



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



AGENCE DE L'EAU  
ADOUR-GARONNE



Gironde  
CONSEIL GENERAL



BORDEAUX METROPOLE  
COMMUNAUTÉ URBAINE DE BORDEAUX

DOCUMENT PUBLIC

## *Restructuration du modèle nord-aquitain de gestion des nappes*

*Réalisation de 6 simulations pour le Schéma de Gestion des  
Eaux du département de la Gironde*

SYNTHESE

Etude soutenue dans le cadre des actions de Service Public du BRGM 98D521 et 99D553

Avril 1999  
R40224



Mots clés : Modélisation, Oligocène, Eocène, Campanien, Nord Aquitain, Gironde,  
Schéma Directeur.

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

AMRAOUI N., BICHOT F., SEGUIN J.J. PLATEL J.P. , SOURISSEAU B. (1999)  
Restructuration du modèle nord-aquitain de gestion des nappes.  
Réalisation de 6 simulations pour le Schéma de Gestion des Eaux du département de la  
Gironde  
Rapport BRGM R 40224

© BRGM 1997, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation  
expresse du BRGM.

# Sommaire

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>1. LE MODELE NORD AQUITAIN.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Présentation générale .....</b>	<b>2</b>
1.1.1. Couches aquifères modélisées .....	2
1.1.2. Représentation numérique .....	3
1.1.3. Base de données.....	3
1.1.4. Construction .....	4
<b>1.2. Calage du modèle.....</b>	<b>6</b>
1.2.1. Démarche.....	6
1.2.2. Données piézométriques utilisées pour le calage .....	6
1.2.3. Qualité du calage .....	7
<b>1.3. Principaux résultats.....</b>	<b>9</b>
1.3.1. Termes du bilan des flux par nappe.....	9
1.3.2. Estimation du déficit en eau des nappes .....	10
1.3.3. Conséquences .....	11
<b>2. SIMULATION DE 6 SCENARIOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1. Présentation des scénarios .....</b>	<b>12</b>
2.1.1. Scénario 1 .....	12
2.1.2. Scénario 2 .....	12
2.1.3. Scénario 3 .....	13
2.1.4. Scénario 4 .....	14
2.1.5. Scénario 5 .....	14
2.1.6. Scénario 6 .....	15
<b>2.2. Etude comparative.....</b>	<b>15</b>
2.2.1. Nappe de l'Eocène .....	15
2.2.2. Oligocène.....	16
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>17</b>

## **Introduction**

Depuis plusieurs décennies le niveau des nappes exploitées en Gironde baisse, parfois de façon alarmante, comme dans le cas de la nappe de l'Eocène. Cette baisse durable a fait apparaître la nécessité de mettre en place une politique de réduction des prélèvements dans cette nappe.

La chute de la piézométrie de la nappe Eocène, plus de 1 m par an depuis une quarantaine d'années en certains points de surveillance, est en effet une réalité qui souligne la surexploitation de la ressource et laisse présager, si la situation continue à se dégrader, de graves problèmes pour les exploitants (dénoyage des pompes, détérioration de la qualité des eaux,...). De plus, si la dépression piézométrique de la région bordelaise continue à s'étendre, la possibilité de venues d'eau salée de l'estuaire vers la nappe, par inversion des flux, n'est pas à exclure. Ce risque est d'ailleurs précisé dans des travaux récents ( rapport BRGM R 40113, 1998).

L'Agence de l'Eau Adour-Garonne, la Communauté Urbaine de Bordeaux et le Conseil Général de la Gironde ont donc décidé la mise en place d'un Schéma Directeur de Gestion des Ressources en Eau de la Gironde. Ce Schéma propose des solutions alternatives permettant de limiter les prélèvements dans la nappe Eocène.

Compte tenu de l'importance des investissements, les partenaires associés dans cette démarche ont demandé au BRGM Service Géologique Régional Aquitaine d'utiliser le modèle mathématique nord-aquitain, développé au début des années 1990, pour tester les différentes solutions proposées par le Cabinet d'études du Schéma. Une expertise du modèle réalisée à la demande de l'Agence de l'Eau a montré qu'il devait être amélioré pour arriver à un niveau de représentativité du milieu souterrain suffisant pour fonder des décisions d'investissements lourds.

En accord avec les experts, un programme a été établi pour restructurer le modèle (vérification de la géométrie, analyse plus fine de la recharge, amélioration du calage...). Un important travail de refonte du modèle a donc été entrepris. Les données les plus récentes (géologie, piézométrie, prélèvements...) ont été utilisées.

On présente, dans le premier chapitre de cette synthèse, le travail réalisé conformément aux recommandations de l'expertise ainsi que les principaux résultats obtenus permettant d'orienter la politique d'économies d'eau dans l'Eocène. Celle-ci a été traduite par différents scénarios proposés par le Cabinet d'étude du Schéma, scénarios qui ont été simulés à l'aide du modèle. Les résultats de ces simulations sont présentés dans le deuxième chapitre.



# 1. Le modèle nord aquitain

## 1.1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE

### 1.1.1. Couches aquifères modélisées

Le domaine modélisé couvre la partie nord du Bassin Aquitain: sud des Charente, moitié sud-ouest de la Dordogne, nord-ouest de Lot-et-Garonne, nord des Landes et totalité du département de la Gironde.

L'analyse lithologique et hydrogéologique a permis de fixer le nombre de couches du modèle ; dans le cadre de ce projet, celui-ci comprend 5 couches aquifères d'extension géographique différente, séparées les unes des autres par des terrains peu perméables (les épontes). Ces couches sont, de la plus récente à la plus ancienne :

- le *Mio-Plio-Quaternaire* (systèmes aquifères 127, 234 et 233), épais multicouche uniquement présent à l'ouest de l'axe Garonne/Gironde; compte tenu du faible battement de la piézométrie de cet ensemble, cette couche constitue une limite supérieure du modèle à charges imposées invariables dans le temps.
- la nappe des calcaires de l'**Oligocène** (systèmes aquifères 230 et 127A1);
- la nappe de l'**Eocène**, couche constituée de calcaires, de grès ou de sables fluviatiles ou littoraux (système aquifère 214 et aquifères libres associés);
- la nappe des calcaires du **Crétacé terminal** (système aquifère 231 et aquifères libres associés) ;
- la nappe du *Santonien-Coniacien-Turonien* (partie supérieure du système 215 et aquifères libres associés). Ces trois formations, constituées de calcaires crayeux et bioclastiques et de sables, ont été regroupées dans un même ensemble aquifère en général bien séparé de la nappe du Cénomaniens sous jacente par une série de marnes et de calcaires crayo-marneux du Turonien inférieur et du Cénomaniens supérieur (d'une épaisseur de 25 à 50 m). Les calcaires marneux et les marnes du Santonien et du Campanien, d'épaisseur souvent importante (plusieurs centaines de mètres), en constituent le toit.

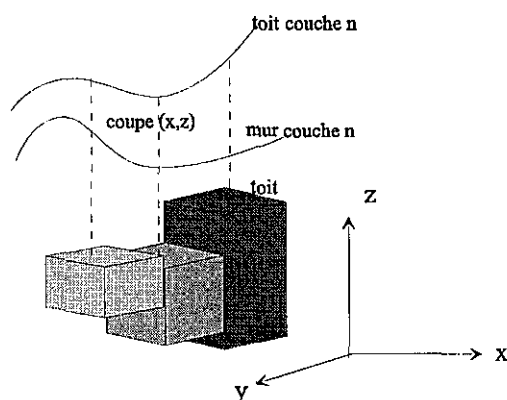
Ces systèmes aquifères peuvent localement communiquer. C'est le cas en particulier du Crétacé terminal et de l'Eocène, ou de l'Oligocène et du Miocène. En revanche, un épais niveau crayo-marneux, correspondant au Campanien inférieur/Santonien supérieur et moyen, isole cet ensemble des nappes plus profondes (Santonien/Coniacien/Turonien et Cénomaniens). Toutefois, la nappe du Santonien-Coniacien-Turonien, récemment ajoutée au modèle régional « permanent », a été conservée dans ce modèle transitoire car elle participe localement à l'alimentation de la nappe du Crétacé terminal (Campano-Maastrichtien).

Compte tenu de la stabilité dans le temps de la piézométrie du Miocène (plus précisément du Mio-Plio-Quaternaire), le choix a été fait d'intégrer cette formation dans le modèle sous la forme d'une couche à charge imposée sur toutes les mailles la représentant.

### 1.1.2. Représentation numérique

Le modèle est construit suivant un schéma aux différences finies. Chacune des couches est représentée en plan par un maillage constitué de mailles carrées de 5 km × 5 km.

Il est du type multicouche: chaque couche est discrétisée en mailles parallélépipédiques dont la face supérieure correspond au toit de la formation considérée et la face inférieure au mur de cette formation (schéma ci-dessous).



Le nombre de mailles dans chaque couche du modèle est donné dans le tableau ci-dessous :

Formation	Nombre de mailles	Superficie(km <sup>2</sup> )
Miocène	401	10025
Oligocène	440	11000
Eocène	731	18275
Campanien	659	16475
Santonien	950	23750
	<b>Total=3181</b>	

### 1.1.3 Base de données

Toutes les données nécessaires à la modélisation ont été intégrées dans un SIG (géré par le logiciel MAPINFO :

- modèle numérique de terrain, cartes du toit et du mur de chaque formation, carte des affleurements, limites et maillage des couches, cartes piézométriques et points de mesures, localisation des pompages et valeur des prélèvements, localisation des sources,...

Une telle base de données permet :

- de disposer d'une source d'informations unique et homogène,
- de faire rapidement des mises à jour,
- de superposer aisément différentes couches de données,
- de disposer de fonctionnalités avancées pour réaliser des opérations complexes (sélections, analyses thématiques,...)

#### 1.1.4. Construction

- Géométrie

La géométrie des différentes couches a été construite au mieux compte tenu de la taille des mailles (5 km × 5 km). Dans le cas de l'Eocène, elle a été établie à partir de l'analyse de plus de 160 ouvrages et des documents existants. Les grandes structures anticlinales ont été reproduites (en particulier l'anticlinal de Vilagrains-Landiras) et il a été tenu compte des principales failles (Bordeaux, Arcachon,...).

- Limites et conditions imposées

Les limites de chaque couche ont été modifiées en fonction des zones d'affleurements identifiées sur les cartes géologiques au 1/50 000 et des différents travaux consultés dans le cadre de cette étude.

Les conditions aux limites sont de 4 types :

- 1) A charge imposée sur la limite Ouest de chacune des couches (située sous le plateau continental) ; une marge empiétant de 10 km sur l'Atlantique (largeur de 2 mailles) a été ménagée de façon à réduire l'influence des charges imposées sur cette limite.

En dehors de cette limite Ouest, la seule condition de charge imposée qui a été introduite dans le modèle concerne l'Oligocène le long de la Garonne entre Bordeaux et Marmande (cf ci-après), à l'exception de 3 mailles contenant des affleurements et considérées comme mailles à condition de débordement.

- 2) A flux imposé en limite Sud des couches.

- 3) A condition d'échange nappe-rivière. Cette condition concerne l'Eocène et le Campanien qui affleurent au niveau de l'estuaire de la Gironde.

Les données nécessaires à l'introduction de ce type de condition, en particulier cote du niveau d'eau dans l'estuaire, cote du fond, épaisseur de sédiments entre rivière et nappe, ont été extraites d'une étude sur les possibilités de communication entre estuaire et nappe (*Gestion des eaux souterraines en Aquitaine, Année 1 - Opérations sectorielles* - Rapport BRGM R39328 - 1997).

- 4) A flux nul sur les limites latérales partout ailleurs.

- Recharge

Les valeurs de recharge introduites ont tenu compte des historiques météorologiques en différents points du domaine modélisé et de la surface réelle des zones d'affleurement dans les mailles. Le calage a permis d'affiner ces valeurs.

*Restructuration du modèle nord-aquitain de gestion des nappes.  
Réalisation de 6 simulations pour le Schéma de Gestion des Eaux de la Gironde. Synthèse*

Les mailles de recharge ont été définies à partir de la carte des affleurements des différentes formations, affleurements dont la superficie est indiquée dans le tableau ci-dessous:

	Superficie des affleurements (km <sup>2</sup> )	Nombre de mailles occupées	Superficie des mailles occupées (km <sup>2</sup> )
Oligocène	94	26	650
Eocène	863 + (652 sous estuaire)	76 + 20	1900 + 500
Campanien	850 + (179 sous estuaire)	48 + 8	1200 + 200
Santonien	2501	125	3125

Il peut donc y avoir des écarts importants entre la superficie réelle des affleurements et la superficie des mailles correspondantes, ce qui a conduit à distribuer le flux d'infiltration dans les mailles en fonction de la superficie réelle des affleurements (calculée par le SIG Mapinfo).

• Prélèvements

Les prélèvements annuels introduits dans le modèle proviennent de la base de données du SGR Aquitaine.

Les prélèvements de 1996 se répartissent comme suit :

	Débits (en m <sup>3</sup> /j)	Nombre de points	Débits pris en compte dans le modèle
Oligocène	148 455	195	148 424
Eocène	180 620	305	180 620
Campanien	19 203 en 1995 15 290 en 1996	52	18 470
Santonien	26 158	84	24 870

Par rapport à l'année 1972, les prélèvements effectués dans la nappe Oligocène ont augmenté de 44 % en 1996. Sur la période considérée (1972-1996), la valeur maximale est atteinte en 1995 avec 154 000 m<sup>3</sup>/jour.

Dans la nappe de l'Eocène, les prélèvements atteignent une valeur maximale de 198900 m<sup>3</sup>/jour en 1989, soit une augmentation de 61% par rapport à 1972. A partir de 1992 ils diminuent (avec néanmoins une nouvelle hausse en 1995) et passent à 180 600 m<sup>3</sup>/jour en 1996, soit une réduction de 9 % environ par rapport à 1989.

Dans la nappe du Campanien, les prélèvements entre 1972 et 1995 ont doublé, passant de 9700 m<sup>3</sup>/jour à 19200 m<sup>3</sup>/jour.



## 1.2. CALAGE DU MODÈLE

### 1.2.1 Démarche

Les inconnues étant nombreuses, la démarche de calage a été décomposée en trois étapes :

1) une première phase, en **régime permanent**, a pour but de cerner le champ de perméabilité et la recharge par comparaison des charges calculées à la piézométrie de 1996 .

A ce stade, les paramètres de calage sont :

- les charges imposées sur la limite atlantique (non connues)
- les flux imposés aux limites (non connus)
- la perméabilité des épontes
- les communications entre couches
- l'estimation et la zonation de la recharge

2) une deuxième phase, en régime transitoire et au **pas de temps annuel**, doit permettre de tester les résultats obtenus en régime permanent avec retour sur les perméabilités et la recharge qui varie en fonction des précipitations.

La période de calage va de 1972 à 1992 (21 ans) et la période de **validation** de 1993 à 1996 (4 ans).

3) la troisième phase, au **pas de temps trimestriel**, est consacrée à la restitution des coefficients d'emmagasinement (avec retour éventuel sur les perméabilités). Plus précisément, dans cette troisième phase de calage, le pas de temps est annuel de 1972 à 1987 (16 ans) et trimestriel de 1988 à 1992 (5 ans).

La période de **validation**, de 1993 à 1996, est elle même au pas de temps trimestriel.

### 1.2.2. Données piézométriques utilisées pour le calage

#### • Cartes

Pour l'Eocène et l'Oligocène, les cartes utilisées pour le calage sont les cartes relatives aux années 1972,1981,1991 et 1996. Pour le Campanien, seule la carte de 1996 existe.

Le nombre des points de mesures à partir desquelles ces cartes ont été dressées est donné dans le tableau ci-dessous:

	Oligocène	Eocène	Campanien
1981	51	45	/
1991	124	224	/
1996	100	244	35

Lorsque plusieurs points sont présents dans la même maille, une valeur moyenne de la piézométrie est calculée.

• Chroniques

Le calage s'est appuyé aussi sur des chroniques piézométriques plus ou moins nombreuses suivant les nappes et plus ou moins complètes suivant les points de mesures. Ces chroniques comprennent :

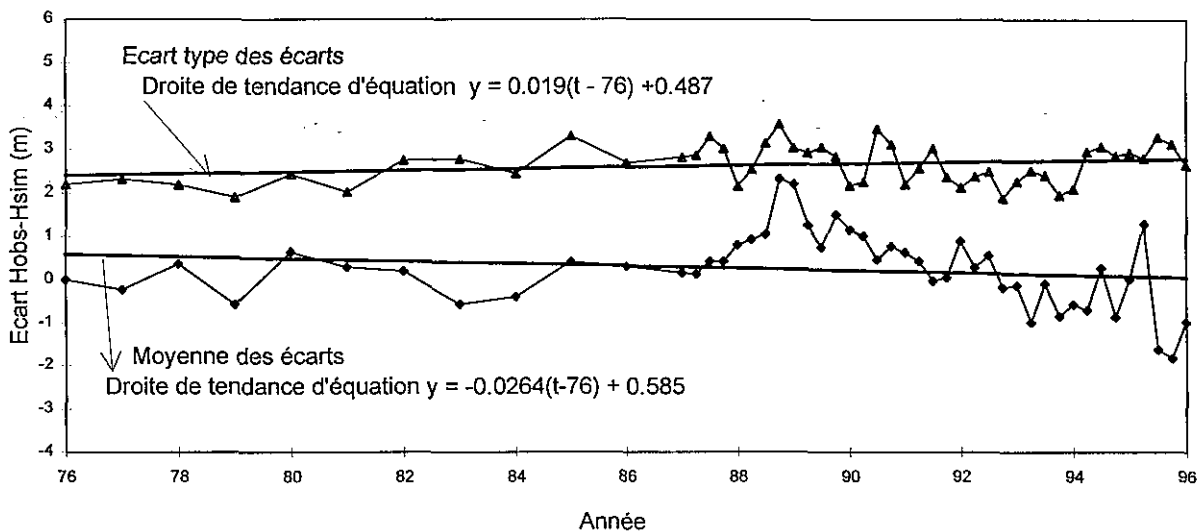
- 15 points dans l'Oligocène,
- 22 points dans l'Eocène,
- 7 points dans le Campanien (nappe peu suivie).

1.2.3 Qualité du calage

• Temporel

Au terme de ce calage, la plupart des chroniques piézométriques disponibles pour l'Oligocène (15) et surtout pour l'Eocène (22) sont bien reproduites en phase, en amplitude et en pente, à l'exception de 2 ou 3 points situés dans les zones périphériques.

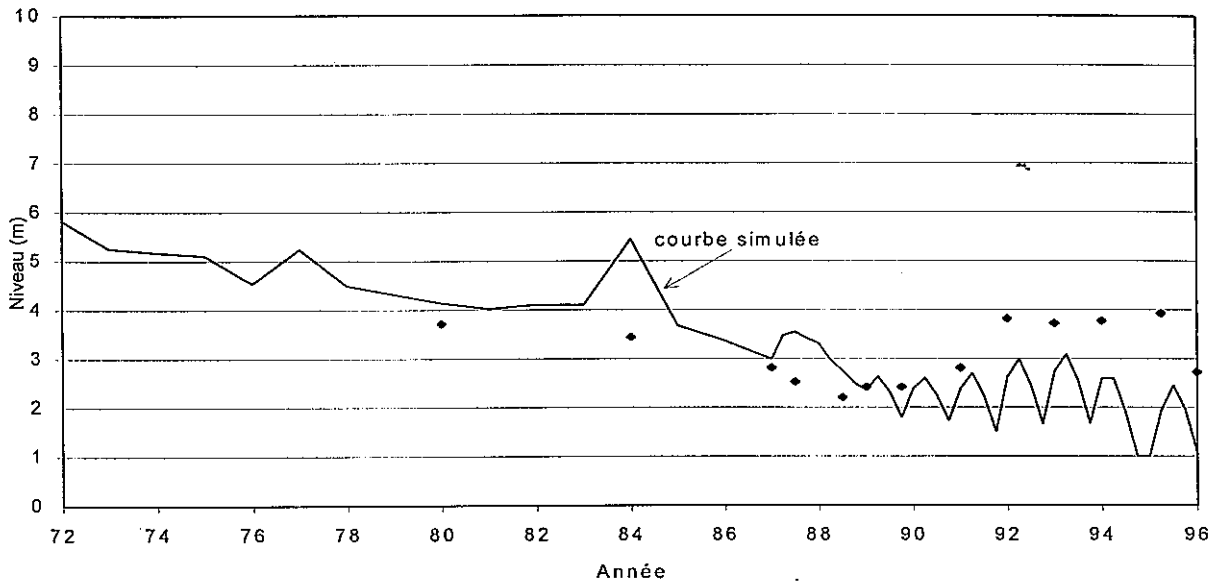
Pour l'Eocène et l'Oligocène, l'analyse des écarts moyens entre valeurs observées et valeurs simulées sur l'ensemble des piézomètres, pas de temps par pas de temps, ne met pas en évidence de biais significatif : les écarts restent stables au cours du temps et la baisse des niveaux n'est ni sous estimée ni surestimée comme le montre le graphique ci dessous, relatif à l'Eocène, sur lequel est reportée l'évolution dans le temps des écarts moyens et de leur écart type:



Eocène : évolution dans le temps des écarts moyens et de leur écart type.

La pente de la droite de tendance ajustée sur la série des écarts moyens n'est en effet que de 2.6 cm/an et de plus non significative au sens statistique (application du test de Student).

Le long de l'Estuaire les valeurs calculées sont en accord avec les valeurs observées, et cohérentes avec les mesures récentes effectuées dans ce secteur. Ainsi dans le cas du piézomètre de Pauillac, les écarts entre calculs et mesures restent compris entre 0.5 et 1.5 m avec des niveaux simulés légèrement sous estimés à partir de 1992 (donc en simulation "sécuritaire").



Comparaison des séries piézométriques observées et calculées  
au piézomètre de Pauillac (0754 8X 0117)

• Spatial

Au niveau spatial, la piézométrie est également bien restituée pour ces deux couches :

- en valeur moyenne (ni sous-estimation ni sur-estimation) et en écart type;
- dans le tracé des grandes figures d'écoulement : dômes et dépressions.

En revanche, pour le Campano-Maastrichtien le calage apparaît moins bon d'une part en raison de la faible densité d'information, et d'autre part de la nature karstique du réservoir.



### 1.3. PRINCIPAUX RÉSULTATS

#### 1.3.1. Termes du bilan des flux par nappe

Les caractéristiques statistiques des termes du bilan des flux variant le plus, calculés sur la période 1988-1996, sont rassemblées dans le tableau ci-dessous :

	Paramètres statistiques	Stockage (+) Déstockage (-) (1000 m <sup>3</sup> /j)	Débordement (1000 m <sup>3</sup> /j)	Recharge (1000 m <sup>3</sup> /j)	Prélèvements (1000 m <sup>3</sup> /j)
Oligocène	Moyenne	-1.24	16.9	22.1	140.2
	Ecart type	+ 21.8	8.70	28.7	13.1
	Minimum	-32.4	8.96	0	120.8
	Maximum	43.0	43.7	83.1	169.6
Eocène	Moyenne	-32.12	75.0	110.2	185.7
	Ecart type	135.6	12.6	142.8	10.95
	Minimum	-158.1	60.3	0	165.0
	Maximum	244.3	117.6	414.6	209.0
Campanien	Moyenne	-7.0	28.9	111.9	16.3
	Ecart type	130.4	20.0	146.5	3.1
	Minimum	-115.7	13.4	0	11.8
	Maximum	351.2	90.6	481.5	23.0

Indicateurs statistiques calculés sur les termes du bilan des flux variant le plus.  
Oligocène, Eocène, Campanien (période 1988-1996)

Le **déstockage moyen** sur la période 1988-1996 s'établit à :

*32000 m<sup>3</sup>/j pour l'Eocène,  
7000 m<sup>3</sup>/j pour le Campanien  
1200 m<sup>3</sup>/j pour l'Oligocène.*

Les autres termes du bilan varient peu dans le temps ; ainsi les paramètres statistiques caractérisant les flux de drainage échangés par l'Eocène avec l'Oligocène et avec le Campanien, calculés sur la période 1988-1996, sont les suivants :

Flux	Venant de l'Oligocène	Allant vers l'Oligocène	Venant du Campanien	Allant vers le Campanien
Moyenne m (1000 m <sup>3</sup> /j)	+ 66.8	- 4.84	+ 126.51	-67.34
Ecart type $\sigma$ (1000 m <sup>3</sup> /j)	2.14	0.25	3.21	1.99
Coeff. de variation $\sigma/m$ (%)	3.2	5.2	2.5	3.0

### 1.3.2 Estimation du déficit en eau des nappes

#### • Méthode

Comme pour l'analyse des chroniques piézométriques simulées, la démarche suivie pour l'analyse des flux reprend celle mise en oeuvre dans l'expertise.

La méthode utilisée, qui aboutit à une estimation du déficit en eau des nappes, repose sur deux constats :

1) les seuls flux variant de façon significative sur la période 1988-1996 sont :

- les flux de recharge,
- les flux de débordement,
- les flux de stockage-déstockage,

2) les nappes sont captives sur la plus grande partie du domaine (avec comme conséquence la linéarité des équations décrivant les écoulements).

Il existe donc a priori des relations linéaires entre les variables d'entrée et de sortie du modèle, en particulier entre :

- la recharge et les flux aux exutoires (débordements) ;
- la recharge et les variations de la piézométrie, plus précisément entre la recharge et le stockage-déstockage qui induit ces variations de piézométrie.

*Remarque* : La recharge à considérer doit être une recharge nette, déduction faite de la part de la recharge globale qui participe aux flux de débordement, ce qui implique un calcul préalable de la recharge nette.

La méthode, détaillée ci-après, consiste alors à étudier les relations entre d'une part recharge et débordement et d'autre part entre recharge nette et stockage - déstockage.

#### 1) Recharge nette

La relation linéaire  $D = \alpha R + \beta$  postulée entre la recharge  $R$  et le flux de débordement  $D$  permet de calculer :

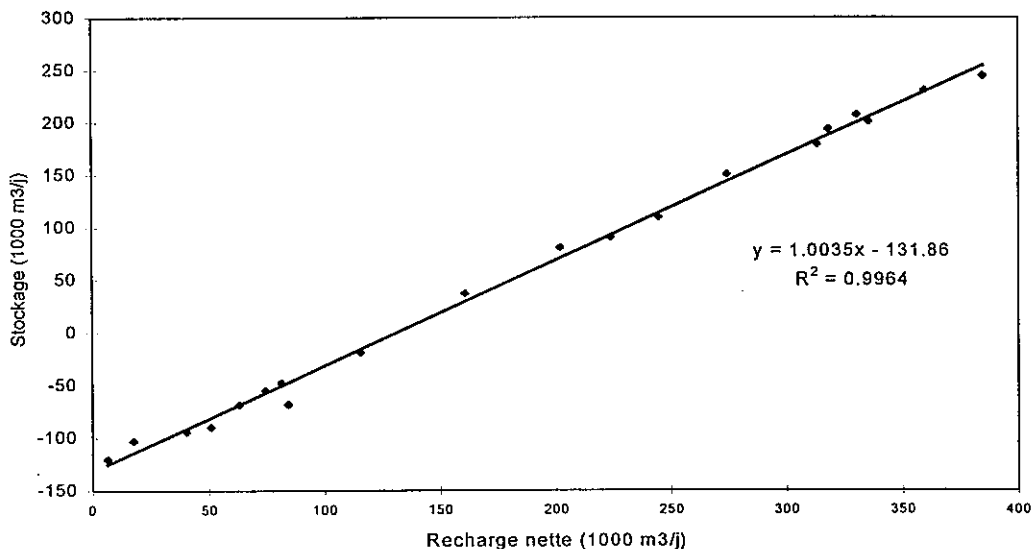
- la valeur du débordement de base  $D_{base}$ , c'est à dire le débordement assuré par le modèle en l'absence de recharge :  $D_{base} = \beta$
- la part de la recharge qui induit l'augmentation du débordement à partir de la valeur de base,  $R_d = \alpha$ , et celle qui intervient effectivement dans l'alimentation des nappes:  $R_n = 1 - \alpha$  (la recharge nette).

## 2) Recharge critique et déficit en eau

Si une relation linéaire, du type  $SD = a R_n + b$ , existe entre la recharge nette  $R_n$  et le stockage-déstockage  $SD$ , il est alors possible de définir une **recharge critique** au dessous de laquelle il y a effectivement déstockage. Cette recharge critique peut en effet être représentée par la valeur de la recharge qui, dans la relation linéaire ci-dessus, annule le terme de stockage, soit :  $R_{crit} = -b/a$

La différence entre la recharge moyenne  $R_{moy}$  sur la période étudiée et cette recharge critique permet alors d'estimer le **déficit en eau** des nappes du multicouche :  $Dfc = R_{moy} - R_{crit}$

Par exemple, pour l'Eocène, la relation entre recharge nette et (dé)stockage est la suivante:



### • Résultats

De cette analyse, il ressort que:

- l'Eocène est déficitaire d'environ 30 000 m³/j ;
- le Campanien est légèrement déficitaire de 3000 à 4000 m³/j ;
- l'Oligocène est globalement en équilibre.

### 1.3.3. Conséquences

La politique de réduction des prélèvements dans l'Eocène doit bien sûr tenir compte de l'importance de ce déficit pour mettre en place des solutions de substitution mais elle doit être de plus orientée en fonction d'objectifs de piézométrie, en particulier dans le secteur vulnérable de l'estuaire où le respect d'une piézométrie positive (supérieure au moins à 2 m) s'avère indispensable afin d'éviter une inversion des flux et la pénétration d'eau salée de l'estuaire dans la nappe Eocène.

Différents scénarios d'économie d'eau dans l'Eocène ont donc été proposés par les partenaires du Schéma Directeur de Gestion des Eaux du département de la Gironde: Agence de l'Eau, Conseil Général et Communauté Urbaine de Bordeaux (C.U.B.).

La simulation de ces scénarios et les résultats obtenus sont présentés dans le chapitre qui suit.

## **2. Simulation de 6 scénarios**

### **2.1. PRÉSENTATION DES SCÉNARIOS**

Les scénarios, au nombre de 6, correspondent à la reprise de simulations antérieures (ancien modèle nord aquitain) ou à des scénarios d'exploitation proposés par le Cabinet d'études du Schéma Directeur. Dans ce dernier cas, les scénarios essaient d'intégrer les principaux investissements envisagés: champs captant, conduite de Galgon, gravières pour les industries d'Ambès...

Mis à part le scénario I (maintien des prélèvements actuels) qui sert de référence et le scénario 2 (scénario "dur" avec une augmentation de 11% des prélèvements dans l'Eocène), les autres scénarios sont bâtis de façon à réaliser dans l'Eocène une économie d'eau globale de l'ordre de 45 000 à 50 000 m<sup>3</sup>/j.

Cette réduction des prélèvements dans l'Eocène est majorée par rapport à la valeur de 30 000 m<sup>3</sup>/j qui correspond au déficit en eau calculé à partir des bilans de flux fournis par le modèle sur la période 1988-1996 (chapitre 1).

Les simulations ont pour but de prévoir, en fonction des sollicitations prévues dans chaque scénario, l'évolution des nappes Eocène et Oligocène à l'horizon 2010.

La comparaison des résultats doit permettre

- 1) de discriminer les scénarios en terme de remontée des niveaux et de respect de contraintes piézométriques, en particulier dans le secteur vulnérable de l'estuaire,
- 2) de sélectionner celui qui apparaît le mieux adapté aux objectifs du Schéma de Gestion (schémas de distribution d'eau et contraintes d'investissement),
- 3) et en tous cas de susciter une réflexion destinée à orienter la prise de décision.

#### **2.1.1. Scénario 1**

Il correspond au **maintien de prélèvements constants entre 1996 et 2010**, et ce quelle que soit la couche du modèle et le secteur (concerne les 3 départements).

Il s'agit de la reprise du scénario 1b du rapport BRGM R 39201. Ce scénario doit servir de référence.

#### **2.1.2. Scénario 2**

Ce scénario correspond à **une augmentation de 11 % des prélèvements A.E.P.** jusqu'en 2010, ce qui représente un accroissement annuel de l'ordre de 0.8 %. Parallèlement les prélèvements industriels et agricoles sont maintenus constants. Ce scénario est appliqué sur la totalité des ouvrages du modèle quelle que soit la nappe et la localisation géographique.

L'augmentation globale, entre 1996 et 2010, est légèrement supérieure à 10 millions de m<sup>3</sup> (soit + 9.6 %). Le prélèvement total en 2010 est de plus de 120 millions de m<sup>3</sup>.

### 2.1.3. Scénario 3

Ce scénario correspond **au scénario A "moyen terme"** proposé par le Cabinet d'Etudes (rapport "*Présentation synthétique de l'étude et propositions - année 1997*").

En accord avec les acteurs du projet, le scénario 3 se décompose en deux phases :

- "court terme" (fixé pour les besoins des simulations jusqu'en 2002) correspondant à la réduction progressive des prélèvements sur la C.U.B. (Schéma C.U.B.) et à la mise en place de solutions alternatives,

- "moyen terme" correspondant à la période 2002-2010 où les réductions dans l'Eocène en fonction des secteurs sont effectives et les infrastructures de remplacement opérationnelles.

Pour tenir compte au mieux de la situation probable telle que l'on peut l'imaginer à ce jour, ce scénario est complexe. La trame du scénario précédent (numéro 2) a été maintenue, à savoir: prélèvements connus jusqu'en 1996, augmentation progressive des prélèvements (+ 11 % en 2010) sur la totalité des captages A.E.P., maintien des autres prélèvements à leur niveau de 1996.

Pour la nappe de l'Eocène en Gironde, des réductions progressives des prélèvements A.E.P. ont été introduites pour le secteur de la Communauté Urbaine (rive gauche, secteur 7), correspondant à une économie de 14 000 m<sup>3</sup>/j (conformément au Schéma de la C.U.B.) entre 1994 et 2002, auxquelles sont venues s'ajouter en 2002 une réduction des prélèvements sur les secteurs de : Médoc, Targon, Ambès, Castelnau, Blayais, Agglomération bordelaise, Créon, Libourne. Au bec d'Ambès les prélèvements industriels à l'Eocène ont été remplacés par les amenées d'eau de la prise de Galgon. On suppose dans ce scénario que les nouvelles infrastructures de substitution sont pleinement opérationnelles à compter de cette date. Ces économies réalisées dans l'Eocène ont été maintenues jusqu'en 2010.

Parallèlement, la mise en place de solutions alternatives peut entraîner la réalisation de nouveaux prélèvements. Parmi les solutions envisagées (augmentation des prélèvements aux sources pour la C.U.B., alimentation par une conduite venant de Galgon (Isle) ou/et par des pompages dans d'anciennes gravières alimentées en eau par des prélèvements en Garonne pour l'alimentation des industriels du Bec d'Ambès, champ captant dans les alluvions de la Garonne au sud de Bordeaux, champ captant dans l'Oligocène du secteur de Ste-Hélène...) seule la réalisation de nouveaux forages dans l'Oligocène de Ste-Hélène peut être modélisée. Les autres solutions concernent des eaux de surface ou de sub-surface.

Le champ captant de Ste-Hélène a été modélisé en introduisant de nouveaux captages conformément au travail de modélisation déjà réalisé (cf. rapport BRGM R 39684). Ces nouveaux captages sont répartis en 2 champs, l'un de 7 ouvrages situés à l'ouest de Ste-Hélène



l'autre de deux ouvrages situés au nord-ouest de cette localité. Tous les ouvrages sont positionnés sur une ligne  $X = 338.5$  km et sont séparés de 1 km. Entre les deux champs captants il y a une distance de 5 km. Dans le scénario modélisé chaque ouvrage produit un peu plus de  $500\,000$  m<sup>3</sup>/an à partir de 2002. Ces prélèvements sont maintenus constants jusqu'en 2010. Le champ nord vient alimenter le Médoc (soit au total  $3100$  m<sup>3</sup>/j), le champ sud la région bordelaise ( $10\,500$  m<sup>3</sup>/j). Dans ce scénario  $1800$  m<sup>3</sup>/j sont pris sur les nouveaux captages pour compenser les économies réalisées dans le secteur de Targon.

#### **2.1.4. Scénario 4**

Ce scénario est une variante du précédent. Il correspond à la **solution B "moyen terme"** préconisée par le Cabinet d'études .

Par rapport au scénario 3, quelques modifications ont été introduites dans le jeu de données :

- *diminution des prélèvements sur le nouveau champ captant sud du secteur de Ste-Hélène, soit de  $10500$  m<sup>3</sup>/j à  $9700$  m<sup>3</sup>/j ;*
- *réduction des économies de prélèvements prévues en 2002 dans l'Eocène : de  $3800$  à  $3000$  m<sup>3</sup>/j sur la C.U.B. et de  $3400$  à  $2000$  m<sup>3</sup>/j dans le Blayais.*
- *augmentation de ces économies de  $3000$  à  $5200$  m<sup>3</sup>/j dans le Libournais.*

Mis à part ces quelques modifications, la situation simulée est identique à celle du scénario précédent : réalisation progressive des  $14000$  m<sup>3</sup>/j d'économie sur la nappe de l'Eocène prévue par le Schéma de la C.U.B. entre 1994 et 2002, réduction importante des prélèvements à l'Eocène en 2002 ce qui suppose que les solutions de substitution soient pleinement opérationnelles, mise en service de nouveaux ouvrages à Ste-Hélène, augmentation parallèle des prélèvements d'environ 11 % entre 1994 et 2010.

#### **2.1.5. Scénario 5**

Il s'agit de simuler la **proposition C "moyen terme"** du Cabinet d'études. C'est aussi une variante du scénario précédent. Par rapport à ce dernier, les modifications introduites dans le jeu de données sont :

- *diminution des prélèvements sur le projet de champ captant de la nappe oligocène du Médoc ( $7500$  m<sup>3</sup>/j sur les 7 ouvrages) ;*
- *augmentation des économies réalisées à partir de 2002 sur l'Eocène des secteurs Médoc ( $800$  m<sup>3</sup>/j d'économie supplémentaire), Ambès ( $4100$  m<sup>3</sup>/j supplémentaires), Créon ( $1500$  m<sup>3</sup>/j) ;*
- *suppression des économies réalisées dans le Libournais et diminution de ces économies à l'Eocène sur Bordeaux (-  $1200$  m<sup>3</sup>/j) ;*

Les autres conditions restent identiques au scénario précédent .

### 2.1.6. Scénario 6

Dans le scénario 6 on envisage une situation extrême où tous les équipements de substitution sont opérationnels en 2002 permettant un maximum de réduction des prélèvements dans l'Eocène. L'économie globale réalisée est proche de 54 000 m<sup>3</sup>/j .

Dans le secteur du Médoc les économies sont portées à 3600 m<sup>3</sup>/j. Sur la C.U.B. on économise 3800 m<sup>3</sup>/j venant s'ajouter aux 14 000 m<sup>3</sup>/j prévus au Schéma. Les prélèvements sur le champ captant de Ste-Hélène venant compenser ces économies sont de 12 900 m<sup>3</sup>/j répartis sur un secteur nord (2 forages produisant 3400 m<sup>3</sup>/j) et un secteur sud (7 forages, 9500 m<sup>3</sup>/j).

Les industriels du secteur d'Ambès sont considérés comme étant alimentés par les prélèvements en gravières. En revanche pour l'A.E.P. les économies de 8100 m<sup>3</sup>/j à l'Eocène sont compensées par des transferts d'eau venant du champ captant de la nappe alluviale. Celle-ci permet aussi d'amener de l'eau vers les secteurs de Targon (1800 m<sup>3</sup>/j) et Créon (4000 m<sup>3</sup>/j). Ce champ captant est supposé fournir 13900 m<sup>3</sup>/j à partir de 2002.

La conduite venant de Galgon alimenterait dans ce scénario les secteurs de Libourne (5200 m<sup>3</sup>/j d'économisés sur la nappe de l'Eocène) et du Blayais (3400 m<sup>3</sup>/j).

## 2.2. ÉTUDE COMPARATIVE

### 2.2.1. Nappe de l'Eocène

#### • Résultats généraux

Des simulations réalisées il ressort que :

- les scénarios 2 et 6 sont particulièrement contrastés : d'une baisse généralisée et importante (de l'ordre de 3 à 4 m) pour le scénario 2 (augmentation de 11% des prélèvements AEP), on passe avec le scénario 6 (économie d'eau maximale) à une forte remontée des niveaux, dépassant 10 m dans le secteur de la CUB.
- **les scénarios 3, 4 et 5 (scénarios A, B et C du Schéma Directeur) sont comparables entre eux quant à leurs effets sur la piézométrie de l'Eocène.** Dans les 3 cas, par rapport à la situation de 1996, les niveaux remontent nettement, par exemple dans le secteur de la CUB où la hausse est de 9 à 12 m . L'impact des réductions des prélèvements dans la nappe de l'Eocène est particulièrement net à partir de 2002, date à laquelle les infrastructures de substitution sont supposées pleinement opérationnelles.

- le scénario 1 (gel des prélèvements à leur niveau de 1996) conduit à une aggravation de la situation piézométrique par rapport aux observations actuelles. En 2010, sur la plupart des points la stabilisation des niveaux n'est pas encore atteinte ; ceux ci continuent à baisser avec une pente plus ou moins importante suivant les secteurs.

Le scénario 6 apparaît nettement et logiquement comme le plus favorable. Toutefois, il convient d'examiner si cet effort supplémentaire sur les prélèvements est nécessaire compte tenu des objectifs piézométriques fixés, en particulier la préservation d'une "sécurité piézométrique" de 2 à 3 m au niveau de l'estuaire qui pourrait être assurée par les scénarios 3, 4 ou 5.

• Impact des six scénarios sur la nappe Eocène le long de l'estuaire

Afin de préciser l'impact des différents scénarios sur le comportement de la nappe de l'Eocène dans le secteur de l'estuaire, zone vulnérable, on a calculé les différences entre les charges hydrauliques de 1996 et celles de 2010 dans les mailles bordant l'estuaire.

Concernant le scénario 1, le maintien des prélèvements constants entre 1996 et 2010 entraîne une baisse de la piézométrie le long de l'estuaire. L'écart entre 2010 et 1996 augmente en allant du nord du Médoc vers le sud avec des valeurs de baisse allant de 0.5 m au nord à plus de 1 m au sud.

Pour le scénario 2, la baisse des niveaux est plus importante, de 70 cm au nord à plus de 3 m au sud (valeur maximale de 3.5 m).

Les scénarios 3, 4 et 5 aboutissent à des résultats comparables entre eux. La partie aval et la partie amont de l'estuaire réagissent de façon différente : écart encore négatif en aval (de 20 à 40 cm) mais positif en amont, devenant de plus en plus important en remontant l'estuaire, passant de 1 m à 7 m.

Pour le scénario 6, en partie aval de l'estuaire, les écarts négatifs persistent, mais moins importants que dans les scénarios 3, 4 et 5. En partie amont, les écarts deviennent positifs et de plus en plus importants en remontant l'estuaire, dépassant 9 m vers la confluence.

*Les scénarios 3 à 6 permettent de maintenir les niveaux piézométriques au dessus de 2 m (à l'exception des 2 mailles les plus à l'aval), assurant ainsi une protection contre la venue d'eau salée de l'estuaire vers la nappe Eocène.*

### 2.2.2. Oligocène

Contrairement à la nappe de l'Eocène, la nappe de l'Oligocène ne réagit pratiquement pas à la réduction des prélèvements dans l'Eocène. Elle réagit également peu à l'augmentation globale des prélèvements (+ 11 % à l'horizon 2010) qui l'affecte directement.

Le champ captant simulé du secteur de Ste-Hélène a un impact restant modéré sur la piézométrie de l'ouest du Médoc.



## Conclusion

*Le modèle nord aquitain, construit conformément aux recommandations de l'expertise et calé au mieux sur les données piézométriques disponibles, permet de répondre aux problèmes posés par la baisse continue des niveaux dans l'Eocène en orientant la politique d'économie d'eau décidée par les partenaires du Schéma Directeur de Gestion des Eaux de la Gironde.*

Les objectifs d'économie d'eau dans l'Eocène qui avaient été préconisés dans les simulations antérieures étaient basés sur une valeur de déstockage moyen de 40 000 m<sup>3</sup>/j. La présente modélisation, réalisée sur de nouvelles bases et avec un pas de temps plus fin montre que :

- l'Eocène est déficitaire d'environ 30 000 m<sup>3</sup>/j ;
- le Campanien est légèrement déficitaire de 3000 à 4000 m<sup>3</sup>/j ;
- l'Oligocène est globalement en équilibre.

La politique de réduction des prélèvements dans l'Eocène doit bien sûr tenir compte de l'importance de ce déficit pour mettre en place des solutions de substitution mais elle doit être de plus orientée en fonction *d'objectifs de piézométrie*, en particulier dans le secteur vulnérable de *l'estuaire* où le respect d'une *piézométrie* positive (au moins *supérieure à 2 m*) s'avère indispensable afin d'éviter une inversion des flux et la pénétration d'eau salée de l'estuaire dans la nappe Eocène.

*Différents scénarios d'économie* d'eau dans l'Eocène ont donc été proposés par les partenaires du Schéma Directeur de Gestion: Agence de l'Eau, Conseil Général et Communauté Urbaine de Bordeaux (C.U.B.).

La simulation de ces scénarios et les résultats obtenus montrent que le maintien des prélèvements et a fortiori leur augmentation de 11% conduit à une nette aggravation de la situation actuelle et à une *baisse inacceptable des niveaux le long de l'estuaire* ; cette baisse ne permettrait pas en effet d'assurer une sécurité suffisante contre la venue d'eau salée dans la nappe de l'Eocène.

Si le *scénario 6* apparaît le *plus satisfaisant* par son impact très prononcé sur la remontée des niveaux de l'Eocène, *les scénarios 3, 4 et 5* permettent aussi *de ménager le long* de l'estuaire un niveau piézométrique suffisamment élevé pour empêcher une inversion de flux et la venue d'eau de l'estuaire dans la nappe Eocène.

