Suite au recueil des données géologiques et hydrogéologiques sur les ressources thermales du Bas-Adour établi en 1996, (rapport BRGM R 39396), des compléments d'informations sur les conditions d'exploitation et de suivi, et un inventaire des sources et des ouvrages abandonnés ou mal connus ont été rassemblés en 1997, avec l'état de la régularisation administrative des ouvrages (rapport BRGM R40011).

En 1998, à partir des mesures de niveau corrigées, une carte des « *pressions* » de l'aquifère thermal a été établie pour le secteur compris entre les Eschourdes au sud, Gourbera au nord et Saubusse à l'ouest. Le contexte géologique, les éléments structuraux forts (diapirs, chevauchements, rides anticlinales) complétés par la matérialisation de certaines directions d'écoulements souterrains, ont montré que *le secteur de l'Adour depuis Préchacq jusqu'à Dax pourrait être l'exutoire majeur des systèmes aquifères profonds.*

Malgré le rôle fondamental de "conducteur thermique" des diapirs de Thétieu et de Dax favorisant un flux sortant-ascendant rapide et permanent des eaux profondes réchauffées et minéralisées, les exploitations à forts débits sur certains ouvrages ont favorisé le creusement d'une dépression piézométrique importante dans les secteurs de Dax, de Sébastopol et de Préchacq.

L'essentiel des flux souterrains proviendrait de l'est et du sud, une partie moindre viendrait du nord et de l'ouest.

Cette synthèse :

- précise les calculs de charges hydrauliques équivalentes au toit du réservoir, selon un code adopté en concertation avec Gaz de France, et l'Université de Bordeaux III (EGID).
- reprend les données nouvellement acquises sur la connaissance du système thermal,
- propose une délimitation d'une zone dite « aire de plus grande sensibilité », qui pourra être protégée.
- précise les mesures à prendre pour parfaire la connaissance avec la réalisation de piézomètres profonds à l'écart des exploitations.
- rappelle l'objet des suivis pour les stations en activité et les ouvrages exploités (puits, sources, ou forages), ou non (piézomètres). Il est nécessaire de disposer d'enregistrements en continu portant sur les volumes prélevés, les niveaux, les températures, les conductivités et certains paramètres de la qualité des eaux.
- préconise la mise en place d'un *Comité de Suivi* des exploitations du réservoir thermal dont la composition, l'étendue géographique et technique des compétences doit être définie en concertation entre les usagers et la DRIRE Aquitaine, représentant l'Etat.

SOMMAIRE

RESUME	1
Sommaire	2
Liste des figures dans le texte	4
Liste des tableaux.....	5
Liste des annexes	6
Abréviations citées dans le texte	7
1. INTRODUCTION	8
2. INVESTIGATIONS PIEZOMETRIQUES.....	11
2.1. Problématique.....	11
2.2. Cadre théorique.....	13
2.3. Conversion d'une mesure piézométrique en charge d'eau douce équivalente.....	14
2.4. Application à l'aquifère thermal de Dax	19
2.4.1. Données et méthodes	19
2.4.2. Résultats	21
3. DONNEES NOUVELLEMENT ACQUISES	27
3.1. Mesures GdF sur le forage de Gourbera GO 01.....	27
3.1.1. Rappels	27
3.1.2. Enregistrements piézométriques et de température de fond	28
3.1.3. Mesures et actions préconisées	28
3.2. Suivi de l'exploitation et piézométrie sur Dax.....	29
3.3. Les prélèvements spécifiques sur Gamarde.....	32

3.4. Les potentialités de la station de Préchacq et des environs.....	33
3.5. Les ouvrages de Saint-Paul-lès-Dax.....	37
3.5.1. Le forage de Sebastopol 1 bis.....	37
3.5.2. Le forage SPDX1	37
3.6. Améliorations projetées de l'exploitation à Saubusse.....	38
3.7. Spécificité de Tercis.....	38
4. DISPOSITIFS D'ENREGISTREMENTS ET DE SUIVI A METTRE EN PLACE	39
4.1. Enregistrements préconisés sur chaque site thermal.....	39
4.2. Fiches d'identification et de suivi des ouvrages.....	41
5. FACIES HYDROGEOCHIMIQUES DES EAUX THERMALES DU BAS ADOUR.....	42
6. PROPOSITIONS DE PIEZOMETRES	44
6.1. Présentation et objectifs.....	44
6.2. Implantation et réalisation de piézomètres	44
7. DELIMITATION D'UNE ZONE « DE SENSIBILITE OU DE PROTECTION »	47
8. MISE EN PLACE D'UN COMITE DE SUIVI DE L'AQUIFERE THERMAL...	49
9. ESSAI DE SIMULATION NUMERIQUE DE L'EMERGENCE D'EAU CHAUDE DE DAX	51
9.1. Présentation du modèle	51
9.2. Résultats	52
CONCLUSIONS	54
Références bibliographiques.....	56



Liste des figures dans le texte

- Figure 1 :** Carte structurale au toit du réservoir thermal.
- Figure 2 :** Schéma de modalités de circulations des eaux thermales de Dax.
- Figure 3 :** Circulations dans le système Bas Adour.
- Figure 4 :** Schéma précisant les notations utilisées.
- Figure 5 :** Piézométrie observée comparée à la charge d'eau douce équivalente (formule GdF).
- Figure 6 :** Piézométrie observée comparée à la charge calculée au toit (formule GdF).
- Figure 7 :** Pression calculée au toit de l'aquifère (en bars).
- Figure 8 :** Implantation des piézomètres à créer.
- Figure 9 :** Extension et suivi de l'aire d'émergence des eaux thermales du Bas Adour.
- Figure 10 :** Répartition géographique des charges hydrauliques équivalentes et délimitation de la zone de sensibilité.
- Figure 11 :** Configuration hydrodynamique simplifiée à Dax.
- Figure 12 :** Carte des températures et champ de vitesse à Dax.



Liste des tableaux

Tableau 1 : Données sur l'aquifère thermal de Dax.

Tableau 2 : Charges d'eau douce équivalentes calculées à partir des mesures piézométriques.

Tableau 3 : Charges réelles calculées au toit de la nappe à partir des mesures piézométriques.

Tableau 4 : Evaluation du débit des sources de DAX d'après les données bibliographiques (RME, déc. 1996).

Tableau 5 : Analyses d'eau des forages F1 et F2 de Thétieu.

Tableau 6 : Ouvrages proposés pour le suivi de l'aquifère thermal.

Tableau 7 : Piézomètres « à créer », descriptif et profondeurs prévisionnelles.



Liste des annexes

- Annexe 1 :** Exemples des courbes de variation de la masse volumique en fonction de la température et de la salinité (BRGM et GdF).
- Annexe 2 :** Coupe technique du puits de Gourbera GOO1.
- Annexe 3 :** Piézométrie sur le forage Buccuron 2 à Gamarde.
- Annexe 4 :** Coupes techniques et géologiques des forages de la Hire et de Darrose.
- Annexe 5 :** Coupes géologiques, techniques et analyses d'eau de deux forages réalisés en mars 96 à Thétieu.
- Annexe 6 :** Modèles de fiches proposées pour l'identification et le suivi des ouvrages.
- Annexe 7 :** Fiche technique du forage pétrolier de Magescq (MQ1).
- Annexe 8 :** Première évaluation pour la réalisation de 8 piézomètres.
- Annexe 9 :** Evolution des teneurs en éléments majeurs au forage de la Place de la Course à Dax.



Abréviations citées dans le texte

AEP	:	Alimentation en Eau Potable
BRGM	:	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CG40	:	Conseil Général des Landes
DNETM	:	Direction Nationale des Eaux Thermales et Minérales (DRIRE - Lyon)
DRIRE	:	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
EGID BxIII	:	Université de Bordeaux III.
ETM	:	Eaux Thermales et Minérales
GdF	:	Gaz de France
GTA	:	Groupe Thermes-Adour
IGD	:	Institut de Géodynamique (de Bordeaux III)
NGF	:	Nivellement Général de la France
RME	:	Régie Municipale des Eaux (de Dax)
SPDX	:	Saint-Paul-lès-Dax
TN	:	Terrain Naturel

Nous adressons nos remerciements aux personnes qui ont participé à la fourniture de données contenues dans le présent et les deux précédents rapports.

1 - INTRODUCTION

Dans le cadre des actions de Service Public du BRGM qui ont été conduites depuis 1996 sur les eaux thermales et minérales de la région du Bas Adour en liaison avec la DRIRE Aquitaine et la DNETM, il a été demandé au Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Service Géologique Régional Aquitaine de définir les moyens pour parfaire les connaissances nécessaires à l'exploitation et à la protection de la ressource.

Cette ressource en eau thermique et minérale largement étendue dans le Bas-Adour est exploitée en commun par six stations et divers établissements:

***DAX, GAMARDE, PRECHACQ, SAINT-PAUL-LES-DAX, SAUBUSSE,
TERCIS***

L'enjeu économique est de 70 000 curistes et des milliers d'emplois directs ou induits.

Malgré les complexités de détail, l'unité de la ressource semble établi, mais la multiplicité des utilisateurs, dont la géothermie, induit des conflits d'usages et l'altération de certains paramètres de la qualité des eaux et de la température.

Il faut donc disposer d'un ensemble de connaissances et de données plus précises nécessaires aux arbitrages, à l'instruction de demandes nouvelles et à la mise en place de protections.

Les objectifs à moyen terme sont les suivants :

- connaître la géométrie, les limites, l'origine, le cheminement, les communications et les mélanges de l'aquifère thermal,
- proposer des règles d'acquisition et de mise en forme des données et définir les paramètres à surveiller pour protéger la ressource,
- disposer des éléments permettant de prévenir les investissements inutiles,
- fournir à la DRIRE un document public pour diffuser la connaissance sur la ressource thermique aux utilisateurs et aux décideurs,
- évaluer les impacts sur la ressource thermique d'autres prélèvements plus amont ou plus superficiels destinés aux usages d'embouteillage, de géothermie, d'AEP, d'agriculture, de l'industrie, ...
- préciser les zones de mélanges et de lignées géochimiques.

- mettre en place un dispositif de suivi représentatif.

Les actions conduites en 1996 et en 1997 ont porté sur le rassemblement des données des études et travaux du BRGM et de la DRIRE, de l'Université de Bordeaux III, des différents Bureaux d'Etudes et de celles mises à disposition par les exploitants. Elles se sont concrétisées avec l'élaboration par le BRGM de deux documents :

- Rapport R 39304, de 1997 : BERARD P., CHERY L. LOPOUKINE M. PLATEL JP., SOURISSEAU B. : Synthèse des connaissances hydrogéologiques sur les ressources thermo-minérales du Bas Adour.
- Rapport R 40011 d'avril 1998, BERARD P., SOURISSEAU B. : Ressources thermiques du Bas-Adour. Actualisation et régularisation des données, piézométrie, protection globale de la ressource.

La première synthèse portait sur l'ensemble des 6 stations thermiques de la région de Dax, abordait les cadres géologiques (*fig.1*) et hydrogéologiques (*fig. 2 et 3*), les problématiques imbriquées des différents usages et destinations de l'eau du réservoir thermique, explicitait son fonctionnement hydrodynamique, associait à la représentation cartographique les éléments structuraux majeurs, présentait de façon schématique la piézométrie faisant état de valeurs négatives, et visualisait des directions supposées des écoulements souterrains.

Le second rapport a été mené, en parallèle aux études sur la chimie des eaux et sur les isotopes en collaboration avec l'EGID de l'Université de Bordeaux III (R 39538).

Pour l'année 3, 1998, les travaux ont porté sur :

- la poursuite des investigations piézométriques en apportant des précisions en matière de calcul des charges hydrauliques au toit du réservoir. Cette réflexion a été menée en concertation entre le BRGM, Gaz de France (GdF), et Bordeaux III (EGID)
- l'intégration des données nouvellement acquises par différents services et exploitants sur la connaissance du système thermique,
- le rappel des suivis pour les stations en activité, et sur les ouvrages exploités (puits, sources, ou forages) ou non (piézomètres), de l'importance de la mise en place de dispositifs de mesures ponctuelles (accès aux mesures de niveau et à l'eau brute au plus près de l'émergence ou de l'exhaure) et d'enregistreurs en continu portant sur les volumes prélevés, les niveaux, la température, la conductivité et sur certains paramètres majeurs de la qualité des eaux,

- les précisions sur les actions à conduire de façon à parfaire la connaissance structurale sur la géométrie des diapirs et du réservoir thermal.

Quatre propositions prioritaires sont :

- *l'implantation et la réalisation de sondages de reconnaissance et de suivi* qui permettent de préciser la géologie, la lithologie, l'extension et les limites du réservoir thermal. Ils seront équipés de manière à disposer d'un réseau fiable et indépendant, suffisamment à l'écart des exploitations en cours ;
- *l'établissement d'une piézométrie*, tenant compte de tous les codes de calculs sur les paramètres en question ;
- la délimitation d'une « *aire de plus grande sensibilité* » ou d'un « *périmètre de protection globale de la ressource thermique* » au sein duquel les travaux et essais projetés devront faire l'objet de conditions précises d'exécution dans le cadre des autorisations qui pourraient être données par les autorités administratives et de police en charge du thermalisme ;
- la communication à la Préfecture, à la DRIRE, et aux exploitants, des éléments de base et de réflexion pour la mise en place d'un **Comité de Suivi** des exploitations du réservoir thermal dont l'étendue géographique et technique des compétences reste à définir. Il piloterait, en outre, un dispositif de suivi permanent et en temps réel de l'état d'exploitation de la ressource thermique, basé sur le recueil et l'analyse de l'ensemble des données indicatives en différents points et de façon globale des réactions du réservoir aux différentes sollicitations et interférences.

Les données de base sont les historiques des volumes prélevés et des débits ponctuels, les évolutions des niveaux, de la température, de la conductivité et de la physico-chimie des eaux du réservoir thermal :

- *en phase d'exploitation normale,*
- *lors de la réalisation d'essais particuliers.*

L'élaboration d'un outil de modélisation permettant d'analyser et de prévoir les incidences sur : les niveaux dynamiques (interférences), les températures, et la qualité des eaux serait d'un grand intérêt. *Les potentialités réelles de production - sans impact inacceptable sur la ressource* - tout en maintenant constante la qualité des eaux minérales et thermales pourrait être calculées. Le financement pour construire ce modèle n'a pu être réuni.

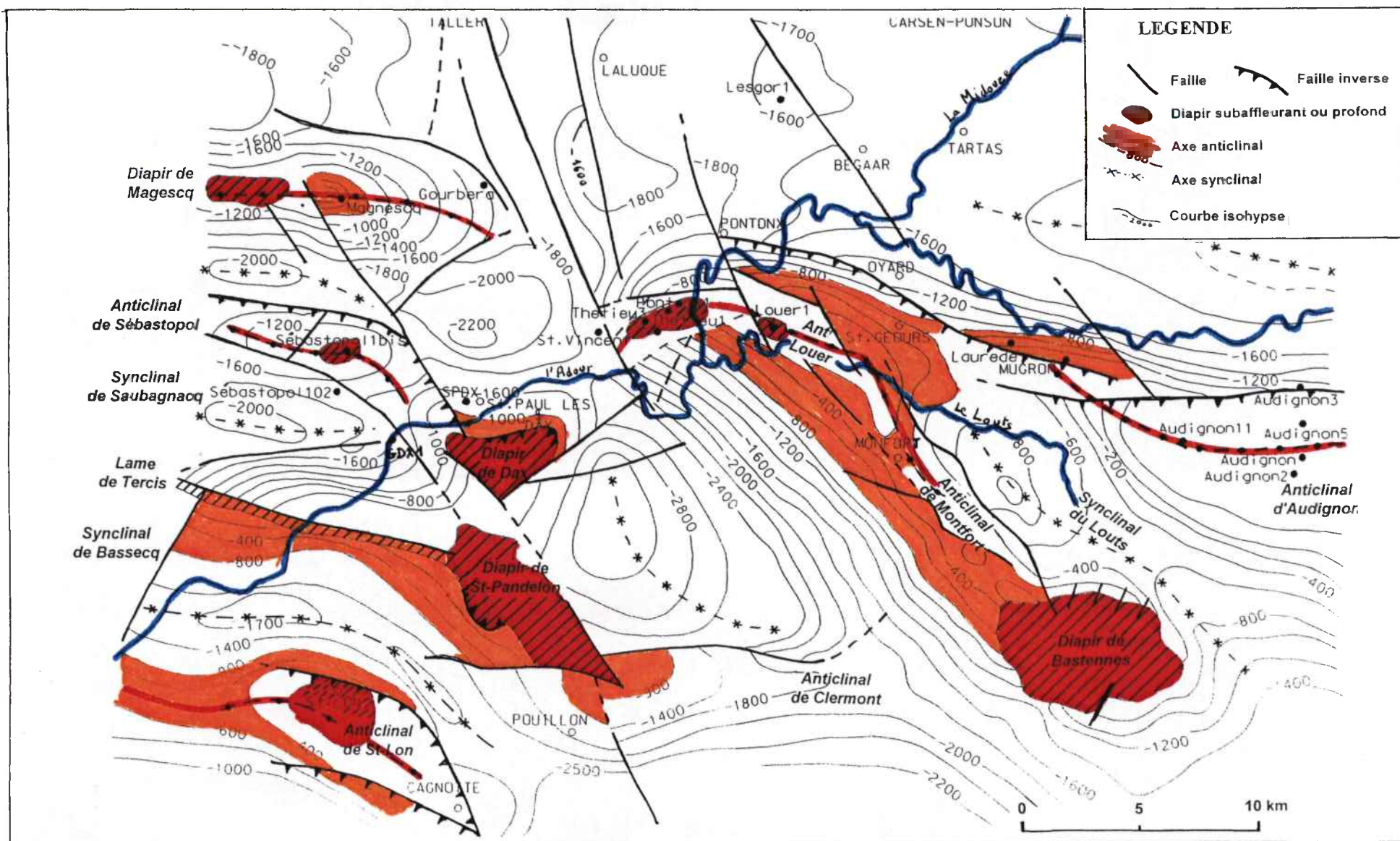


Fig. 1 - Carte structurale au toit du réservoir thermique

Ouest

Est | Nord-Est

Sud-Est

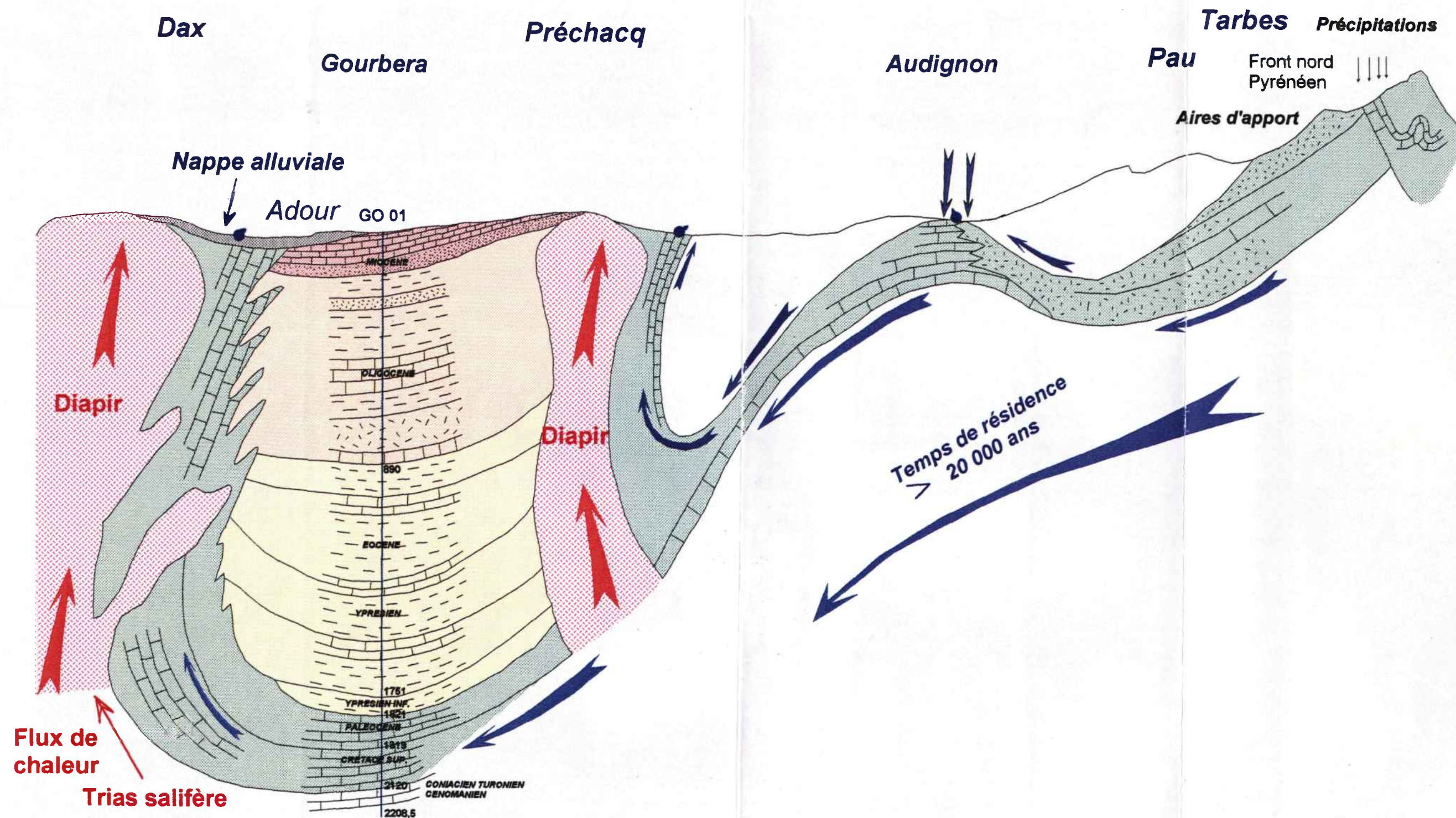


Fig. 2 - Schéma de modalités de circulations des eaux thermales de Dax

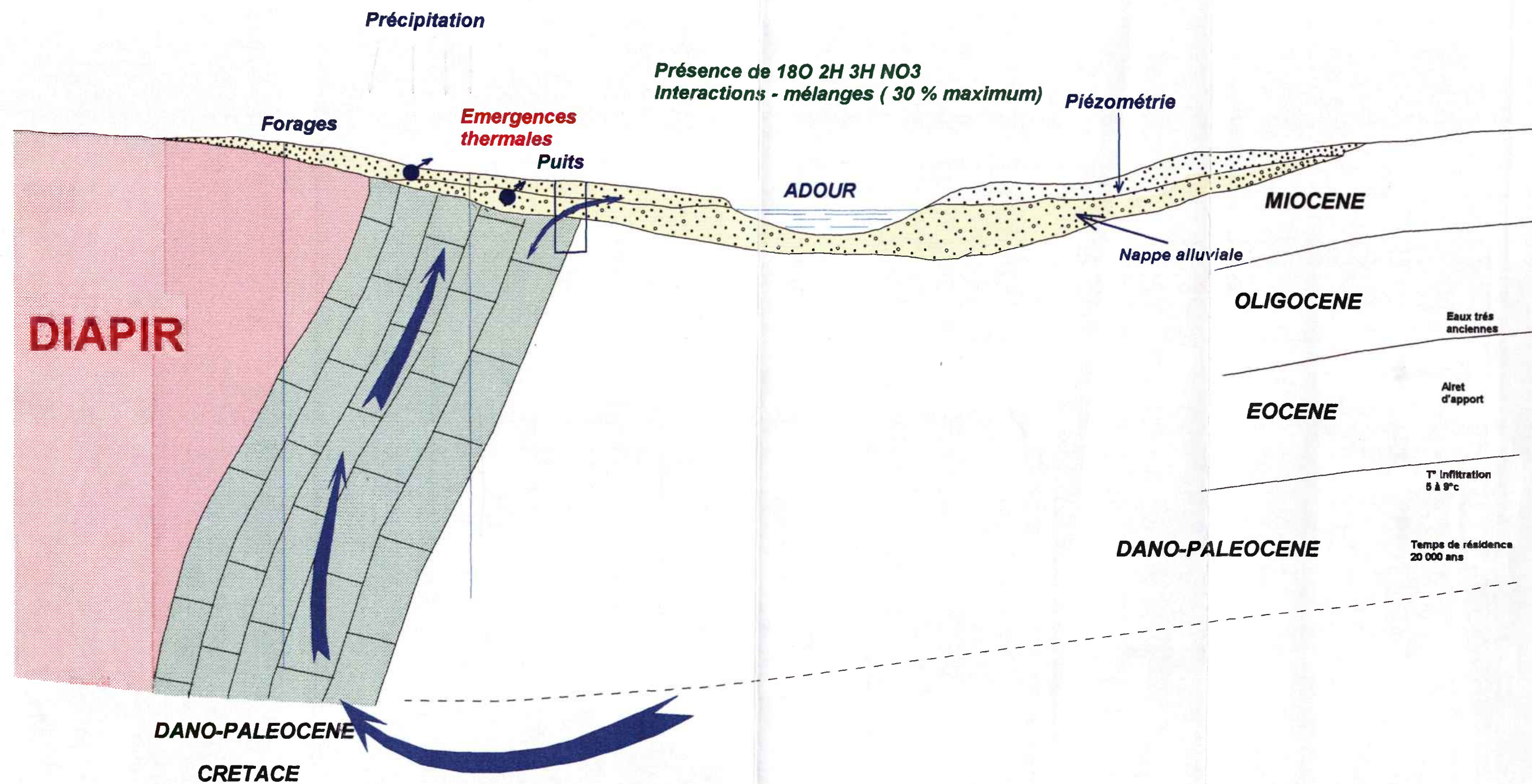


Fig. 3 - Circulations dans le système Bas-Adour

2 - INVESTIGATIONS PIEZOMETRIQUES

2.1. Problématique

Il est complexe de traduire en des lieux différents, très souvent à des dates notablement différentes, et de façon comparative, la piézométrie du réservoir thermal :

- qui se déverse naturellement par le biais des sources, ou des forages artésiens,
- qui est exploité en plusieurs endroits et à des débits fortement variables selon les saisons,
- qui n'est pas exploité ou pas encore sur certains ouvrages dénommés "piézomètres", considérés comme des "puits froids",
- qui est dépendant des entrées d'eaux météoriques dans le système (par infiltration) sur un secteur éloigné de plusieurs dizaines de kilomètres des aires d'émergences,
- qui est soumis à des variations de pression et de température qui sont liées à la profondeur de son toit à l'endroit où il est capté, à la situation anticlinale ou synclinale des formations géologiques,
- qui est très fortement influencé par la présence et par la proximité (ou non) d'une structure diapirique à effet thermique, (*expl : conductivité thermique du sel = $1.4 \cdot 10^3$ Kcal/sec. $m^\circ C$, au lieu de 0,5 à $0,8 \cdot 10^3$ Kcal/sec, $m^\circ C$ pour un calcaire*).
- qui est surmonté par d'autres horizons aquifères dont les charges piézométriques plus fortes ou plus faibles peuvent être à l'origine de drainances verticales et/ou latérales, ascendantes ou descendantes.
- qui se situe soit en position captive parfaite, soit en position de nappe "libre" lorsqu'il est surmonté par les alluvions de l'Adour, ou directement par le fleuve Adour, lui-même soumis à des fluctuations importantes de niveau entre les hautes et les basses eaux, et brutales lors des crues,
- qui contient des eaux de minéralisations différentes,
- qui porte sur des mesures effectuées dans des conditions variables, en puits chaud ou en puits froid, ou sur des données enregistrées parfois incertaines.

Toute comparaison nécessite que les repères des mesures soient raccordés au Nivellement Général de la France (NGF), action qu'il importe de faire réaliser au plus tôt.

Pour comparer les mesures entre elles, il est nécessaire, de les comparer par rapport à un plan de référence identique qui peut être le "0" NGF.

Le principal paramètre qui entre dans la correction des charges hydrauliques du réservoir thermal est la compressibilité de l'eau.

Pour calculer les charges hydrauliques, il faut connaître :

- la profondeur du toit de l'aquifère, en tenant compte du pendage de la couche.
- la température de fond des eaux thermales, et leur température en surface,
- la minéralisation de l'eau (effets densitaires des masses volumiques),
- l'état dynamique ou statique de l'exploitation de l'ouvrage, qui conditionne la profondeur du niveau de l'eau, et "l'allègement" ou la "dilatation" de la colonne de fluide,
- la charge hydraulique et la température des aquifères superficiels "froids" avec lesquels il se trouve en relation,
- la localisation des aires d'émergences et des plans d'eau qui représentent : des limites et cotes de débordement, et des limites à potentiel imposé,
- l'incidence rapide et conséquente des transferts de pression sous l'effet des pompages en cours, et sous effets des marées terrestres, barométriques, etc...

Ne possédant pas de mesures, ou d'observations suffisamment précises et fines sur l'ensemble de ces paramètres, il a fallu effectuer des choix :

- la température de surface a été prise égale à 14 °C, et la masse volumique de référence correspond à la température au toit de l'aquifère,
- le principe de la variation linéaire de la température de bas en haut de la colonne, a été adopté, alors que la salinité est considérée comme constante,

Les exercices de "correction" de la charge hydraulique calculée au toit du réservoir, sont donc particulièrement difficiles, d'autant qu'il est compliqué de comparer cette valeur calculée à celle mesurée dans le cas des niveaux dynamiques : pertes de charge dans les crépines, dans les tubages, et surtout influence des pendages des couches...

2.2 Cadre théorique

Dans la pratique courante de l'hydrodynamique souterraine, on traite les problèmes en considérant que la masse volumique de l'eau reste constante (fluide incompressible) ; cela se justifie en effet dans la mesure où la plupart des nappes auxquelles on s'intéresse sont peu profondes et peu minéralisées. Dans ce cas, la variable descriptive des écoulements est la charge hydraulique définie, par rapport à un plan de référence, comme la somme d'un terme de pression et d'un terme gravitaire.

Les cartes piézométriques sont établies à partir de cette charge hydraulique, qui correspond à la cote du niveau de l'eau mesurée dans un piézomètre. Conformément à la loi de Darcy, les directions d'écoulement sont alors orthogonales aux courbes isopièzes (si le milieu n'est pas anisotrope).

Par contre, cette hypothèse de masse volumique constante doit être abandonnée dès lors que la température et la salinité peuvent devenir des forces motrices essentielles. A la loi de Darcy classique se substitue la loi de Darcy généralisée qui tient compte de la variabilité de la masse volumique en fonction de la pression, de la température et de la salinité. On ne peut plus alors définir simplement une charge hydraulique dont dériveraient (au sens mathématique) les vitesses d'écoulement. L'existence de gradients de densité dans la nappe provoque l'apparition d'une composante rotationnelle de la vitesse (d'origine thermique et/ou saline) qui se superpose au mouvement de translation habituel.

Dans ce cas, de plus, la cartographie classique sous forme de courbes isovalues (isopièzes) tracées à partir des mesures directes de niveau d'eau dans les piézomètres n'est plus un système de représentation approprié pour déduire des directions d'écoulement (il n'y a plus d'orthogonalité) et ces directions d'écoulement peuvent être parfois très différentes de la direction des gradients piézométriques.

On présente dans ce qui suit les concepts qui peuvent être introduits pour traiter les problèmes densitaires, en particulier le concept de charge d'eau douce équivalente.

On applique ensuite à l'aquifère thermal de Dax, les méthodes décrites ; on calcule, à partir des mesures faites en puits "chauds" (en exploitation) ou "froids" (en équilibre thermique avec l'encaissant) des charges d'eau douce équivalentes afin de pouvoir intégrer le contexte hydrodynamique local "chaud" dans la problématique des écoulements régionaux ("froids") et dans l'optique d'une modélisation classique de ceux-ci (c'est à dire sans couplage densitaire).

2.3. Conversion d'une mesure piézométrique en charge d'eau douce équivalente

Pour particulariser le problème, on considère un piézomètre permettant d'effectuer des mesures au toit d'un aquifère thermal. On désigne par z_{toit} la cote du point de mesure, où la pression est p_{toit} , la température T_{toit} et la salinité C_{toit} (figure 1). La colonne d'eau dans ce piézomètre est supposée en équilibre thermique avec l'encaissant.

Soit z_{obs} la mesure de niveau effectuée dans le piézomètre. Le problème consiste à passer de la mesure z_{obs} à la hauteur équivalente H_d calculée avec une masse volumique de référence ρ_d :

$$H_d = \frac{p_{\text{toit}}}{\rho_d g} + z_{\text{toit}}$$

Il faut donc préalablement calculer la pression au toit de la nappe p_{toit} .

Calcul de la pression au toit de la nappe

Lorsque la colonne d'eau dans le piézomètre présente, entre le fond et la surface, une stratification thermique et chimique, la pression au toit de la nappe doit être calculée en tenant compte de la variation de la masse volumique en fonction des profils de température et de salinité. Il s'agit donc d'une sommation exprimée par :

$$p_{\text{toit}} = \int_{z_{\text{toit}}}^{z_{\text{obs}}} \rho(z) \cdot g \cdot dz = \int_{z_{\text{toit}}}^{z_{\text{obs}}} \rho(p(z), T(z), C(z)) \cdot g \cdot dz$$

1) Données nécessaires

• Géométrie

- Profondeur du toit de l'aquifère Pr_{toit} (ou bien la cote z_{toit} par rapport au plan de référence)
- Profondeur du niveau d'eau Pr_{niv} observé dans le forage (ou bien la cote z_{obs})

On en déduit la hauteur de la colonne d'eau observée au dessus du toit

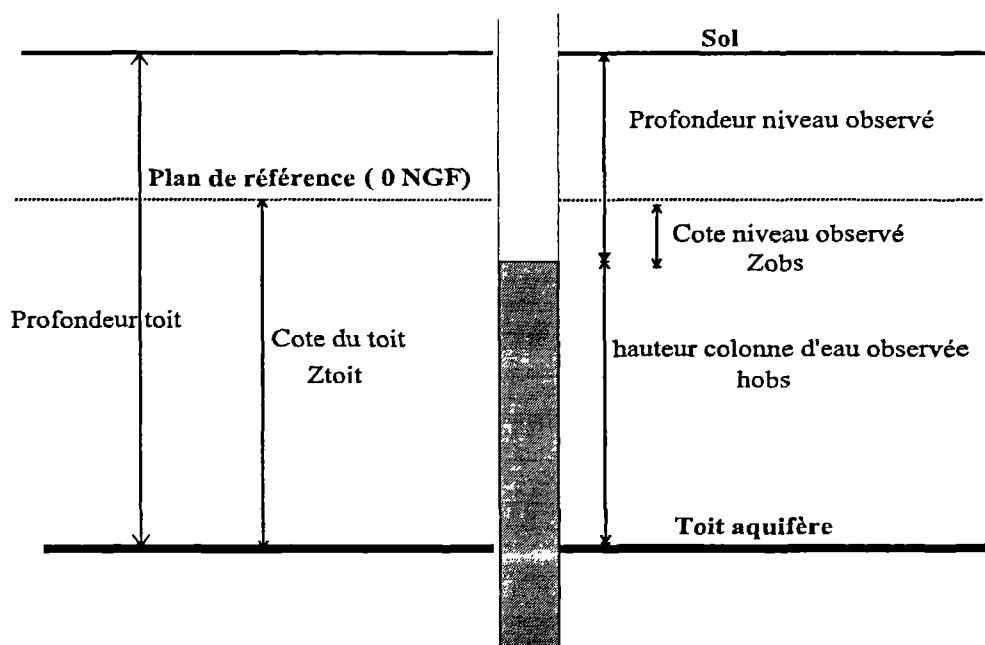
$$h_{\text{obs}} = Pr_{\text{toit}} - Pr_{\text{niv}} = z_{\text{toit}} - z_{\text{obs}}$$

• Température

- Température au toit de l'aquifère (T_{toit})
- Température de surface (T_{surf})

En l'absence de données sur le profil thermique dans la colonne, on peut admettre une variation linéaire de la température le long de la colonne entre T_{toit} et T_{surf} :

$$T(z) = \frac{T_{\text{toit}} - T_{\text{surf}}}{z_{\text{toit}} - z_{\text{obs}}} (z - z_{\text{obs}}) + T_{\text{surf}}$$



Z_{toit} , cote du toit de la nappe captive
 Z_{obs} , cote mesurée de la surface libre de la colonne d'eau
 h_{obs} hauteur de la colonne d'eau observée
 h_{equ} hauteur de la colonne d'eau équivalente
 $T(z)$ température à la cote z
 $C(z)$ salinité à la cote z
 $\rho(z)$ masse volumique à la cote z , variable en fonction de $T(z)$, $p(z)$ et $C(z)$
 ρ_d masse volumique constante de la colonne d'eau équivalente

Figure 4 - Schéma précisant les notations utilisées

•Salinité

S'il n'y a pas de données sur le profil de salinité, on prendra une valeur constante sur toute la hauteur du tubage, égale à celle mesurée ponctuellement (ou bien une valeur moyenne s'il y a quelques mesures).

2) Calcul de l'intégrale

On subdivise la colonne d'eau en n tronçons de hauteur Δz_i ($i = 1, n$) à chacun desquels on affecte la température T_i , la salinité C_i et la pression p_i mesurée à la cote moyenne z_i du tronçon :

$$\text{Int}(\rho) = \int_{z_{\text{toit}}}^{z_{\text{obs}}} \rho(z).dz = \sum_{i=1}^n \rho(T_i, C_i, p_i) \Delta z_i$$

Les formules disponibles pour le calcul de la masse volumique en fonction de la pression de la température et de la salinité sont présentées au paragraphe suivant.

Remarque : en principe, pour calculer la masse volumique à une cote donnée, il faut y connaître la pression, elle même fonction de la masse volumique, inconnue. Le calcul devrait donc être itératif. En fait, la dilatabilité de l'eau étant prépondérante sur la compressibilité (en termes de variation par rapport à un état donné, cf § 2.3.3), on peut prendre comme approximation de la pression celle qui équivaut à la hauteur de la colonne au dessus de la cote considérée, sans que cela ne nuise vraiment à la précision des calculs.

3) Masse volumique moyenne de la colonne d'eau équivalente :

$$\rho_m = \frac{1}{z_{\text{obs}} - z_{\text{toit}}} \int_{z_{\text{toit}}}^{z_{\text{obs}}} \rho(z).dz$$

Cette relation est exploitée au §2.1.4

Formules de calcul de la masse volumique en fonction de la pression, de la température et de la salinité.

Deux formules sont disponibles pour le calcul de la masse volumique :

- l'une établie par le BRGM et décrite en détail dans le rapport BRGM 76 SGN 482 AME (*Essais et mise en production des aquifères profonds*) ;
- l'autre utilisée par GDF et mise au point par A.M. Rowe et J.C.S. Chou (*Pressure-Volume-Temperature-Concentration Relation of Aqueous Nacl Solutions - Journal of Chemical and Engineering Data - Vol.15 n° 1-1970*).

Ces deux formules ont fait l'objet d'une comparaison poussée par P. Lachassagne (note de calcul interne BRGM). Les différences sont généralement faibles mais peuvent être sensibles pour certaines gammes de température et de pression.

On présente en annexe 1 quelques exemples de courbes de variation de la masse volumique calculées avec l'une et l'autre de ces deux formules. L'un de ces exemples montre un écart sensible pour des températures inférieures à 10 °C sous une pression de 100 atm. et pour une salinité nulle (écart relatif de 0.03% à 10°C, de 0.2% à 2°C)

1) Formule BRGM

La masse volumique, exprimée en g/cm³, est calculée par le produit de 3 fonctions, l'une correspondant à une correction de température, la deuxième à une correction de température et salinité, la troisième à une correction de température et pression:

$$\rho(p,T,C) = r_1 \cdot r_2 \cdot r_3$$

Dans cette formule :

p est la pression exprimée en m de colonne d'eau douce (de densité égale à 1)

T est la température, en °C

C est la salinité, en g/l

• *Correction de température seule*

$$r_1 = 0.999973(1 - d_1 \cdot d_2 \cdot d_3)$$

avec :

$$d_1 = (350 - T)/(365 - T)$$

$$d_2 = (T + 273)/(T + 67)$$

$$d_3 = ((T - 3.982)^2)/466700$$

Cette correction est supposée applicable pour des températures comprises entre 17°C et 102°C (Vandenbeusch, réf.6). Une variante est proposée pour des températures inférieures à 17°C mais donne des résultats très similaires. Les écarts avec la formule GDF pour les faibles températures pourraient résulter d'une mauvaise adaptation de l'expression ci-dessus aux faibles températures.

• *Correction de température-salinité*

$$r_2 = 1 + C/(d_1 + d_2 \cdot C)$$

avec :

$$d_1 = 1341.3 + 6.419T - 9.36610^{-2} T^2 + 3.368 \cdot 10^{-4} T^3$$

$$d_2 = 0.5677 - 9.7993310^{-3} T + 1.33210^{-4} T^2 - 5.1626710^{-7} T^3$$

• *Correction de température-pression*

$$r_3 = 1/(1 + d_3)$$

avec :

$$d_3 = -9.678410^{-7} p \cdot d_1 (88620/(19560 + p) + d_2)$$

$$d_1 = 1 + (0.739 - 1.1910^{-4} p) \times \exp(-T/(3.9 + 1.3210^{-3} p))$$

$$d_2 = (1.804 \cdot 10^{-4} + 1.981 \cdot 10^{-9} p)(T - 55.5 + 2.5710^{-3} p)^2$$

2) Formule de Rowe et Chou

La formule de Rowe et Chou (réf. 5), établie pour des solutions de NaCl et ajustée sur des données validées par la 3^{ème} "International Conference on Steam Tables", fournit le volume spécifique du fluide (en cm³/g):

$$\Omega(p, T, C) = \alpha(T) - p \cdot \beta(T) - p^2 \cdot \gamma(T) + C \cdot \delta(T) + C^2 \cdot \varepsilon(T) - C \cdot p \cdot X(T) - C^2 \cdot p \cdot \lambda(T) - \frac{C \cdot p^2 \cdot \eta(T)}{2}$$

La masse volumique est alors:

$$\rho(p, T, C) = \frac{1}{\Omega} \quad \text{en g/cm}^3$$

p est la pression exprimée dans cette formule en **kgf.cm⁻²** (et non en m de hauteur d'eau)

S est la salinité en **kg NaCl / kg de solution** (et non en g/l)

T est la température absolue en **°K** (et non en °C)

Les différentes fonctions de la température sont :

$$\alpha(T) = a(1,1) + a(1,2) \cdot T + a(1,3) \cdot T^2 + a(1,4)/T + a(1,5)/T^2$$

$$\beta(T) = a(2,1) + a(2,2) \cdot T + a(2,3) \cdot T^2 + a(2,4)/T + a(2,5)/T^2$$

$$\gamma(T) = a(3,1) + a(3,2) \cdot T$$

$$\delta(T) = a(4,1) + a(4,2) \cdot T + a(4,3) \cdot T^2$$

$$\varepsilon(T) = a(5,1) + a(5,2) \cdot T + a(5,3) \cdot T^2$$

$$X(T) = a(6,1) + a(6,2) \cdot T + a(6,3) \cdot T^2$$

$$\lambda(T) = a(7,1) + a(7,2) \cdot T + a(7,3) \cdot T^2$$

$$\eta(T) = a(8,1) + a(8,2) \cdot T + a(8,3) \cdot T^2$$

les coefficients a(i,j) sont donnés dans le tableau ci-dessous.

J	1	2	3	4	5
1	5.916365	-1.035794E-2	9.270048E-6	-1.127522E3	1.006741E5
2	5.204914E-3	-1.048210E-5	8.328532E-9	-1.1702939	1.022783E2
3	1.18547E-8	-6.599143E-11			
4	-2.5166	1.11766E-2	-1.70552E-5		
5	2.84851	-1.54305E-2	2.23982E-5		
6	-1.4814E-3	8.2969E-6	-1.2469E-8		
7	2.7141E-3	-1.5391E-5	2.2655E-8		
8	6.2158E-7	-4.0075E-9	6.5972E-12		

Le domaine de validité de la formule de Rowe et Chou est :

Température de 0 à 175°C

Salinité de 0 à 0.25 kg NaCl / kg de solution

Pression jusqu'à 350 kgf/cm² (soit 3.43 10⁷ Pa)

Calcul de la charge d'eau douce en fonction de la piézométrie observée.

La hauteur h_d de la colonne d'eau "douce" de masse volumique constante ρ_d , qui exerce la même pression (au toit de la nappe captée) que la colonne observée dont la masse volumique varie de la base de la colonne (le toit de la nappe captée) à la surface libre, de cote z_{obs} , est telle que:

$$\rho_d \cdot g \cdot h_d = p_{toit} = \int_{z_{toit}}^{z_{obs}} \rho(z) \cdot g \cdot dz = \rho_m \cdot g \cdot (z_{obs} - z_{toit}) = \rho_m \cdot g \cdot h_{obs}$$

D'où :

$$h_d = \frac{1}{\rho_d} \int_{z_{toit}}^{z_{obs}} \rho(z) \cdot dz = \frac{\rho_m}{\rho_d} h_{obs}$$

La charge d'eau douce équivalente au toit de la nappe est alors :

$$H_d = z_{toit} + \frac{1}{\rho_d} \int_{z_{toit}}^{z_{obs}} \rho(z) \cdot dz$$

ou encore, en introduisant la masse volumique moyenne ρ_m (cf § 2.2.2)

$$H_d = z_{toit} + \frac{\rho_m}{\rho_d} h_{obs} = z_{toit} + \frac{\rho_m}{\rho_d} (z_{obs} - z_{toit})$$

soit, z_{obs} n'étant autre que la hauteur piézométrique H_{obs} par rapport au plan de référence:

$$H_d = \frac{\rho_m}{\rho_d} H_{obs} + \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_d}\right) z_{toit} \quad [HD1]$$

ou encore, connaissant la hauteur de la colonne d'eau dans le piézomètre($h_{obs} = Pr_{toit} - Pr_{niv}$) et la piézométrie observée H_{obs} ($H_{obs} = z_{obs}$) :

$$\begin{aligned} H_d &= h_d + (H_{obs} - h_{obs}) \\ h_d &= \frac{Int(\rho)}{\rho_d} \end{aligned} \quad [HD2]$$

2.4. Application à l'aquifère thermal de Dax

2.4.1 DONNÉES ET MÉTHODES

Les données disponibles concernent 31 points d'eau (puits en exploitation, piézomètres et sources). Elles sont rassemblées dans le tableau 1. Les calculs de masse volumique ont été effectués avec la formule de Rowe et Chou.

Conversion des mesures piézométriques en charges d'eau douce équivalente

Les mesures faites ont été converties en charges d'eau douce équivalentes en suivant les étapes précisées ci-dessous :

- 1) calcul de l'intégrale, avec un pas d'intégration égal à 1 m :

$$\text{Int}(\rho) = \int_{z_{\text{toit}}}^{z_{\text{obs}}} \rho(z) \cdot dz = \sum_{i=1}^n \rho(T_i, C_i, p_i) \Delta z_i$$

- 2) calcul de la hauteur de la colonne d'eau douce équivalente :

$$h_d = \frac{\text{Int}(\rho)}{\rho_d}$$

ρ_d est la masse volumique de référence "eau douce" calculée à la pression atmosphérique, à la température de 14°C et avec une salinité nulle.

- 3) calcul de la charge d'eau douce équivalente à l'aide de la relation [HD2] ci-dessus utilisant les données disponibles (niveau mesuré et hauteur de la colonne d'eau dans le piézomètre)

Conversion des mesures piézométriques en charges réelles

Pour les ramener à une même grandeur de référence, permettant d'évaluer l'énergie de l'eau au toit de l'aquifère, toutes les mesures piézométriques, dont certaines sont faites en puits "froid" et d'autre en puits "chaud", ont été converties en charges réelles ("point water head") calculées au toit de l'aquifère en prenant une masse volumique calculée avec la température, la salinité et la pression au toit de l'aquifère. Les étapes sont :

- 1) calcul de l'intégrale :

$$\text{Int}(\rho) = \int_{z_{\text{toit}}}^{z_{\text{obs}}} \rho(z) \cdot dz = \sum_{i=1}^n \rho(T_i, C_i, p_i) \Delta z_i$$

- 2) calcul de la pression au toit :

$$p_{\text{toit}} = \text{Int}(\rho) \times g$$

- 3) calcul de la masse volumique au toit :

$$\rho_{\text{toit}} = \rho(p_{\text{toit}}, C_{\text{toit}}, T_{\text{toit}})$$

- 4) calcul de la charge réelle au toit :

$$H_{\text{toit}} = \frac{p_{\text{toit}}}{\rho_{\text{toit}} g} + z_{\text{toit}}$$

2.4.2 RÉSULTATS

Les résultats obtenus sont rassemblés dans les tableaux 1, 2 et 3 et illustrés par les figures 5 et 6. Les sources ont été traitées comme pseudo-piézomètres en prenant une cote de toit fictive, liée au pendage de la couche aquifère.

Le passage aux charges d'eau douce équivalentes fait clairement apparaître dans un même groupe les forages et les piézomètres des stations de Dax et Saint-Paul-lès-Dax : ces ouvrages sont en effet tous à charge équivalente négative et témoignent de la sensibilité hydrodynamique du secteur par rapport aux autres stations où les charges équivalentes restent positives (à l'exception du forage Montaigne de Préchacq, avec une charge de -3.9 m, valeur qui reflète sans doute la seule influence locale du pompage).

Dans un contexte hydrodynamique élargi, le secteur de Dax apparaît donc comme une zone de dépression piézométrique susceptible de s'étendre sous l'effet de pompages accrus avec comme conséquence une détérioration de la qualité de l'eau (en température et minéralisation).

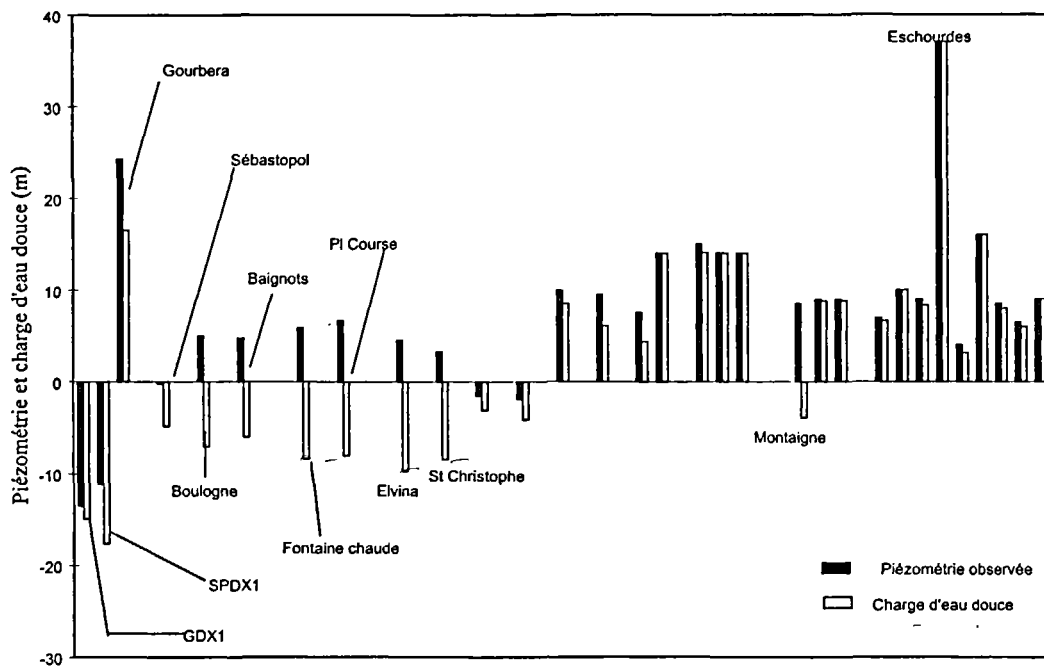


Figure 5 – Piézométrie observée comparée à la charge d'eau douce équivalente (formule GDF)

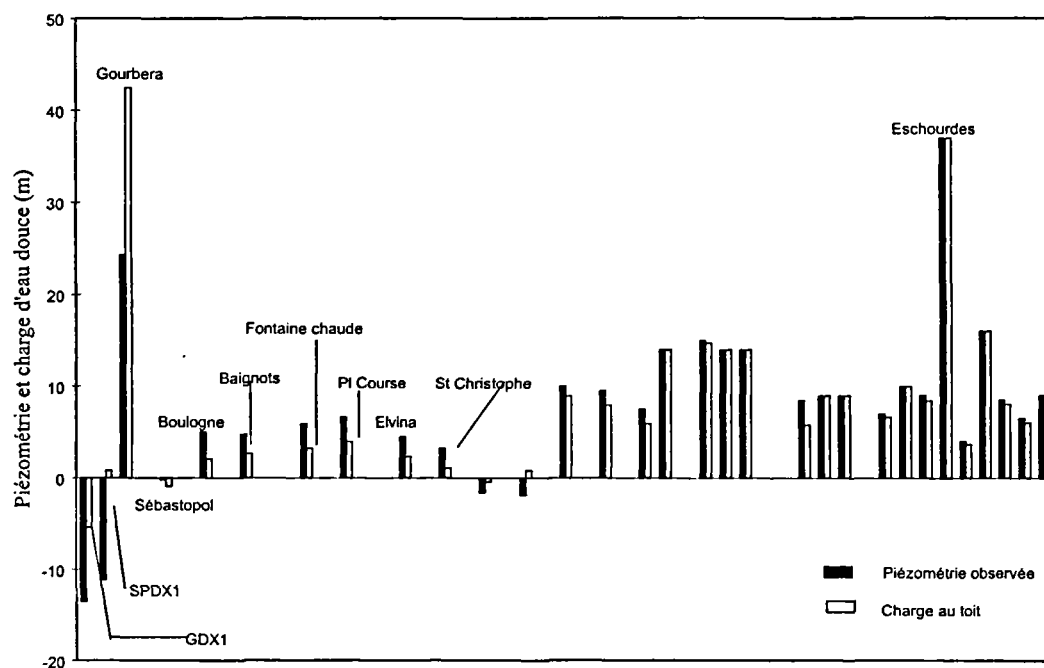


Figure 6 – Piézométrie observée comparée à la charge calculée au toit (formule GDF)

Une comparaison plus poussée entre points reste délicate compte tenu :

- de l'unicité des mesures qui ont servi de base à ces calculs ;
- des conditions d'obtention de ces mesures, souvent non synchrones et effectuées, pour les forages, en régime d'exploitation ;
- de la délimitation de compartiments par les failles ;
- de la difficulté d'interprétation en 2D de valeurs qui caractérisent des phénomènes pour lesquels *la dimension verticale est prépondérante* (dimension verticale non intégrée dans le concept de charge d'eau douce équivalente).

Néanmoins, les résultats obtenus, ainsi que la mise en évidence d'interférences entre GDX1, SPDX et les ouvrages de Dax (rapport BRGM R 40011, 1998), permettent de considérer les forages GDX1 et SPDX (ce dernier non encore exploité à l'époque des mesures) comme des témoins de l'évolution des niveaux dans le secteur de DAX, sensibles aux conditions d'exploitation de ce secteur (en supposant que le Cénomanien soit en communication avec le Dano Paléocène dans ce secteur puisque le forage GDX capte le Cénomanien).

Remarque :

Les écarts entre piézométrie observée et charge équivalente d'eau douce peuvent dépasser 10 m (tableau ci dessous) :

Ouvrage	Ecart $Pz_{obs} - H_d$ (formule GDF)
SPDX1	+ 6.5
Gourbera	+ 7.8
Sebastopol	+ 4.6
Boulogne 2	+ 12.0
Baignots 4	+ 10.8
Fontaine chaude	+ 14.3
Pl Course	+ 14.7
Elvina	+ 14.2
St Christophe	+ 11.7
Montaigne	+ 12.4

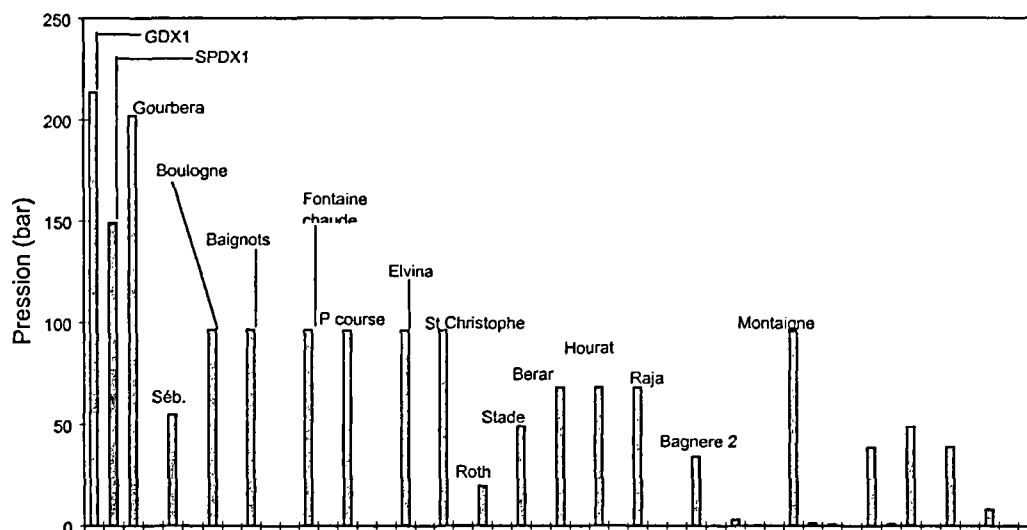


Figure 7 – Pression calculée au toit de l'aquifère (en bar)

Ouvrage NOM	X (m)	Y (m)	Z (m NGF)	Temp. Fond (°C)	Temp. Surface (°C)	Minér (mg/l)	Prof toit (m)	NP m/sol	ND m/sol	Piézo m NGF	Observations
GDX1	323.68	3161.95	6.49	56	14	615	2201	20		-13.51	piézo
SPDX1	325.77	3164.05	9.3	66	14	960	1548	20.4		-11.1	piézo
Gourbera	328.70	3171	55.3	71	14	1100	2100	31		24.3	piézo GDF
Sébastopol	321.66	3165.77	34.8	47	47	770	602		35	-0.2	Exploité à 150 m3/h
Boulogne 2	325.9	3162.72	6.22	56	56	870	1000		1.2	5.02	BE (haute saison)
Baignots 4	326.02	3162.63	6.77	55	55	890	1000		2	4.77	BE
Fne Chaude	326.9	3162.4	7.4	61.2	61.2	970	1000		1.5	5.9	BE
Pl Course	327.08	3162.39	9.16	62	62	990	1000		2.5	6.66	BE
Elvina	327.26	3162.42	7.5	62	62	970	1000		3	4.5	BE
St Christophe	327.4	3162.65	7.25	57	57	920	1000		4	3.25	BE
Roth	327.4	3162.4	5.91	57	14	930	212		7.5	-1.59	piézo (BE), n u
Stade	327.3	3162.55	5.59	53	14	950	512		7.5	-1.91	piézo (BE), nu
Berar	316.08	3159.95	10	32	32	810	700		0	10	F. exploité
Hourat	316.08	3159.92	10	38	38	770	700		0.5	9.5	F. exploité
Raja	316.08	3159.79	8	37	37	800	700		0.5	7.5	F. exploité
Bagnère 1	322.26	3157.65	14	37	37	2150	2		0	14	source expl. (2g/l)
Bagnère 2	322.3	3157.63	15	34	34	2170	350		0	15	F. exploité (2g/l)
Vieux Buc.	341.54	3166.13	17	14.5	14.5	925	6		3	14	puits-source
Buccuron II	341.95	3166.68	17	18	14	1550	35		3	14	F. exploité, épisodes
Montaigne	336.8	3167.98	9	58	58	1390	1000		0.5	8.5	F. exploité
La Hire	336.68	3168.11	9	59	59	1380	13		0	9	F. exploité
Darroze	336.78	3168	9	58.5	58.5	1370	10		0	9	F. exploité
T5 Eau froide	336.68	3168.21	9	27	27	1365	400		2	7	F. exploité
L'Avenue	337.21	3168.26	10	20	20	1110	9		0	10	F. exploité
Trou Madame	336.59	3167.56	9	31	31	2100	500		0	9	source n u, q faible
Eschourdes	348.08	3155.66	37	18	18	465	1		0	37	sce AEP+suivi CG40+200 l/s
Petite Roque	320.48	3159.05	4	30	30	850	400		0	4	source tarie
Noguès	347.53	3155.08	31	15.8	15.8	1225			15	16	source faible Q
Louer FI	340.31	3167.25	40	20	14	350	117	31.5		8.5	piézo CG40
Lavigne/Louer	340.27	3167.2	38	16	14	350	35	31.5		6.5	piézo CG40, AEP
Gourgues	337.98	3168.52	9	22	22	400	2				source n u, q faible

Tableau 1 - Données sur l'aquifère thermal de Dax

Ouvrage	X	Y	Mesure piézo (m)	Charge eau douce équivalente (m)
GDXI	323.68	3161.95	-13.51	-14.91
SPDX1	325.77	3164.05	-11.1	-17.62
Gourbera	328.7	3171	24.3	16.53
Sébastopol	321.66	3165.77	-0.2	-4.8
Boulogne 2	325.9	3162.72	5.02	-7.02
Baignots 4	326.02	3162.63	4.77	-5.97
Fne Chaude	326.9	3162.4	5.9	-8.40
PI Course	327.08	3162.39	6.66	-8.03
Elvina	327.26	3162.42	4.5	-9.71
St Christophe	327.4	3162.65	3.25	-8.44
Roth	327.4	3162.4	-1.59	-3.09
Stade	327.3	3162.55	-1.91	-4.14
Berar	316.08	3159.95	10	8.54
Hourat	316.08	3159.92	9.5	6.07
Raja	316.08	3159.79	7.5	4.34
Bagnère 1	322.26	3157.65	14	13.99
Bagnère 2	322.3	3157.63	15	14.1
Vieux Buc.	341.54	3166.13	14	14
Buccuron II	341.95	3166.68	14	14.03
Montaigne	336.8	3167.98	8.5	-3.9
La Hire	336.68	3168.11	9	8.81
Darroze	336.78	3168	9	8.86
T5 Eau froide	336.68	3168.21	7	6.65
L'Avenue	337.21	3168.26	10	10
Trou Madame	336.59	3167.56	9	8.34
Eschourdes	348.08	3155.66	37	37
Petite Roque	320.48	3159.05	4	3.16
Noguès	347.53	3155.08	16	16
Louer FI	340.31	3167.25	8.5	8
Lavigne/Louer	340.27	3167.2	6.5	6
Gourgues	337.98	3168.52	9	9

Tableau 2 - Charges d'eau douce équivalentes calculées à partir des mesures piézométriques

Ouvrage	X	Y	Piézométrie (m)	Masse Volumique au toit (kg/m ³)	Pression au toit (bar)	Charge au toit (m)
GDX1	323.68	3161.95	-13.51	994.9041	213.591	-5.41
SPDX1	325.77	3164.05	-11.1	987.2852	149.059	0.80
Gourbera	328.7	3171	24.3	986.8461	201.992	42.43
Sébastopol	321.66	3165.77	-0.2	992.376	55.113	-0.90
Boulogne 2	325.9	3162.72	5.02	990.1345	96.698	2.05
Baignots 4	326.02	3162.63	4.77	990.6343	96.747	2.60
Fne Chaude	326.9	3162.4	5.9	987.5798	96.447	3.22
Pl Course	327.08	3162.39	6.66	987.1722	96.311	3.98
Elvina	327.26	3162.42	4.5	987.1589	96.310	2.32
St Christophe	327.4	3162.65	3.25	989.6671	96.459	1.09
Roth	327.4	3162.4	-1.59	986.3516	19.894	-0.43
Stade	327.3	3162.55	-1.91	989.5425	49.22	0.78
Berar	316.08	3159.95	10	998.6949	68.454	8.92
Hourat	316.08	3159.92	9.5	996.5751	68.212	7.93
Raja	316.08	3159.79	7.5	996.9627	68.238	5.93
Bagnère 1	322.26	3157.65	14	994.8318	0.195	14
Bagnère 2	322.3	3157.63	15	997.4305	34.21	14.73
Vieux Buc.	341.54	3166.13	14	999.8428	0.294	14
Buccuron II	341.95	3166.68	14	999.8547	3.139	14.01
Montaigne	336.8	3167.98	8.5	989.4957	96.732	5.82
La Hire	336.68	3168.11	9	984.7042	1.255	9
Darroze	336.78	3168	9	984.9379	0.966	9
T5 Eau froide	336.68	3168.21	7	999.2582	38.968	6.65
L'Avenue	337.21	3168.26	10	999.0368	0.882	10
Trou Madame	336.59	3167.56	9	999.024	48.933	8.45
Eschourdes	348.08	3155.66	37	998.9346	0.098	37
Petite Roque	320.48	3159.05	4	998.0343	39.116	3.64
Noguès	347.53	3155.08	16	998.2927	0	16
Louer F1	340.31	3167.25	8.5	998.8625	8.329	8.03
Lavigne/Louer	340.27	3167.2	6.5	999.2958	0.294	6.00
Gourgues	337.98	3168.52	9	998.0741	0.196	9

Tableau 3 - Charges réelles calculées au toit de l'aquifère
à partir des mesures piézométriques

3 - DONNEES NOUVELLEMENT ACQUISES

3.1 - Mesures GdF sur le forage de GOURBERA GO 01

3.1.1 - Rappels

Des informations complémentaires ont été rassemblées sur le forage de GOURBERA GO 01 réalisé par la société COFOR pour Gaz de France, entre le 2 juin et le 23 juillet 1996. Son objectif est de suivre la piézométrie de l'aquifère profond en liaison avec l'avancement du projet de stockage souterrain de gaz des Landes de Siougos.

Le forage GO 01 dont la profondeur est de 2208,50 m, est localisé à 10 km au nord de Dax. Il a été laissé en trou nu de 1893,88 à 2208,50 m. L'aquifère capté est constitué par des formations calcaires et dolomitiques de la base du Crétacé supérieur.

Le toit du réservoir carbonaté est représenté par les argiles de l'Yprésien et par les marnes de l'Eocène dont l'épaisseur cumulée dépasse 850 m, formant un écran imperméable. L'Yprésien est surmonté par plus de 800 m de séries oligo-miocènes contenant à différents niveaux d'autres aquifères semi-profonds. Ces derniers : carbonatés ou détritiques, ou mixtes, sont exploités dans les environs à moyen ou à forts débits pour des usages d'alimentation en eau potable (AEP), agricoles, industriels et d'embouteillage.

La coupe technique du puits GOURBERA 1 est reproduite en **annexe 2**, associée à la profondeur et à l'épaisseur des étages traversés. Les diagraphies les plus classiques DLL, PS, S, et GR ont été couplés à des tests de réservoir, réalisés en open-hole entre le 13 et le 16 juillet 1996.

Les résultats des 8 tests réalisés indiquent des très faibles perméabilités pour l'Yprésien, pour le Paléocène (7 à 8 m³/h), et pour les niveaux crayeux du Danien. La formation la plus productive serait contenue dans les dolomies cristallines du Crétacé supérieur, à partir de -2100 m, dans le Coniacien-Turonien : les débits air-lift en fin de foration allaient de 40 à 50 m³/h.

Deux prélèvements pour analyses d'eau ont été effectués à deux mois d'intervalle : le 18 juillet et le 19 septembre 1996, respectivement par l'EGID de Bordeaux lors d'un test air-lift, et par le Laboratoire Départemental des Landes (CG40) lors d'un pompage au débit de 16 m³/h.

La température (T) de l'eau en tête d'ouvrage était d'abord notée respectivement par l'IGD Bordeaux à 71,5°C puis ramenée à 67°C, et par le CG40 à 49,8°C.

La conductivité (C) était notée à 1493 $\mu\text{S}/\text{cm}$ par l'EGID, et à 1270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ par le CG40.

Ce qui illustre les difficultés de validation et de représentativité des mesures y compris pour des paramètres "très classiques".

On retiendra pour l'eau du forage de GOURBERA 1 :

une température T de 60 à 70°C, et une conductivité C de 1250 à 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Cette "fourchette" est assez éloignée de celle qui serait en accord avec un degré géothermique de 3°C/100 m, qui voudrait qu'elle se situe à 80°C en fond de trou à 2200 m, et au minimum à 71°C en surface, en considérant que la majorité sinon la totalité de l'eau exhaurée provienne du toit de l'aquifère à 1900 m de profondeur (à la base du sabot-liner en $\varnothing 4''1/2$).

Les résultats de ces deux analyses en laboratoire sont indicatifs d'eaux *sulfatées calciques et pour partie chlorurées sodiques*, proches de celles de Dax et de Préchacq. L'eau profonde du puits de GOURBERA 1 présente *une minéralisation totale de l'ordre de 1100 mg/l*.

3.1.2 - Enregistrements piézométriques et de température de fond

Depuis le mois de juin 1997, la piézométrie (pression) et la température de l'eau du réservoir profond sont enregistrées par un *capteur de type PTK placé à 2083 m de profondeur*. Le pas d'acquisition est de 1 mesure par heure.

La mesure du plan d'eau en forage (en surface) réalisée par GdF le 3 juin 1997, avant de descendre le capteur de fond, *était à 37,5 m/sol*.

La représentation graphique de l'évolution du niveau de l'eau montrait une baisse "régulière" de la charge de 3,5 à 4,5 m à compter du 19 juillet et jusqu'au 31 décembre 1997, mais sans possibilité d'expliquer cette évolution, ou de la vérifier à la sonde électrique pour le niveau en "puits froid".

*La température de l'eau est assez constante
avec pour le capteur en place PTK une valeur de fond de 67,1 °C seulement.*

3.1.3 - Mesures et actions préconisées

La *"mise à la pression atmosphérique du forage"* a été réalisée, et la demande concernant la possibilité d'effectuer des mesures de contrôle du niveau de l'eau à la sonde électrique depuis la tête du forage aurait été satisfaite.

Il importe désormais d'avoir un historique suffisamment long sur les couples de mesures "surface/fond", et sur les évolutions piézométriques en ce point qui est très bien positionné et suffisamment à l'écart des exploitations thermales.

Il pourrait être demandé à GdF d'effectuer des tests de pompages sur GO 01 qui comprendraient :

- *des tests par paliers de débit croissant* afin de compléter la fiche d'identité hydraulique du puits GO 01 avec l'établissement de sa caractéristique (jusqu'à la définition de son débit critique), et le calcul des pertes de charge linéaires et quadratiques, des pertes de charge dues à la circulation de l'eau depuis le réservoir profond au travers des tubages, et des possibilités réelles de production de cet ouvrage en l'état actuel.
- *un essai de pompage de très longue durée*, si possible au plus fort débit déduit des tests par paliers, de 40 jours au minimum, d'abord en milieu de saison d'hiver (en hautes eaux) puis en saison d'été (en basses eaux), lorsque les exploitations sur chaque site thermal sont minimales, puis maximales.

Il serait souhaitable d'associer à cette réalisation les hydrogéologues régionaux de façon à mettre en oeuvre un certain nombre d'impératifs pratiques d'exécution et de choix des points d'observations sur les stations et ouvrages disponibles.

Dans le même temps et plus spécifiquement pour la durée des essais de longue durée, l'évolution de la physico-chimie des eaux, des teneurs en gaz libres et dissous, et des analyses isotopiques seront effectuées.

3.2 - Suivi de l'exploitation et piézométrie sur DAX

- La Régie Municipale des Eaux de Dax (RME) poursuit l'exploitation de quatre ouvrages thermaux : **les forages de la Place de la Course, de Fontaine Chaude, de Baignots 4, et de Boulogne 2,**
- Le Groupe Thermes-Adour (GTA) exploite, sur la ville de Dax, les deux ouvrages **Elvina et St-Christophe**, le forage Elvina étant surtout réservé à l'embouteillage.

La "*lame thermique de Dax*" masquée par les formations de la terrasse alluviale de l'Adour, correspond à des strates dolomitiques du Dano-Paléocène sub-affleurantes du réservoir thermal en contact avec le diapir. On les trouvait encore à l'affleurement, en position subverticale, en certains endroits qui ont été dégagés (anciens griffons naturels), dans les caves, les puits, et les parties basses des plus anciens établissements thermaux hôteliers.

Le forage géothermique **GDX1** à Saubagnac n'est toujours pas utilisé, mais est pompé de façon épisodique. Il sert de piézomètre du réservoir profond au droit d'une structure synclinale, sans interférence avec les nappes superficielles, avec les eaux de surface de l'Adour, et à l'écart semble-t-il des racines du diapir de Dax. C'est le type du "puits froid" au sein duquel la température de l'eau est en équilibre avec celle de l'encaissant.

La plupart des ouvrages thermaux présents sur la commune de Dax sont équipés et contrôlés en matière de débits et de volumes, de capteurs de niveaux, de conductivité et de la température des eaux. Ils font l'objet de 3 analyses annuelles réglementaires (physico-chimiques et bactériologiques) en plus des mesures de qualité effectuées à l'initiative des deux exploitants.

La piézométrie de la nappe thermique et celle de l'aquifère superficiel (nappe phréatique) contenu dans la terrasse alluviale sont observées et mesurées deux fois par semaine par la RME en 18 points répartis sur Dax. Elle est couplée au suivi journalier des niveaux de l'eau de surface du fleuve Adour.

La connexion en profondeur de la lame dolomitique, accolée aux évaporites du diapir (enraciné ou pas ?), mais aussi en relation possible d'autres aquifères est une probabilité qui suffit à expliquer les variations dans le chimisme des eaux et les différences notées pour la température de l'eau aux émergences.

Les valeurs comprises entre 50°C pour les plus basses et 63°C pour la Fontaine Chaude (captée entre 77 et 143 m de profondeur) restent les plus élevées des sources du secteur du Bas-Adour. On peut logiquement supposer que des valeurs de température de l'eau encore nettement plus élevées sont la règle à des profondeurs qui se situent entre la subsurface (0 à 200 m) et 2 à 3000 m de profondeur.

Les nombreux exutoires naturels aujourd'hui abandonnés, masqués sous la terrasse des alluvions de l'Adour, ou pouvant se situer dans son lit mineur, se traduisent par une température plus froide des eaux et par des mélanges soulignés par une diminution des sulfates par exemple. Ces "intrusions" et ces mélanges d'eaux froides aux eaux thermales sont connus (y compris avec des flux descendants à l'extrados des tubages) et surtout observés lors de hautes eaux superficielles en périodes de crues, ou par suite de surexploitations temporaires ou saisonnières du réservoir thermal.

L'adoption de prélèvements moindres (arrêt du chauffage de la ville de Dax dans les années 1990), et le respect d'un débit plus modeste pendant la période hivernale permettent de reconstituer le potentiel de la nappe thermique et "d'expurger" les eaux froides superficielles qui l'ont envahie.

Nous avons reproduit dans le **tableau 4** tiré d'un document communiqué par la RME l'évaluation du débit des sources thermales de Dax déduit de jaugeages réalisés à la fin du siècle dernier.

CAPTAGE	Date	Auteur	Débit m ³ /h	Niveau / mer	Niveau u NGF
Fontaine Chaude	1852	SERRES H.	84	6,38	6,28
Fontaine Chaude	1741	DE SABONDAL	78,5	-	6,48
Fontaine Chaude	1856/1861	SERRES H.	77,8	-	6,48
Fontaine Chaude	1852	SERRES H.	42	6,10	8,00
Fontaine Chaude	1885	METTRIER.	83,7	7,13	7,03
Fontaine Chaude	1882	GARRIGOU	65,3	8,00	7,90
Fontaine Chaude	1882	GARRIGOU	66,3	7,68	7,78
Fontaine Chaude	1882	GARRIGOU	72,4	7,38	7,28
Fontaine Chaude	1882	GARRIGOU	82,8	6,88	6,78
Fontaine Chaude	1882	GARRIGOU	101,2	6,38	6,28
Le Pavillon (Baignots)		SERRES H.	2,2		-
Le Bastion	< 1864	SERRES H.	0,9		4,74
Le Bastion	> 1864	LARAUZE	10 à 20		4,52
Toutes sources Confondues (30)	1872	SERRES H.	145		5,20
Toutes sources Confondues (30)	1892	METTRIER	125 à 145		5,20

les valeurs en italiques sont des valeurs estimées

Tableau 4 - Evaluation du débit des sources de DAX d'après les données bibliographiques (RME, déc.1996)

Les repères topographiques cités sont les suivants :

BORDALOU : cote NGF à -0,10 m, pour la période de validité de 1857 à 1885,

LALLEMAND : cote NGF à -0,03 m, pour la période de validité de 1885 à 1909.

Les piézométries mesurées en surface dans le secteur de Dax, d'une part pour certains forages, d'autre part et surtout pour les niveaux de débordement des émergences, ne sont pas représentatives des charges hydrauliques au toit des réservoirs profonds. Les émergences en écoulement libre sont des points singuliers à potentiel imposé (ou variable sous l'Adour) qui fixent une cote NGF de débordement à l'aquifère.

Les variations de charge, d'énergie, et de la température des eaux se traduisent par des variations du débit des sources.

Du fait de la connexion hydraulique démontrée en 1980 entre GDX1 et les ouvrages de Dax, *un double équipement du forage GDX1 pourrait être mis en place* :

- * un capteur de pression de fond,
- * un enregistrement de la profondeur du niveau de l'eau en tête du forage,

Il serait couplé à des contrôles manuels du niveau à la sonde électrique.

Dans ce forage indiqué à une cote NGF de +6,49 m, on dispose d'une mesure piézométrique de l'aquifère Cénomaniens "au repos" et en "puits froid" qui se situait en 1997 à 19,99 m sous le niveau du repère, et donc à **-13,50 m NGG** (sous le niveau de la mer). Cette charge hydraulique est régie par le système thermal diapirique qui impose le niveau de « sortie ». Il correspond au « niveau de base » pour tout le système Bas-Adour.

3.3 - Les prélèvements spécifiques sur GAMARDE

Un seul forage est en exploitation à faible débit sur la commune de Gamarde, celui de **BUCCURON II**, profond de 251 m. L'eau est destinée à la réalisation d'une gamme de produits de beauté par un groupe cosmétologique établis sur ses vertus curatives, et peut-être plus tard à un centre de remise en forme.

Des enregistrements du niveau de l'eau ont été réalisés pendant deux ans sur ce forage alors qu'il n'était pas encore mis en exploitation .

Les résultats communiqués par GdF sont reproduits sous forme de graphiques de variations des niveaux sur BUCCURON II en **annexe 3**.

Les variations constatées entre septembre 1994 et décembre 1998 vont de 2,8 à 4,3 m, elles sont corrélées essentiellement aux variations de la pression barométrique.

3.4 – Les potentialités de la station de PRECHACQ et des environs

La station thermique de Préchacq est exploitée par 5 forages et un puits, à **un débit global de l'ordre de 90 à 100 m³/h**. La plupart des ouvrages sont peu profonds (de 15 à 30 m). La température de l'eau thermique dans ces ouvrages est très élevée, comprise entre 55 à 57 °C, en liaison évidente avec la proximité du diapir de Thétieu "thermo-conducteur" comme celui de Dax.

La connexion entre le toit du gisement thermal et la nappe alluviale (et indirectement avec l'Adour dont le niveau mériterait d'être journalièrement relevé au pont de Pontonx) est effective au puits T5, et très probable aux abords des autres ouvrages. Elle perturbe les enregistrements en continu de la piézométrie assurés par le CG40 sur le forage de MONTAIGNE 1.

La situation de cet enregistreur au coeur d'une station thermique exploitée à forts débits pose le problème de la représentativité des enregistrements sur ce forage, faisant lui-même l'objet d'une exploitation par pompage.

La Chaîne Thermale du Soleil a entrepris des travaux de réhabilitation sur les forages Darroze (indice national 0950-6X-0010) et La Hire (095066X-0007) de la station thermique de Préchacq-les-Bains. Ces travaux ont été réalisés par l'entreprise de forage FORAQUITAINE.

Selon les renseignements recueillis auprès de FORAQUITAINE, les débits des pompes d'essai ont été de 16 m³/h pour le forage Darroze et de 11 m³/h pour La Hire. Avant travaux, ces captages étaient équipés de pompes de 20 m³/h.

L'examen des documents amène les remarques suivantes :

- Pour les deux captages (annexe 4)
 - la longueur du tube de décantation est faible (0,2 mètre),
 - l'espace internannulaire derrière la colonne de captage est comblé de gravier jusqu'à la tête de puits sans autre protection (d'après la coupe fournie). Lorsque la nappe est artésienne (en hautes eaux), un risque de débordement d'eau à cet endroit est probable. L'étanchéité du sommet de l'espace interannulaire est à vérifier.
 - les documents présentés ne font état des équipements de têtes de puits (robinet sur la colonne d'exhaure pour les prélèvements d'échantillon d'eau, dispositifs de contrôle de la piézométrie et des volumes prélevés). Leur équipement est à prévoir.

- lors des travaux, la colonne de captage a été installée comme prévu au projet. Les débits obtenus ayant été insuffisants (6 m³/h pour le forage Darroze et 3 m³/h pour La Hire), elles ont été arrachées. Après approfondissement, les ouvrages ont été rééquipés.
- le positionnement définitif des pompes est à définir au vu des tests de productivité et en tenant compte d'une part, d'une hauteur d'eau minimum au-dessus de la pompe (spécifique pour chaque marque) et d'autre part, des variations saisonnières des niveaux d'eau.
- Pour le forage de Darroze
 - Compte tenu du changement de type de terrain capté entre les prévisions (sable et gravier) et l'ouvrage définitif (calcaires fissurés), une longueur de crépine plus importante aurait été souhaitable.
- Pour le forage La Hire :
 - la longueur des crépines est supérieure à l'épaisseur de l'aquifère thermal. Il aurait été préférable de positionner les crépines uniquement face aux calcaires (voire en approfondissant l'ouvrage).

En rive droite de l'Adour, face à la station thermale de Préchacq, nous n'avons pas retrouvé la **source des BAGNOTS** sise sur la commune de PONTONX-sur-ADOUR citée dans certains documents. "Une eau très chaude se déversait dans l'Adour, une guinguette et des bains étaient installés correspondant à de simples trous creusés dans le sable, ..., aujourd'hui disparus".

A moins de 3 km à l'WSW de ce secteur, sur la commune de THETIEU, l'Hydrogéologue du Conseil Général des Landes nous a signalé la présence de deux forages, localisés en bordure ouest du diapir de Thétieu, en rive droite de l'Adour. Leur identification BSS est la suivante :

0950.6X.0061 pour le forage DDE F1 localisé au lieu-dit Moura,
avec pour coordonnées géographiques X = 333,35 Y = 3167,38 Z # 30 m,

0950.6X.00612 pour le forage F2 localisé chez M. CARTHI au lieu-dit Brouchoua,
avec pour coordonnées géographiques X = 333,90 Y = 3167,47 Z # 24 m

Ces deux forages réalisés en 1996 par l'entreprise FORAQUITAINE sont distants de 450 m, leur coupe géologique et technique est reproduite en **annexe 5** avec les deux analyses d'eau effectuées respectivement le 3 mars et 15 mai 1996.

Il était prévu de les exploiter pour des usages agricoles.

Les débits spécifiques (Qsp) de ces deux ouvrages sont intéressants, avec :

* 1,5 m³/h/m pour F1,

* et 2,6 à 3,2 m³/h/m pour F2, susceptible d'être exploité à plus de 50 m³/h.

Les caractéristiques des eaux sont indiquées ci-dessous et en annexe 6.

	Temp	pH	Résistiv	Conduc	Rés sec	TH	TA	Cl	Na	HCO	Fe
Unité	°C		ohms.c m	μS/cm	mg/l	°F	°F	mg/l	Mg/ l	mg/l	mg/ l
Forage F1	17,6	7,9	4190	239	# 170	-	11,9	12,9	13,8	-	0,1 4
Forage F2	21,6	8,1	220	4550	2952	9,5	36	128 0	102 0	439,2	0,1 3

Tableau 5 - Analyses d'eau des forages F1 et F2 de Thétieu

Les eaux du forage F2 sont tièdes (température supérieure à la moyenne régionale) et nettement minéralisées, avec une conductivité de 4550 μS/cm et un résidu sec de près de 3000 mg/l. Leur faciès est chloruré sodique et bicarbonaté.

On manque d'éléments sur l'attribution géologique des formations calcaires captées par ces forages, qui pourraient être attribuées à l'Aquitainien, auquel cas :

- soit les eaux sont affectées par la proximité du diapir avec des processus de dissolution des sels et acquisition d'une température plus élevée que la moyenne à son contact,
- soit elles sont d'origine profonde et en relation avec le réservoir thermal.

Des investigations complémentaires sont nécessaires pour trancher. Les résultats du piézomètre n° 2 programmé à Pontonx en rive droite de l'Adour et au Nord du diapir seront très instructifs.

3.5 - Les ouvrages de Saint-PAUL-lès-DAX

3.5.1 - Le forage de SEBASTOPOL 1bis

Cet ancien forage de reconnaissance pétrolière réhabilité est exploité par le Groupe Thermes Adour pour les Thermes de Christus à **un débit moyen qui était de 157 m³/h** en 1996, correspondant à **un volume annuel de l'ordre de 1 370 000 m³/an**. C'est le débit ponctuel le plus élevé dans le réservoir thermal en Bas-Adour, il se trouve être supérieur à la somme du débit naturel des émergences de Dax mesuré à la fin du siècle dernier (voir tableau 4).

En volume annuel, il représente à lui seul plus de 75% de la somme des prélèvements effectués sur les 6 forages de Dax.

La température de l'eau est de l'ordre de 47°C, et le niveau dynamique en "puits chaud" se situait à 36 m environ en juillet 1997.

Ce forage Seb1bis a fait l'objet de tests de pompages à différents débits en 1996, jusqu'à 242 m³/h. Les résultats de ces essais supervisés par l'EGID de Bordeaux indiquaient "des interférences sur Dax et Saubusse, .., et une chute anormale du niveau de l'eau qui pouvait conduire à des niveaux d'exploitation très bas (à près de 100 m de profondeur)".

L'accroissement du rabattement observé (ou projeté) sur Seb1bis pourrait être lié à la présence de limites moins perméables au sein du réservoir, ou à un débit de pompage déjà supérieur aux capacités de production de l'aquifère thermal.

3.5.2 - Le forage SPDX1

Situé sur la commune de St-Paul-lès-Dax et autorisé pour la géothermie à 60 m³/h depuis août 1996, ce forage n'est pas encore exploité. Les essais de pompage réalisés en 1994 et en 1995, induisaient des rabattements de l'ordre de 6 à 7 m sur Dax pour un débit de 135 m³/h, et un rabattement de l'ordre de 3 m sur GDX1.

En juillet 1997 et en condition de "puits froid", **le niveau de l'eau dans le forage était mesuré à 20,42 m/TN soit à -11,12 m NGF (nettement sous le niveau de la mer)**. Pour un débit d'exhaure de l'ordre de 64 m³/h, et après arrêt d'un court pompage (tp = 440 minutes), le niveau s'était élevé à 5,55 m/sol soit à **+3,75 m NGF, en condition de "puits tiède"** (colonne d'eau allégée). En fin de pompage, la température de l'eau était à 58,4°C.

Comme préconisé pour GDX1, il serait très intéressant d'utiliser ce forage en tant que piézomètre avant sa mise en exploitation. Un capteur de pression de fond au toit du réservoir pourrait être couplé à des mesures très régulières à la sonde électrique, ou à un enregistrement en continu des variations de la profondeur du niveau de l'eau en tête du forage.

3.6 - Améliorations projetées de l'exploitation à SAUBUSSE

Alors que la **source de la Rouillère** située à l'intérieur de l'établissement n'est plus utilisée depuis longtemps, l'un des trois ouvrages exploités : le **forage HOURAT** (réalisé en 1991) a fait l'objet d'une demande de "réhabilitation-modernisation" couplée à une autre demande en vue d'un éventuel accroissement de son débit. Ce débit serait multiplié par 4, pour passer de 8 à 30 m³/h. On ne dispose sur cette station que de mesures ponctuelles de débits, de températures et de niveaux dynamiques enregistrées à l'occasion de tests de pompages sur GDX1, Sébastopol 1bis, et SPDX1, mais pas d'enregistrement des débits ou des volumes, ni des températures, conductivités, ou niveaux sur chacun des trois forages exploités. Ces informations, si elles avaient été disponibles, auraient sans doute alerté l'exploitant plus tôt sur les désordres observés, puis été examinées de façon attentive dans le cadre d'un diagnostic précis en préalable aux deux demandes de réfection de l'ouvrage et de prélèvements supérieurs.

L'accroissement de la turbidité avec des particules argileuses ou sableuses (dolomitiques), le blocage de la pompe par collapse du tubage acier sur le seul forage HOURAT, signifient que l'origine des désordres est sans doute locale. Ce n'est probablement pas l'aquifère thermal qui a été affecté d'une quelconque interférence sur le site de Saubusse par des ouvrages distants de 8 km pour Seb1bis, et de 10 km pour SPDX1 (encore non exploité).

Sur le site de Saubusse, les changements de débits de façon assez irrégulière entre 60 m³/h en haute saison et à moins de 30 m³/h pour les mois de fermeture, les variations journalières de ces débits avec de fréquents arrêts et reprises des pompages, le choix et la qualité des équipements d'origine en tubages et en matériel de pompage, sont autant d'indices d'une cause locale probable des désordres qui ont affecté les équipements de ce forage.

D'où l'intérêt de procéder périodiquement, par exemple tous les deux ans, à un examen détaillé de l'état des équipements et à une vérification de la productivité des ouvrages par visualisation vidéo-caméra, par diagraphies de production, et par essais de pompage notamment par paliers.

3.7 - Spécificité de TERCIS

La **source de la BAGNERE** et le **forage de BAGNERE 2** fonctionnent normalement et satisfont à l'ensemble des besoins de la station thermique sans problèmes particuliers. La spécificité de ce site tient à son isolement connu, à l'écart du point de vue des caractéristiques de la physico-chimie des eaux et hydrodynamiques de toutes les autres stations du Bas-Adour.

Les eaux sont chlorurées sodiques et sulfurées très minéralisées (plus de 2 g/l) et émergent à la température de 37 à 38,5°C. Des dispositifs d'enregistrements de la température de l'eau et de la conductivité et de contrôle des volumes exploités des deux ouvrages sont à mettre en place, pour *"démontrer la stabilité des conditions de niveau, et la constance des éléments majeurs et de la qualité des eaux"*.

4 - DISPOSITIFS D'ENREGISTREMENTS ET DE SUIVI A METTRE EN PLACE

4.1 - Enregistrements préconisés sur chaque site thermal

Pour les 6 stations en activité et sur la totalité des puits, sources, ou forages exploités (19 au total), sur les quelques piézomètres pour l'instant disponibles (1) ou pour les ouvrages profonds qui n'ont pas encore été mis en exploitation (2), il est de l'intérêt régional, et des exploitants eux-mêmes, de *disposer d'enregistrements fiables, validés par des mesures ponctuelles de contrôle.*

Les analyses d'eau périodiques pratiquées par la DDASS rendent compte ne serait ce que 2 ou 3 fois par an, mais depuis plus de 20 ans, de la constance, ou de la dérive des teneurs en éléments principaux. On en tire des historiques riches en enseignements même si les données sont assez peu nombreuses, pouvant se traduire par des alertes et par des recommandations en direction certes de l'administration, mais surtout des thermalistes.

Pour les ouvrages en exploitation sur chaque site, deux types d'informations sont à acquérir avec des outils modernes de mesures et d'enregistrements :

- *sur les débits et les volumes exploités* (volet quantitatif), associés aux *mesures des niveaux piézométriques et dynamiques*, avec la mise en place de limnigraphes et/ou de capteurs de pression, doublés des mesures de fond, de compteurs volumétriques, ou de débitmètres électromagnétiques,
- *sur les éléments chimiques qui sont les plus directement marqueurs de la typologie des eaux : température de fond de surface* (sonde PT 100 ou équivalent), *conductivité* (conductivimètre avec une précision de 0,5%), *éléments majeurs*, secondaires et en traces, ou marqueurs de son altération par des eaux exogènes et par des "parasites" bactériologiques synonymes de pollution (volet qualitatif).

Les *mesures seront journalières ou enregistrées en continu* : débits et volumes, piézométrie, température, conductivité, turbidité, selon *une fréquence trimestrielle à annuelle* pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques, et *pluri-annuelle* pour les analyses isotopiques.

Outre les prélèvements physico-bactériologiques, des analyses sur eau "brute", les mesures et les enregistrements en continu qui sont préconisés devront *se situer "au plus près" de l'arrivée des eaux thermales à la surface du sol*, au droit des vasques des émergences naturelles pour les sources, sur un by-pass de la conduite d'exhaure pour l'exploitation par pompage des puits et des forages.

Le libre accès aux différents sites, aux mesures de niveau et de débits, et aux prélèvements sur eau brute, devront être assurés, ou à défaut imposés.

Les mesures effectuées, validées et enregistrées seront mises en forme par les exploitants en tableaux de données et en graphes représentatifs de l'évolution des niveaux et des volumes, de la température et de la conductivité de l'eau, ou des teneurs en certains éléments.

Les validations des données (et les historiques) doivent conduire à minimiser les incertitudes sur les mesures pour qu'une incidence sur la physico-chimie des eaux ou sur la piézométrie soit imputable à une cause extérieure au dispositif ou à l'appareil de mesure.

Les ouvrages proposés pour les suivis par les exploitants, des caractéristiques de l'aquifère thermal sont rappelés ci-après :

Commune	Ouvrage	Commune	Ouvrage
Dax	Baignots 4	St-Paul-les-Dax	Sébastopol 1bis
	Boulogne 2		SPDX1
	Elvina	Gamarde	Vieux Buccuron
	Fontaine Chaude		Buccuron II
	Place de la Course	Saubusse	Hourat
	Roth		Raja
	Stade		Berar
	GDX1		la Rouillère (source)*
Préchacq	Puits d'Eau froide (T5)	Tercis	la Bagnère 1 (source)*
	Montaigne 1		la Bagnère 2 (forage)
	Montaigne 2	Louer	Louer F1 "Lavigne"
	Darroze	Gourbera	Gourbera GO 01 (GDF)
	La Hire		
	Trou Madame (source)*	Donzacq	Les Eschourdes

** aménagement de déversoirs sur les sources et courbes de tarage*

Tableau 6 - Ouvrages proposés pour le suivi de l'aquifère thermal

Les mesures et enregistrements sur ces 27 points seront complétés par :

- le suivi des niveaux **des eaux de surface de l'Adour au Pont de Dax et au Pont de Pontonx**,
- **l'historique des précipitations** sur au moins trois stations climatologiques localisées entre Dax et la ride d'Audignon.
- le suivi de **la pression barométrique à Dax**.

4.2 - Fiches d'identification et de suivi des ouvrages

Un dossier de caractérisation du captage est présenté en annexe 6.

Il rassemblerait pour chaque station et pour chacun des points d'eau exploité :

- l'ensemble *des rubriques d'identifications* administratives et techniques relatives à l'état initial et actuel de l'ouvrage (**annexe 6.1**),
- les informations sur les éléments d'équipements en place,
- les résultats d'analyses et les mesures les plus récentes sur les paramètres physiques (T, C, pH, Eh, ..) et sur les éléments principaux (majeurs ou autres) de la chimie des eaux.

Une case est réservée aux faits marquants, aux aléas et aux incidents éventuels survenus, et aux références bibliographiques relatives aux études, aux travaux et essais entrepris.

L'historique tel qu'il est préconisé sur *la fiche annuelle de suivi en phase d'exploitation* (**annexe 6.2.**) devrait porter sur une année complète d'observation en intégrant les données sur l'utilisation, les débits et les volumes prélevés et sur les paramètres hydrodynamiques caractéristiques de l'ouvrage.

Ici encore les données, mesures, résultats et informations demandées seront instruites et complétées par les exploitants.

La validation de ces données passe évidemment par des contrôles réguliers du bon fonctionnement des compteurs, des capteurs, des enregistreurs et des sondes.

5 - FACIES HYDROGEOCHIMIQUES DES EAUX THERMALES DU BAS-ADOUR

Ce chapitre traite de la géochimie des eaux, thermales et non thermales au sein du Bas-Adour (interprétation d'analyses chimiques et isotopiques) et reprend les principales conclusions du rapport BRGM R 39538 de juin 1997, réalisé en collaboration avec l'EGID de Bordeaux III et du rapport R40047 de juin 1998.

Les différents faciès hydrogéochimiques rencontrés en Bas-Adour sont les suivants :

- le groupe des aquifères superficiels avec les nappes alluviales, les aquifères allant de l'Eocène au Pliocène, et la nappe des sables infra-molassiques. Ce sont des eaux peu minéralisées avec un faciès bicarbonaté-calcique, et qui présentent une conductivité inférieure à 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les études montrent l'existence d'eaux très anciennes dans les aquifères oligocène et éocène, une signature isotopique différente de celle des aquifères les plus superficiels (nappe alluviale et miocène) notamment pour le faciès des sables infra-molassiques de l'Eocène et pour les points échantillonnés dans l'Oligocène. Seuls les points de l'Eocène plus carbonaté présentent une signature proche de celle des aquifères les plus superficiels

Les groupes de Dax divisé en deux sous-groupes :

- Dax 1 au NE (forages d'Elvina, de Fontaine Chaude, de Place de la Course, du Stade, de Saint Christophe, et SPDX, forage géothermique de Saint-Paul-lès-Dax). *Les eaux y sont sulfatées, calciques et potassiques et riches en silice* (>30 mg/l), avec des températures comprises entre 52 et 63°C,

- Dax 2 au SW dont les eaux présentent des caractères proches de "Dax 1" mais tendant vers ceux des aquifères supérieurs. Un mélange plus ou moins marqué apparaît avec les eaux superficielles,

- le groupe de Gamarde dont *les eaux sont froides (17 à 18°C), chlorurées sodiques et sulfurées*, moyennement minéralisées (1400 mg/l), riches en bore et en brome,
- le groupe de Préchacq (forages Montaigne 1 et 2, du puits T5, des sources Darroze et La Hire) dont *les eaux sont très riches en sulfates et localement sulfurées*, leur minéralisation va de 1100 à 1400 mg/l, et jusqu'à 2100 mg/l pour la source de Trou Madame anciennement exploitée puis abandonnée. C'est le groupe le plus riche en sulfates (>500mg/l), légèrement sulfuré (6-7 mg/l), assez riche en silice, les eaux sont fortement calciques, magnésiennes et potassiques. Les eaux de ce groupe sont chaudes (57-60°C). Les eaux les plus minéralisées du forage Sébastopol à Dax se rattachent à ce groupe.
- le groupe de Saubusse auquel sont associés les ouvrages de GDX1 et de Sébastopol 1bis (sur St-Paul-lès-Dax) avec *des eaux sulfatées moyennement minéralisées*, sans trait chimique réellement dominant. Les températures y sont moyennes (36-42°C) et les sulfures n'y ont pas été mesurés.
- le groupe de Tercis regroupe les eaux plus minéralisées de la région (conductivité >3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) avec *des eaux chlorurées sodiques*. De températures moyennes (36-40°C) ces eaux présentent des traces de sulfures (1mg/l)

La minéralisation spécifique des eaux d'un même réservoir résulte d'une part de la dissolution de sels tels le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), et la halite (NaCl) que l'on retrouve dans les formations salifères des diapirs avec d'autres ions alcalins (K) et alcalinoterreux (Mg) et des halogénures (Cl et Br), et d'autre part de la dolomie ($\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$) qui constitue l'ossature du réservoir carbonaté thermal.

Elle résulte d'autre part d'interactions eaux - roche, des évolutions profondes liées aux temps de transfert et de résidence dans le réservoir, et de mécanismes de réduction des sulfates, et éventuellement d'une ré-oxydation partielle ou totale de ces sulfures lors de la phase d'ascension terminale. Ces phénomènes sont liés aux conditions de circulation des eaux en milieu plus ou moins confiné, au contact des évaporites, aux variations de pression partielle de pCO_2 , aux variations de température et de pression et à la présence de micro-organismes.

Les caractéristiques hydrogéochimiques sont indicatives de l'origine et du sens d'écoulement des eaux. Elles impliquent la prise en compte de possibles mélanges avec des eaux venant d'aquifères plus superficiels des séries allant de l'Eocène au Pliocène, avant d'atteindre les nappes "phréatiques" des terrasses et des nappes alluviales.

Les eaux les plus superficielles (nappe alluviale et plioquaternaire) sont bicarbonatées calciques (faciès stable dans le temps), peu minéralisées (conductivités $< 500 \text{ mg/l}$), de températures inférieures à 20°C , et dans lesquelles on retrouve des nitrates. La présence de tritium (^3H , isotope radioactif de la molécule d'eau) indique un âge inférieur à 50 ans pour ces eaux très superficielles. Cet âge récent est confirmé par un enrichissement en oxygène-18 (^{18}O) et en deutérium (^2H), isotopes stables de la molécule d'eau.

Dans les sables infra-molassiques, les eaux les plus anciennes présentent des âges estimés par la méthode carbone-14 entre 17 et 25 000 ans. Ces âges sont corroborés par une température au moment de leur recharge, estimée à partir des concentrations en gaz nobles, comprise entre 5 et 9°C , donc plus froide que la température moyenne actuelle. La recharge de ces eaux est donc anté-holocène. Il y a la possibilité au sein de l'aquifère à l'aval d'apports en sulfates, près des diapirs de Thétieu et de Dax notamment.

Les eaux du Dano-Paléocène et du Crétacé supérieur sont bicarbonatées calciques peu minéralisées et leur température est inférieure à 20°C , avec 2 faciès chimiques très différents :

- *sulfatées calciques moyennement minéralisées ($C \# 1000 \mu\text{S/cm}$), avec la présence de magnésium associé à la dolomite, et dont les températures vont de 50 à 70°C , comme à Dax et à Gourbera,*
- *chlorurées sodiques très minéralisées ($C > 3500 \mu\text{S/cm}$) et nettement plus froides comme à Tercis, à Gamarde, à Trou Madame.*

Toutes ces eaux thermales ont une origine météorique certaine, sans interaction à forte température avec les minéraux de l'aquifère.

Elles présentent toutefois des apports récents et de possibles mélanges avec les aquifères supérieurs et avec l'Adour correspondant aux "rajeunissements" qui ont été confirmés par les datations au ^{14}C et au tritium (^3H). Les mélanges entre les eaux thermales et les eaux superficielles peuvent atteindre 30 %.

Les temps de résidence indiquent d'une part des circulations rapides au travers des fissures et des fractures et des chenaux karstifiés en direction des émergences de surface, et d'autre part des circulations latérales plus lentes (transferts ou flux permanents) au travers de la macroporosité régionale des formations dans les parties profondes du réservoir thermal.

6 – PROPOSITIONS DE PIEZOMETRES

6.1 - Présentation et objectifs

Sur l'extrait de la carte structurale du toit des calcaires du réservoir thermal sous les marnes de l'Eocène (**figure 1**) on observe une série de chevauchements et de failles inverses orientées est-ouest qui traduisent la poussée vers le nord de la phase compressive pyrénéenne. Cet épisode tectonique majeur se poursuit par une série d'accidents cassants selon une orientation NW-SE avec un coulisage des compartiments compris entre ces failles. Les diapirs et les structures anticlinales se trouvant affectés par ces accidents sont donc antérieurs.

Pour parfaire la connaissance sur la géométrie des diapirs (diapirs de Dax et de St-Pandelon au sud, diapir de Dax au centre et diapir de Thétieu au NE) et du réservoir thermal en direction du diapir de Magescq vers le NW et de Bastennes vers l'Est, ou des structures anticlinales connues à l'affleurement comme celle de Tercis, ou profondes comme à Sébastopol et à Louer, et supposées ailleurs, un certain nombre d'actions sont à conduire parmi lesquelles :

- une reprise des diagraphies anciennes et une analyse sédimentologique fine des échantillons de roches, conservés en lithothèque (cuttings et carottes),
- une réinterprétation des différents résultats des prospections géophysiques qui ont été conduites, avec l'aide d'outils modernes d'interprétation et de caractérisation,
- une visualisation graphique ou cartographique en 2,5D et en 3D de ces structures majeures et des failles associées,
- un choix optimal des implantations de reconnaissances nouvelles par sondages sur des cibles nouvellement identifiées, suivi d'une valorisation maximale et multidisciplinaire des études, des essais et des résultats.

6.2 - Implantation et réalisation de piézomètres (figures 8 et 9)

La réalisation de sondages de reconnaissance va permettre de préciser la géologie, l'extension et les limites du réservoir thermal, et, avec un équipement minimal, de disposer d'une piézométrie fiable et indépendante, située à l'écart des exploitations en cours.

L'implantation de 8 piézomètres proposée en **figures 8 et 9** tient compte de l'existant, et situe les ouvrages "à créer" sur les points les plus hauts des structures (carte de la figure 1) de façon à limiter leur profondeur (tableau 7). Elle tient compte de la "piézométrie" établie en 1997 habillée des directions supposées des écoulements souterrains.

Ces 8 sondages qui seront transformés en piézomètres d'observation ont pour but de lever les incertitudes sur les écoulements souterrains profonds dans le réservoir thermal.

Ils permettront de *préciser les piézométries* (ou charge hydraulique calculée) suffisamment *à l'écart des stations thermales* pour ne pas être perturbées par les exploitations en cours.

Les profondeurs sont très indicatives.

Numéro	Dénomination	Profondeur Prévisionnelle	Remarques sur les implantations
1	MAGESCQ*	600 m	dans l'axe du diapir de Magescq vers l'est, ancien forage pétrolier (cf. coupe en annexe 7))
2	PONTONX	900 m	au nord de la structure de Préchacq, en rive droite de l'Adour
3	MONTFORT	600 m	entre Gamarde et les Eschourdes, vers le diapir de Bastennes au SE
4	SEBASTOPOL OUEST	1300 m	selon l'axe anticlinal de Seb 1bis, à 5 km vers l'ouest
5	DAX ENE	1200 m	en avant du diapir de Dax à 1500 m à l'ENE du stade
6	DAX SUD	600 m	à 3 km au sud de Dax en direction du diapir de St-Pandelon
7	CLERMONT	800 m	anticlinal dans le prolongement SE du diapir de St-Pandelon
8	SAINT-LON	800 m	au nord de l'anticlinal de St-Lon, compartiment de Tercis (?)
TOTAL	8 piézomètres de 600 à 1300 m de profondeur	6 800 m	profondeur moyenne # 850 m

Tableau 7 - Piézomètres "à créer", descriptif et profondeurs prévisionnelles

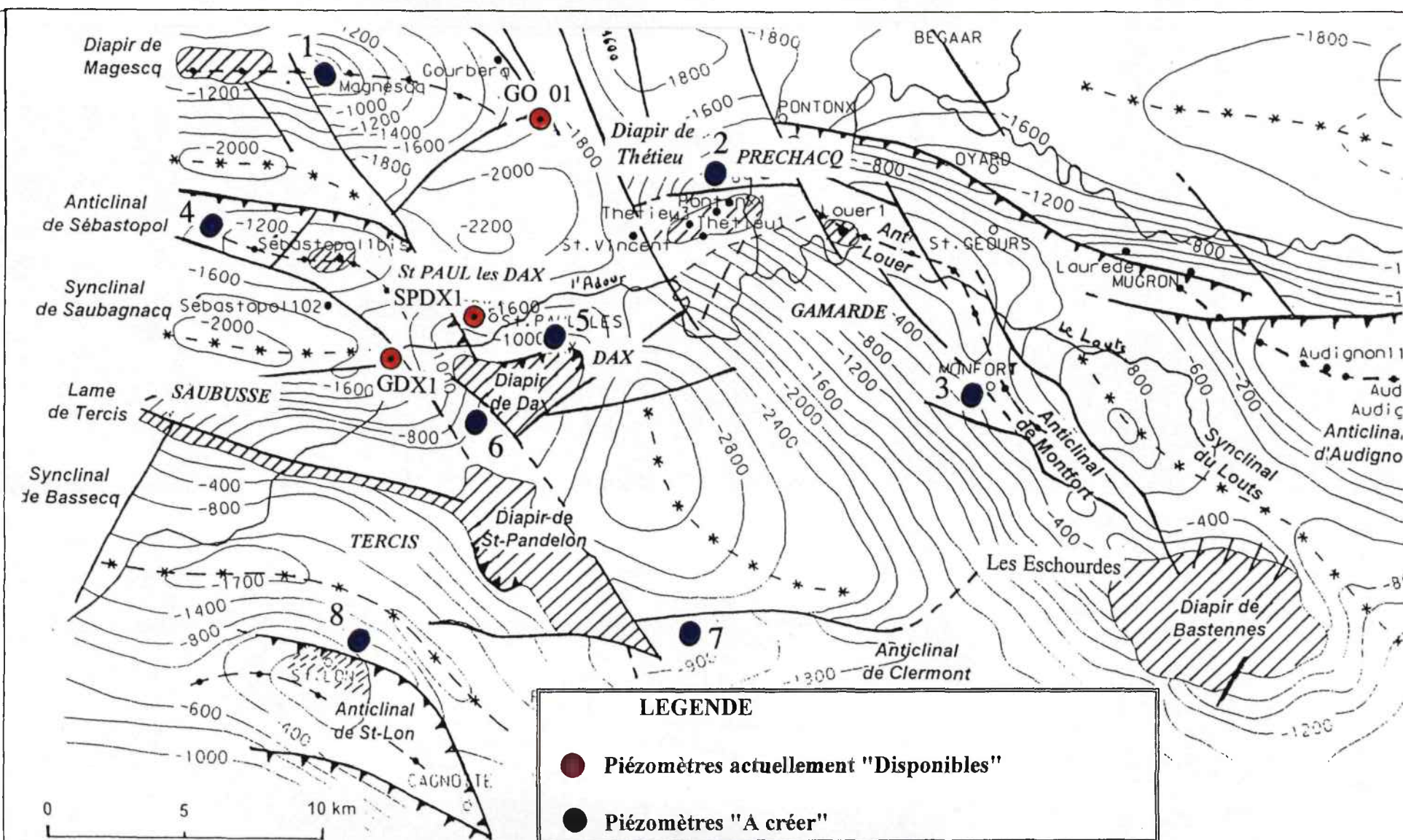


Fig. 8 - Implantation des piézomètres à créer

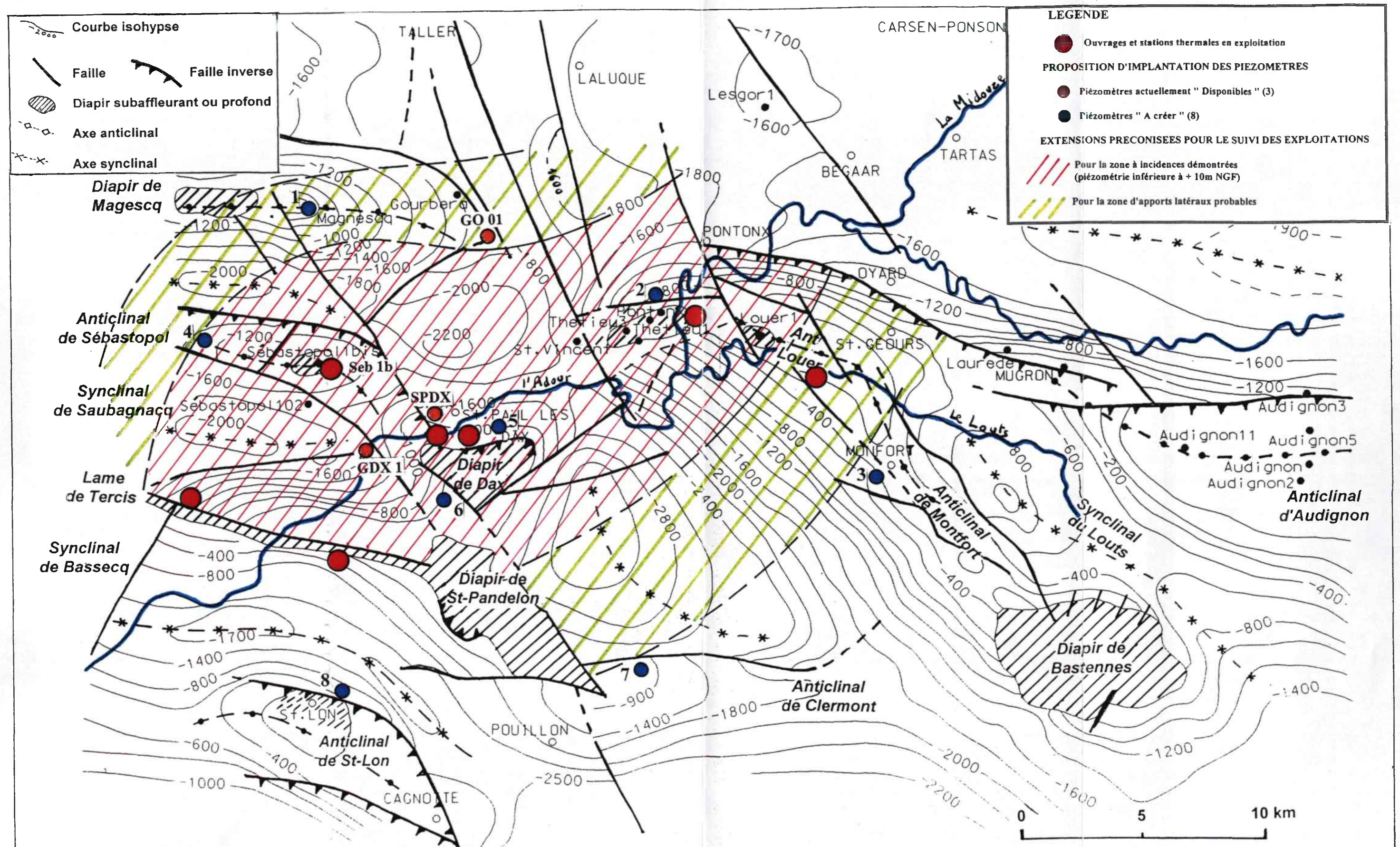


Fig. 9 - Extension et suivi de l'aire d'émergence des eaux thermales du Bas - Adour

La fiche technique du forage de MAGESCQ (Mq 1) est reproduite en **annexe 7**. Cet ouvrage pétrolier tout comme celui de SEBASTOPOL 1 Bis, pourrait faire l'objet d'un diagnostic précis dans le cas où sa réhabilitation pourrait être envisagée. Il s'agirait alors, sur la base d'une approche sédimentologique et hydrogéologique, de définir quelle(s) formation(s) à capter, ses cotes au mur et au toit.

Nous reproduisons en **annexe 8** une première estimation sur le montant de la réalisation des 8 piézomètres. Leur profondeur se situerait entre 600 m pour les moins profonds et 1300 m pour le plus profond (sous réserve de confirmation), avec 6 ouvrages sur 8 de moins de 900 m.

*Le mètre total serait de l'ordre de 6800 m pour les 8 piézomètres,
et le montant a été évalué à 7,8 MF HT soit en moyenne 1 MF par forage.*

Après suffisamment d'éléments recueillis et analysés sur ces travaux et essais touchant à plusieurs disciplines de la géologie, et sous réserve de résultats probants tant en débits qu'en température de l'eau, ils pourront être transformés en forages d'exploitation.

La localisation si possible sur l'apex des structures anticlinales est plus favorable à l'obtention de bons débits par suite d'une "ouverture" préférentielle des strates et des fractures, et à la mise en évidence des températures les plus élevées.

L'équipement de ces forages pourrait constituer un volet important qui serait intégré dans un programme d'investissements en direction du développement d'un thermalisme "moderne", assurant la fourniture d'une eau de qualité et stable, parfaitement isolée des aléas de contaminations et de mélanges avec des eaux superficielles.

7 - DELIMITATION D'UNE ZONE "DE SENSIBILITE OU DE PROTECTION"

Les hydrogéologues et hydrogéochimistes admettent la présence d'*un réservoir thermal unique* contenu dans les formations calcaréo-dolomitiques du Dano-Paléocène et du Crétacé supérieur associées.

Les préoccupations locales des gestionnaires thermaux, administrations et Syndicat des thermalistes en Bas Adour, doivent être accompagnées d'une vision régionale et globale, et d'une gestion concertée de la ressource thermique, certes renouvelable, d'origine météorique prouvée, mais vulnérable dans des secteurs sensibles en relation avec l'Adour, *car l'aquifère thermal réagit vite aux différentes sollicitations auxquelles il est soumis.*

Une zone dite « de sensibilité » ou « à protéger » tient compte de deux aspects :

- un transfert de masse relativement lent, qui s'effectue en profondeur, à l'abri des contaminations,
- un transfert de pression très rapide .

Des investigations complémentaires sont nécessaires pour trancher. Les résultats du piézomètre n°2 programmé à Pontonx en rive droite de l'Adour et au nord du diapir seront très instructifs.

Le concept de délimitation d'une zone "*sensible*" ou d'un "*périmètre de protection globale de la ressource thermique*" doit être assorti de contraintes visant à protéger le système thermal des exploitations pouvant induire des « *désordres* » ou « *impacts négatifs* » dans des zones sensibles particulièrement vulnérables.

Dans des zones définies, des précautions particulières sont à prendre, et les mesures, les diagraphies, les essais ou les analyses in-situ ou différées devront faire l'objet de conditions précises de programmation et d'exécution assorties aux autorisations qui seraient données en matière de reconnaissances et d'exploitations actuelles et futures.

Ces mesures concerneraient les phases d'études préalables, de définition des objectifs, des travaux, et des abandons. L'étape visant à initier une future exploitation serait à définir dans des limites très précises.

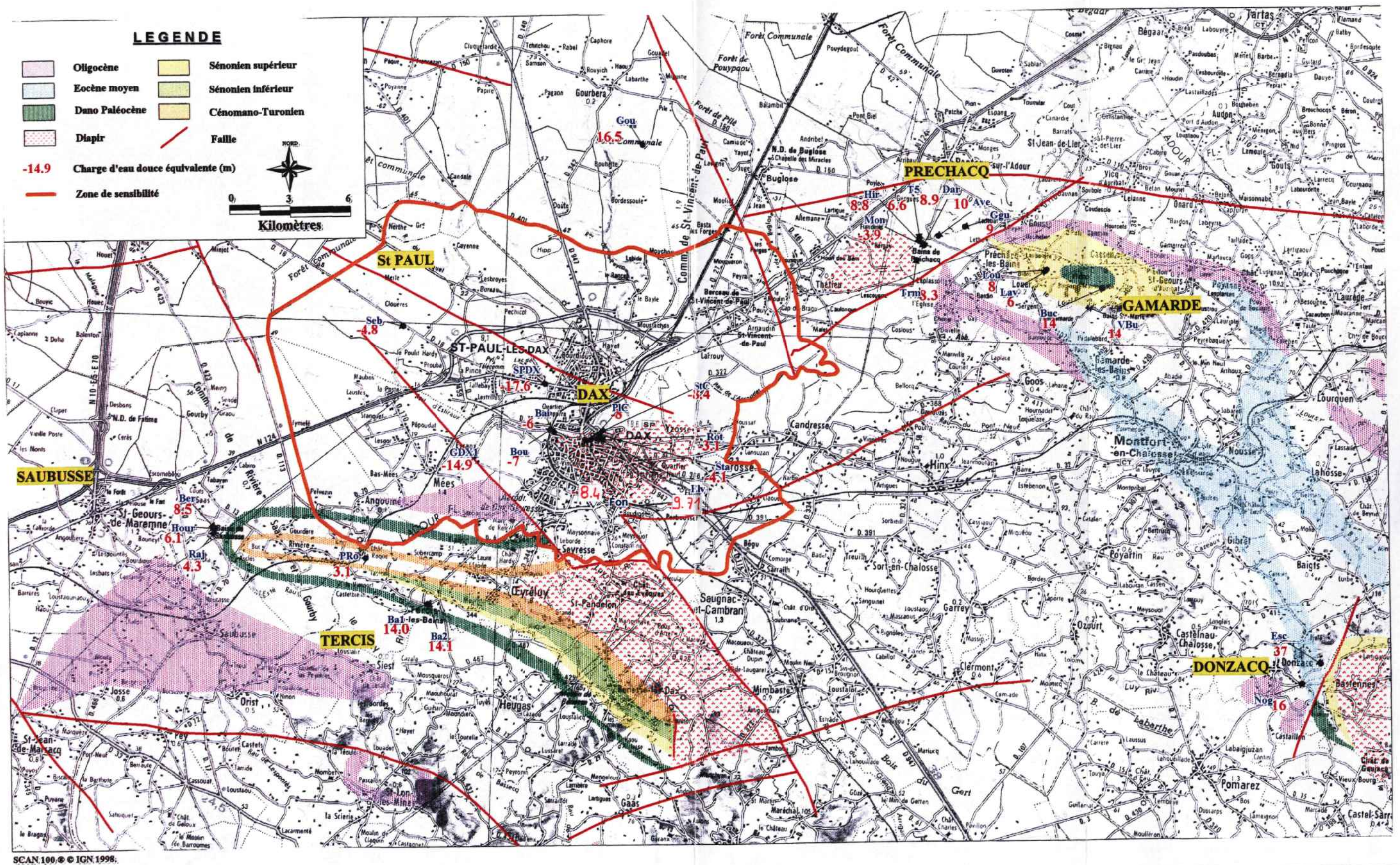


Fig. 10 - Répartition géographique des charges hydrauliques équivalentes et délimitation de la zone de sensibilité

Les principales contraintes sont liées aux exploitations de DAX et de PRECHACQ qui sont en liaison avec les eaux de l'Adour et de sa nappe d'accompagnement.

En **annexe 9** sont reproduites quelques données de la RME récapitulant l'évolution des teneurs en éléments majeurs dans les eaux thermales des forages de Dax depuis juillet 1993 jusqu'en septembre 1998.

L'exemple du forage de la PLACE de la COURSE est donné (*tableau de valeurs et graphes*) avec les teneurs moyennes suivantes :

$$\text{SO}_4 = 378 \quad \text{NO}_3 = 0,14 \quad \text{Cl} = 151 \quad \text{HCO}_3 = 158 \quad \text{en mg/l}$$

L'évolution constatée sur 4,5 ans de mesures montre que les variations les plus fortes affectent les sulfates (écart-type de 9,6), les autres éléments ont des teneurs très constantes.

Les mesures et enregistrements sur Gamarde et Gourbera sont représentatifs de la zone "moins sensible".

Ceux de Dax et de Préchacq représentent la "zone plus sensible".

Les infiltrations et les mélanges qui alimentent l'aquifère thermal, sont régis par les charges hydrauliques. Un essai de délimitation est proposé en figure 10.

La zone à protéger est délimitée en fonction des critères suivants :

- charges d'eau douce équivalentes négatives.
- espaces au sein desquels des interférences entre ouvrages ont été constatées.
- objets géologiques de type diapir – failles majeures – plis structuraux qui peuvent constituer des drains préférentiels et/ou des écrans aux circulations d'eau souterraine.
- limites administratives ou routières facilement identifiables et reportables dans un document administratif.

Elle correspond grossièrement à un rectangle de 25 kilomètres de longueur –Est –Ouest) sur 15 kilomètres de large (Sud-Nord). Incluant les villes de Dax et Saint-Paul-lès-Dax.

Dans l'état actuel des connaissances, les ressources en eau des stations de Préchacq, Saubusse, Tercis et Gamarde, semblent pouvoir être protégées séparément.

8 - MISE EN PLACE D'UN COMITE DE SUIVI DE L'AQUIFERE THERMAL

Les données recueillies qui sont propriété des exploitants pourraient être mises à disposition d'un Comité de Suivi dès lors que ce dernier serait constitué.

Ces différentes mesures seront validées, traitées, mises en forme sous forme de tableaux et de graphiques, et, pour celles qui sont communes, tenues à la disposition des exploitants. Les suivis des mesures et l'analyse des incidences prévisionnelles par modélisation mathématique dans des cas particuliers de tests en vraie grandeur, de pompages, de réalisation de nouveaux forages et d'autres interprétations spécifiques qui pourraient être effectuées, seraient disponibles pour toutes les parties.

Il faudra intégrer aux exploitations pour les usages thermaux et d'embouteillage tous les autres prélèvements (géothermiques, agricoles, industriels, ..) et les incidences extérieures au secteur du Bas-Adour afin de faire état de certaines évolutions, et, après analyse, d'en comprendre l'origine.

La coordination de ce suivi devra être assurée par une cellule indépendante désignée par les exploitants sous le contrôle de la DRIRE en liaison avec les services compétents de la Préfecture en charge de prendre les arrêtés administratifs.

La constitution de ce Comité de Suivi en charge de la gestion et de l'exploitation "coordonnée" du réservoir thermal, le nombre et la désignation de ses membres, administrations et exploitants, l'étendue géographique et technique de ses compétences restent à définir. Son organisation pourrait être calquée sur un « *SAGE Bas Adour* », avec constitution d'une C.L.E. (Commission locale de l'Eau).

Il s'agira dans une première étape de ***disposer d'un suivi permanent et en temps réel de l'état d'exploitation de la ressource thermique*** basé sur le recueil et l'analyse d'un ensemble de données indicatives en différents points et de façon globale des réactions du réservoir aux multiples sollicitations et interférences. Pour ce faire, les données de base nécessaires sont l'historique des volumes prélevés et des débits ponctuels, la visualisation de l'évolution des niveaux, de la température, de la conductivité et de la physico-chimie des eaux du réservoir thermal : en phase d'exploitation normale, et aussi et surtout lors de la réalisation d'essais de pompage, et de mettre en place le réseau de piézomètres proposés.

Dans une deuxième étape il serait opportun de définir des actions "d'intérêt général" mais parfaitement ciblées sur des thèmes précis, avec pour principaux objectifs ceux qui vont conduire à une meilleure connaissance des réactions du réservoir thermal dans son ensemble, et comme nous l'avons déjà souligné, à l'écart le plus possible des exploitations en cours.

Ces actions prendraient le relais de celles conduites depuis 3 ans grâce aux seuls financements de la DRIRE et de la Direction Nationale des Eaux Thermales et Minérales (DNETM), sur dotation du BRGM, Service Public.

A charge pour ce Comité de Suivi de créer, le réseau de piézomètres, d'équiper l'ensemble des sites en appareils de mesures et de constituer un véritable échange de données pour gérer en commun la ressource exploitée.

Une carte de synthèse (**figure 10**) illustre l'extension et les suivis proposés de l'aire d'émergence des eaux thermales du Bas Adour.

9 – ESSAI DE SIMULATION NUMERIQUE DE L'EMERGENCE D'EAU CHAUDE DE DAX

Pour illustrer les phénomènes d'ascendance thermique tels qu'ils se manifestent à Dax, un modèle thermo-hydraulique 2D en coupe verticale a été construit. La configuration hydrodynamique étudiée est présentée par la figure 11. Il s'agit d'une coupe verticale (x,z), représentation très simplifiée du contexte hydrogéologique de Dax, comprenant 3 aquifères séparés par 2 épontes. Les deux aquifères profonds sont mis en communication au niveau d'une zone fracturée bordée à l'Ouest par une structure géologique constituant une barrière étanche (par exemple un diapir).

9.1 – Présentation du modèle

Le maillage du modèle comprend 60 colonnes de 50 m de largeur (soit 3000 m d'extension longitudinale) et 40 lignes de 50 m de hauteur (soit 2000 m d'épaisseur au total). Les 5 unités hydrogéologiques (3 aquifères + 2 épontes) sont subdivisées en plusieurs couches de mailles.

Seuls les effets thermiques sont considérés (effets de la salinité non pris en compte).

Le logiciel utilisé est le logiciel MARTHE du BRGM.

• Conditions aux limites

	Hydrodynamique	Thermique
Limite Est (amont)	- Flux imposé pour les aquifères - Flux nul pour les épontes	Gradient géothermique imposé (3° / 100 m) de 75 ° à z=-2000 m à 15 ° en surface
Limite Ouest (aval)	- Flux nul (barrière étanche)	Flux nul (limite adiabatique)
Limite supérieure (toit de la nappe alluviale)	- Charge imposée sur 20 mailles à l'amont - Charge imposée sur le cours d'eau - Cotes de débordement à l'aval	Température de 15°C imposée sur 50 mailles amont
Limite inférieure (substr. aquifère profond)	Flux nul	Température de 75° C imposée

• *Données*

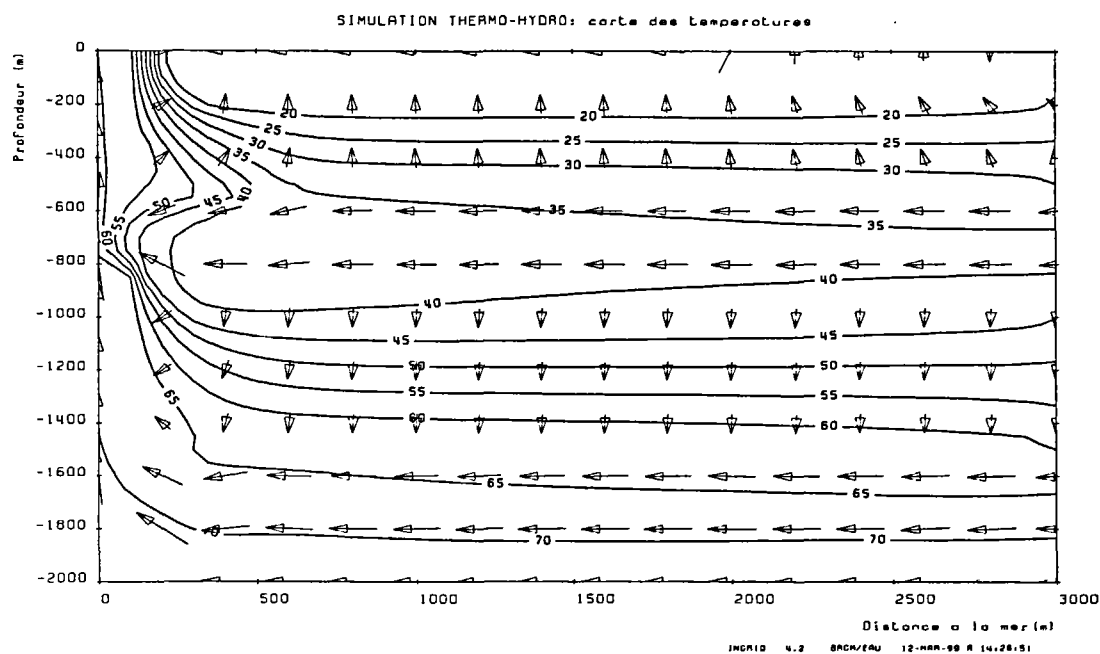
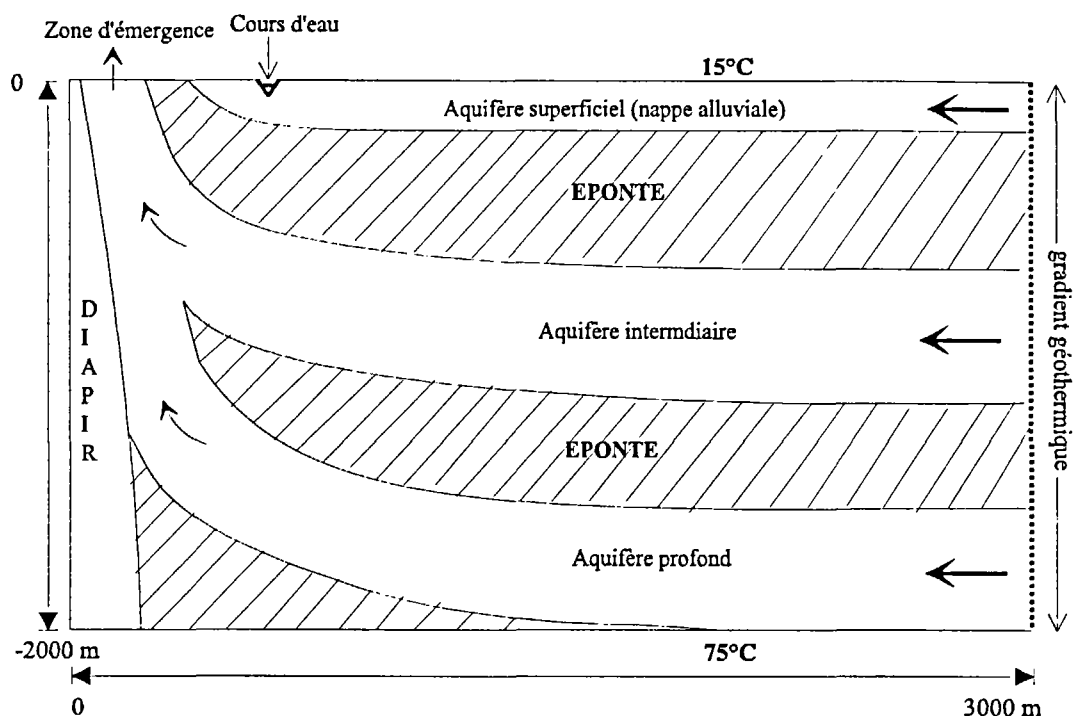
	Aquifère superficiel	Aquifère intermédiaire	Aquifère profond	Zone faillée	Eponte 1	Eponte 2
Perméabilité intrinsèque (10^{-11} m ² /s)	5	2	4	5	10^{-5}	10^{-6}
Conductivité thermique de la roche (W/m/°C)	2	2	2	6	2	2
Chaleur spécifique volumique de la roche (10^6 J/m ³ /°C)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

• *Autres paramètres du transport de chaleur :*

dispersivité longitudinale : 50 m
 dispersivité transversale : 5 m
 conductivité thermique de l'eau : 0.6 W/m/°C
 chaleur spécifique de l'eau : 4185 J/kg /°C

9.2 – Résultats

La figure 12 présente la carte des températures et le champ de vitesses. On notera la déformation très importante des isothermes au niveau de la zone de remontée des eaux, avec en particulier l'affleurement de l'isotherme 60° C en surface (et donc la remontée d'eau chaude). Cette ascendance thermique a aussi pour conséquence le réchauffement des eaux de l'aquifère intermédiaire au voisinage de la zone faillée (avancée de l'isotherme 40°C jusque en X = 500m) .



CONCLUSIONS

Face aux intérêts des thermalistes et des autres exploitants des eaux souterraines, il importe pour les premières prochaines années de l'ère 2000 de disposer et de mettre en place des moyens performants et efficaces pour assurer une gestion rigoureuse et optimisée de l'exploitation de la ressource au droit des ouvrages et sur l'ensemble du réservoir thermal sollicité, dans le Bas Adour.

La méconnaissance des mécanismes sur le gîte thermo-minéral de Dax en matière de puits et de forages immédiatement voisins, s'est traduite pendant une vingtaine d'années par des interférences et par des incidences dommageables sur les conditions d'exploitation en matière de débits et de la qualité des eaux.

Pour faire vivre « *l'image* » que représentent les eaux thermales, les noms prestigieux qui leur sont associés, ce n'est plus seulement la « *source ou l'émergence* » qui doit être l'objet d'attention, mais le réservoir qui lui est associé en amont et qui doit être scientifiquement appréhendé, en volume disponible et renouvellement de flux. Les spécificités des captages en profondeur ou aux exutoires devront être prises en compte.

La connaissance de la géométrie de l'aquifère thermo-minéral, de sa genèse (sédimentologie et lithologie), et des structures profondes qui l'ont affecté, de ses limites et de leur rôle, est fondamentale. Les paramètres hydrodynamiques, la dynamique des écoulements souterrains déduits d'essais, de l'examen attentif de la piézométrie ou des "Charges Hydrauliques Equivalentes Calculées", mais aussi de la tectonique, sont à compléter, pour préciser des causes des impacts.

L'extension géographique du réservoir thermal, *des zones à incidences démontrées et des zones d'apports latéraux probables ne sont pas totalement démontrées*. Les réalisations de piézomètres permettront d'avancer dans les connaissances, qui rendront compte avec les analyses et les essais hydrauliques des possibilités et/ou des limites du système, des biens fondés des recommandations préconisées.

C'est probablement vers des ouvrages profonds naturellement protégés qu'on devra s'orienter pour disposer d'eau chaude et de qualité durable, pour lutter contre les risques de mélanges avec des eaux ou avec des nappes plus superficielles, et donc en principe plus vulnérables.

Des choix sont à faire en matière de normalisation, validation, conservation, exploitation et accès aux données, de surveillance et de suivi. A l'initiative des exploitants, un **Comité de Suivi** coordonné par la DRIRE en liaison étroite avec les services de la Préfecture est proposé.

Trois années d'investigation sur la ressource thermique du Bas Adour ont permis :

- de regrouper dans un document facilement consultable l'ensemble des connaissances accumulées sur les sept exploitants de DAX, St-PAUL-lès-DAX, THERMES ADOUR, PRECHACQ, SAUBUSSE, TERCIS et GAMARDE,
- d'identifier les *cadres géologique et hydrogéologique* de la ressource thermique exploitée,
- de comprendre *les conditions d'écoulements, d'acquisitions des températures et des qualités chimiques des eaux et des modifications saisonnières ou conjoncturelles*,
- de localiser les *zones sensibles* et *d'évaluer les impacts* des exploitations sur l'aquifère thermal, par *intrusion des eaux de l'Adour et des nappes alluviales*,
- de rappeler les *interférences entre les ouvrages* et les impacts générés,
- de proposer un périmètre de protection dit « *zone à protéger* »,
- de proposer la création de *huit piézomètres* de suivi de l'aquifère thermal et régional profond,
- de proposer la création *d'un comité de suivi* dont la mission sera de mettre en place les propositions ci-dessus et de poursuivre la tâche engagée,

Un outil de gestion, par modélisation hydrodynamique, thermique et chimique (densitaire) avait été envisagé. Il n'a pu être réalisé car le financement nécessaire n'a pu être réuni. Sa construction est souhaitable. Un essai de calcul en coupe a été proposé. Il restitue bien les phénomènes observés.

Références bibliographiques

- 1] Burger A. -1984 - Thermique des nappes souterraines .Presses polytechniques romandes.
- 2] De Wiest - 1969 - Flow through porous media - Academic Press New York London
- 3] Lachassagne P. - 1998 - Note de calcul (interne BRGM).
- 4] Lusczynski .N.J. - 1961 - Heat and flow of groundwater of variable density.
Journal of Geophysical Research - Vol. 66 , n° 2 - 1961.
- 5] Rowe A.M. , Chou J.C.S. - 1970 - Pressure-Volume-Temperature-Concentration Relation of Aqueous NaCl Solutions.
Journal of Chemical and Engineering Data - Vol.15 n° 1 - 1970.
- 6] Vandenbeusch M. - 1976 Essais et mise en production des aquifères profonds. Corrections de salinité, pression et température sur les mesures piézométriques.
Rapport BRGM 76 SGN 482 AME

ANNEXE 1

**EXEMPLES DE COURBES DE VARIATION DE LA MASSE
VOLUMIQUE EN FONCTION
DE LA TEMPÉRATURE ET DE LA SALINITÉ
(calculs avec les formules BRGM et GDF)**

1) Masse volumique en fonction de la température à pression et salinité données

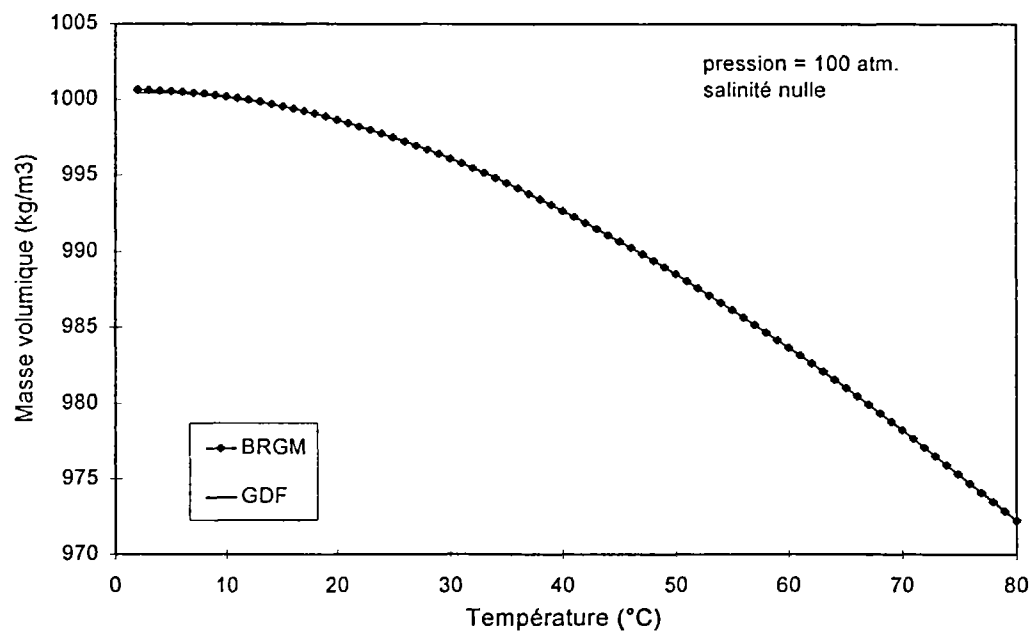


Figure 2 a - Variation de la masse volumique de l'eau en fonction de la température à P = 1 atm. et S = 0

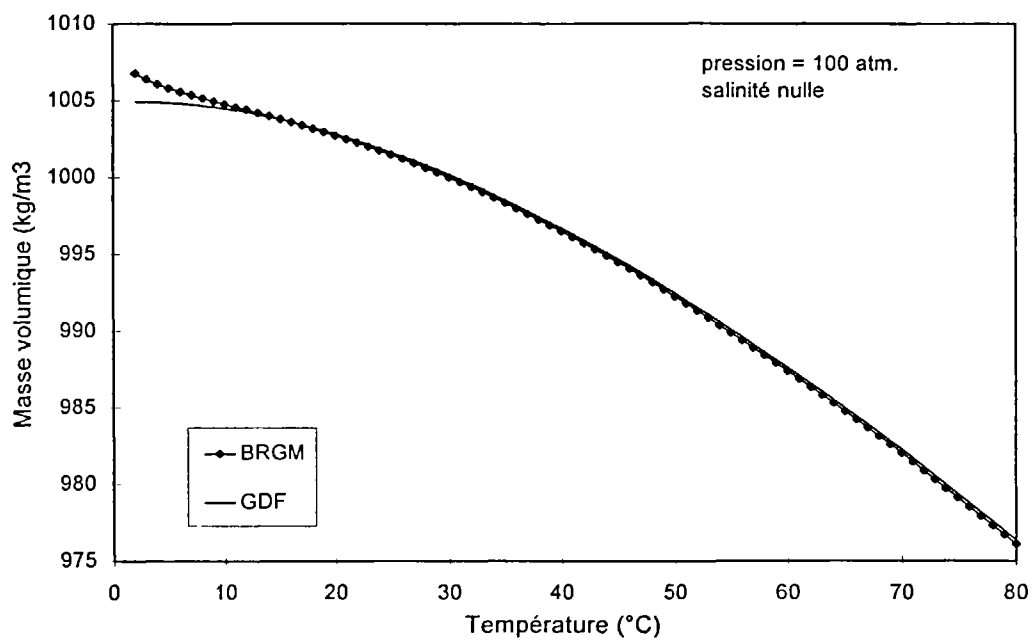


Figure 2 b - Variation de la masse volumique de l'eau en fonction de la température à P = 100 atm. et S = 0

2) Masse volumique en fonction de la salinité à pression et température données

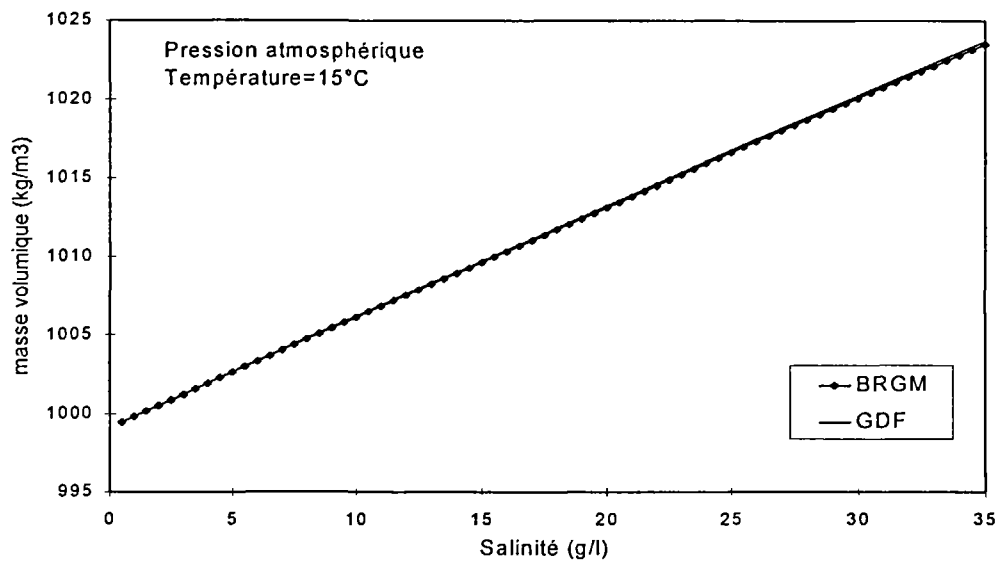


Figure 3a - Variation de la masse volumique de l'eau en fonction de la salinité à T=15° et P=1 atm.

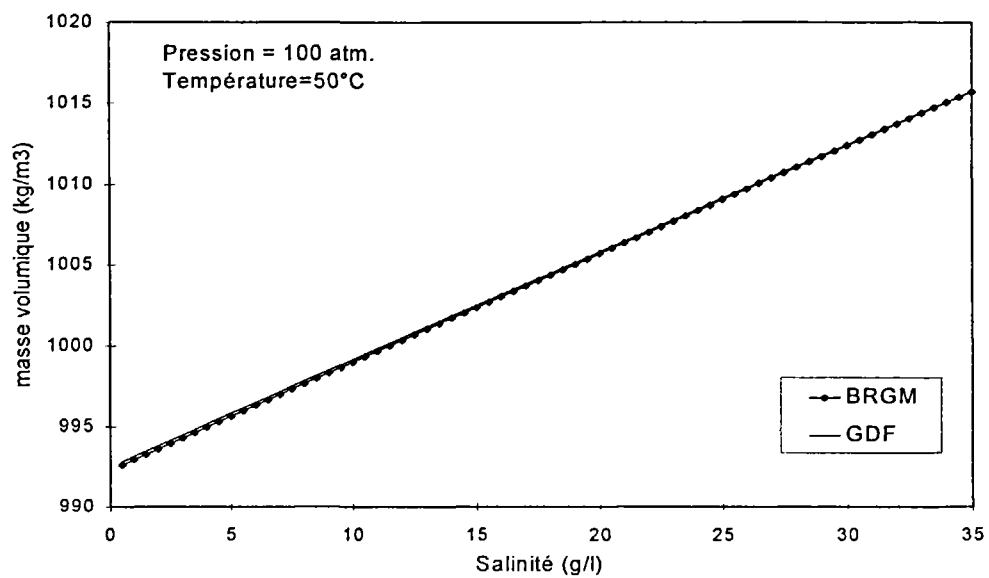


Figure 3b - Variation de la masse volumique de l'eau en fonction de la salinité à T=50° et P=100 atm.

ANNEXE 2

COUPE TECHNIQUE DU Puits DE GOURBERA GOO1

Coupe technique du puits de GOURBERA GO01 (doc. GdF)

	Coordonnées géographiques		X = 328 700,00 Y = 171 004,00 Z = 55,30 m	
ETAGES / FORMATIONS / LITHOLOGIE		EPAISSEUR (m)	PROFOND. (m) / sol	TUBAGE
QUATERNAIRE - MIOCENE CONTINENTAL		62,00	0,00	Tube guide 20"
MIOCENE INFÉRIEUR - AQUITANIEN		63,00	62,00	
OLIGOCENE	CHATTIEN SUPÉRIEUR	310,00	125,00	
	RUPELIEN SUPÉRIEUR	359,00	435,00	Tubage 9" 5/8
	RUPELIEN INFÉRIEUR	96,00	794,00	
EOCENE	PRIABONIEN	410,00	890,00	Tubage 7"
	BARTONIEN	100,00	1300,00	
	LUTETIEN SUPÉRIEUR	351,00	1400,00	
	YPRESIEN INFÉRIEUR	70,00	1751,00	Liner 4" 1/2
PALEOCENE	THANETIEN SUPÉRIEUR	17,50	1821,00	
	DANIEN	81,00	1838,50	
CRETACE SUPÉRIEUR	MAASTRICHIEN	74,50	1919,50	
	CAMPANIEN	113,00	1994,00	
	SANTONIEN	13,00	2107,00	
	CONIACIEN TURONIEN	88,50	2120,00	
FOND SONDEUR			2208,50	

Sabot 20"
33,20 m

Sabot 9" 5/8
399,59 m

DV 9" 5/8
815,49 m

Top hanger
1612,45 m

Sabot 7"
1776,44 m

Sabot liner
1893,88 m

Données GAZ DE FRANCE

ANNEXE 3

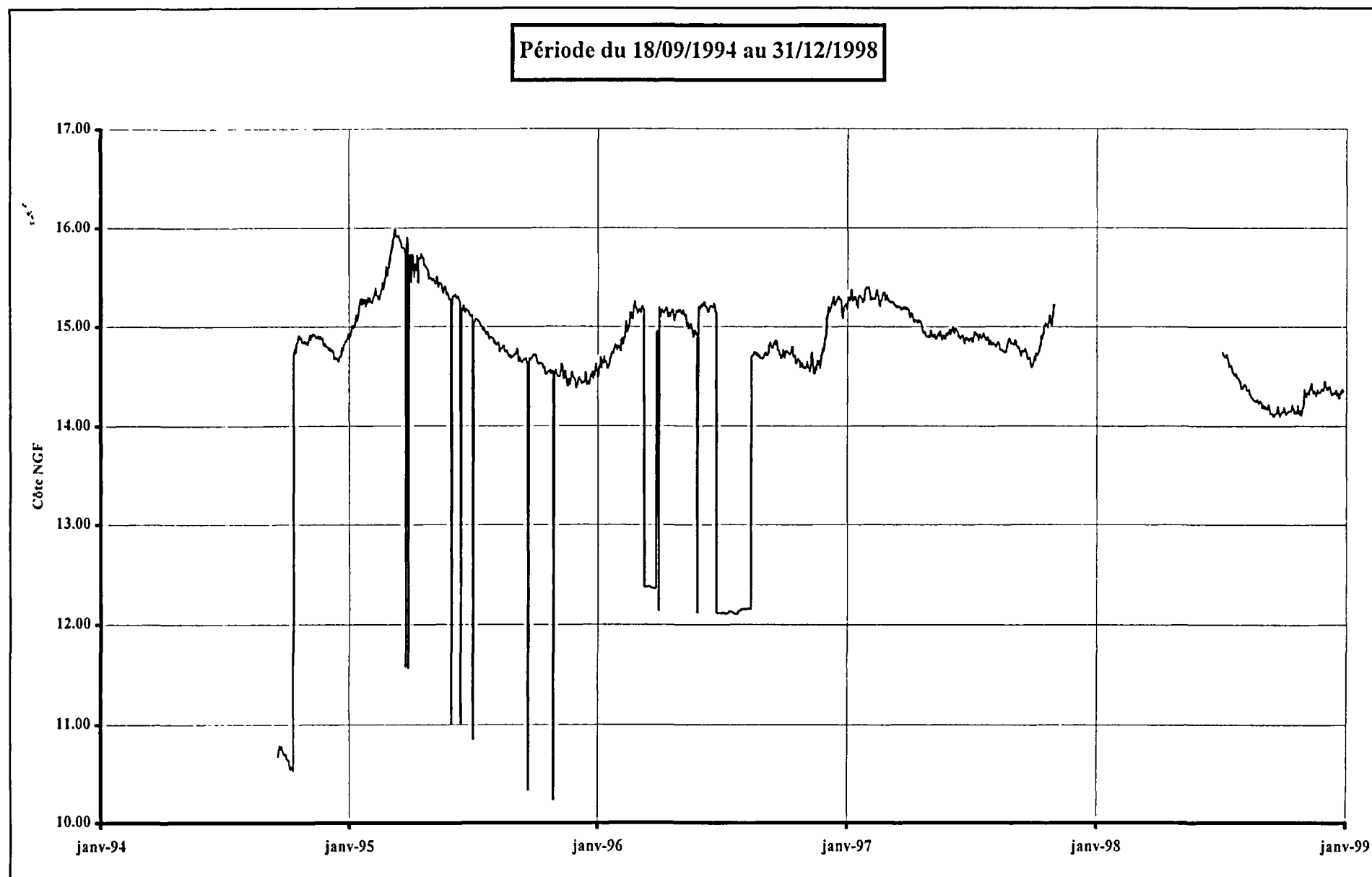
PIEZOMETRIE SUR LE FORAGE BUCCURON 2 A GAMARDE

Annexe 3.1. – Période du 18/09/1994 au 03/11/1997

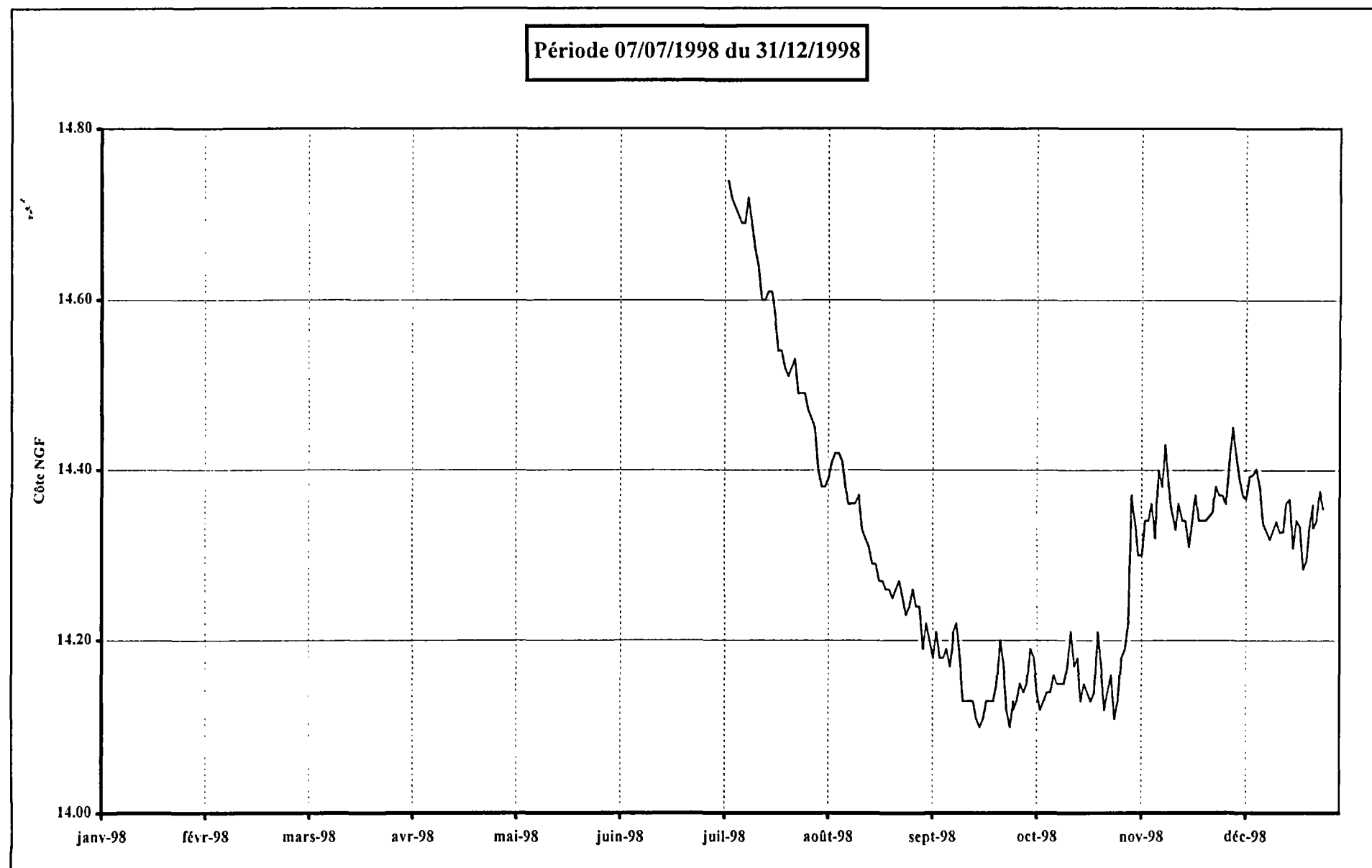
Annexe 3.2. – Période du 01/01/1997 au 03/11/1997

Annexe 3.3. – Période du 01/09/1997 au 31/10/1997

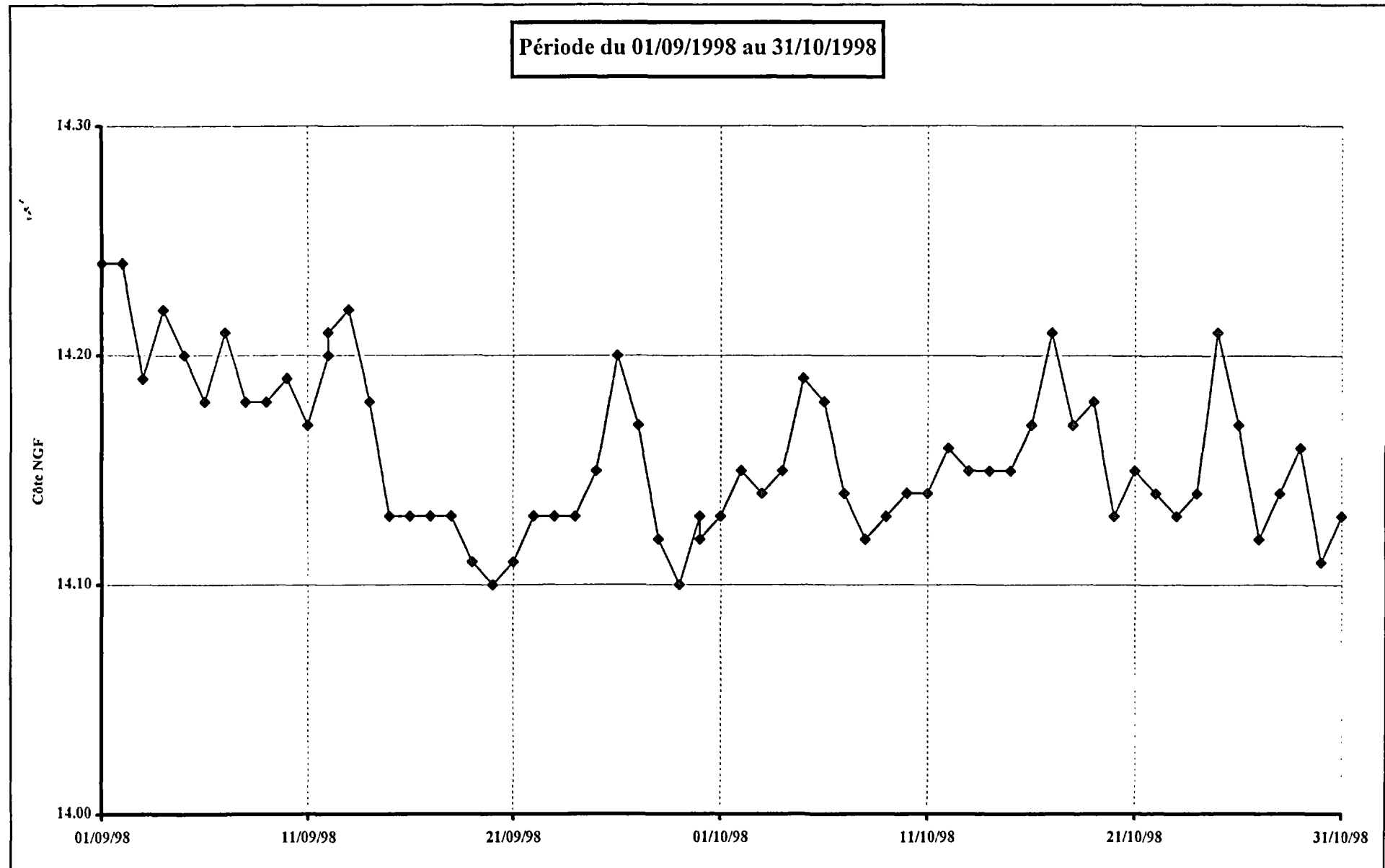
FORAGE BUCCURON 2 - GAMARDE LE BAINS



FORAGE BUCCURON 2 - GAMARDE LES BAINS



FORAGE BUCCURON 2 - GAMARDES LES BAINS



Données GAZ DE FRANCE

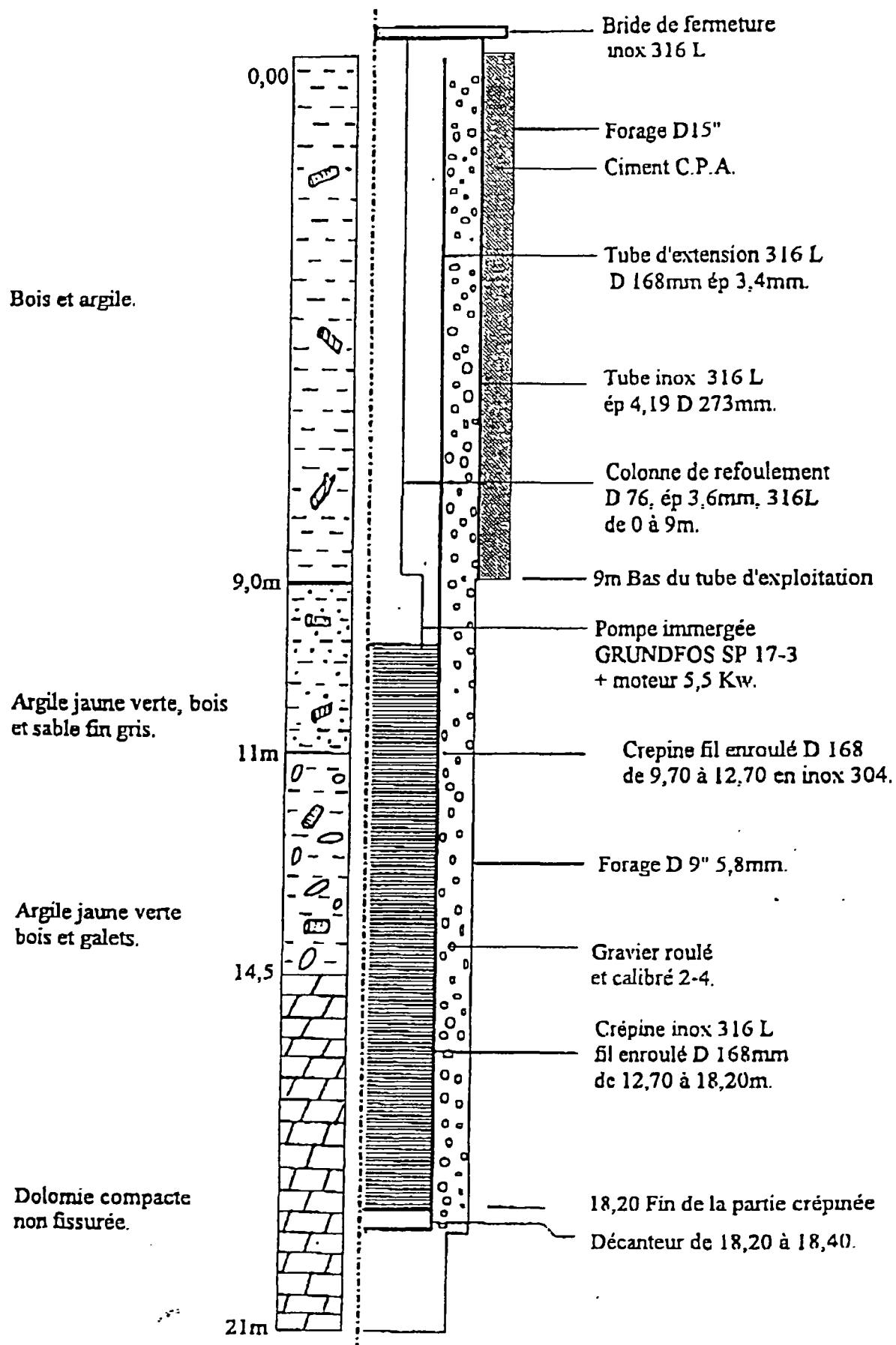
ANNEXE 4



**COUPES TECHNIQUES ET LITHOLOGIQUES DES FORAGES
DE LA HIRE ET DARROSE A PRECHACQ (40)**

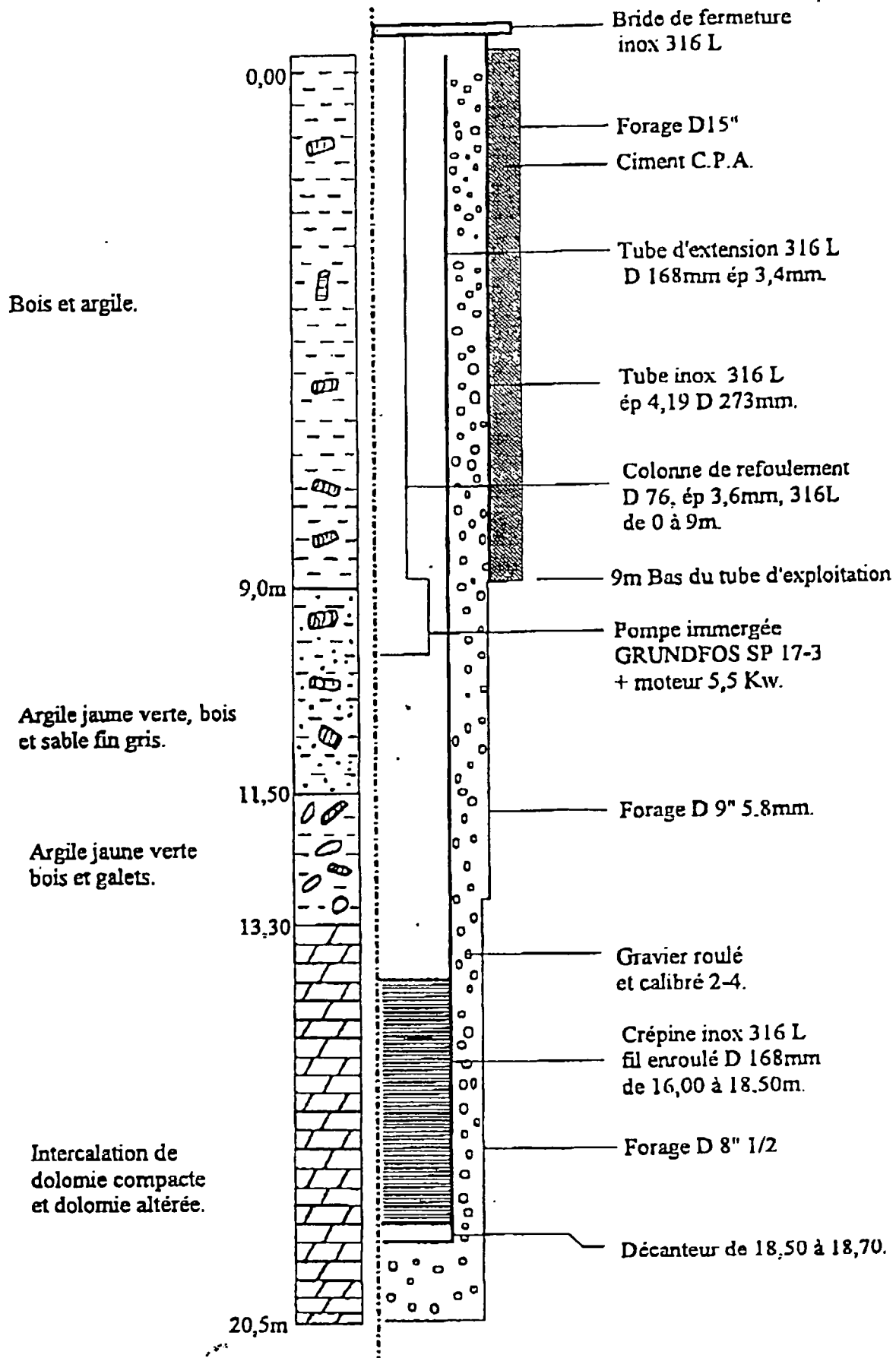
SARL FORAQUITAINE

COUPE TECHNIQUE et LITHOLOGIQUE du FORAGE LA HIRE A PRECHACQ (40).



SARL FORAQUITTAINE

COUPE TECHNIQUE et LITHOLOGIQUE du FORAGE DARROSE A PRECHACQ (40).



ANNEXE 5

COUPES GEOLOGIQUES, TECHNIQUES ET ANALYSES D'EAU DE DEUX FORAGES REALISES EN MARS 1996 A THETIEU

**Annexe 5.1. – Coupe géologique et technique du forage n° 1 de Thétieu
RN 124 (40)**

**Annexe 5.2. - Coupe technique et géologique du forage D.D.E. n° 2 chez
M. CARTHI (Brauchaou)**

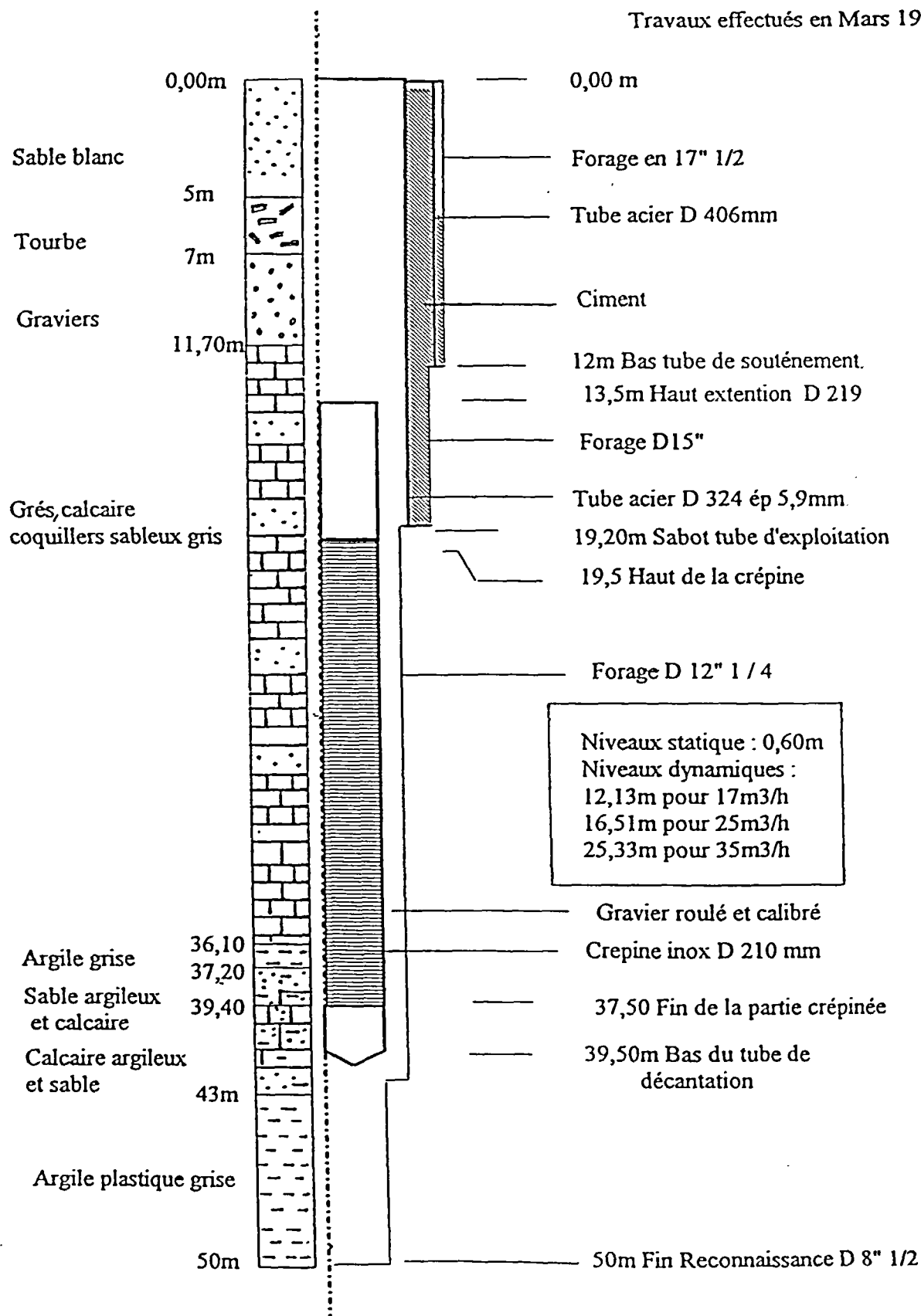
Annexe 5.3. – Analyse par commune

Annexe 5.4. - Résultats de l'analyse du 29.03.1996 sur le forage F2

COUPE GEOLOGIQUE ET TECHNIQUE DU
FORAGE N° 1 DE TETHIEU RN 124 (40)

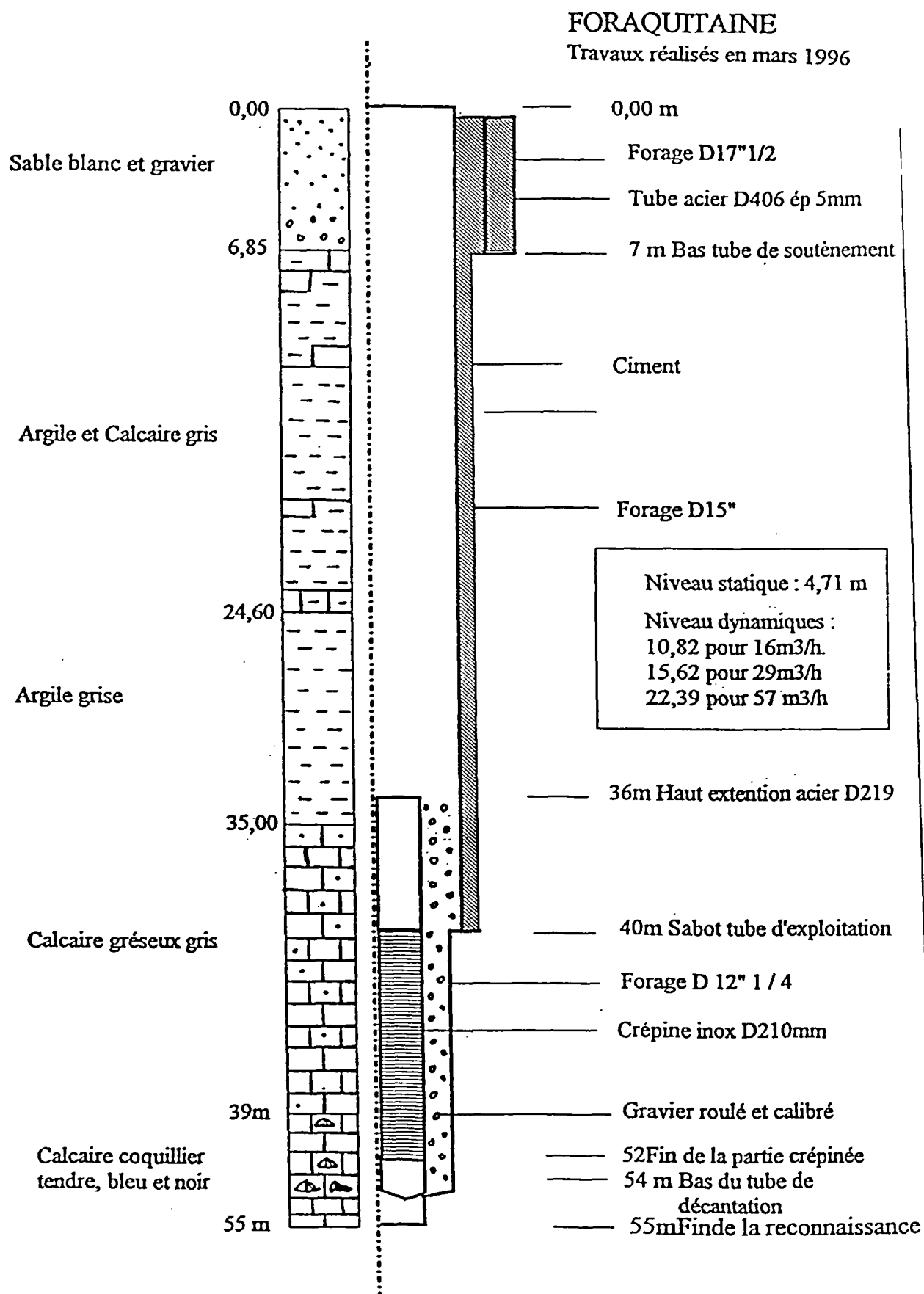
FORAQUITAINE

Travaux effectués en Mars 1996



Forage n° 1 - N° BSS : 0950.6X.0061

**COUPE TECHNIQUE ET GEOLOGIQUE DU
FORAGE D.D.E. N°2 CHEZ M. CARTH (BRAUCHAOU)**



Forage n° 2 - N° BSS : 0950.6X.0062



Laboratoire Départemental

de Marcel-David — BP 219 — 40004 MONT-DE-MARSAN CEDEX — Tél. 58 06 08 08 — Télécopie 58 06 15 47 — Siret 782 097 844 00016
 par le Ministère de l'Agriculture en Santé Animale et Hygiène Alimentaire.

par le Ministère de la Santé - Agréments (1 - 3 - 4 - 8 - 10) du Ministère chargé de l'Environnement (Eaux).

/REF : 961209 CLIENT : Direction Départementale de l'Équipement

MUNE : TETHIEU

CODE CLIENT : DDEMDM

LIEU DE PRELEVEMENT : FORAGE AU LIEU DIT BROUCHOUA CHEZ M. CARTHÉ : PROFONDEUR
 54 m DEBIT 53 m³/H

DATE DE PRELEVEMENT : 29/03/96 à 10.30H PRELEVEUR : Christian CENET (LABO)

CODE ANALYSE : 15

TEMPERATURE DE L'EAU :

21.6 °C

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET CHIMIQUES

COULEUR (unités Hazen).....	7.8
TURBIDITE (unités F.T.U.).....	2.7
HYDROGENE SULFURE (mg/l S--)	< 0.010
pH.....	8.1
CONDUCTIVITE (en µS/cm-1).....	4550
RESISTIVITE (OHM.cm).....	220
OXYDABILITE (mg/l O).....	1.7
DURETE TOTALE TH (°f).....	9.5
TITRE ALCALIMETRIQUE TA (°f).....	0
TITRE ALCALIMETRIQUE COMPLET TAC (°f).....	36.0
RESIDUS SECS 110°C (mg/l).....	2952

BALANCE IONIQUE

CATIONS	mg/l	méq/l	ANIONS	mg/l	méq.
CALCIUM (en Ca++)	18.3	0.913	CARBONATES (en CO ₃ --)	NEANT	
MAGNESIUM (en Mg++)	12.1	0.995	BICARBONATES (en HCO ₃ -)	439.2	7.20
SODIUM (en Na+)	1020	44.35	SULFATES (en SO ₄ --)	371	7.70
POTASSIUM (en K+)	23.7	0.61	CHLORURES (en Cl-)	1280	36.0
AMMONIUM (en NH ₄ +))	0.29	0.016	NITRATES (en NO ₃ -)	< 0.50	
FER (en Fe)	0.13		NITRITES (en NO ₂ -)	< 0.020	
MANGANESE (en Mn)	< 0.005		PHOSPHATES (en PO ₄ ---)	3.37	0.10
TOTAL		46.88	TOTAL		51.0

ALUMINIUM (en Al) 0.058

SILICE (en SiO₃--)

25.1

ELEMENTS TOXIQUES OU INDESIRABLES

ALUMINIUM (en Al) mg/l.....	0.058
FER (en Fe) mg/l.....	0.13
MANGANESE (en Mn) mg/l.....	< 0.005

EAU PRESENTANT UNE SALINITE IMPORTANTE.

Résultats de l'analyse du 29.03.1996 sur la forage F2

A Mont-de-Marsan, le 23/04/96
 Le Directeur-Adjoint du Laboratoire,
 Directeur Scientifique et Technique
 Michel MARRACH

ANNEXE 6

MODELES DE FICHES PROPOSEES POUR L'IDENTIFICATION ET LE SUIVI DES OUVRAGES

Annexe 6.1. - Fiche d'identification de l'ouvrage

Annexe 6.2. - Fiche annuelle de suivi en phase d'exploitation

FICHE D'IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE

Indice Classement BRGM				Coordonnées Lambert		
				X:	Y:	Z sol:
Commune				CARTE TOPO 1/25 000:		
N° INSEE				CARTE GEOL 1/50 000:		
Désignation						
NATURE SITUATION ADMINIS.	NATURE	N°	DATE EXECUTION	SITUATION ADMIN. (Dates)		
	PUITS			AMA:		
	FORAGE			DPP:		
	SOURCE			DIP:		
	GALERIE			TPE:		
NOM Adresse Exploitant						
TEL:			TELECOPIE:			

DATE VISITE:	OUI	NON	MESURES et PHYSICO-CHIMIE	
ÉCOULEMENT NATUREL ?			NP =	ND =
Mise à l'atmosphère ?			REPERE=	m/T.N.
Type de fermeture, étanche ?			DEBIT=	m³/h
Robinet prise d'eau ?			Temp.=	°C
Manomètre ?			Cond.=	µS/cm
Test débit / Compteur			Minéral. totale =	mg/l
Relevé compteur volumétrique (extérieur/intérieur)			Anions majeurs:	
Relevé compteur horaire (extérieur/intérieur)			Cations majeurs:	
OBSERVATIONS			Faciès:	
TYPE DE POMPE:			Gaz:	
MARQUE:			Dernières analyses eau:	
Débit min./max.:	m³/h	m³/h	Datations isotopiques:	

Date de mise en place

Références bibliographiques:

Faits marquants, aléas, incidents récents et évolutions notables

FICHE ANNUELLE DE SUIVI EN PHASE D'EXPLOITATION

INDICE CLASSEMENT BRGM			
UTILISATION EAU	NON UTILISE		Nbre curistes/an
	THERMALISME		
	EMBOUTEILLAGE		Nbre cols/an
	AEP		m ³ /an
	PIEZOMETRE		

ANNÉE :

		VOL (m ³)	Date: du ... au ..	Débit (m3/h)
PERIODES D'UTILISATION	J			
	F			
	M			
	A			
	M			
	J			
	J			
	A			
	S			
	O			
	N			
	D			

DEBIT	m3/h	
VOLUME JOURNALIER MOYEN	m3/j	
VOLUME MENSUEL MOYEN	m3/mois	
VOLUME ANNUEL TOTAL	m3/an	
TEMPS D'UTILISATION /JOUR		
TEMPS D'UTILISATION /MOIS		

DATES OU PERIODICITE	DEBIT	NIVEAUX	TEMPERATURE	CONDUCTIVITE
PARAMETRES MESURES				
PARAMETRES ENREGISTRES				

REMARQUES:

	oui	non
PLAN DE SITUATION		
COUPE GEOLOGIQUE		
COUPE TECHNIQUE		
	Date	valeurs
POMPAGES D'ESSAI	PAR PALIERS (DATE)	
	LONGUE DUREE (DATE)	
PARAMETRES	Qspéc.	m ³ /h/m
	Transmissivité	m ² /s
	Perméabilité	m/s
	Coef. d'emmagasinement	

ANNEXE 7

FICHE TECHNIQUE DU FORAGE PETROLIER DE MAGESCQ (MQ1)

one | Numéro | An. | Permis | Dép. | Opérateur | Nom

MAGESCO

BRGM

12 1352 56 M 2 40 SNPA

X : 321.262 Y : 172.042 LIII Z : 59,63 Zi : 62,98
3g8496 W 48g6617

Tubages
9" 5/8 à 74,30
7" à 816,70

Mq 1

Début 21.10.56 Fin 9.12.56 Fond 1202,20

P	Coupe	Car.	Étage	LITHOLOGIE
35			QUAT.	Sable des Landes - argileux de 30 à 35
130			MIOCENE	Marne grise plastique plus ou moins argileuse - Globigérines - Rotalidés - Lagénidés
320			Eocene SUPERIEUR	Marne argileuse à Globorotalia, série devenant plus compacte moins sableuse à partir de 200 m
398 118			LUTETIEN	Marne argileuse à Globorotalia
458		36° 45°	DANO PALEOCENE	Dolomie cristalline poreuse série marneuse
558				Dolomie cristalline blanche dure poreuse azoïque
608		44° 63°	SENONIEN SUPERIEUR	Calcaire argileux glauconieux détritique un peu dolomitique - Passée marneuse 555-600 Lagena - Pissurines - Rosalines
653 678		38°	Indéterminé	Dolomie cristalline blanche irrégulièrement compacte Marne grise Dolomie cristalline irrégulièrement poreuse compacte de 725 à 858
885 904			CENOMANIEN	Calcaire orène légèrement dolomitique, dur compact Dolomie cristalline dure poreuse jusqu'à 916
955 970 984				Calcaire parfois crayeux, graveleux à Milioles Calcaire gréseux friable poreux (CENOM. de base)
1023 1060		51°-56° 65° 74°	JURASSIQUE SUPERIEUR	Alternance de calcaire beige - Marne grise - Calcaire noir Calcaire argileux à characées - Ostracodes Calcaire parfois dolomitisé - compact à characées ou à Spirocyclines - Passée de marne

MESURES ÉLECTRIQUES — ESSAIS

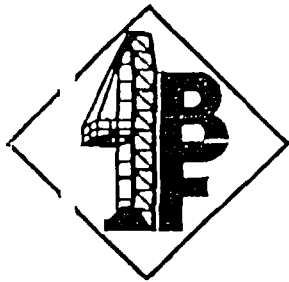
CE 74 - 818 - 1203
ML 817 - 1203
L
MLL
IL
GRN 350 - 818 - 1203
Ø 350 - 818
TH
CCL
Ind. P D
Sonic
CVL
Sismo

Tests au Paléocène :

EST 1 - 383,7-401,2 - 17° - 350 l. boue -
2000 l. E.D. (0,25 g/l).

ANNEXE 8

**PREMIERE EVALUATION POUR LA REALISATION
DE HUIT PIEZOMETRES**



S.A. BONIFACE Freres - FORAGES

Siège Social et Bureaux : Z.I. des Fournels
B.P. 173 - 34401 LUNEL Cedex
Tél. 33 (0)4 67 83 51 60 - Télécopie 33 (0)4 67 83 51 79
S.A. au Capital de 250.000 F - SIRET 309 343 770 00033 - APE : 452 U
R.C. Montpellier B 309 343 770 - N° TVA Intracommunautaire : FR 21 309 343 770

B.R.G.M.
Monsieur Pierre BERARD
Téléphone : 04 67 16 79 80
Télécopie : 04 67 64 58 51
34000 MONTPELLIER

Lunel,
Le 28 Octobre 1998,

N/Ré : FDS/9810213

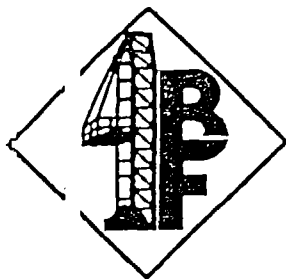
Objet : Campagne de 8 forages dans la région Aquitaine

DEVIS ESTIMATIF

N°	Designation	Unité	Quantité	Prix Unitaire FRF H.T.	TOTAL FRF H.T.
1	Amenée et repli du matériel de forage pour un ouvrage d'une profondeur maximale de 600 mètres	F	2	45 000,00	90 000,00
2	Amenée et repli du matériel pour un forage d'une profondeur maximale de 800 mètres	F	3	50 000,00	150 000,00
3	Amenée et repli du matériel pour un forage d'une profondeur maximale de 1000 mètres	F	1	55 000,00	55 000,00
4	Amenée et repli du matériel pour un forage d'une profondeur maximale de 1200 mètres	F	1	60 000,00	60 000,00
5	Amenée et repli du matériel pour un forage d'une profondeur maximale de 1500 mètres	F	1	65 000,00	65 000,00
6	Forage Ø 17"1/2 (445 mm) de 0 à 40 mètres	ml	8 x 40	1 000,00	320 000,00
7	Fourniture et pose d'un pré-tubage acier Ø 13"3/8 (339 mm)	ml	8 x 40	580,00	185 600,00
8	Cimentation de l'espace annulaire	ml	8 x 40	250,00	80 000,00
9	Poursuite du forage en Ø 12"1/4 pour réalisation d'une chambre de pompage de 40 mètres jusqu'à 200 mètres	ml	8 x 160	850,00	1 088 000,00
10	Fourniture et pose d'un tubage acier Ø 9"5/8 (244 mm) de 0 à 200 mètres	ml	8 x 200	480,00	768 000,00
11	Cimentation de l'espace annulaire	ml	8 x 200	200,00	320 000,00
12	Forage de la zone de captage en Ø 8"1/2 de 200 mètres jusqu'à la cote finale estimé en moyenne à 850 mètres (linéaire total estimé à 6800 mètres)	ml	8 x 650	650,00	3 380 000,00

S.A. BONIFACE FRERES

BP 173 - Z.I. des Fournels
34401 LUNEL CEDEX 1
Tél 04 67 83 51 60 - Fax 04 67 83 51 79
SIRET : 309 343 770 00033



S.A. BONIFACE Freres - FORAGES

Siège Social et Bureaux : Z.I. des Fournels
 B.P. 173 - 34401 LUNEL Cedex
 Tél. 33 (0)4 67 83 51 60 - Télécopie 33 (0)4 67 83 51 79
 S.A. au Capital de 250.000 F - SIRET 309 343 770 00033 - APE : 452 U
 R.C. Montpellier B 309 343 770 - N° TVA Intracommunautaire : FR 21 309 343 770

Objet : Campagne de 8 forages dans la région Aquitaine

DEVIS ESTIMATIF

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix Unitaire FRF H.T.	TOTAL FRF H.T.
1	Fourniture et mise en place d'une colonne de captage Ø 6"5/8 acier noir				
13 1	Tubes pleins casing Ø 7"	ml	PM	600,00	-
13 2	Tubes crépinés NR Ø 7"	ml	PM	800,00	-
1	Développement et nettoyage des forages à l'air lift	H	8 x 72	1 200,00	691 200,00
1	Amenée et repli d'un groupe de pompage complet	F	8	30 000,00	240 000,00
1	Essais de pompage par paliers	H	8 x 24	500,00	96 000,00
1	Essais de pompage en continu	H	8 x 72	400,00	230 400,00
1	Attente pour observation de la remontée	H	PM	320,00	-
1	Capot de fermeture des ouvrages	U	8	2 500,00	20 000,00
MONTANT TOTAL H.T.					7 839 200,00
T.V.A. 20,6 %					1 614 875,20
MONTANT TOTAL TTC					9 454 075,20

S.A. BONIFACE FRERES
 BP 173 - Z.I. des Fournels
 34401 LUNEL CEDEX 1
 Tél. 04 67 83 51 60 - Fax 04 67 83 51 79
 SIRET : 309 343 770 00033

ANNEXE 9

**EVOLUTION DES TENEURS EN ELEMENTS MAJEURS AU FORAGE
DE LA PLACE DE LA COURSE A DAX
DE HUIT PIEZOMETRES**



RÉGIE MUNICIPALE DES EAUX
ET DE L'ASSAINISSEMENT

58, AV. VICTOR HUGO
40100 DAX
TÉL. 05 58 90 97 97
FAX 05 58 74 21 35

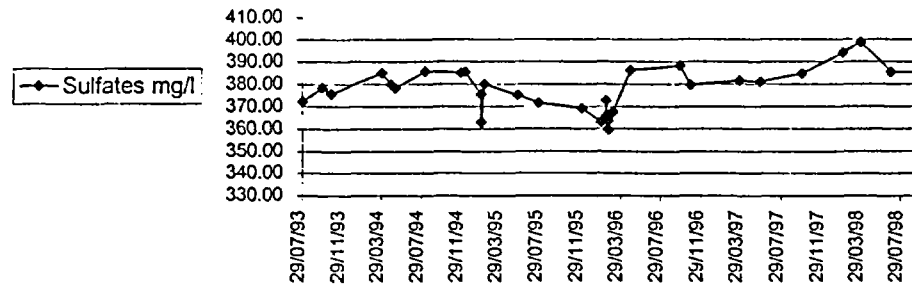
FORAGE DE LA COURSE

Date	Sulfates mg/l	Nitrates mg/l	Chlorures mg/l	Bicarbonates mg/l
29/07/93	372.30	0.00	142.53	154.33
27/09/93	378.25	0.00	152.69	154.82
25/10/93	375.62	0.00	147.96	162.87
30/03/94	385.10	0.65	153.72	165.31
27/04/94	379.86	0.54	153.54	156.47
10/05/94	378.20	1.07	153.15	159.82
10/08/94	385.65	0.00	157.98	152.26
28/11/94	385.06	0.00	151.05	157.08
12/12/94	385.55	0.00	149.46	146.96 ✓
30/01/95	375.50	0.00	150.09	157.01
31/01/95	363.00	0.00	153.80	157.87
09/02/95	380.00	0.00	151.69	157.38
22/05/95	375.00	0.37	147.93	159.82
25/07/95	371.50	0.00	153.54	156.47
04/12/95	369.00	0.00	153.57	157.87
31/01/96	363.00	0.00	153.80	157.87
14/02/96	365.55	0.00	151.10	158.97
15/02/96	372.50	0.00	151.78	162.14
21/02/96	359.55	0.00	152.65	161.89
22/02/96	363.45	0.00	151.95	158.66
06/03/96	367.12	0.00	151.00	158.84
07/03/96	367.43	0.00	151.60	157.81
29/04/96	386.25	0.04	148.12	160.86
25/09/96	388.10	0.77	154.00	158.78
28/10/96	379.57	0.36	144.77	157.99
25/03/97	381.65	0.06	161.51	157.49
26/05/97	381.22	0.20	149.81	157.20
29/09/97	384.64	0.00	145.98	163.60
02/02/98	393.96	0.00	151.79	155.61
30/03/98	398.66	0.00	147.04	158.05
29/06/98	385.41	0.00	150.10	158.72
28/09/98	385.20	0.34	149.68	150.18
moyenne	377.59	0.14	151.23	157.84
écart type +/-	9.57	0.27	3.63	3.64

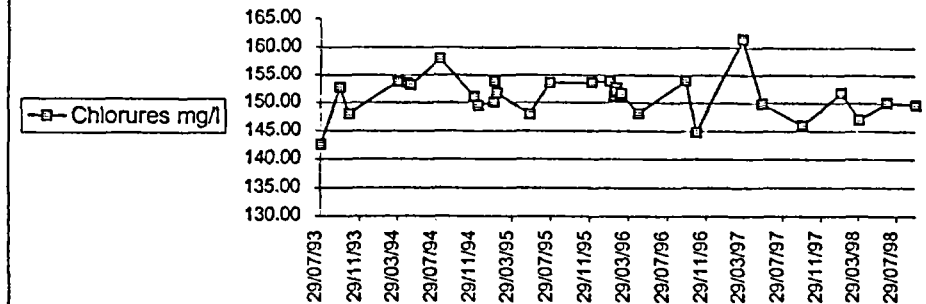
Tableau des mesures : SO_4 , NO_3 , Cl , et HCO_3 du 20/07/93 au 28/09/98

Synthèse des travaux récents sur l'exploitation de la ressource thermique en Bas-Adour

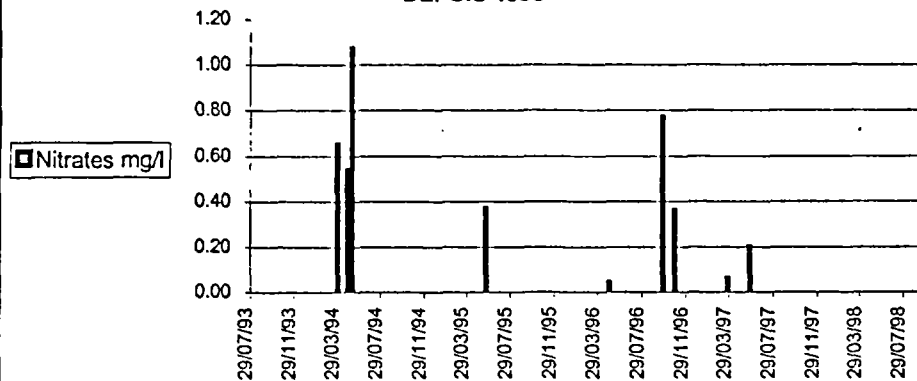
**TENEUR EN SULFATES DU FORAGE PLACE DE LA COURSE
DEPUIS 1993**



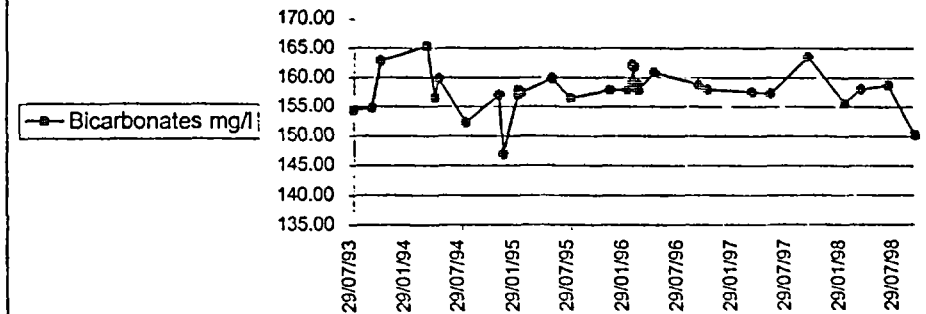
**TENEUR EN CHLORURES DU FORAGE PLACE DE LA COURSE
DEPUIS 1993**



**TENEUR EN NITRATES DU FORAGE PLACE DE LA COURSE
DEPUIS 1993**



**TENEUR EN BICARBONATES DU FORAGE PLACE DE LA COURSE
DEPUIS 1993**



Représentation de l'évolution des teneurs
en SO_4 , NO_3 , Cl , et HCO_3 de 1993 à 1998