Ressources et protection des réservoirs thermaux du Bas Adour

Resources and protection of the thermal reservoirs of the Lower Adour

par P. Bérard, L. Chéry, J.P. Platel, J.J. Seguin, B. Sourisseau

Bureau de Recherches Géologiques et Minières

The thermo-mineral water resources of the Lower Adour, exploited in the "Landes" Department of Southwest France, occur in deep, folded and faulted sedimentary rocks cut through by salt diapirs, part of the Pyrenean fore-land structures. The impact of drawing off water for thermal springs, drinking water, geothermal energy, irrigation and for industry, combined with the occupation of underground space for gas storage, generates conflicts in terms of usage. In order to gauge the thermal and salinity effects and to be able to compare the various piezometric measurements within the same hydrodynamic frame of reference, a calculation using an equivalent sweet water load has been undertaken. It shows that in the Dax region there exists a major virtual piezometric "sink" where, despite this, thermal effects enable waters to rise. This "sink" represents a particularly sensitive area. It is thus proposed to set up a protection zone, establish a steering committee, management procedures and the necessary actions to bring together the various parties concerned with the objective of organising resource exploitation fulfilling the temperature and quality demands of all users.

I ■ INTRODUCTION

Les stations thermales du Bas-Adour, dans le département des Landes au Sud de l'Aquitaine, représentent par leur fréquentation (Dax, première de France) (figure 1), des enjeux économiques et sociaux fondamentaux.

D'autres activités sollicitent l'espace souterrain et les eaux profondes, l'eau potable, les irrigations, la géothermie, les stockages de gaz, les industries.

Depuis les lointains affleurements, en passant par de nombreux anticlinaux, les échanges entre les divers systèmes aquifères sont favorisés par les cadres géologiques et hydro-géologiques variés, marqués par des structures fortement plissées, faillées, entrecoupées de diapirs triasiques salifères, de l'avant pays nord-pyrénéen du Sud du Bassin Adour-Garonne [1 et 2].

Les sorties naturelles d'eaux chaudes sont des sources, souvent au contact des diapirs qui ont entraîné les couches géologiques jusqu'en surface [3 et 4].

Afin d'augmenter et de diversifier les ressources et les points de prélèvements, des forages ont été réalisés. Les volumes pompés sont probablement supérieurs aux débits des sorties d'eau "naturelles". Les équilibres entre les eaux thermales et les eaux de surface ont été modifiés. Des entrées d'eau de l'Adour et des nappes alluviales ont pu abaisser les températures et les concentrations chimiques en certains points. Les prélèvements ont dû être réduits.

Compte tenu de ces difficultés et de la multiplicité des usages des eaux et du sous-sol, des actions de gestion coor-

donnée consensuelle et une protection efficace des ressources sont nécessaires. Dans ce but, il a été décidé de mettre en commun les connaissances et d'en établir leur synthèse.

II ■ PROGRAMME D'ACTION

Dès 1996, Monsieur le Préfet des Landes et la Division Nationale des Eaux Thermales et Minérales du ministère de l'Industrie invitaient les partenaires économiques locaux, élus et services de l'Etat, du Bas Adour à :

- **mettre en place une démarche collective**, comprenant :
 - la synthèse des connaissances acquises ;
 - la mise en place d'un réseau de suivi d'exploitation de la ressource ;
 - le suivi périodique de l'exploitation ;
 - la mise au point d'un outil de gestion ;
 - la détermination du potentiel thermal et ses limites en débit et qualité des eaux ;
 - l'acceptabilité de prélèvements supplémentaires ;
 - l'optimisation des exploitations ;
 - la surveillance de la ressource.
- **mettre en place un comité de pilotage politique et technique.**
- **mettre en application les règles administratives**, comprenant :
 - une ou des Déclarations d'Intérêt Public (DIP) ;
 - une ou des Délimitations des Périmètres de Protection (DPP).

1. Cartographie du sud de l'Aquitaine.

Dans ce cadre, la DRIRE Aquitaine a confié une mission technique au Service Géologique Régional Aquitaine du BRGM.

III ■ CONTEXTE LOCAL

Le Sud du Bassin Adour Garonne est caractérisé par des structures géologiques complexes associées à la poussée du front nord-pyrénéen qui a favorisé des montées diapiriques. Cette "halocinèse" a plissé, fracturé et redressé les formations qui surmontaient les séries salifères du Trias, dont les calcaires et dolomies du Jurassique, du Crétacé supérieur et du Paléocène et les formations détritiques de la base du Tertiaire. Elles contiennent d'importants systèmes aquifères captifs recouverts d'épaisses couches molassiques [5-6-7-8].

Topographiquement, le Bas-Adour est l'aire d'émergence naturelle (niveau de base) de réservoirs s'étendant sur plus de 10 000 km² jusqu'aux affleurements de superficie restreinte de la bordure pyrénéenne au Sud et au-delà de Toulouse à l'Est. Les structures favorisent les infiltrations.

Les circulations souterraines sont accélérées par de forts gradients thermiques locaux qui ont donné naissance à d'importantes sources thermo-minérales captées depuis l'époque gallo-romaine. Par la suite, leur exploitation a été fortement intensifiée en pompant dans des forages.

Les stations du Bas-Adour sont Gamarde, Préchacq-les-Bains, Dax, Saint-Paul-lès-Dax, Tercis-les-Bains, Saubusse.

De 1940 à 1989, dans le seul secteur de Dax, les prélèvements ont atteint 10 000 m³/jour (420 m³/h).

Les températures les plus élevées sont 64°C à la Fontaine Chaude de Dax, 66°C en forage à Saint-Paul-lès-Dax (SPDX1), 60°C à Préchac (La Hire).

Plusieurs émergences diffuses sont plus ou moins masquées par les alluvions du fleuve Adour. Dans ce cas, des baisses de pression peuvent se traduire par des intrusions d'eau superficielle dans les réservoirs thermaux, avec pour corollaire des baisses de températures et des concentrations d'éléments chimiques (sulfates). C'est le principal facteur "limitant" de l'exploitation intensive par forages.

IV ■ CADRE GÉOLOGIQUE

Depuis la période albienne (108 millions d'années), la subsidence a permis d'accumuler plus de 5000 mètres de sédiments. L'histoire tectonique de la chaîne pyrénéenne, l'ouverture du golfe de Gascogne et les déplacements de la plaque ibérique ont entraîné une grande complexité structurale, renforcée par des diapirs et des failles injectées de sel triasique [2-9-10].

● 4.1. Structure générale (figure 2)

La géométrie du toit des formations carbonatées, qui correspondent au Paléocène et au sommet de l'Eocène inférieur, permet d'identifier les principales structures antiformes :

- anticlinal d'Audignon à cœur albien ;
- anticlinal de Louer-Montfort en Chalosse à cœur paléocène ;
- diapir de Thétieu, sous les alluvions de l'Adour ;
- diapir de Dax ;
- anticlinal de Sébastopol et diapir de Magescq ;
- diapir de Bénèsse - Saint-Pandelon, prolongé par le pli-faille injecté de sel de Tercis Saubusse ;
- anticlinal de Saint-Lon à cœur céno-manien ;
- gros diapir de Bastennes-Gaujacq.

Elles alternent avec des "zones en creux" fortement déprimées :

- synclinal de Louts ;
- synclinal de Hinx-Pomarez (toit des calcaires de - 3000 à - 2200 m) ;
- synclinal de Saubagnac (- 2000 m) ;
- synclinal de Bassecq (- 1 700 m).

De grands accidents faillés bordent ou séparent les structures :

- grandes failles inverses N 100° à 120° E, résultant des chevauchements sur les flancs nord (surrection pyrénéenne à l'Eocène), prolongements N 150° ;
- failles N 140/150° E, en décrochement horizontal, recoupant ou relayant les précédentes.

Les épisodes de cette structuration sont :

- fin du Jurassique, formation des diapirs et ouverture de l'Atlantique ;

2. Carte structurale au toit du réservoir thermal.

- Albo-Aptien à fin du Tertiaire, effondrements des bassins subsidants et montée des diapirs ;
- fin de l'Albien, plissements et basculements le long des failles ;
- Crétacé supérieur, première phase compressive et mise en place des plates-formes littorales ;
- fin de l'Eocène inférieur à l'Eocène moyen, orogénèse pyrénéenne.

● 4.2 Lithostratigraphie

Le tableau 1 résume les formations couvertures et réservoirs.

V ■ CADRE HYDROGÉOLOGIQUE

● 5.1 Organisation des systèmes aquifères

Les formations géologiques récentes du Quaternaire masquent le plus souvent les séries aquifères du Pliocène et de

l'Oligo-Miocène. Les molasses imperméables recouvrent les réservoirs de l'Eocène. Les aquifères calcaires et dolomitiques du Paléocène et du Crétacé supérieur qui renferment le système thermal profond, forment aux abords des structures faillées et diapiriques des paléo-reliefs karstiques plus ou moins oblitérés par des dépôts récents : sables fauves du Miocène, limons et alluvions des terrasses de l'Adour [7-8-9].

Les principaux systèmes aquifères sont : [8-10-11].

- nappe alluviale de la plaine de l'Adour (SA n° 348) ;
- sables des Landes et graviers de la base du Pliocène (SA n° 127 et 234) ;
- calcaires marins sableux à faluns du Miocène (SA n° 233), Helvétien et Aquitanien, à faciès "sables verts" vers la côte, et en phase terminale, sables fauves continentaux ;
- calcaires de l'Oligocène à l'Ouest, (SA n° 230) qui passent vers l'Est à des calcaires gréseux et des marno-calcaires à lentilles de sables à l'intérieur des épaisses molasses ;

Couverture : <i>Réservoir :</i>	Miocène et Oligocène supérieur <i>Oligocène inférieur</i>	Grès et calcaires gréseux
Couverture : <i>Réservoir localisé :</i>	Oligocène à Eocène inférieur <i>Sables, grès ou calcaires, dont les Sables Eocène inférieur</i>	Marnes silteuses (Marnes de St Geours d'Auribat) et molasses continentales <i>Infra-molassiques</i>
Couverture : <i>Réservoir localisé :</i>	Eocène inférieur <i>"Paléocène"</i>	Marnes silteuses (Marnes de Donzacq) <i>Dolomie et calcaire dolomitique</i>
Couverture : <i>Réservoir :</i>	Sénonien à Turonien <i>Cénomanién</i>	Calcaire marneux (faciès Aturien) et calcaire compact <i>Dolomies karstifiées</i>
Couverture : <i>Réservoir :</i>	Albien <i>Aptien supérieur/Albien</i>	Marnes <i>Calcaires et grès</i>
Couverture : <i>Réservoir :</i>	Aptien inférieur <i>Barrémien</i>	Marnes de Sainte Suzanne <i>Calcaires</i>
Couverture : <i>Réservoir</i>	Marnes d'âge variable suivant l'ampleur de la discordance crétacée <i>Portlandien</i>	<i>Dolomies</i>

Tableau 1. — Formations couvertures et réservoirs.

- ensemble composite de l'Eocène moyen et inférieur (SA n° 214) ; avec à l'Est des sables et graviers fluviaux déposés en milieu marin, passant vers l'Ouest à des grès et calcaires à Nummulites ;
- calcaires fortement dolomitisés du Paléocène, de la fin du Crétacé et du début du Tertiaire (SA n° 233), très tectonisés, et redressés par failles ;
- calcaires et dolomies fissurées et karstifiées, du sommet et de la base du Crétacé supérieur du Sénonien et du Céno-manien, (SA n° 215 et 231), souvent en contact avec le Paléocène ;
- dolomie (de Mano) du Jurassique supérieur et moyen (SA n° 217). Ce réservoir profond est peu connu.

● 5.2 Usages de l'eau

Le tableau 2 révèle que 28 millions de m³ étaient prélevés en 1995 dans les nappes profondes. Un quart (3,86 millions de m³) est utilisé en eau thermique et minérale, provenant essentiellement des systèmes du Paléocène et du sommet du Crétacé supérieur.

Le tableau 3 donne les répartitions des prélèvements d'ETM en 1998.

Le tableau 4 rappelle les historiques des prélèvements d'eau à Dax, avec plus de 1 million m³/an d'économies entre 1989 et 1991 par la suppression du réseau urbain de distribution d'eau chaude.

Evolution de la production d'eau thermique à Dax depuis 1980 jusqu'en 1996.

Suivant les données de la RME extraites des rapports annuels, les volumes produits pendant les 16 dernières années se répartissent comme suit :

* Fontaines publiques, nettoyages du réseau, consommation douches et serres municipales.

** 40 à 60 m³/h (soit 300 à 500 000 m³/an) sont extraits en sus par Elvina et St Christophe de GTA.

- Suivi des niveaux :

Les suivis piézométriques indiquent deux grandes tendances :

— dans le bassin profond où les réservoirs sont captifs, les pressions baissent assez régulièrement, selon les prélèvements qui sont généralement supérieurs aux capacités de renouvellement des ressources (exemple : figure 3),

— sur les structures et à proximité des exutoires, les niveaux d'hiver sont fonction de la pluviométrie. En été, les niveaux sont régis par la cote altimétrique du niveau de base (exemple : figure 4), les variations d'une année sur l'autre sont minimes.

- Essais et interférences entre ouvrages

Les essais de pompage réalisés sur GDX1, SPDX, puis Sébastopol 1 bis, ont permis d'identifier et de quantifier des influences sur les niveaux, les débits, les températures et les qualités des eaux de certains ouvrages relativement éloignés. Des secteurs d'incidences entre

ouvrages et stations ont été déterminés, dans lesquels tout prélèvement génère un impact sur l'existant avec pour corollaires des effets limitants en quantité et qualité sur certaines ressources exploitées.

VI ■ CALCUL DES HAUTEURS D'EAU DOUCE ÉQUIVALENTES

Afin de s'affranchir des effets thermiques et de salinité et pouvoir comparer dans un même référentiel hydrodynamique les mesures de niveau piézométriques, un calcul en charge d'eau douce équivalente a été réalisé en "corrigeant" leur influence [3].

3 et 4. Aquifère Danien-Crétacé : historiques des évolutions piézométriques aux stations de Siougos et de Louer-Lavigne.

NAPPE CAPTEE						
Usages	Oligo cène	Eocène	Dano-Paléocène	Sommet Crétacé supérieur <i>Sénonien supérieur</i>	Base Crétacé supérieur <i>Cénomarien-Sénonien inférieur</i>	Total (m³/an)
Eau potable	6 862 754	6 717 521	-	483 998	2 290 000	16 354 273
Eau d'irrigation	142 930	1 550 500	1 131 750	506 450	585 000	3 208 887
Géothermie	-	-	-	-	2 064 000	2 064 000
Eau thermo-minérale	-	41 400	1 506 744	2 315 240	-	3 863 384
Eau industrielle	2 475 042	98 189	-	-	-	2 573 231
Particulier	750	250	23 000	-	250	24 250
TOTAL	9 481 476	7 700 117	2 661 494	3 305 688	4 939 250	28 088 025

Tableau 2. — Gestion des eaux thermo-minérales du Bas-Adour (volumes prélevés).

Inventaire au 31/12/95

INDICENAT	COMMUNE	LIEU_DIT	DESIGNATION	DEBIT ANNU	OBSERVATION
09771X0015	DAX	PLACE DE LA COURSE- "LA POSTE" FORAGE N 2	FORAGE LA POSTE 2	539462	1998
09771X0021	DAX	ESPLANADE	LA FONTAINE CHAUDE	174934	1998
09771X0076	DAX	STADE	F2BIS	0	1998
09771X0089	DAX	QUARTIER STADE	ELVINA 1	98300	estimation
09771X0108	DAX	QUARTIER DU STADE	F2 ST CHRISTOPHE	163800	estimation
09771X0123	DAX	LES BAIGNOTS	FORAGE LES BAIGNOTS 4	217726	1998
09771X0124	DAX	BOIS DE BOULOGNE	F2	734090	1998
09784X0018	EUGENIE-LES-BAINS	ETABLISSEMENT THERMAL	CHRISTINE MARIE	230000	estimation
09784X0024	EUGENIE-LES-BAINS	ETABLISSEMENT THERMAL	FORAGE IMPERATRICE EF1	16400	estimation
09784X0025	EUGENIE-LES-BAINS	ETABLISSEMENT THERMAL	FORAGE EF2	25000	estimation
09506X0006	PRECHACQ-LES-BAINS	PITE	L'AVENUE OU SAINT-JEAN	5480	abandon prévu
09506X0007	PRECHACQ-LES-BAINS	PITE	LA HIRE OU JARDIN	131520	estimation établissement thermal
09506X0010	PRECHACQ-LES-BAINS	PITE	SOURCE DARROZ	92064	estimation établissement thermal
09506X0033	PRECHACQ-LES-BAINS	THERMES DE PRECHACQ	T5	65760	abandon prévu
09506X0054	PRECHACQ-LES-BAINS	STATION THERMALE	MONTAIGNE 1	262800	estimation établissement thermal
09506X0055	PRECHACQ-LES-BAINS	STATION THERMALE	MONTAIGNE 2	131520	estimation établissement thermal
09764X0005	SAINT-PAUL-LES-DAX	SEBASTOPOL	FSEI-2	500000	estimation
09771X0163	SAINT-PAUL-LES-DAX	COMMUNAL	SPDX	525000	autorisé à 60 m³/h
09763X0079	SAUBUSSE	QUARTIER THERMAL	F3 HOURAT	20600	établissement thermal
09763X0086	SAUBUSSE	QUARTIER THERMAL	F4 RAJAT	49500	établissement thermal
09764X0033	TERCIS-LES-BAINS	ETABLISSEMENT THERMAL	BAGNERE 1	31500	établissement thermal
09764X0053	TERCIS-LES-BAINS	ETABLISSEMENT THERMAL	BAGNERE 2	30000	établissement thermal
TOTAL				4045456	

Tableau 3. — Prélèvements ETM actuels dans les Landes.

Année	DAX				Vente eau thermique		autres m³/an	Vol/curiste m³/saison (21 jours)
	Σ volumes produits m³/an	Q moyen équ. m³/h	ét. therm. m³/an	% / année précédente	péloïdes m³/an	piscine rééduc. m³/an		
1980			411 230					
1981			475 380	+ 16				
1982	2 300 000		470 031	- 1				
1983	2 350 000		1 040 233	(x 2,2)				
1984	2 400 000		1 186 776	+ 14				27,3
1985	2 500 000		958 047	- 19,3				20,5
1986	2 500 000		980 121	+ 2,3				20,7
1987	2 600 000		1 072 854	+ 9,5				22,8
1988	2 650 000		1 054 314	- 1,7				20,7
1989	2 742 168	313	1 092 400	+ 3,6				22,2
1990	2 051 838	234	1 118 863	+ 1	399 246	3 657		20,3
1991	1 499 205	172	1 051 382	- 6	286 368	4 870		-
1992	1 468 069	168	1 123 348	+ 6,8	339 518	5 203		21,4
1993	1 477 808	169	1 098 424	- 2,2	366 840	5 433		22,8
1994	1 453 719	166	1 001 961	- 8,8	290 701	5 177	101 600 *	21,0
1995	1 499 939	171 **	976 715	- 2,5	310 774	4 938	104 991 *	20,6

Tableau 4. — Evolution de la production d'eau thermique à Dax depuis 1980 jusqu'en 1995.

* Fontaines publiques, nettoyage de réseau, consommation douches et serres municipales.

** 40 à 60 m³/h sont extraits en sus par Elvina et St Christophe de GTA.

5. Piézométrie observée comparée à la charge d'eau douce équivalente.

Pour chaque point de l'aquifère thermal du Bas-Adour, à partir des mesures faites en puits "chauds" ou "froids", des charges d'eau douce équivalentes ont été calculées en utilisant une loi de variation de la masse volumique du fluide en fonction de la température, de la pression et de la salinité (formule de Rowe et Chou : Pressure-Volume-Temperature-Concentration Relation of Aqueous NaCl Solutions - Journal of Chemical and Engineering Data - Vol. 15 n° 1 - Rowe A.M., Chou J.C.S. - 1970). Les paramètres de calcul sont :

- les profondeurs du toit de l'aquifère ;
- les températures de fond et de surface (supposées varier linéairement le long du forage) ;
- les minéralisations ;
- l'état dynamique ou statique de l'ouvrage ;
- un plan de référence 0 NGF et une température de surface de 14°C.

Les mesures piézométriques sont converties en charges d'eau douce équivalentes calculées au toit de l'aquifère thermal (figure 5).

Les forages et piézomètres de Dax et de Saint-Paul-lès-Dax ont tous une charge équivalente négative, dans un secteur de sensibilité hydrodynamique. Ils délimitent une zone de dépression piézométrique susceptible de s'étendre sous l'effet de pompages accrus (figure 6).

• Essai de simulation numérique

Un modèle thermo-hydraulique en coupe verticale, très simplifié par rapport à la complexité hydrogéologique locale, comprenant trois aquifères séparés par deux épontes, mis en communication au niveau d'une zone fracturée, permet d'illustrer les déformations rapides des isothermes et la

remontée d'eau chaude à 60°C, avec réchauffement des eaux de l'aquifère intermédiaire (figure 7).

VII ■ CADRE HYDRO-GÉOCHIMIQUE

(réalisé en collaboration avec l'EGID de Bordeaux III)

Selon les minéralisations et les lithologies des terrains traversés, les eaux thermales sont classées en six groupes [12-13] :

- le groupe des aquifères supérieurs, avec les nappes alluviales et les aquifères allant de l'Eocène au Pliocène, dont la nappe des Sables infra-molasiques, avec des eaux bicarbonatées calciques peu minéralisées (conductivité < 500 mS/cm).

Cependant les datations isotopiques révèlent l'existence d'eaux très anciennes dans l'aquifère Oligocène et l'Eocène, avec une signature différente de celle des aquifères les plus superficiels (nappe alluviale et Miocène). Les points de l'Eocène plus carbonaté présentent une signature proche de celle des aquifères plus superficiels.

- le groupe de Dax est divisé en deux sous-groupes :

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

- Dax 2 au SW (forages des Baignots, ...). Les eaux proches de "Dax 1" montrent un mélange significatif avec les eaux superficielles.

- le groupe de Gamarde dont les eaux sont froides (17 à 18°C), chlorurées sodiques et sulfurées (55 mg/l), moyennement minéralisées (1400 mg/l), riches en bore et en brome,

6. Géologie et hauteurs d'eau douce équivalentes.

7. Carte des températures et champ de vitesse.

- **le groupe de Préchacq** (forages Montaigne 1 et 2, puits T5, sources Darroze et La Hire). Les eaux sont très riches en sulfates > 500 mg/l, localement sulfurées (6 à 7 mg/l) et avec de la silice, leur minéralisation est comprise entre 1100 à 1400 mg/l, jusqu'à 2100 mg/l pour la source de Trou Madame, fortement calciques, magnésiennes et potassiques. Elles sont chaudes (57-60°C).

- **le groupe de Saubusse**, avec les ouvrages GDX1 et Sébastopol 1bis, qui ont des eaux sulfatées, moyennement minéralisées, sans sulfures, ni trait chimique dominant. Les températures sont de 36-42°C.

- **le groupe de Tercis** présente des eaux chlorurées sodiques les plus minéralisées (conductivité > 3500 µS/cm), des températures moyennes (36-40°C), avec des traces de sulfures (1 mg/l).

Les minéralisations des eaux résultent :

- soit de la dissolution de sels de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et d'halite (NaCl), retrouvés dans les formations salifères des diapirs, avec d'autres ions alcalins (K) et alcalino-terreux (Mg), des halogénures (Cl et Br) et de la dolomie ($\text{Ca, Mg}(\text{CO}_3)_2$) qui constitue l'ossature du réservoir carbonaté thermal ;
- soit des interactions eaux – roche et des évolutions profondes liées aux temps de résidence dans le réservoir, de mécanismes de réduction des sulfates, et parfois d'une réoxydation partielle ou totale des sulfures lors de la phase d'ascension terminale.

Ces phénomènes sont liés à des conditions de circulation en milieu relativement confiné, plus ou moins en contact avec des évaporites, aux variations de pression partielle de CO_2 , aux variations de température et de pression, et à la présence de micro-organismes. Les caractéristiques hydro-

géochimiques impliquent de possibles mélanges avec des eaux venant d'aquifères supérieurs de l'Eocène au Pliocène.

Les eaux les plus superficielles (nappe alluviale et plio-quaternaire) sont bicarbonatées calciques (faciès stable dans le temps), peu minéralisées (conductivités < 500 mg/l), de températures inférieures à 20°C, avec des nitrates. La présence de tritium indique un âge inférieur à 50 ans confirmé par une signature isotopique proche de celle des pluies actuelles.

Les eaux des Sables Infra-molassiques ont des temps de séjour proches de 20 000 ans, dont la température au moment de la recharge, calculée à partir des concentrations en gaz nobles, était de 5 à 9 °C, donc plus froide que la température actuelle (ante Holocène).

Les eaux du Paléocène et du Crétacé supérieur sont bicarbonatées calciques peu minéralisées avec deux spécificités différentes :

- sulfatées calciques moyennement minéralisées (C # 1000 µS/cm), avec la présence de magnésium associée à la dolomite, et des températures de 50 à 70°C, comme à Dax et à Gourbera,
- chlorurées sodiques très minéralisées (C > 3500 µS/cm) et nettement plus froides comme à Tercis, Gamarde et Trou Madame.

Toutes les eaux thermales ont connu des circulations souterraines profondes, sans interaction à très forte température avec les minéraux de l'aquifère. Elles présentent des apports récents et de possibles mélanges avec les aquifères supérieurs et avec l'Adour correspondant aux "rajeunissements" confirmés par les datations au carbone 14 et au tritium. Les mélanges entre les eaux thermales et les eaux superficielles peuvent atteindre 28% (cf. figure 8).

Les temps de résidence permettent de différencier des circulations rapides au travers de fissures, fractures de chenaux karstifiés et des circulations plus lentes au sein de terrains à porosité d'interstices dans des secteurs plus profonds du réservoir thermal.

VIII ■ PROPOSITIONS DE SUIVI

Les points existants dans les 6 stations seront privilégiés :

- 19 sont des points actuels de production où sont souhaités les enregistrements systématiques des volumes prélevés, des niveaux piézométriques et dynamiques, des pressions et températures de fond, d'indicateurs physico-chimiques pré-identifiés ;
 - 3 sont des points dispersés : Louer F1 – Gourbera GdF et les Eschourdes ;
 - 5 autres suivis : le fleuve Adour à Dax et Pontonx, la pluie à Dax et Audignon et la pression barométrique à Dax.
- Huit piézomètres de 600 à 1300 mètres de profondeur pourront être créés sur des structures hautes.

IX ■ DÉLIMITATION D'UNE ZONE "DE SENSIBILITÉ OU DE PROTECTION"

Le réservoir thermal peut être considéré comme un système unique, contenu dans les formations calcaréo-dolomitiques du Paléocène et du Crétacé supérieur. **L'aquifère réagit aux sollicitations**. Il est d'extension régionale et renouvelé par des eaux météoritiques [3].

9. Délimitation d'une zone de sensibilité.

Une zone dite “de sensibilité” ou “à protéger” est proposée (figure 9). Elle prend en compte :

- les transferts de masse relativement lents, qui s'effectuent en profondeur, à l'abri des contaminations,
- les transferts de pression très rapides qui affectent les secteurs sensibles (relations avec l'Adour).

Cette “zone sensible” ou de “périmètre de protection” de la ressource thermique sera assortie de contraintes visant à protéger le système thermal et à optimiser les conditions d'exploitation.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BOURGINE B., CAPDEVILLE J.P., RAZIN P., SOURISSEAU B., VAIRON J. -1997 - Outil de gestion des systèmes aquifères du Sud du bassin Adour-Garonne. Concept géologique et hydrogéologique. Rapport BRGM R39538.
- [2] BOURGINE B., CAPDEVILLE J.P., SCHOEN R., SEGUIN J.J., SOURISSEAU B. 1999 - Outil de gestion des systèmes aquifères du Sud du bassin Adour-Garonne. Base de données géoréférencées et modèle conceptuel. Rapport BRGM R40633.
- [3] BERARD P., LACHASSAGNE P., SEGUIN J.J., SOURISSEAU B. - 1999 - Synthèse des connaissances sur la ressource thermique du Bas-Adour. Recommandations de protection et de suivi. Rapport BRGM R40539.
- [4] POUCHAN P., PELISSIER G., FRANCHESCHI M., LABAT N., 1995 : Hydrothermalisme de l'avant-pays pyrénéen. DAX exemple type. Commission des Eaux Minérales et Thermales de l'A.I.H. Réunion de 1995.
- [5] VOUVE J., CAZAL A., PLAUD M., POUCHAN P., 1969 : Introduction à l'étude hydrogéologique du Bassin d'Aquitaine. Centre d'Hydrogéologie de la Faculté des Sciences de Bordeaux. Agence financière de Bassin Adour-Garonne.
- [6] ARMAND C., SOURISSEAU B., BEL F., KARNAY G., LE POCHAT G., 1990 : Qualité, protection, évaluation et surveillance des ressources en eaux profondes des nappes nord-pyrénéennes. Rapport R33211 AQI 4S 90. *D19
- [7] POUCHAN P., 1990 : Ensemble de travaux “Recherches sur les eaux souterraines profondes. Paléohydrogéologie et géothermalisme. Exemples de l'Aquitaine et de l'Afar. Thèse de Doctorat ès-Sciences, Univ. de Bordeaux III.
- [8] BICHOT F., BONNERY H., SOURISSEAU B., 1995 : Système d'information pour la gestion des eaux souterraines de la région Aquitaine. Définition et délimitation des systèmes aquifères. Rapport BRGM R38472.
- [9] BERARD P., CHERY L., LOPOUKINE M., PLATEL J.P., SOURISSEAU B. 1997 : Synthèse des connaissances hydrogéologiques sur les ressources thermo-minérales du Bas-Adour. Rapport BRGM R39396.
- [10] BENHAMMOUDA S., RICARD J., SCHOEN R., SEGUIN J.J., SOURISSEAU B. 1999 - Surveillance des systèmes aquifères des Sables Infra-molassiques et Paléocène en régions Aquitaine et Midi-Pyrénées. Etat de connaissances et suivi piézométrique à fin 1998. Rapport BRGM R40790.
- [11] GDF - 1994 - Demande d'autorisation de stockage de gaz combustible dans la région des Landes de Siougos. Etude d'impact, volume III : étude des effets du stockage de gaz sur l'hydrodynamisme des aquifères profonds. Rapport GdF/DR/Dép. Réservoirs Souterrains.
- [12] BLAVOUX B., DRAY M., FEHRI A., OLIVE P., GRÖNING M., SONNTAG C., HAUQUIN J.P., PELISSIER G., POUCHAN P., 1993 : Palaeoclimatic and hydrodynamic approach to the Aquitaine basin deep aquifer (France) by means of environmental isotopes and noble gases. Proceedings of Intern. Symposium “Isotopes techniques in the study of past and current environmental changes in the hydrosphere and the atmosphere”. IAEA, Vienna, 293-305. *D2
- [13] CHERY L., GADALIA A., MAZURIER C., SOURISSEAU B. 1999 : Ressources thermominérales du Bas-Adour. Grille d'observation de la qualité des eaux. Rapport de synthèse - BRGM R 40675.