Document public

Contribution à la révision du SAGE Nappes Profondes de Gironde :

Utilisation du MOdèle Nord-Aquitain – phase « Tendances et Scénarios » - Simulations complémentaires

Rapport final

BRGM/RP-61479-FR
Septembre 2012

smegreg

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Contribution à la révision du SAGE Nappes Profondes de Gironde :
Utilisation du MOdèle Nord-Aquitain – phase « Tendances et Scénarios » - Simulations complémentaires

Rapport final

BRGM/RP-61479-FR
Septembre 2012

Étude réalisée dans le cadre du projet de Service public du BRGM PSP12AQI46

O. Cabaret et M. Saltel

Vérificateur :	**Approbateur :**
Original signé par :	Original signé par :
JJ. SEGUIN	N. LENOTRE

En l'absence de signature, et pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots clés : modélisation hydrodynamique, Modèle Nord-Aquitain, simulations prospectives, SAGE, substitutions, économies d'eau, variation de stock, volumes prélevables.

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

Cabaret O. et Saltel M. (2012) - Contribution à la révision du SAGE Nappes Profondes de Gironde : Utilisation du Modèle Nord-Aquitain - phase « Tendances et Scénarios » - Simulations complémentaires - Rapport final, BRGM/RP-61479-FR, 46 p., 23 fig., 4 ann.

© BRGM, 2012, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le travail présenté dans ce rapport est réalisé à la demande du **S**yndicat **M**ixte d'**É**tudes pour la **G**estion de la **R**essource en **E**au du département de la **G**ironde (**SMEGREG)** dans le cadre de la révision du **S**chéma d'**A**ménagement et de **G**estion des **E**aux (**SAGE**) approuvé par arrêté préfectoral le 25 novembre 2003. En effet, la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006 a modifié le contenu et la portée des SAGE et impose la révision de ceux déjà approuvés sous un délai de 5 ans.

L'étude est financée par le SMEGREG avec l'appui de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et du BRGM sur sa dotation de service public. Elle fait suite et complète les deux premiers volets d'appui technique du BRGM à la révision du SAGE Nappes Profondes de Gironde réalisés en 2010 et 2011 (rapport BRGM/RP-60416-FR [Saltel et Pédron, 2012]). L'exploitation des résultats du précédent rapport a permis au SMEGREG d'établir un nouveau scénario de prélèvements sur la période 2008-2030, lequel s'appuie sur le projet de réalisation de deux champs captants. Le premier exploitera l'aquifère cénomanien à hauteur de 12 millions de m^3/an à partir de 2018 dans le sud de la Gironde. Le second concerne un parc d'ouvrages réalisé en 2021 dans le secteur de Sainte-Hélène permettant de prélever 10 millions de m^3 d'eau chaque année dans l'aquifère oligocène. Le présent rapport analyse l'impact de ce nouveau scénario sur l'évolution des niveaux piézométriques pour deux conditions de recharge. L'une considérant une recharge plutôt favorable dont la moyenne est calculée sur les 30 dernières années (1978-2007), l'autre s'appuyant sur la moyenne des 10 dernières années (1998-2007) soumise à des conditions climatiques plus sévères. Les résultats sont présentés pour les aquifères de l'Oligocène, de l'Éocène inférieur à moyen, du Campanien et du Cénomanien pour lesquels le scénario prend en compte la mise en place de nouveaux pôles de prélèvements ainsi que les substitutions qu'ils permettent.

Il faut garder à l'esprit qu'au cours de cet exercice les recharges introduites en données d'entrée impactent fortement la piézométrie. Ainsi, la projection climatique considérant la poursuite de la recharge moyenne de ces dix dernières années aboutit à des réductions drastiques de la recharge sur une longue période (de 1997 à 2030 soit 34 ans), évènements non observés sur la période de calage du Modèle Nord Aquitain (de 1972 à 2007). Les lois de recharge utilisées actuellement pourraient s'avérer, au moins partiellement, inadaptées dans les conditions climatiques fortement défavorables prises en compte sur la période prospective. Il faut donc considérer les résultats obtenus avec toute la mesure qui s'impose en gardant à l'esprit les limites de l'exercice.

Dans les conditions de recharge moyenne calculée sur les 30 dernières, la nappe de l'Oligocène est largement impactée par la mise en exploitation du parc de Sainte-Hélène, en 2021, avec des rabattements importants au droit du secteur d'implantation des forages, pouvant atteindre jusqu'à 67 m. Par contre les substitutions de prélèvements dans cette nappe, qui concernent essentiellement une diminution des prélèvements dans le secteur de la Communauté Urbaine de Bordeaux, permettent de

soulager le réservoir, principalement en rive gauche de la Garonne au sud de l'agglomération bordelaise, où des remontées de plus de 5 m des niveaux piézométriques sont observables. Dans les deux cas, la bonne réactivité de l'aquifère oligocène conduit également à une mise à l'équilibre rapide.

Dans l'aquifère Éocène inférieur à moyen, l'effet des substitutions entraîne, dans un premier temps, une remontée des niveaux piézométriques localisée essentiellement au centre du bassin aquitain et dans une moindre mesure sur ses bordures septentrionales et orientales. À partir de 2022, l'augmentation des prélèvements pour les besoins en eau potable (hypothèse d'une « CUB millionnaire ») impacte de nouveaux l'aquifère et induit une baisse importante des niveaux piézométriques, notamment au droit de la Communauté Urbaine de Bordeaux, qui semble se poursuivre au-delà de 2030. Ainsi, les écarts piézométriques entre 2030 et 2007 montrant une augmentation finale localisée au nord de la structure de Villagrains-Landiras ne sont pas représentatifs de la dynamique du réservoir sur l'ensemble de la période prospective. L'aquifère du Campanien, étant en relation étroite avec celui de l'Éocène sus-jacent, subit les mêmes variations mais avec des intensités beaucoup moins importantes. Enfin, l'aquifère du Cénomanien subit, à l'exception de sa bordure nord, une baisse généralisée de l'ordre de 5 m des niveaux piézométriques avec une intensité logiquement plus importante dans le secteur d'exploitation du sud Gironde.

Des conditions de recharge moyenne calculée sur les 10 dernières engendrent des niveaux piézométriques plus bas que précédemment, amplifiant ainsi les dépressions générées par les deux nouveaux parcs d'ouvrages (Sud Gironde et Sainte-Hélène) et limitant également l'amplitude et l'extension des remontées piézométriques observables notamment en rive gauche de la Garonne. Par ailleurs, ces conditions de recharge génèrent, du point de vue des variations de stock, un déséquilibre net à l'origine des déstockages importants calculés par le modèle sur l'ensemble des nappes.

À l'issue de ce travail, une évaluation des flux d'alimentation nette rechargeant les nappes captives a été réalisée sur la base de la méthode employée lors de l'expertise du modèle nord-aquitain en 1998 (Ackerer et *al.*, 1998). Sur la période considérée (1972-2007), on remarque que le taux de recharge nette est très variable selon les aquifères. Pour les aquifères profonds, plus de 40 % de la recharge par infiltration participe effectivement à l'alimentation des aquifères (on parle de recharge nette), l'autre partie contribuant aux débordements. À l'inverse, ce taux de recharge nette est plus faible pour les aquifères captifs plus superficiels de l'Aquitanien et de l'Oligocène (moins de 25 %) pour lesquels les zones d'affleurement sont plutôt des zones d'exutoire que des zones de recharge.

Sommaire

1. Introduction 7

2. Élaboration des scénarios 9

2.1. DESCRIPTIF DES SCÉNARIOS 9

2.1.1. Prélèvements 9

2.1.2. Recharge 12

3. Résultats des simulations 15

3.1. AQUIFÈRE DE L'OLIGOCÈNE 15

3.2. AQUIFÈRE DE L'ÉOCÈNE INFÉRIEUR À MOYEN 20

3.3. AQUIFÈRE DU CAMPANIEN 25

3.4. AQUIFÈRE DU CÉNOMANIEN 29

3.5. VARIATION DES STOCKS 33

3.5.1. Définition 33

3.5.2. Exploitation des résultats 34

4. Evaluation de la recharge nette des aquifères captifs (Nappes SAGE) . 39

5. Conclusion 43

6. Bibliographie 45

Liste des figures

Figure 1 : Réductions des prélèvements permises par la combinaison des deux projets de substitution (SMEGREG, 2012) 10

Figure 2 : Évolution des prélèvements dans les aquifères concernés par le scénario prédictif à l'échelle du Modèle Nord-Aquitain 12

Figure 3 : Comparaison des conditions de recharge introduites dans le modèle pour chacune des stations météorologiques 14

Figure 4 : Impact piézométrique pour la nappe de l'Oligocène 16

Figure 5 : Impact piézométrique pour la nappe de l'Oligocène 17

Figure 6 : Exemples de chroniques dans la nappe de l'Oligocène 19
Figure 7 : Piézométrie simulée à l'horizon 2030 pour la nappe de l'Éocène inférieur à moyen dans des conditions de recharge moyenne calculée sur les 30 dernières années 21
Figure 8 : Cartes de différences piézométriques pour la nappe de l'Éocène moyen à inférieur 22
Figure 9 : Impact piézométrique pour la nappe de l'Éocène moyen à inférieur 23
Figure 10 : Exemples de chroniques dans la nappe de l'Éocène inférieur à moyen 24
Figure 11 : Impact piézométrique pour la nappe du Campanien 26
Figure 12 : Impact piézométrique pour la nappe du Campanien 27
Figure 13 : Exemples de chroniques dans la nappe du Campanien 28
Figure 14 : Impact piézométrique pour la nappe du Cénomanien 30
Figure 15 : Impact piézométrique pour la nappe du Cénomanien 31
Figure 16 : Exemples de chroniques dans la nappe du Cénomanien 32
Figure 17 : Évolution cumulée du stock de l'Oligocène à l'échelle du MONA 35
Figure 18 : Évolution cumulée du stock de l'eocène moyen à inférieur à l'échelle du MONA 35
Figure 19 : Évolution cumulée du stock du Campanien à l'échelle du MONA 36
Figure 20 : Évolution cumulée du stock du Cénomanien à l'échelle du MONA 37
Figure 21 : Relation entre le flux de recharge introduit dans le modèle et le flux de débordement dans l'Éocène inférieur à moyen 40
Figure 22 : Tableau de synthèse de la recharge nette calculée pour les nappes du SAGE 41
Figure 23 : Exemple des taux de recharge nette (en %) calculés selon différentes périodes 42

Liste des annexes

Annexe 1 : Historique du Modèle Nord Aquitain 47
Annexe 2 : Evaluation des besoins en prélèvements pour l'alimentation en eau potable (Extrait du rapport SMEGREG, 2012) 51
Annexe 3 : Compléments d'informations sur les solutions de substitutions mises en œuvre 59
Annexe 4 : Evaluation de la recharge nette par mise en relation du flux de recharge introduit dans le modèle et du flux de débordement 65

1. Introduction

Le SAGE « Nappes profondes de Gironde » a été adopté par la Commission Locale de l'Eau (CLE) lors de sa réunion du 7 juillet 2003 avant d'être approuvé par arrêté préfectoral le 25 novembre 2003. Ce document de référence vise à encadrer et orienter les décisions pour une meilleure gestion des ressources en eaux souterraines du département de la Gironde.

Conformément aux exigences de la loi sur l´eau de décembre 2006, la CLE a décidé en 2010 d´engager la révision du SAGE Nappes Profondes de Gironde. Elle a donc mandaté le SMEGREG pour porter les études nécessaires et organiser la rédaction des documents constitutifs.

Le SMEGREG a notamment sollicité le BRGM pour contribuer à **« l'état des lieux »** du SAGE ainsi qu'au volet **« tendances et scénarios »**. Ce dernier a fait l'objet du rapport RP-60416-FR (Saltel et Pédron, 2012) dont l'objectif était d'évaluer, au travers de 8 simulations, l'impact de différents scénarios de prélèvements et de recharge sur l'évolution des niveaux piézométriques dans les nappes concernées par le SAGE à l'aide du modèle MONA. L'exploitation détaillée des résultats de ces huit simulations a permis d'établir deux nouveaux scénarios de prélèvements et de recharge. Le présent rapport décrit les deux scénarios envisagés et analyse leur impact à travers :

- l'étude des cartes piézométriques calculées à l'horizon 2030 et des cartes de différences entre les états piézométriques de 2030 et de 2007 ;
- l'analyse des chroniques piézométriques ;
- l'examen des variations de stocks calculés par le modèle à l'échelle de la nappe.

Dans un second temps, le SMEGREG a souhaité évaluer les flux d'alimentation nette des nappes profondes, information non accessible directement à partir des bilans calculés par le MONA. L'évaluation de ces flux s'appuie sur la méthode développée au cours de l'expertise du Modèle Nord-Aquitain (Ackerer et *al.*, 1998). Cette recharge nette est ici évaluée pour chacune des nappes captives du SAGE.

2. Élaboration des scénarios

L'objectif de ce travail est de simuler et d'analyser l'impact sur l'évolution des niveaux piézométriques des grandes nappes profondes du nord du Bassin aquitain d'un scénario de prélèvements optimisé qui reprend les hypothèses retenues et validées par la CLE du SAGE Nappes Profondes dans deux conditions de recharge différentes. Ces simulations sont réalisées à l'aide du MOdèle Nord-Aquitain (MONA) dans sa version V3.3-2007 (Annexe 1) déjà utilisée pour les simulations précédemment réalisées dans le cadre de la révision du SAGE (Saltel et Pédron, 2012). Pour mémoire, ce modèle utilise le code de calcul **MARTHE** (**M**odélisation d'**A**quifères par maillage **R**ectangulaire en régime **T**ransitoire pour le calcul **H**ydrodynamique des **E**coulements) développé par le BRGM (actuellement version 7.1) via l'interface **WinMarthe** version 4.3a (Thiéry, 1990 ; Thiéry, 2006 ; Thiéry, 2010). Fruit d'un travail initié il y a près de 20 ans [(Braneyre, 1993) ; (Braneyre et *al.*, 1993) ; (Braneyre et *al.*, 1994) ; (Amraoui et *al.*, 1998) ; (Amraoui et *al.*, 1999) ; (Seguin, 1999a) ; (Seguin, 1999a) ; (Seguin, 2002) ; (Pédron et *al.*, 2003) ; (Pédron et *al.*, 2005) ; (Pédron et *al.*, 2006) ; (Pédron et *al.*, 2006) ; (Pédron et *al.*, 2008) ; (Gomez et *al.*, 2010) ; (Gomez et *al.*, 2010)], le MONA a subi différentes évolutions apportées dans le cadre des différentes conventions « Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine ».

2.1. DESCRIPTIF DES SCÉNARIOS

2.1.1. Prélèvements

Sur la base des résultats obtenus, présentés dans le rapport de révision du SAGE Nappes Profondes de Gironde RP-60416-FR, le SMEGREG (SMEGREG, 2012) a élaboré un scénario prospectif sur la période 2008-2030. Dans un souci d'homogénéité et afin de pouvoir comparer ces nouveaux résultats avec ceux issus des simulations précédentes, la période prospective débute à partir de 2008 bien que nous disposions des données réelles de prélèvement jusqu'en 2010. Ce scénario de prélèvements optimisé reprend les hypothèses retenues et validées par la CLE du SAGE Nappes Profondes.

● **L'évaluation des besoins futurs en eau potable** (Annexe 2) a été réalisée en distinguant le département de la Gironde, qui correspond à l'emprise du SAGE Nappes Profondes, et le reste du domaine du Modèle Nord Aquitain. L'évaluation des besoins tendanciels en prélèvements pour l'eau potable toutes ressources confondues s'est appuyée sur la projection du nombre d'habitants et l'estimation d'un prélèvement unitaire en m^3/an par habitant. Parmi les hypothèses considérées, un scénario médian a été retenu. Jugé réaliste et sécuritaire, ce scénario considère les hypothèses les plus défavorables, à savoir une croissance démographique importante, conforme à l'ambition d'une « CUB millionnaire », et une optimisation des usages de l'eau dite « économies de base » prenant en compte un prélèvement de 80 m^3/an/habitant.

- ***La mise en service d'ouvrages***. Le scénario prévoit l'augmentation de production du captage de Cap de Bos (08028X0200/F) pour la CUB, suite aux travaux de 2011. Le volume d'exploitation de l'aquifère oligocène atteint 2 millions de m^3/an à partir de 2012 puis reste constant sur la période prospective.
- ***Le projet de substitution***. Le scénario médian retenu nécessite une capacité de production en ressources de substitution de 20,1 millions de m^3/an à l'horizon 2021. Il correspond à la mise en service de deux projets structurants (Annexe 3).
    - Dans le sud Gironde, l'exploitation d'un parc de 20 forages, opérationnels en 2018, dans l'aquifère du Cénomanien est prévue à hauteur de 12 millions de m^3/an.
    - À Sainte-Hélène, la réalisation de 14 forages captant l'aquifère oligocène fournira 10 millions de m^3/an à partir de 2021.

La combinaison des projets permettra les substitutions suivantes (les forages concernés sont présentés en annexe 3) :

	Projection prélèvements à 2021	Volume fourni	Substitué Eocène	Substitué Oligocène
Saint Magne	63 000	63 000	sans objet - mesure compensatoire	
Cabanac et Villagrains	182 000	182 000	sans objet - mesure compensatoire	
SIAEP de Saumos Le Temple	64 000	64 000	sans objet - mesure compensatoire	
Saucats	146 000	146 000	0	146 000
SIAEP de La Brède	918 000	918 000	618 000	300 000
SIAEP AR.PO.CA.BE.	510 000	510 000	0	510 000
SIAEP de Léognan-Cadaujac	1 108 000	500 000	0	500 000
CUB	61 870 000	14 979 000	10 235 000	4 744 000
SIAEP de Carbon-Blanc	5 200 000	2 050 000	2 050 000	0
SIAEP de Bouliac-Latresne	1 032 000	438 000	438 000	0
SIAEP de Bonnetan	1 531 000	800 000	800 000	0
Le Pian Médoc	414 000	250 000	250 000	0
Total	73 038 000	20 900 000	14 391 000	6 200 000

Figure 1 : Réductions des prélèvements permises par la combinaison des deux projets de substitution (SMEGREG, 2012)

La combinaison de deux projets permet donc de procéder aux réductions de prélèvements suivantes :

- 14,4 Mm^3/an à l'Eocène pour un besoin estimé à 13,9 dans le scénario médian (résultat de la transposition du scénario dans le modèle) ;
- 6,2 Mm^3/an à l'Oligocène pour un besoin estimé à 6,2 Mm^3/an du même scénario ;

- ***Les sources***. Compte tenu des caractéristiques actuelles du modèle (maillage de 2 km x 2 km), les sources ne peuvent pas être gérées par débordement. Elles sont donc prises en compte sous forme de prélèvements. Ainsi, il a été retenu que le débit des principales sources de la CUB (Communauté Urbaine de Bordeaux) ne pouvait pas être corrélé à l'augmentation de la population. Il a donc été décidé de maintenir à un niveau constant le volume soutiré à ces sources. Les valeurs utilisées pour les simulations ont été fixées par le SMEGREG.

Hors Gironde, l'estimation des besoins futurs en eau potable est basée sur les scénarios utilisés dans le cadre de l'étude "*Utilisation du Modèle Nord-Aquitain (MONA) pour appuyer la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds du Nord du Bassin aquitain*" (Gomez et al., 2010).

- Concernant **les forages agricoles**, les valeurs utilisées correspondent au report de la moyenne des prélèvements des années 2004, 2005 et 2006, seule période pour laquelle des données réelles sont disponibles (source : Chambre d'Agriculture de la Gironde). Dans les autres départements, aucun inventaire précis des prélèvements réels n'existe.

- Pour **les autres usages** (Industriels, eau collective, eau individuelle,…), compte tenu du fait que les prélèvements ont sensiblement diminué depuis 2002 pour se stabiliser ensuite, ce sont les données basées sur la moyenne 2002-2007 qui ont été retenues.

Le graphique suivant (Figure 2) retrace l'évolution des prélèvements pour les nappes concernées par la mise en place de nouveaux pôles de prélèvements ainsi que celles qui bénéficient des substitutions qui en découle. Les principales évolutions des prélèvements pour le scénario optimisé sont les suivantes :

- **Pour l'aquifère oligocène**, la première hausse de prélèvements est due à la mise en exploitation du captage de Cap de Bos (2 millions de m^3/an). En 2018, la baisse de prélèvements en 2018 est quant à elle induite par l'exploitation du Cénomanien dans le Sud Gironde permettant de soulager les volumes prélevés dans la nappe de près de 2,8 millions de m^3/an au sud de l'agglomération bordelaise. Enfin, en 2021, la réalisation du champ captant de Sainte-Hélène en 2021, exploité à hauteur de 10 millions de m^3/an, permet de substituer plus de 3,3 millions de m^3 dans cette même nappe (Bilan pour la nappe proche de +7 millions m^3/an).

- **Pour l'aquifère éocène inférieur à moyen**, l'exploitation de nouveaux forages n'est pas envisagée, l'accroissement des prélèvements lié à l'augmentation de la population s'effectue donc sur les ouvrages existants. Cependant, la mise en œuvre des projets Sud Gironde et Ste-Hélène permet de diminuer les prélèvements sur cet aquifère déjà très sollicité.
- **Pour l'aquifère cénomanien**, l'évolution des prélèvements est principalement marquée par la mise en place du champ captant dans le sud du département permettant une exploitation de 12 millions de m^3/an. À l'heure actuelle, cette nappe est très peu exploitée en Gironde (environ 8 % des prélèvements

réalisés sur l'ensemble du réservoir) hormis pour la géothermie en raison de la profondeur du réservoir sous l'agglomération bordelaise. Cependant, dans le secteur de Saint-Magne où l'aquifère est rencontré à de faibles profondeurs, il apparaît que ce réservoir présente des caractéristiques intéressantes pour l'implantation de forages d'exploitation (Saltel, 2008).

On notera également que le scénario de prélèvements tel qu'il est envisagé permet une substitution à l'aquifère campanien via le forage de Cabanac-et-Villagrains (08512X0026). La chronique de prélèvements n'est ici pas représentée en raison du faible volume concerné (182 000 m^3/an).

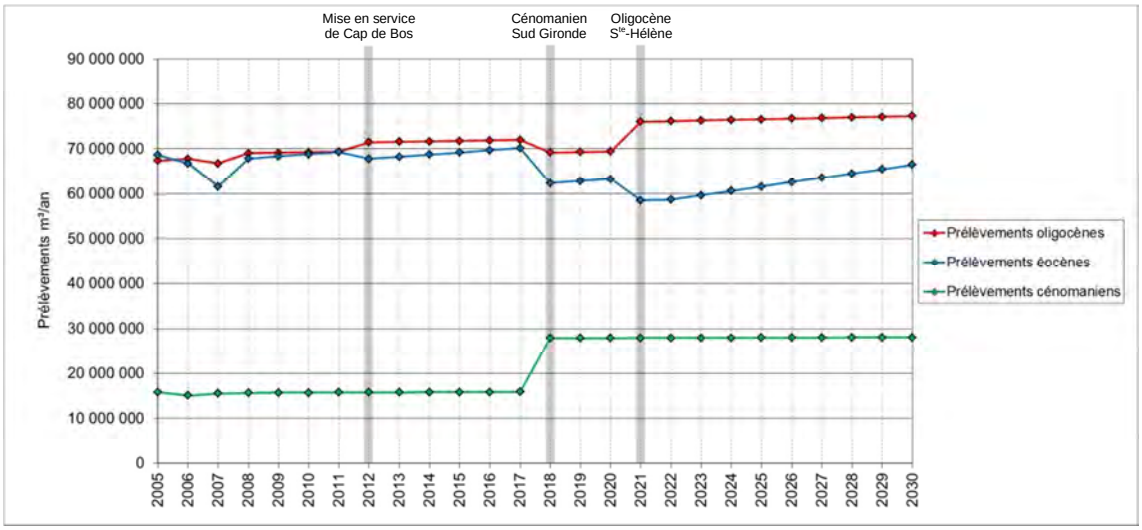


Figure 2 : Évolution des prélèvements dans les aquifères concernés par le scénario prédictif à l'échelle du Modèle Nord-Aquitain

2.1.2. Recharge

Les données de précipitations et d'évapotranspirations potentielles (ETP) utilisées pour calculer la recharge dans le MONA proviennent des stations de Mérignac en Gironde, de Cognac (Château-Bernard) en Charente, de Bergerac en Dordogne, de Gourdon dans le Lot-et-Garonne et de Mont-de-Marsan dans les Landes. Elles ont été acquises sur les sites internet de Météo-France (Climathèque et Publithèque). Les précipitations efficaces sont calculées par le BRGM au pas de temps décadaire à partir :

- des précipitations (P),
- de l'évapotranspiration potentielle (ETP),
- de la capacité maximale en eau du sol (la réserve utile RU), fixée à deux valeurs 100 mm et 150 mm.

Le mode de calcul de la recharge est détaillé dans le rapport BRGM/RP-53659-FR (Pédron et *al.*, 2005). La recharge année par année est évaluée suivant les secteurs en prenant comme référence la pluie efficace moyenne de la station météo considérée, calculée sur la période 1978-2007 (avec une RU maximale de 150 mm).

À partir des valeurs de recharge utilisées pour le calage en régime permanent, les valeurs année par année pour chaque zone d'infiltration définie lors de la phase de calage sont obtenues par :

$$R_{z,k} = \frac{P_{eff}(k)}{\overline{P_{eff}}} \overline{R_z}$$

$R_{z,k}$	valeur de recharge de l'année k affectée à la zone z,
$\overline{R_z}$	valeur de recharge du régime permanent pour la zone z,
$P_{eff}(k)$	pluie efficace de l'année k,
$\overline{P_{eff}}$	pluie efficace moyenne calculée sur la période 1978-2007.

Les données de pluies efficaces de la station de Mérignac, pour une RU de 150 mm, sont utilisées pour l'Éocène (supérieur, moyen et inférieur), le Campano-Maastrichtien et le Turonien-Coniacien-Santonien.

Les données de la station de Mérignac, pour une RU de 100 mm sont utilisées pour le calcul de la recharge des nappes du Plio-quaternaire, du Miocène (Aquitanien et Langhien - Serravallien) et de l'Oligocène.

Les données des stations de Cognac et de Gourdon, pour une RU de 150 mm, sont utilisées pour le Turonien-Coniacien-Santonien et le Campano-Maastrichtien.

Les données de Bergerac, pour une RU de 150 mm, sont utilisées pour les nappes de l'Éocène inférieur et de l'Éocène moyen.

Les données de Mont-de-Marsan, pour une RU de 100 mm sont utilisées pour le Plio-Quaternaire. Les pluies efficaces trimestrielles supérieures ou égales à 250 mm sont réduites de 30 %. Cet écrêtage simule la diminution de l'infiltration (augmentation de la part du ruissellement) dans les écoulements durant les périodes fortement pluvieuses.

Au cours de cet exercice, deux modalités seront considérées pour la recharge appliquée de 2008 à 2030 :

- Prise en compte d'une recharge moyenne calculée sur les 30 dernières années (de 1978 à 2007) ;
- Utilisation d'une recharge déterminée à partir de la moyenne calculée sur les 10 dernières années (de 1998 à 2007).

Cette seconde période est caractérisée par des conditions moins favorables à la recharge (Figure 3). Ces dernières s'expriment par des baisses de près de 10 % à Marsan et peuvent atteindre 34 % à Gourdon.

Au final, les deux simulations retenues pour ce travail supportent les mêmes évolutions de prélèvements et ne diffèrent que par les valeurs de recharge introduites dans le modèle.

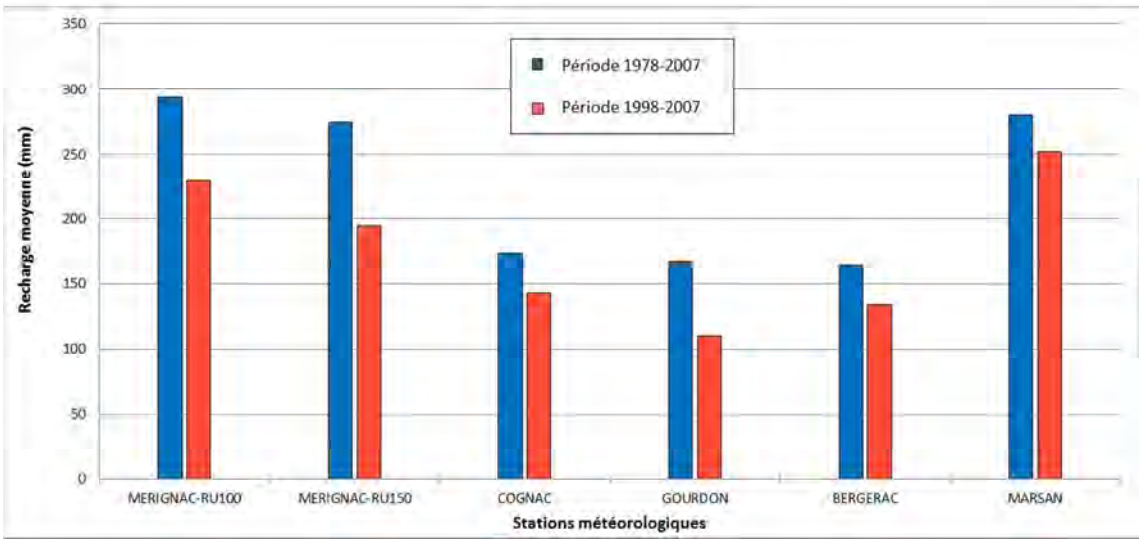


Figure 3 : Comparaison des conditions de recharge introduites dans le modèle pour chacune des stations météorologiques

3. Résultats des simulations

L'impact des scénarios de prélèvements et de recharge envisagés est analysé au travers de :

- Cartes piézométriques calculées à l'horizon 2030 et de cartes de différences entre l'état piézométrique de 2030 et celui de 2007, offrant une vue générale de l'état des nappes au terme de la période considérée.
- Chroniques piézométriques, permettant d'observer l'évolution des charges sur l'ensemble de la période simulée en des points stratégiques.
- Variations de stocks calculés par le modèle à l'échelle de la nappe servant à évaluer les bénéfices des stratégies d'exploitation de la ressource.

Les résultats sont présentés pour les nappes de l'Oligocène, de l'Éocène moyen à inférieur, du Campanien et du Cénomanien pour lesquelles les scénarios considérés prennent en compte la mise en place de nouveaux pôles de prélèvements ainsi que les solutions de substitutions qu'ils permettent. Les nappes du Miocène (Langhien-Serravallien et Aquitanien) n'étant pas concernées par les substitutions, les résultats des simulations ne sont pas contrastés et ne seront pas détaillés dans ce rapport.

3.1. AQUIFÈRE DE L'OLIGOCÈNE

Dans les conditions de recharge plus favorables, prenant en compte une recharge moyenne égale aux 30 dernières années (Figure 4), les rabattements les plus importants sont logiquement observés au droit du champ captant de Ste-Hélène. L'impact est maximum dans les mailles où sont implantés les forages d'exploitation avec des baisses piézométriques pouvant atteindre 67 m.

Les substitutions réalisées dans la nappe de l'Oligocène concernent principalement le secteur au sud de la Communauté Urbaine de Bordeaux et notamment la ligne des 100 000 m^3/j. Elles induisent une remontée importante de la piézométrie le long de la Garonne. Ces remontées sont observées aux forages de Saucats (08512X0019 et 08512X0022) et de Léognan (08276X0006) où elles atteignent respectivement 8 m, 15 m et 11 m (Figure 6). On notera également la bonne réactivité de cet aquifère qui retrouve un état d'équilibre rapidement après les différentes modifications du régime d'exploitation.

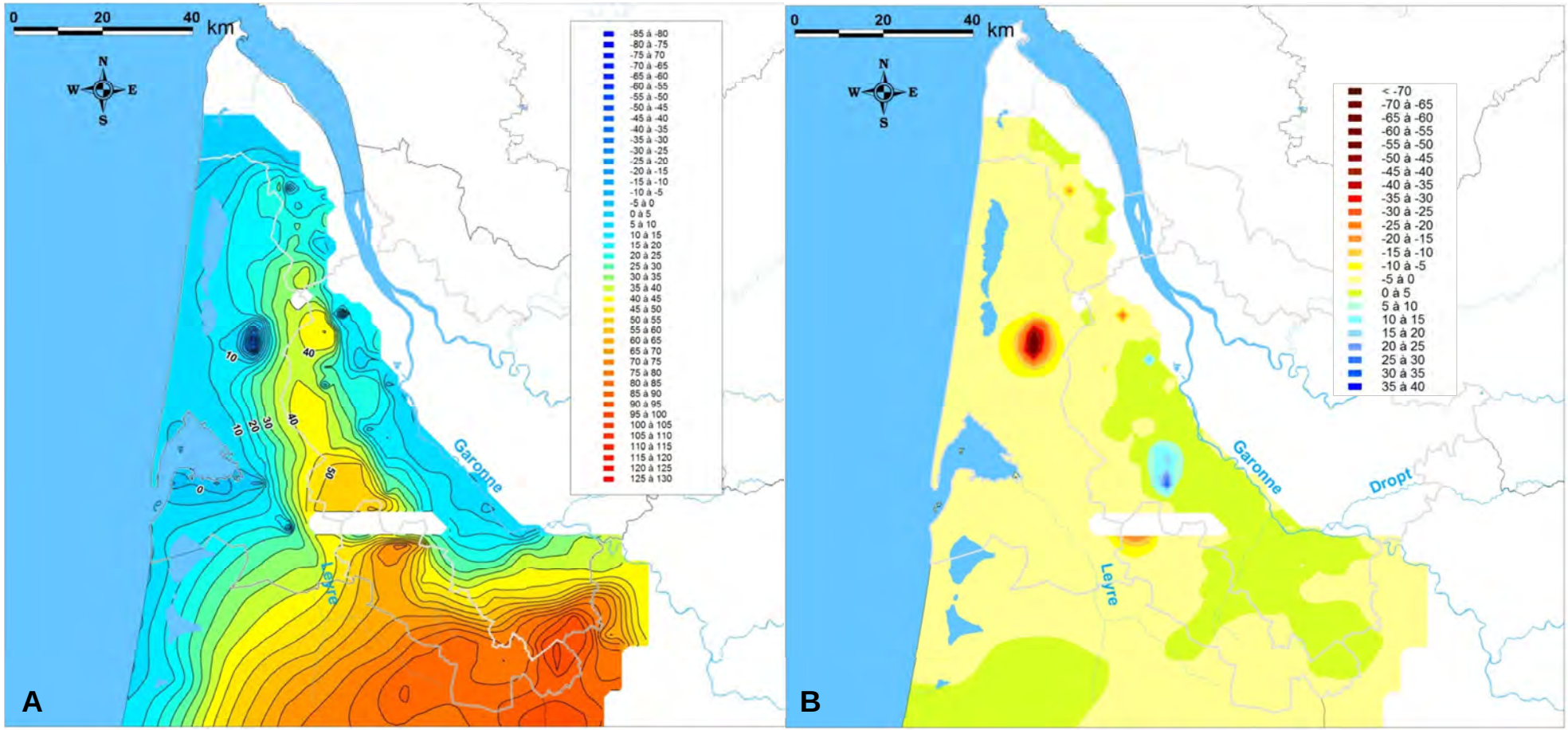


Figure 4 : Impact piézométrique pour la nappe de l'Oligocène
dans des conditions de recharge moyenne calculée sur les 30 dernières années
A : Piézométrie simulée à l'horizon 2030 – B : Différence entre les piézométries de 2030 et 2007

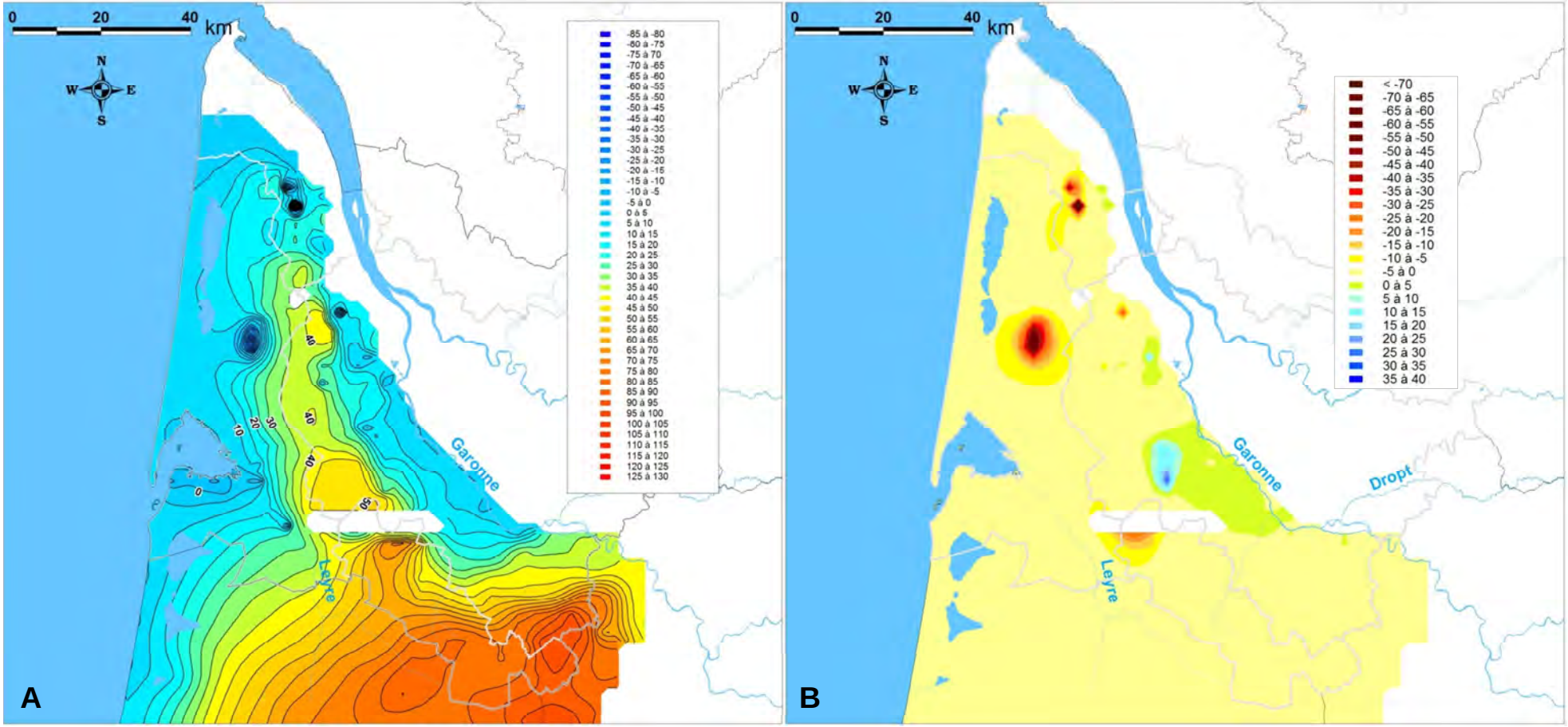


Figure 5 : Impact piézométrique pour la nappe de l'Oligocène
dans des conditions de recharge moyenne calculée sur les 10 dernières années
A : Piézométrie simulée à l'horizon 2030 – B : Différence entre les piézométries de 2030 et 2007

Dans le scénario 2 envisagé (recharge plus défavorable), une poursuite sur la période 2008-2030 des conditions de recharge observées depuis 10 ans (Figure 5) accentue la dépression au droit du champ captant de Sainte-Hélène avec un rabattement supplémentaire de près de 2 m par rapport à celui observé dans des conditions de recharge plus favorables (recharge moyenne calculée sur les 10 dernières années). Le long de la Garonne, la remontée piézométrique observée précédemment est plus localisée. Les remontées calculées sur les forages de Saucats (08512X0019 et 08512X0022) sont inférieures de plus de 2 m aux précédentes (Figure 6).

On observe, dans ces conditions climatiques, des réductions importantes de la recharge sur de longues périodes (événements non observés sur la période de calage) entrainant sur certains forages des baisses conséquentes du niveau piézométrique. Les recharges introduites en données d'entrée impactent la piézométrie plus ou moins fortement et plus ou moins rapidement selon les nappes considérées (selon leur caractère captif ou non) mais cet impact simulé dépend des lois de calcul de la recharge utilisées actuellement dans le modèle, lois qui pourraient ne pas être adaptées à des conditions climatiques qui diffèreraient significativement des conditions actuelles. Il faut donc considérer les résultats obtenus avec toute la mesure qui s'impose en gardant à l'esprit les limites de l'exercice.

Il apparaît qu'un dénoyage du réservoir peut affecter certaines mailles dans les simulations à l'horizon 2030. Ces secteurs correspondent aux abords de l'estuaire de la Gironde, et plus particulièrement sur les communes de Saint-Laurent-de Médoc et d'Arsac, où l'épaisseur du réservoir peut être relativement faible. Il est possible que localement les perméabilités soient incertaines, n'ayant pas pu être validées en l'absence de points de calage proches. Le modèle, avec ses caractéristiques actuelles (quasi-3 D, mailles de 4 km²), ne permet pas de représenter finement la géométrie des réservoirs dans les secteurs où l'aquifère se biseaute. L'augmentation des prélèvements dans ces mailles peut aboutir à des dénoyages locaux qui pourraient ne pas être effectivement observés.

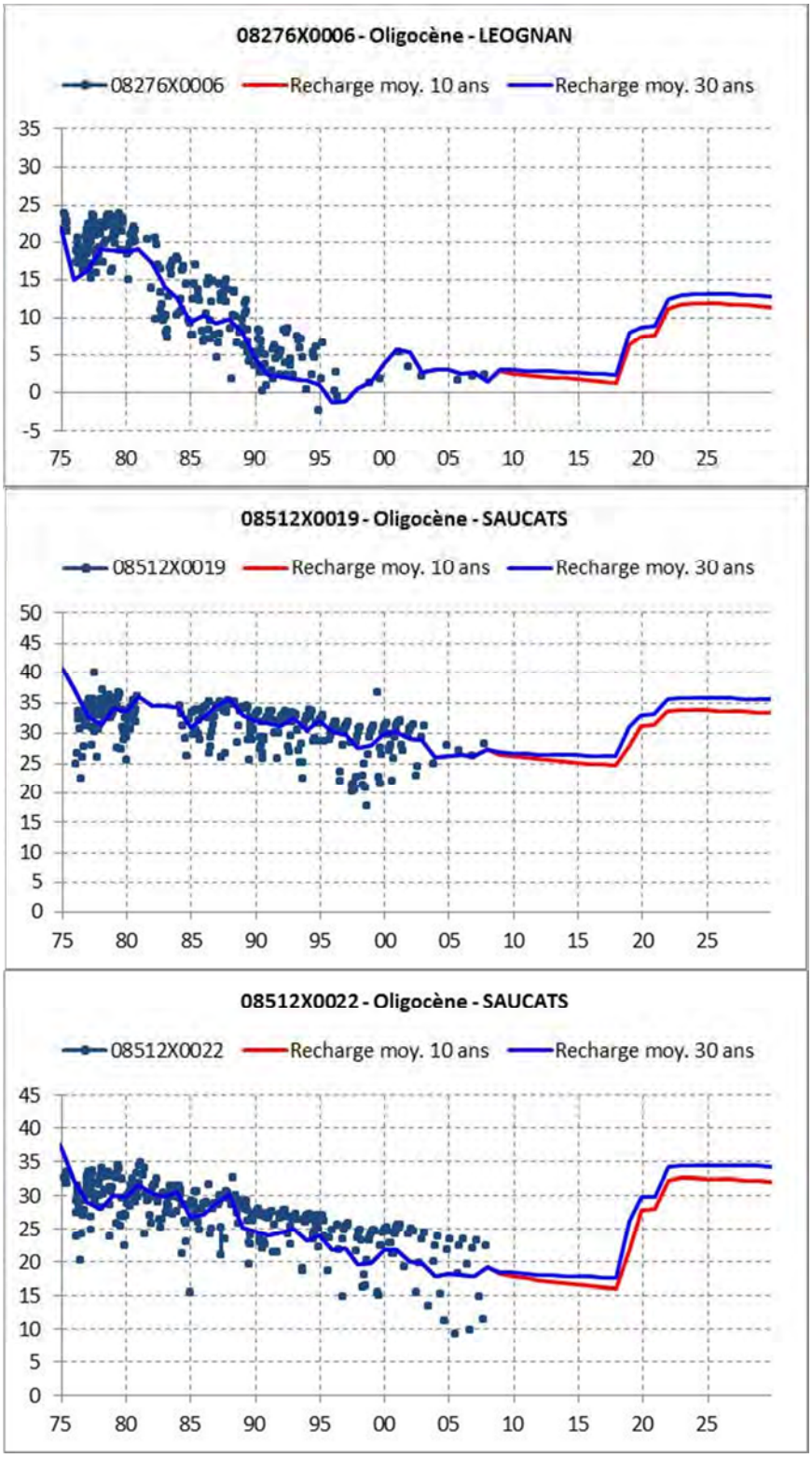


Figure 6 : Exemples de chroniques dans la nappe de l'Oligocène

3.2. AQUIFÈRE DE L'ÉOCÈNE INFÉRIEUR À MOYEN

Dans les conditions de recharge moyenne calculée sur les 30 dernières années, la mise en œuvre des différentes solutions de substitution engendre, d'ici à 2030, une remontée du niveau piézométrique pouvant atteindre 19 m au centre du bassin, au nord de la structure anticlinale de Villagrains-Landiras (Figure 7 et Figure 8-A). À l'horizon 2030, le minimum piézométrique observable est alors de -19 mNGF, contre -21,6 mNGF en 2007. De plus, les zones d'alimentation de l'aquifère situées sur les bordures septentrionales et orientales du Bassin aquitain montrent également une hausse très légère de leurs niveaux piézométriques, généralement inférieure au mètre. Sur le reste du Bassin (Lot-et-Garonne et Dordogne principalement), le réservoir subit une baisse des niveaux pouvant atteindre par endroit près de 10 m, ils sont directement liés à l'utilisation d'un scénario tendanciel considérant une augmentation des prélèvements dans ces départements. Ce résultat n'est cependant pas représentatif de la dynamique de la nappe observée à partir de 2021. En effet, sur les chroniques des forages CUB (Figure 10), on observe les impacts successifs de la mise en route des projets Sud Gironde, en 2018, puis de Sainte-Hélène, 2021. La baisse d'exploitation de ces forages entraîne une remontée rapide des niveaux. On observe ainsi sur la carte de différences piézométriques entre 2021 et 2007, une remontée des niveaux qui s'étend plus largement vers le nord, notamment au droit de la CUB, siège d'une dépression piézométrique de la nappe importante. Cependant, l'effet de ces substitutions s'érode progressivement à cause de l'accroissement des prélèvements en eau potable prévu pour répondre aux objectifs d'une « CUB millionnaire ». De plus, les niveaux piézométriques ne sont pas stabilisés à l'horizon 2030 comme le montrent les graphiques de la Figure 10 avec une baisse qui se poursuit au-delà de la période prospective étudiée.

La mise en œuvre du scénario de prélèvements envisagé dans des conditions de recharges moyenne calculée sur les 10 dernières années n'induit qu'une remontée localisée des niveaux piézométriques (Figure 9). Celle-ci ne se produit seulement qu'au centre de la nappe, avec une remontée maximum observée de 17 m. Sur le reste du bassin aquitain, on observe une baisse généralisée des niveaux. Les valeurs de recharge introduites dans le modèle entraînent notamment une extension de la dépression piézométrique vers l'est et le sud-est. Ceci se manifeste par les apparitions en premier lieu de l'isopièze -20 m NGF au centre du réservoir et d'autre part de l'isopièze -10 mNGF au sud-est de la Gironde. De la même façon que précédemment, le réservoir subit une baisse piézométrique importante depuis 2022 due à l'accroissement des prélèvements pour les besoins en eau potable, comme cela est envisagé dans le cas d'une « CUB millionnaire ». Cette baisse n'étant pas stabilisée en 2030.

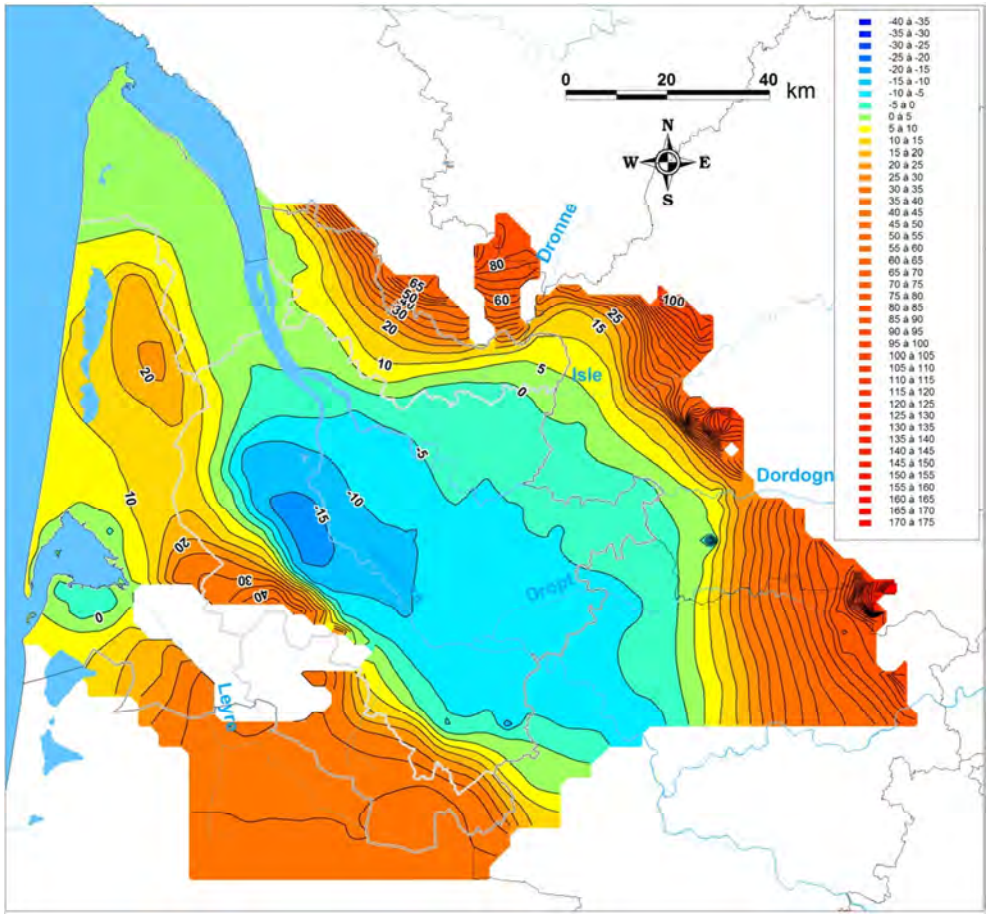


Figure 7 : Piézométrie simulée à l'horizon 2030 pour la nappe de l'Éocène inférieur à moyen dans des conditions de recharge moyenne calculée sur les 30 dernières années

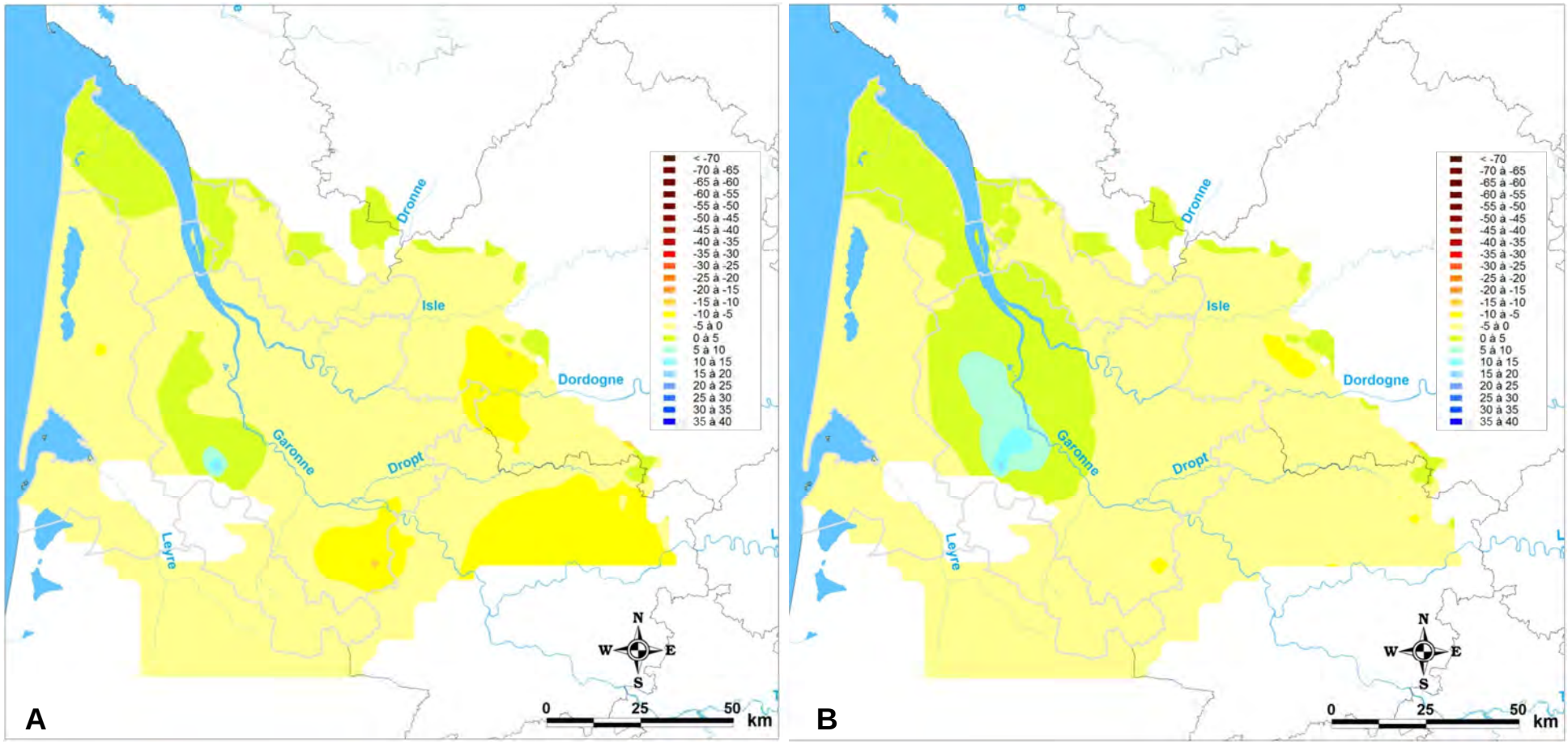


Figure 8 : Cartes de différences piézométriques pour la nappe de l'Éocène moyen à inférieur dans des conditions de recharge moyenne calculée sur les 30 dernières années.
A : Différence entre les piézométries de 2030 et 2007 – B : Différence entre les piézométries de 2021 et 2007

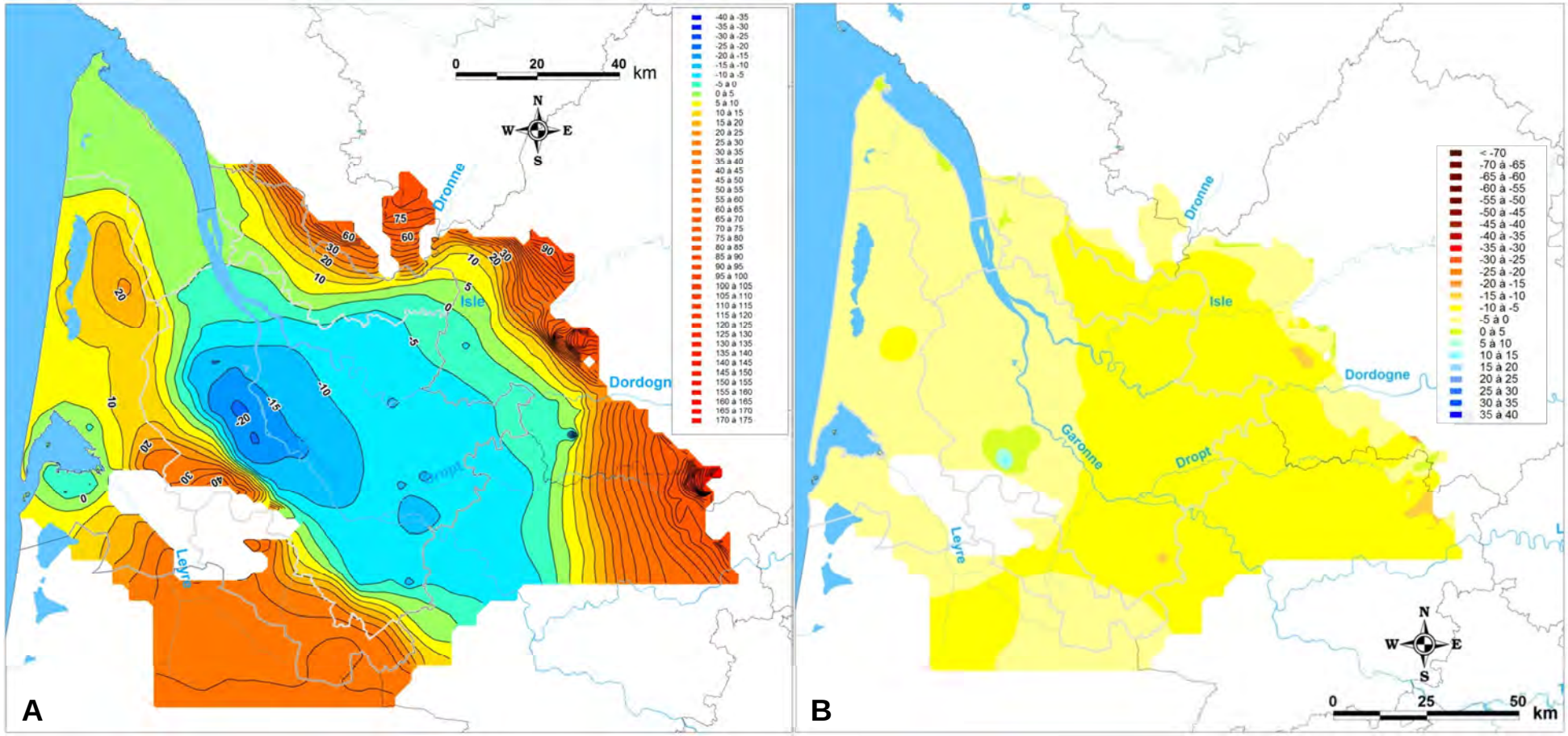


Figure 9 : Impact piézométrique pour la nappe de l'Éocène moyen à inférieur dans des conditions de recharge moyenne calculée sur les 10 dernières années
A : Piézométrie simulée à l'horizon 2030 – B : Différence entre les piézométries de 2030 et 2007

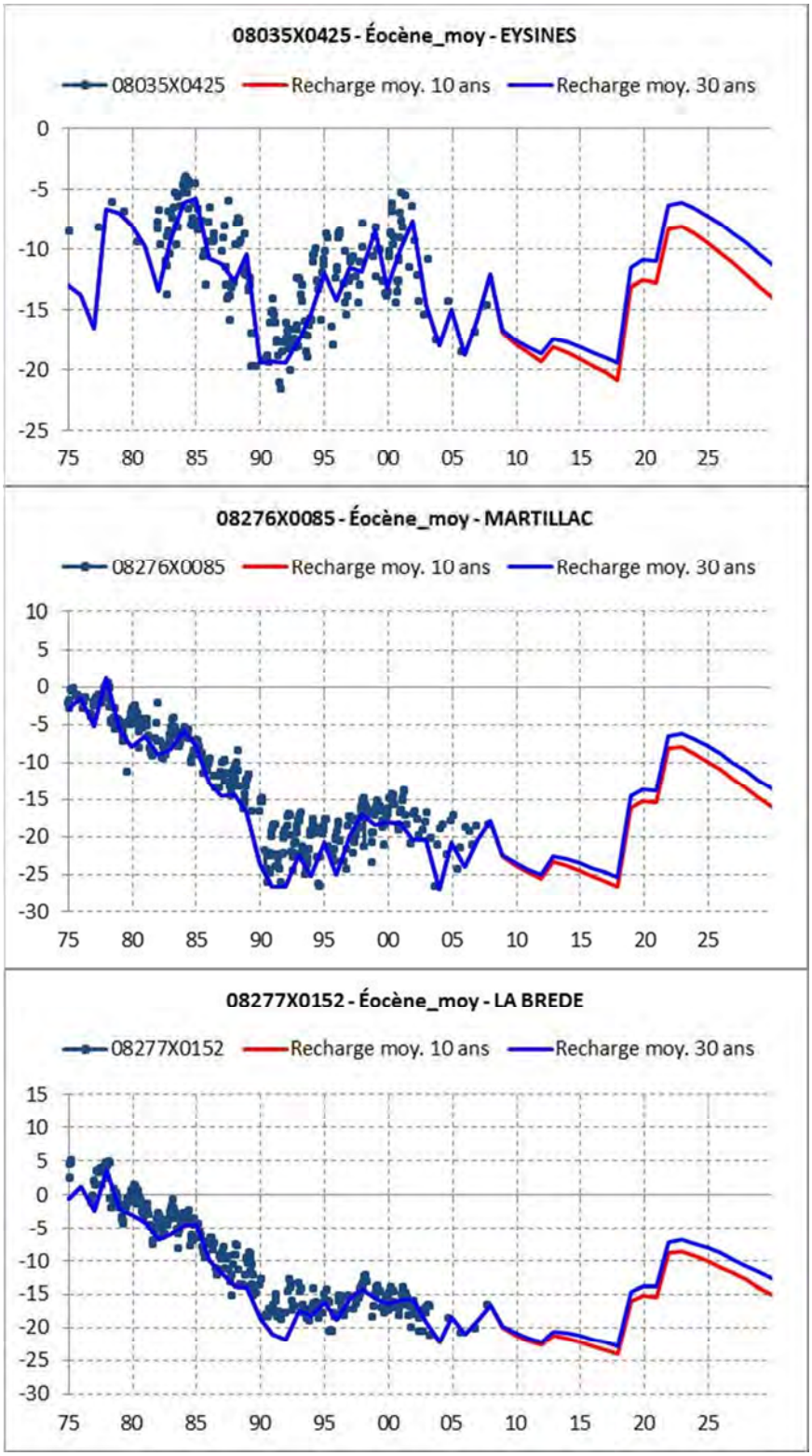


Figure 10 : Exemples de chroniques dans la nappe de l'Éocène inférieur à moyen

3.3. AQUIFÈRE DU CAMPANIEN

La nappe du Campanien n'est pas concernée par la mise en œuvre de champ captant. Les substitutions réalisées au forage de Cabanac-et-Villagrains (08512X0026) ne sont que de 182 000 m^3/an, minimisant ainsi son impact sur l'aquifère. Cependant, les relations étroites du Campanien avec l'Eocène conduisent à un comportement relativement similaire des deux nappes. On observe ainsi dans les conditions de recharge moyenne calculée sur les 30 dernières années, une légère remontée des niveaux piézométriques sur l'ensemble des bordures septentrionales et orientales (Figure 11). La majeure partie du bassin aquitain subit une baisse des niveaux en grande partie inférieure à 5 m. Dans des conditions climatiques plus défavorables (Figure 12), l'extension des hausses piézométriques est plus faible. À l'instar de la nappe éocène, les baisses piézométriques s'accentuent vers l'est et le sud-ouest, marquées notamment par une forte extension de l'isopièze 0 mNGF.

L'analyse des chroniques piézométriques confirment la relation entre les deux nappes puisque l'évolution des niveaux piézométriques aux forages de Léognan, Sadirac et Castres, est marquée par la mise en exploitation des solutions de substitution. Ainsi, les diminutions de prélèvements réalisées dans l'aquifère de l'Éocène se traduisent par des augmentations de charges dans le Campanien. Par ailleurs, l'état d'équilibre n'est pas atteint en 2030 et certains secteurs subissent une baisse piézométrique qui se poursuit au-delà de la période prospective.

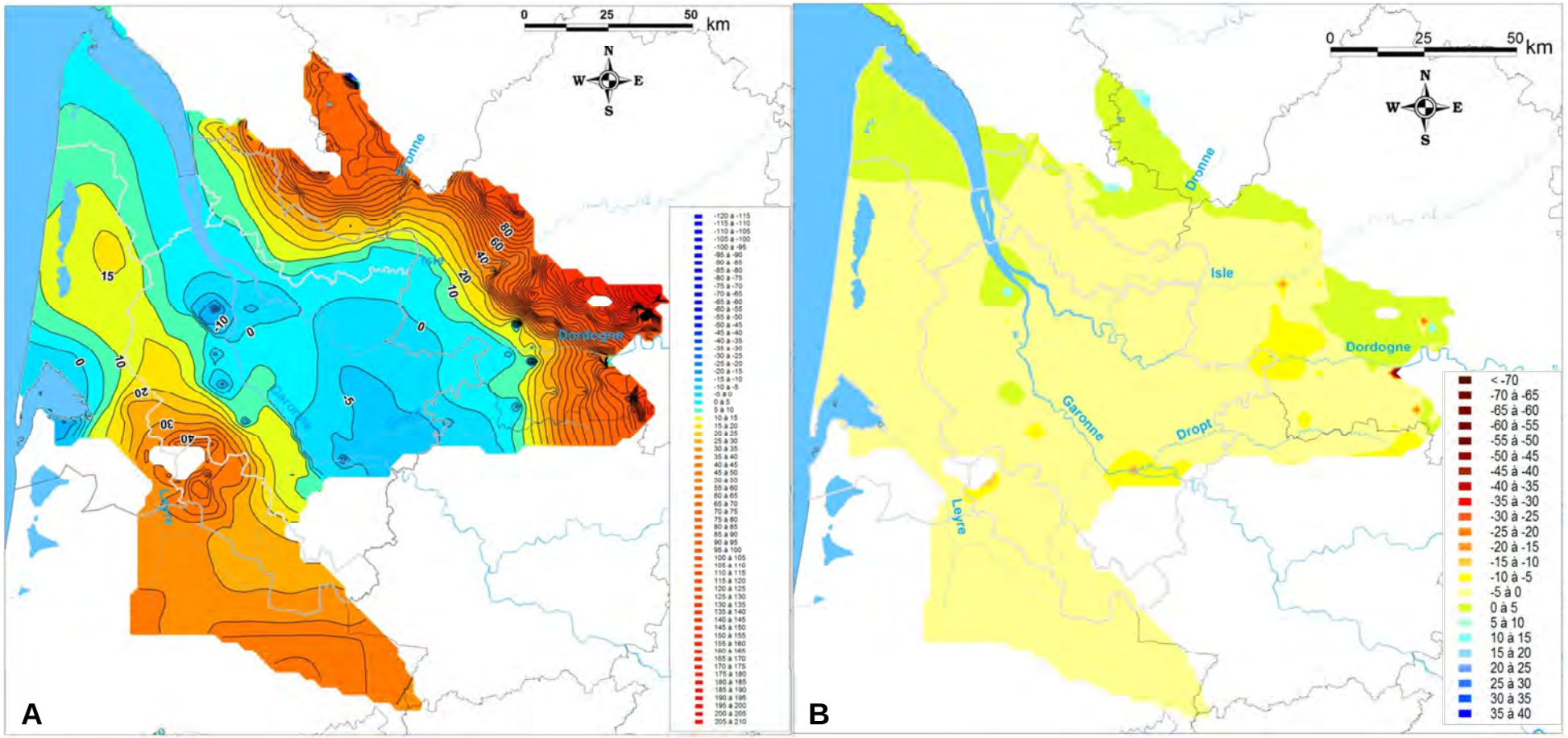


Figure 11 : Impact piézométrique pour la nappe du Campanien
dans des conditions de recharge moyenne calculée sur les 30 dernières années
A : Piézométrie simulée à l'horizon 2030 – B : Différence entre les piézométries de 2030 et 2007

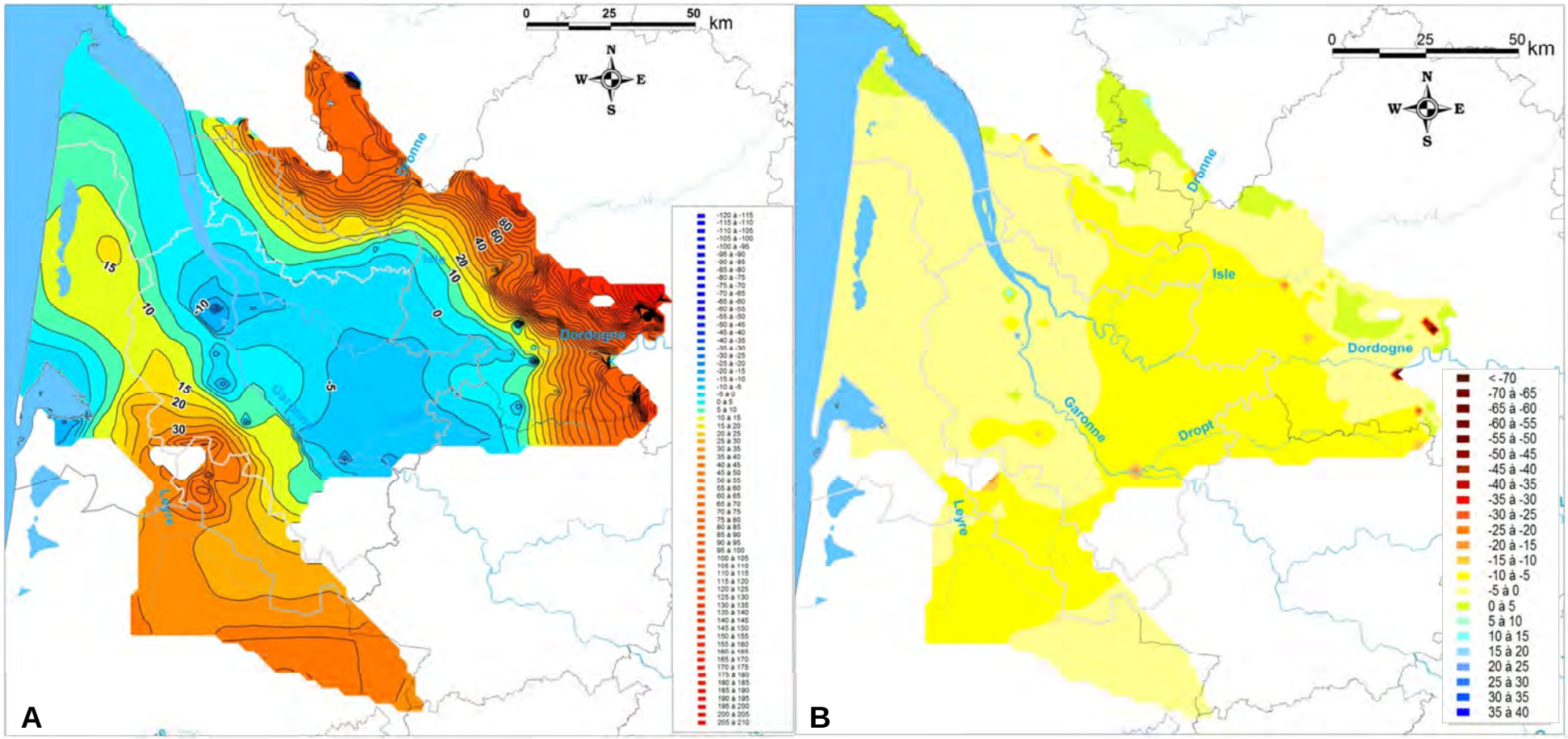


Figure 12 : Impact piézométrique pour la nappe du Campanien
dans des conditions de recharge moyenne calculée sur les 10 dernières années
A : Piézométrie simulée à l'horizon 2030 – B : Différence entre les piézométries de 2030 et 2007

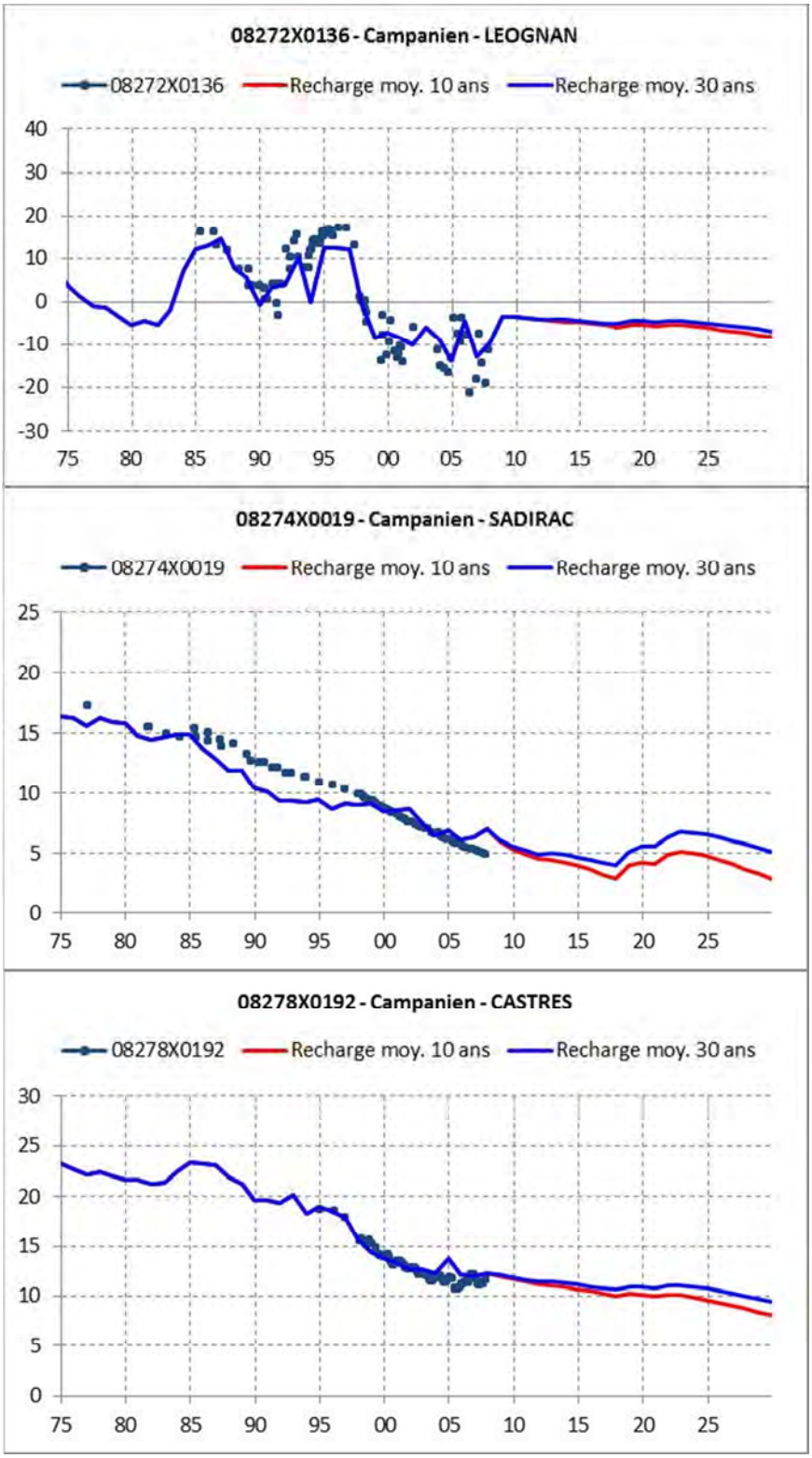


Figure 13 : Exemples de chroniques dans la nappe du Campanien

3.4. AQUIFÈRE DU CÉNOMANIEN

Les conditions de recharge moyenne calculée sur les 30 dernières années introduites dans le modèle (Figure 14) permettent une remontée de la nappe à l'horizon 2030 au nord du bassin aquitain. Le reste est soumis à une baisse de la piézométrie qui en général est de l'ordre de 5 m. À proximité du nouveau champ captant « Sud Gironde », les baisses piézométriques sont les plus importantes avec un maximum observé de près de 24 m. Cette diminution s'étend vers le sud et l'est, influencée notamment par les propriétés hydrodynamiques considérées dans ce secteur.

Une baisse des conditions de recharge (Figure 15) engendre une baisse des niveaux piézométriques visible notamment par l'apparition d'une discontinuité de l'isopièze 25 mNGF dans le sud du département. Dans ces conditions, l'extension de la dépression produite par la mise en exploitation de cette ressource de substitution s'accroît vers l'est.

La réaction de la nappe du Cénomanien au projet Sud Gironde est variable selon les secteurs (Figure 16). Les chroniques de forages situées à proximité du champ captant accusent une baisse importante à partir de 2018, cette baisse étant de l'ordre de 18 m au forage de la Honude à Saint-Magne (08515X0052). Plus au nord, les forages de Lormont (08037X0398) et Saint-Estèphe (07548X0009) montrent un impact très limité.

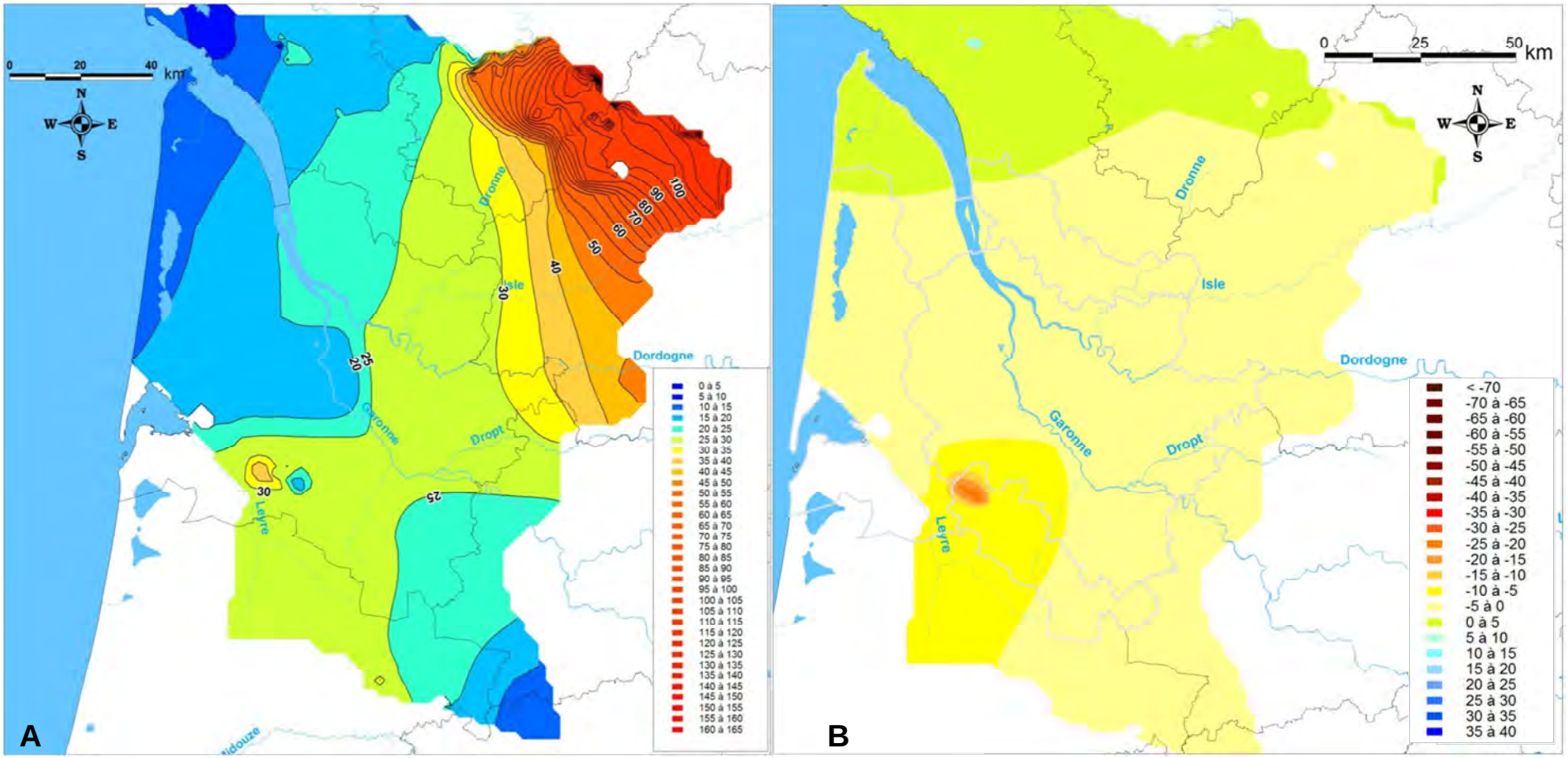


Figure 14 : Impact piézométrique pour la nappe du Cénomanien
dans des conditions de recharge moyenne calculée sur les 30 dernières années
A : Piézométrie simulée à l'horizon 2030 – B : Différence entre les piézométries de 2030 et 2007

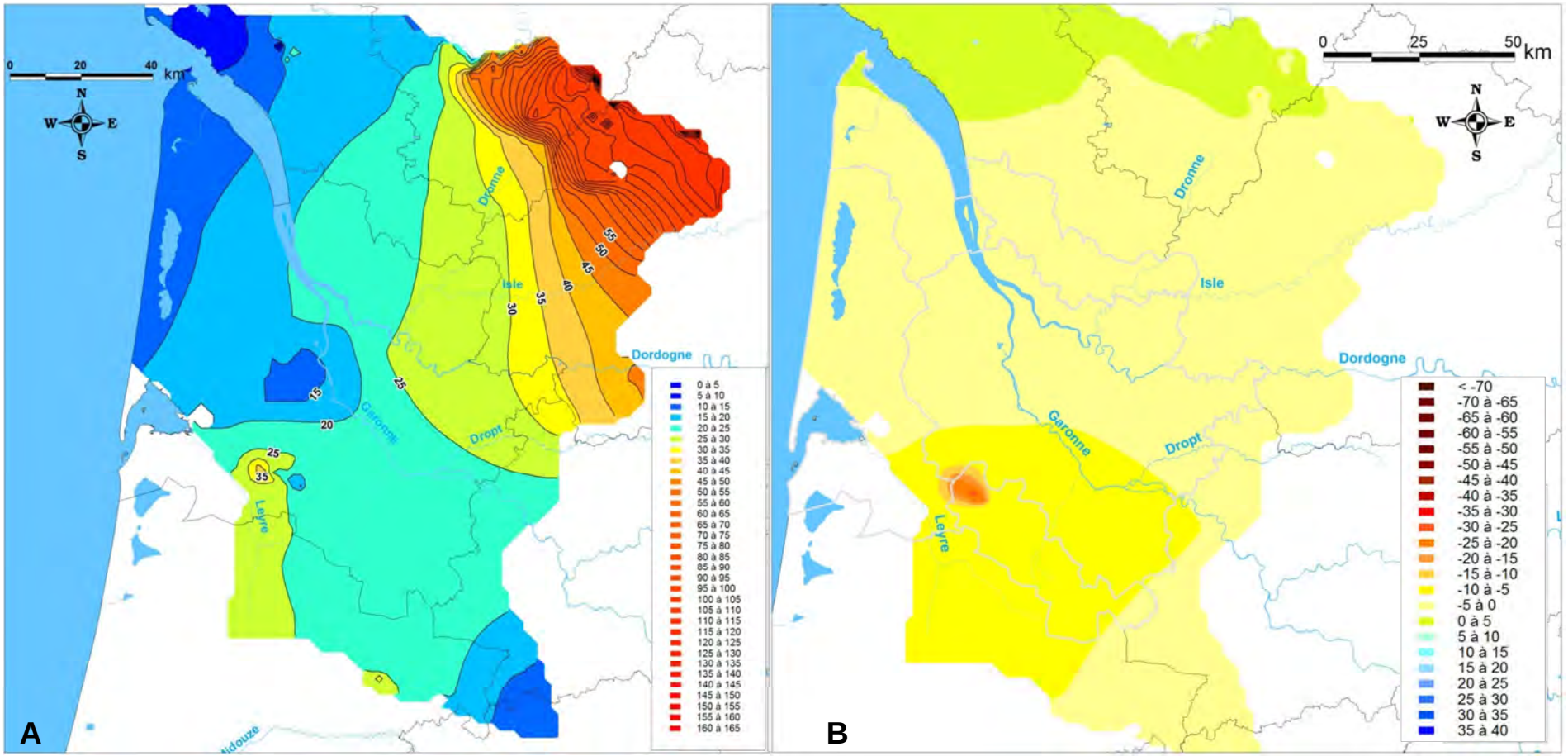


Figure 15 : Impact piézométrique pour la nappe du Cénomanien
dans des conditions de recharge moyenne calculée sur les 40 dernières années
A : Piézométrie simulée à l'horizon 2030 – B : Différence entre les piézométries de 2030 et 2007

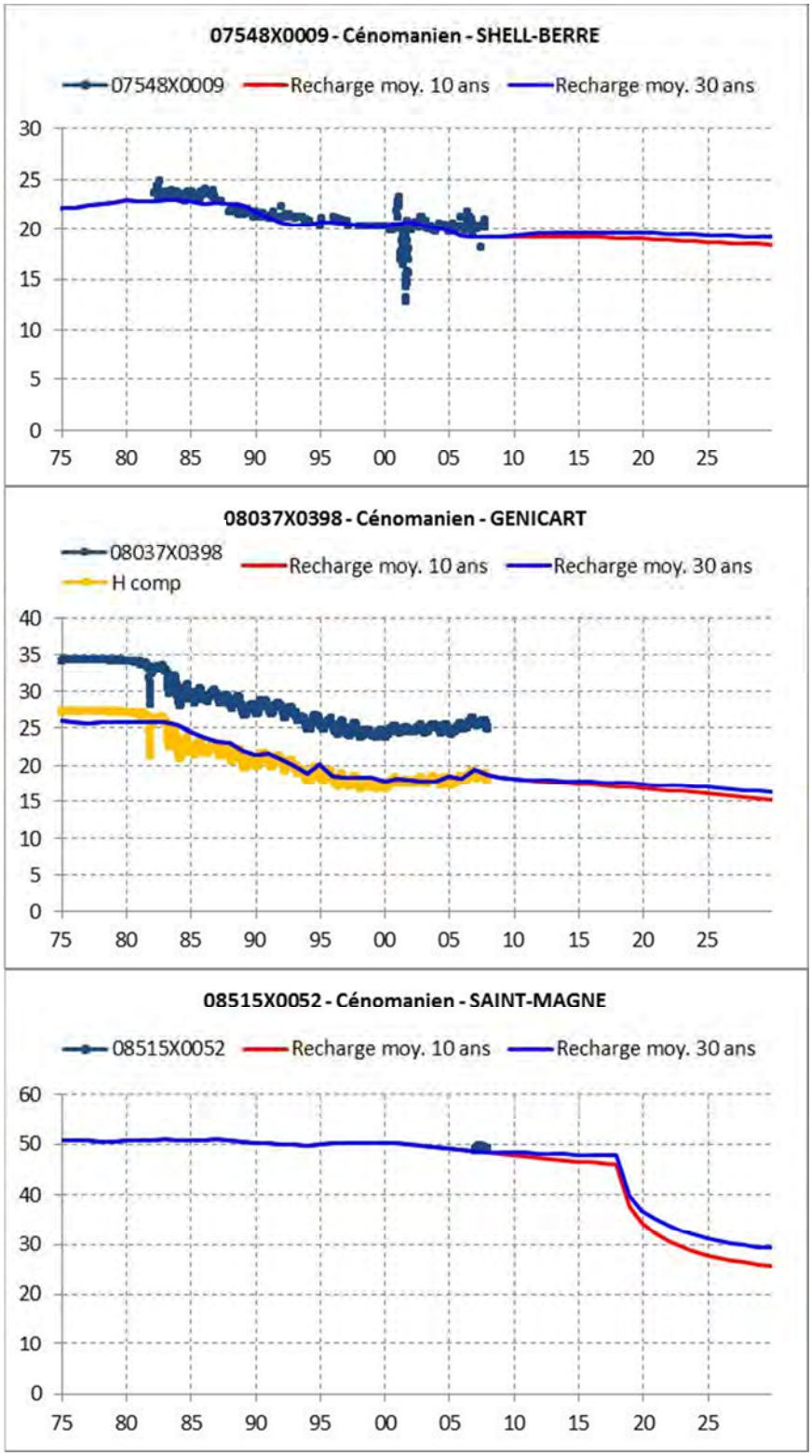


Figure 16 : Exemples de chroniques dans la nappe du Cénomanien

3.5. VARIATION DES STOCKS

3.5.1. Définition

Le calcul des termes de stockage (en valeur algébrique et exprimés en débits), s'effectue dans le logiciel MARTHE selon l'état de la maille de calcul : en charge ou non ; le logiciel utilisera donc :

- soit le coefficient d'emmagasinement libre S_L si la maille reste à surface libre pendant tout le pas de calcul,
- soit le coefficient d'emmagasinement captif ($S_C = S_S \times e$) si la maille reste captive pendant tout le pas de calcul (avec S_S le coefficient d'emmagasinement captif spécifique et e l'épaisseur de la maille) ;
- soit, si l'état change pendant le temps de calcul, le débit de stockage Q_S qui est calculé comme suit,

  si la maille devient en charge :

$$Q_S = SURF \times \frac{S_C \times [H(t) - TOIT] + S_L \times [TOIT - H(t - dt)]}{dt}$$

  si la maille devient à surface libre :

$$Q_S = SURF \times \frac{S_L \times [H(t) - TOIT] + S_C \times [TOIT - H(t - dt)]}{dt}$$

  Dans tous les cas, le débit de stockage s'écrit :

$$Q_S = SURF \times \frac{S_F \times [H(t) - TOIT] + S_D \times [TOIT - H(t - dt)]}{dt}$$

  Avec :

  S_F = coefficient d'emmagasinement à l'état final

  S_D = coefficient d'emmagasinement à l'état initial

  $TOIT$ = cote du toit de l'aquifère

  Quand $S_F = S_D$ on obtient :

$$Q_S = SURF \times S \times \frac{[H(t) - H(t - dt)]}{dt}$$

3.5.2. Exploitation des résultats

La variation de stock dans un aquifère est influencée par des facteurs climatiques (recharge des nappes), anthropiques (prélèvements), hydrodynamiques (propriétés de perméabilité et d'emmagasinement des réservoirs) et les conditions aux limites (drainance entre aquifère, flux aux limites (océan, estuaire…). Les paramètres de recharge et les prélèvements jouent un rôle prépondérant et déterminent l'évolution des stocks au cours du temps.

Afin d'évaluer l'impact des scénarios envisagés sur l'évolution du stock dans les différentes couches du modèle, le **cumul** des variations de stock à chaque pas de temps depuis l'état initial de 1972 a été calculé (par rapport à la simple représentation des variations de stock, cela permet de mieux mettre en évidence les tendances).

On rappellera que les variations des niveaux piézométriques et donc des variations de stock dépendent des lois de recharge utilisées, qui pourraient ne pas être adaptées à des conditions climatiques qui diffèreraient significativement des conditions actuelles, telles que celles du scénario envisageant une recharge moyenne calculée sur les 10 dernières années. Aussi, l'interprétation des variations de stock calculées est à considérer avec précautions.

Les variations de stocks à l'horizon 2030 sont présentées pour les réservoirs dans lesquels le scénario de prélèvement incorpore soit l'exploitation de nouveaux forages (Oligocène et Cénomanien) soit des diminutions des prélèvements (Oligocène, Eocène moyen à inférieur et Campanien)

- **Nappe de l'Oligocène (Figure 17)**

La simulation « R30 », considérant le nouveau scénario de prélèvements dans des conditions de recharge plus favorables (moyenne calculée sur les 30 dernières années) indique une relative stabilité des réserves oligocènes jusqu'en 2017. À partir de 2018, l'exploitation de l'aquifère cénomanien permet de diminuer les prélèvements effectués dans l'Oligocène. Il en résulte une stabilisation des stocks. En 2021, la réalisation du champ captant de Sainte-Hélène n'entraîne pas de diminution de stock significative bien qu'une amorce à la baisse soit observable sur la fin de la période prospective.

La simulation « R10 », semblable à la précédente en termes de prélèvements mais prenant en compte une recharge plus sévère (moyenne calculée sur les 10 dernières années, moins favorables à la recharge) montre l'importance du climat sur l'évolution des stocks des réservoirs. Dans ce contexte, un déséquilibre net s'instaure entre les entrées (recharge directe par les affleurements et indirecte par drainance) et les sorties (prélèvements, drainance, débordements au niveau des sources, …). Les déstockages sont ainsi les plus importants. La mise en place des projets de substitution et d'exploitation montre un impact plus modéré que dans la simulation précédente et ne permet pas d'enrayer la dynamique générée par les conditions de recharge.

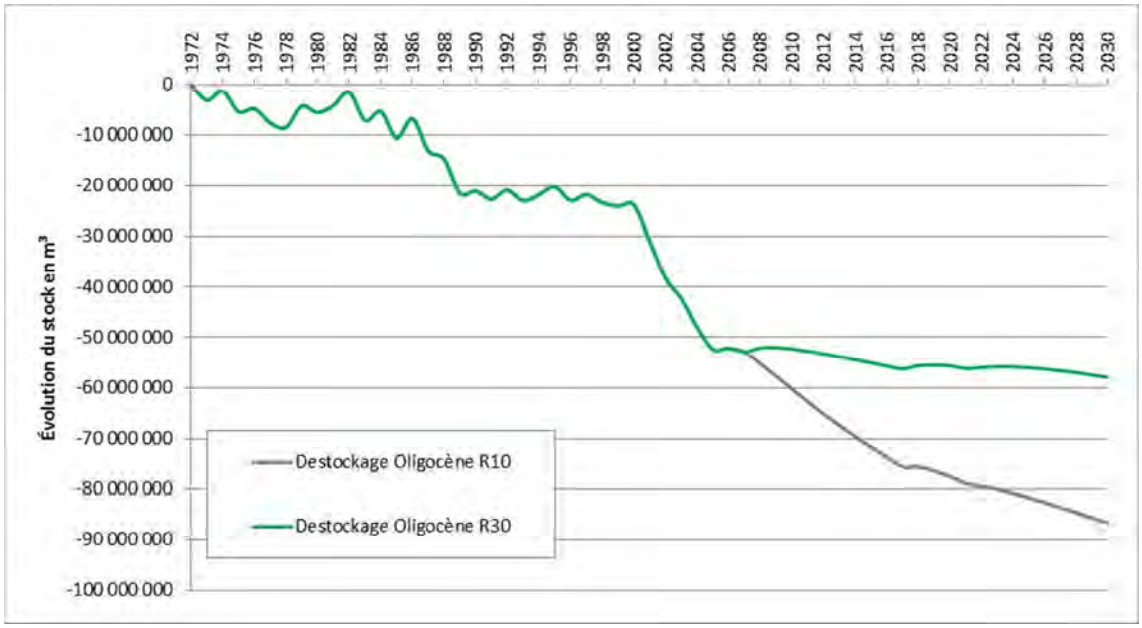


Figure 17 : Évolution cumulée du stock de l'Oligocène à l'échelle du MONA

- **Nappe de l'Éocène moyen à inférieur (Figure 18)**

L'évolution cumulée du stock dans l'aquifère éocène moyen à inférieur montre, dans des conditions de recharge moyenne calculée sur les 30 dernières années, une relative stabilisation du déstockage à la faveur de la mise en place de solutions de substitution entre 2018 et 2021.

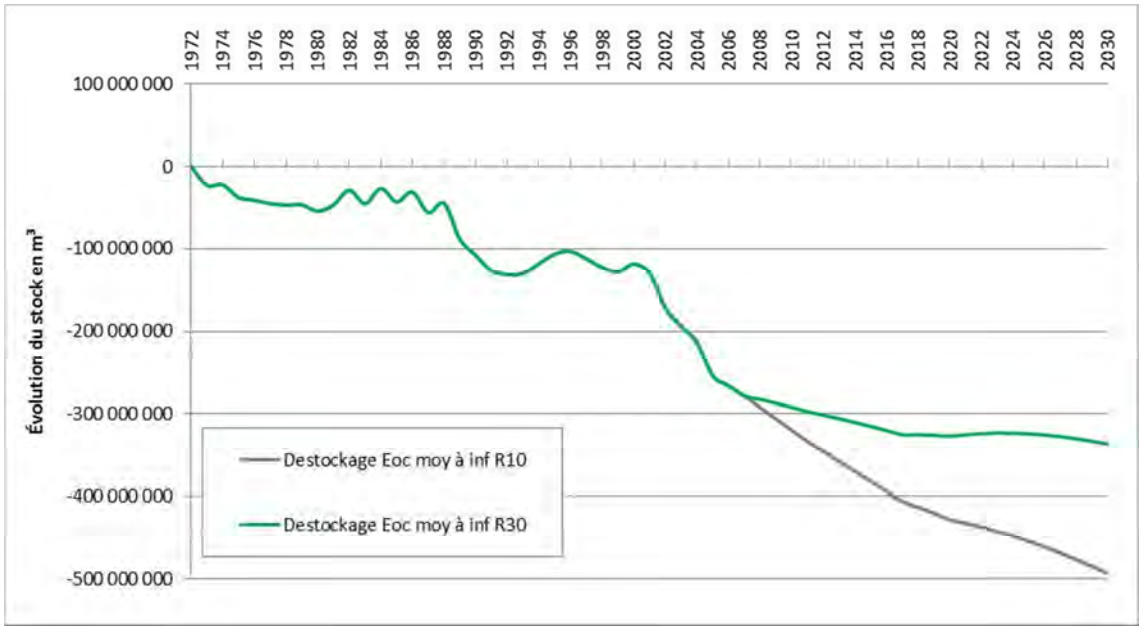


Figure 18 : Évolution cumulée du stock de l'eocène moyen à inférieur à l'échelle du MONA

À l'instar du réservoir oligocène, l'Éocène moyen à inférieur subit, dans des conditions de recharge plus défavorables (moyenne calculée sur les 10 dernières années), un fort déstockage malgré l'importance des substitutions réalisées pour limiter son exploitation. Il faut garder toutefois à l'esprit que le déstockage lié aux conditions climatiques s'opère essentiellement au droit des zones d'affleurements alors que l'impact en termes de pression est régionalisé. Les variations de stock sont dépendantes dans ces secteurs des valeurs de coefficients d'emmagasinement libre introduites dans le modèle. Or ces valeurs n'ont pas fait l'objet d'un calage spécifique. Ainsi, même si les tendances observées ne sont pas remises en cause, l'amplitude de ces phénomènes ne peut être connue avec exactitude (Saltel et Pédron, 2012).

- **Nappe du Campanien (Figure 19)**

Les substitutions ne concernant que quelques ouvrages, les variations de stocks restent minimes. On retiendra que dans le cas d'une recharge plus favorable (moyenne calculée sur les 30 dernières années), l'aquifère du Campanien est à l'équilibre vis-à-vis de la variation de stock. Par contre, des conditions de recharge plus sévères induiraient un déstockage dans le réservoir.

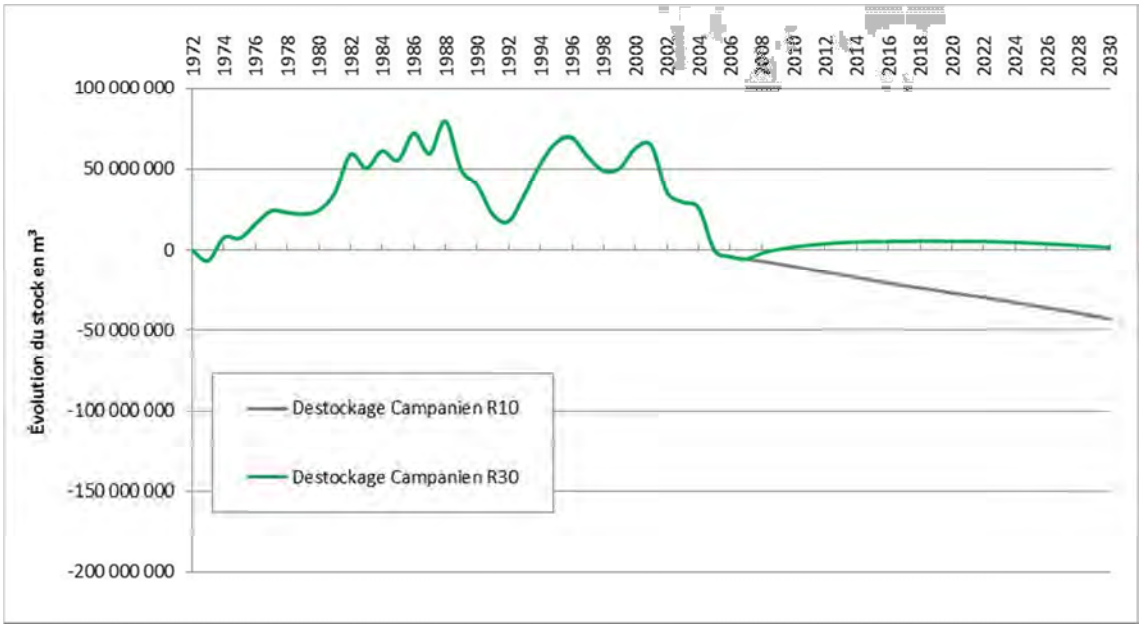


Figure 19 : Évolution cumulée du stock du Campanien à l'échelle du MONA

- **Nappe du Cénomanien (Figure 20)**

L'évolution des prélèvements dans la nappe du Cénomanien est marquée par le début de l'exploitation du champ captant sud Gironde à partir de 2018. Avant cette date, le stock au sein de cette nappe est considéré à la hausse dans les conditions de recharge favorables tandis qu'il est quasiment à l'équilibre dans des conditions climatiques plus sévères. La mise en exploitation du champ captant entraîne une diminution des stocks avec un amortissement progressif du phénomène.

Il semble en effet qu'un nouvel équilibre puisse être atteint à une échelle de temps plus longue. L'impact des conditions climatiques prises en compte est significatif entre les deux simulations mais reste moindre en comparaison de celui pour la nappe de l'Éocène moyen à inférieur.

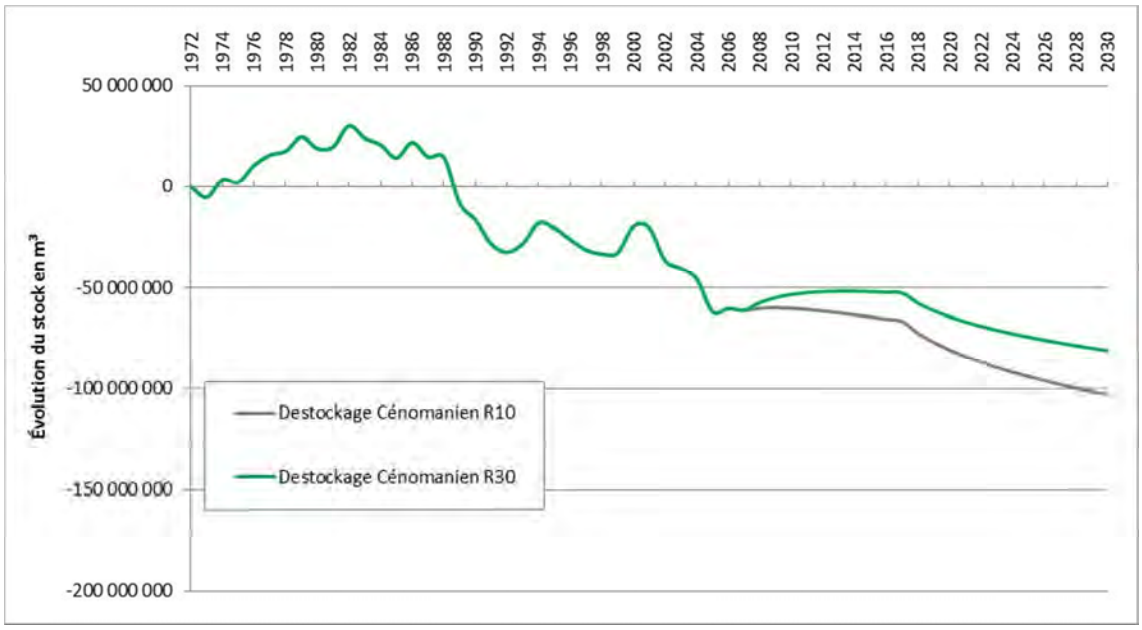


Figure 20 : Évolution cumulée du stock du Cénomanien à l'échelle du MONA

4. Evaluation de la recharge nette des aquifères captifs (Nappes SAGE)

À la demande du SMEGREG, une évaluation des flux d'alimentation nette rechargeant les nappes profondes a été réalisée à partir du Modèle Nord-Aquitain. En effet, une partie des flux de recharge par infiltration est évacuée par débordements au niveau des affleurements et ne participe donc pas à la réalimentation des nappes profondes. L'évaluation de ces flux a été faite à partir d'une méthode employée par le groupe d'experts qui a réalisé l'expertise du modèle nord-aquitain en 1998 (Ackerer et *al.*, 1998) et utilisée dans d'autres versions du modèle (Amraoui et *al.*, 1999 ; Gomez et *al.*, 2008).

Dans le Bassin aquitain, la majeure partie du domaine modélisé est occupée par des aquifères captifs, avec comme conséquence la linéarité des équations décrivant les écoulements. Il existe donc potentiellement une relation linéaire entre la recharge et les débordements, relation permettant le calcul de ***la recharge nette, c'est-à-dire la fraction de la recharge participant effectivement à la réalimentation des aquifères***.

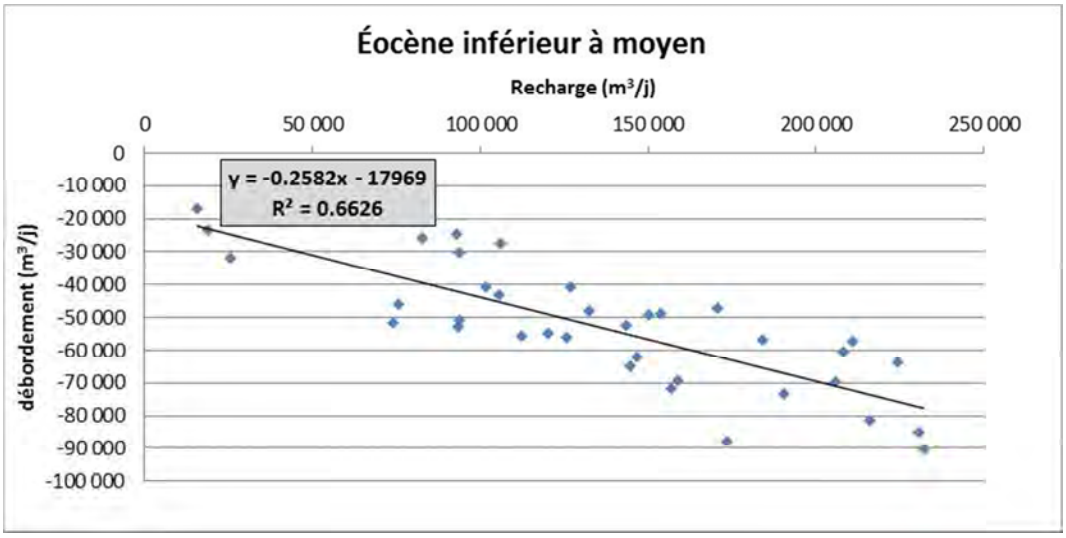
La relation linéaire **$D = \alpha R + \beta$** postulée entre la recharge **R** et le flux de débordement **D** permet de calculer les paramètres suivants :

- **D_{base}** Débordement de base
- **R_d** Taux de recharge participant aux flux de débordement
- **R_n** Taux de recharge participant à la réalimentation des aquifères ou Recharge nette

La valeur du débordement de base **D_{base}**, correspond au 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)

Pour l'aquifère éocène inférieur à moyen (1Figure 21), la relation linéaire est établie à partir des points de la période 1972-2007 qui s'alignent à peu près le long d'une droite. Cette démarche a été appliquée sur l'ensemble des nappes captives du SAGE depuis l'aquifère du Burdigalien-Aquitanien (Miocène) jusqu'à celui du Cénomanien (Annexe 4).



1Figure 21 : Relation entre le flux de recharge introduit dans le modèle et le flux de débordement dans l'Éocène inférieur à moyen

Les résultats sont fournis dans le tableau suivant (Figure 22). Les deux premières colonnes traduisent, pour chacune des nappes captives du SAGE sur la période de référence prise ici à titre d'exemple (1997-2007), la partition de la valeur de la recharge totale introduite dans le modèle entre les flux d'infiltration (calculée depuis les données de précipitations et l'application de lois de recharge) au droit des zones d'affleurement et les flux de drainance (drainance verticale depuis les aquifères sus et sous-jacents). Une première analyse montre que cette partition est différente selon les aquifères considérés. Ainsi, la recharge des aquifères captifs les plus superficiels, notamment l'Aquitanien et l'Oligocène, s'effectue à près de 90 % par drainance depuis les aquifères sus-jacents avec des valeurs de flux très importantes. Pour les aquifères profonds, à partir de l'Éocène inférieur à moyen, plus de la moitié de la recharge est assurée par l'infiltration des eaux de pluie, les valeurs de flux sont dans la même gamme que les flux d'infiltration des aquifères superficiels (bien que les zones d'affleurements soient nettement plus importantes) mais les flux de drainance sont cependant bien inférieurs.

Au cours de ce travail, la partition du flux d'infiltration **R** entre flux de débordement **D** et flux de recharge nette $\mathbf{R_n}$ a été évaluée à partir des pentes des relations linéaires (1Figure 21 et Annexe 4). On note que ce taux de recharge nette $\mathbf{R_n}$, c'est-à-dire la part de la recharge introduite dans le modèle qui participe réellement à la réalimentation, est également très variable selon les aquifères. Ainsi, pour les nappes captives les plus profondes, à partir de l'Éocène inférieur à moyen, ce taux est important puisqu'il dépasse les 40 % et peut atteindre près de 75 %. En comparaison, les aquifères de l'Aquitanien et de l'Oligocène ont un taux de recharge nette $\mathbf{R_n}$ bien inférieur, la majorité de l'infiltration **R** introduite dans le modèle participant aux débordements. Ainsi, pour l'Aquitanien, 23,5 % de la recharge introduite dans le modèle participe à la réalimentation de l'aquifère. Cette recharge nette $\mathbf{R_n}$ devient quasi-nulle pour l'Oligocène. En effet, la plupart des zones d'affleurements, relativement réduites, des aquifères de l'Oligocène et de l'Aquitanien sont des zones

d'exutoires et donc constituent des zones de débordements plutôt que des zones de recharge. À l'inverse, les nappes profondes ont des zones d'affleurement plus conséquentes, situées plus en amont hydraulique des systèmes, favorisant ainsi davantage la recharge par infiltration.

Au final, on retiendra que les flux de recharge nette par infiltration $\mathbf{R_n}$ restent, en termes de volumes, très variables selon les aquifères considérés (de négligeable pour l'Oligocène à 47 Mm^3/an pour le Coniacien-Santonien-Turonien). En rapportant ces flux à la recharge totale des aquifères (infiltration + drainance), on note que la quasi-totalité de la recharge de l'Aquitanien et de l'Oligocène est assurée par drainance verticale, l'infiltration de l'eau de pluie nette participant à moins de 3 % de la recharge totale. Pour les aquifères profonds, la recharge nette assurée par l'infiltration reste très importante puisqu'elle dépasse les 30 % (Éocène supérieur) et peut atteindre près de 90 % (Campanien).

	Recharge de l'aquifère (évaluée par le modèle) (valeurs prise pour exemple sur la période 1997-2007)		Répartition de l'infiltration estimée en ① (Répartition évaluée par la relation entre flux de recharge et flux de débordement) Période de calcul : 1972-2007		Part de la recharge totale de l'aquifère provenant de la recharge nette	Flux de débordement de base (m^3/j)
	Part de l'infiltration ①	Part de la drainance	Part qui participe à l'augmentation du débordement $\mathbf{R_d}$	Part qui participe à la réalimentation (= **recharge nette $\mathbf{R_n}$**)		
Aquitanien	14 % (55 Mm^3/an)	**86 %** (331 Mm^3/an)	**76,5 %** (43 Mm^3/an)	23,5 % (12 Mm^3/an)	3 %	346 909
Oligocène	7 % (12 Mm^3/an)	**93 %** (165 Mm^3/an)	**99,4 %** (proche de 12 Mm^3/an)	0,6 % (proche de 0 Mm^3/an)	0,4 %	191 008
Eocène supérieur	33 % (9 Mm^3/an)	**67 %** (18 Mm^3/an)	3,2 % (proche de 0 Mm^3/an)	**96,8 %** (proche de 9 Mm^3/an)	**33 %**	915
Eocène inférieur à moyen	**53 %** (39 Mm^3/an)	47% (35 Mm^3/an)	25,8 % (10 Mm^3/an)	**74,2 %** (29 Mm^3/an)	**45 %**	17 969
Campanien	**90%** (27 Mm^3/an)	10 % (3 Mm^3/an)	29,2 % (8 Mm^3/an)	**70,8 %** (19 Mm^3/an)	**88 %**	29 388
Coniacien-Santonien-Turonien	**76 %** (115 Mm^3/an)	24 % (37 Mm^3/an)	57,3 % (68 Mm^3/an)	**42,7 %** (47 Mm^3/an)	**56 %**	32 437
Cénomanien	**57 %** (16 Mm^3/an)	43 % (14 Mm^3/an)	36,2 % (6 Mm^3/an)	**63,8 %** (10 Mm^3/an)	**45 %**	5 491

Figure 22 : Tableau de synthèse de la recharge nette calculée pour les nappes du SAGE

Il faut bien sûr pondérer ces résultats par les coefficients d'ajustement obtenus (exprimés par le R^2, carré du coefficient de corrélation) qui dans certains cas peuvent être relativement faibles avec des valeurs de R^2 de l'ordre de 0,63.

Ces résultats sont de plus fonction de la période de calcul et peuvent être différents lorsque le contexte climatique vient à changer significativement (Figure 23). Ceci est notamment vrai pour les aquifères du Miocène et de l'Oligocène pour lesquels les affleurements correspondent à la fois à des zones de recharge et d'exutoires, le débordement n'est pas uniquement lié aux précipitations mais aussi à la vidange du système qui s'alimente en grande partie par drainance via les aquifères encadrants. Dans le cas des aquifères captifs profonds (Eocène et Campano-Maastrichtien), on note que le flux de recharge nette est relativement constant quelle que soit la période considérée traduisant une moindre sensibilité aux fluctuations climatiques de courts termes.

	Aquitanien	Oligocène	Eocène moy à inf	Campanien
1972-2007	23.5	0.6	74.2	70.8
1972-2006	24.6	3.7	74.8	71.1
1972-2005	25.4	5.7	75.3	71.5
1972-2004	27.5	11.1	76.3	71.8
1972-2003	29.7	18	77.3	72
1972-2002	31.1	22	78.1	72.2
1972-2001	33.9	29	79.2	71.5
1972-2000	35.2	32	79.6	71.6
1972-1999	34.3	30.5	78.7	71.5
1972-1998	33.9	30.3	78.6	71.5
1972-1997	33.7	30	78.8	71.5
1972-1996	32.7	28	78.9	71.3
1972-1995	33	28	78.3	71.4
Max	35.2	32	79.6	72.2
Min	23.5	0.6	74.2	70.8
Ecart	11.7	31.4	5.4	1.4

Figure 23 : Exemple des taux de recharge nette (en %) calculés selon différentes périodes

5. Conclusion

À l'issue des résultats obtenus dans le rapport RP-60416-FR (Saltel et Pédron, 2012), un nouveau scénario de prélèvements a été construit puis validé par la CLE du SAGE Nappes Profondes sur la période 2008-2030 (les données réelles de prélèvements et de recharges étant disponibles jusqu'en 2007). Ce nouveau scénario considère une croissance démographique importante, conforme à l'ambition d'une « CUB millionnaire », et une optimisation des usages de l'eau dite « économies de base » prenant en compte un prélèvement de 80 m^3/an/habitant. L'atteinte de cet objectif s'appuie sur la mise en œuvre de deux projets de substitutions d'une capacité de production totale de 22 millions de m^3/an d'ici 2021. Le premier consiste en la réalisation d'un parc d'exploitation à 12 millions de m^3/an dans le Cénomanien, opérationnel en 2018 et situé dans le sud Gironde. Le second projet, situé à Sainte-Hélène, permettra à partir de 2021 de prélever 10 millions de m^3/an dans l'Oligocène.

L'objectif de ce travail est de simuler et d'analyser l'impact du nouveau scénario de prélèvements sur l'évolution des niveaux piézométriques des grandes nappes profondes du nord du Bassin aquitain dans deux conditions de recharge. L'une considérant une recharge moyenne calculée à partir des données disponibles sur les 30 dernières années (de 1978 à 2007) considérée comme relativement favorable à la réalimentation des nappes, l'autre déterminée à partir de la moyenne calculée sur les 10 dernières années (de 1998 à 2007) correspondant à une période moins favorable du point de vue climatique.

En considérant des conditions climatiques favorables à la recharge du système, **la nappe de l'Oligocène** est impactée régionalement par la mise en exploitation du parc de Sainte-Hélène, en 2021, avec des rabattements au droit du secteur d'implantation des forages, pouvant atteindre 67 m. Par contre les substitutions de cette nappe, qui concernent essentiellement une diminution des prélèvements dans le secteur de la CUB, permettent de soulager le réservoir, principalement en rive gauche de la Garonne, où des remontées de plus de 5 m des niveaux piézométriques sont observables. La bonne réactivité de l'aquifère oligocène conduit également à une mise à l'équilibre rapide. **Dans l'aquifère de l'Éocène inférieur à moyen**, la nouvelle stratégie d'exploitation du multicouche aquitain entraîne dans un premier temps une remontée des niveaux piézométriques essentiellement au centre du bassin, réduisant ainsi la dépression observable dans cet aquifère, et dans une moindre mesure sur les bordures septentrionales et orientales du bassin aquitain constituant des zones d'alimentation de l'aquifère. Cependant, l'effet des substitutions s'estompe suite à l'augmentation des prélèvements nécessaires pour les besoins en eau potable. Ainsi, à partir de 2022, les résultats des simulations montrent une baisse continue des niveaux piézométriques (et qui se poursuit au-delà de 2030). **La nappe du Campanien** n'est que très peu concernée par les projets de substitution. Elle montre, de par sa forte relation avec l'Éocène inférieur à moyen, des variations des niveaux piézométriques similaires avec toutefois une intensité plus faible. Enfin, **le Cénomanien** subit, en dehors de sa bordure nord soumise à une remontée de nappe, une baisse généralisée

des niveaux piézométriques de l'ordre de 5 m qui sont logiquement les plus importants dans le secteur d'exploitation du sud Gironde.

Les variations de stocks observées sur la période prospective indiquent une relative stabilité des réservoirs oligocène, éocène inférieur à moyen et cénomanien à l'horizon 2030. La nappe du Cénomanien est quant à elle soumise à un déstockage à partir de 2018 qui s'amortit légèrement par la suite.

Dans des conditions de recharge plus défavorables (moyenne calculée sur les dix dernières années), l'ensemble des nappes subit un abaissement piézométrique supplémentaire. La baisse quasi-générale conduit à une amplification des dépressions générées par la mise en service des deux projets de substitution et par des remontées d'amplitude plus faible que précédemment. Du point de vue des variations de stock, les nouvelles conditions climatiques génèrent un déséquilibre net entre les entrées et sorties du système avec des déstockages observables sur toutes les nappes.

Il faut souligner l'importance de la recharge dans la variation des stocks des différents réservoirs considérés. L'impact des conditions climatiques reste important et les incertitudes climatiques ne peuvent être négligées dans le cadre des politiques de gestion des eaux souterraines. À titre indicatif, les recharges introduites dans le modèle étant moyennées sur des périodes légèrement différentes, cet impact a fait l'objet d'une évaluation dans le rapport RP-61290-FR (Cabaret *et al.*, 2012) pour les nappes du Plio-Quaternaire, du Miocène, de l'Oligocène et de l'Éocène moyen. On gardera simplement à l'esprit que les lois de recharge utilisées actuellement pourraient s'avérer, au moins partiellement, inadaptées dans les conditions climatiques fortement défavorables prises en compte sur la période prospective. On considérera donc les résultats obtenus avec toutes les précautions nécessaires.

En complément à ces simulations, une évaluation des flux d'alimentation nette rechargeant les nappes captives a été réalisée sur la base de la méthode employée lors de l'expertise du modèle nord-aquitain en 1998 (Ackerer et *al.*, 1998). Sur la période considérée (1972-2007), on remarque que le taux de recharge nette est très variable selon les aquifères. Pour les aquifères profonds, plus de 40 % de la recharge par infiltration participe effectivement à l'alimentation des aquifères (on parle de recharge nette), l'autre partie contribuant aux débordements. À l'inverse, ce taux de recharge nette est plus faible pour les aquifères captifs plus superficiels de l'Aquitanien et de l'Oligocène (moins de 25 %) pour lesquels les zones d'affleurement sont plutôt des zones d'exutoire que des zones de recharge.

6. Bibliographie

Ackerer P., Delay F., Porel G. et de Marsily, G. (1998) - Expertise de la restructuration du modèle nord-aquitain de gestion des nappes, 43 p.

Amraoui N., Bichot F., Platel J.P., Seguin J.J. (1998) - Gestion des eaux souterraines en Aquitaine. Année 2 - Evaluation des ressources. Ajout des couches du Santonien-Turonien, du Cénomanien et du Jurassique moyen et supérieur au modèle nord aquitain. BRGM/RR-40110-FR.

Amraoui N., Bichot F., Seguin J.J., Platel J.P. et 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. BRGM/RR-40224-FR.

Braneyre M. (1993) - Modèle conceptuel sommaire. Multicouche aquitain, BRGM/RR-37322-F.

Braneyre M., Chigot D., Lambert M., Moreau C.F., Sourisseau B., Platel J.P., Dubreuilh J., Gaaloul N. (1993) - Modélisation mathématique multicouche des trois aquifères exploités du bassin sédimentaire nord-aquitain (Oligocène - Éocène - Crétacé) - BRGM/RR-37361-FR.

Braneyre M., Lambert M., Sourisseau B. (1994) - Rapport de synthèse du modèle régional multicouche du Bassin Nord-aquitain. Calage en régime transitoire et simulations - BRGM/RR-38006-FR.

Cabaret O., Saltel M. (2012) - Simulations d'impacts d'un champ captant d'une capacité de 10 et 12 millions de m3 dans l'Oligocène à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA) – Sainte-Hélène (33) – Rapport BRGM/RP-61290-FR, 81 p.

Gomez E., Saltel M., Pédron N. (2010) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain - Module 4 - Année 1 - Convention 2008-2013. BRGM/RP-57810-FR.

Gomez E., Pédron N. et Buscarlet E. (2010) - Utilisation du Modèle Nord-Aquitain (MONA) pour appuyer la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds du Nord du Bassin aquitain - BRGM/RP-57878-FR.

Gomez E., Pédron N., Winckel, A. et Corbier, P. (2008) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine. Piézométrie d'objectif d'étiage et de crise. Module 3, Année 4. Rapport final, BRGM/RP-56615-FR.

Pédron N., Lopez B. (2006) - Actualisation du modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes. Période 2001 - 2003. Rapport final - BRGM/RP-54220-FR.

Pédron N., Platel J.P., Bourgine B. (2006) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes – Module 4 – Année 3 – BRGM/RP-55242-FR.

Pédron N., Platel J.P., Bourgine B., Loiseau J.B. (2008) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Année 4 - Module 4 - Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes - RP-56614-FR.

Pédron N., Platel J.P., Lopez B. (2005) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Développements et maintenance du Modèle Nord Aquitain de gestion des nappes - Modules 4 - Année 2 - Rapport final - BRGM/RP-53659-FR.

Pédron N., Seguin J.J., Capdeville J.P. (2003) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Développements et maintenance du Modèle Nord Aquitain de gestion des nappes - Module 4 - Année 1. BRGM/RP-52602-FR.

Saltel M. et Pédron N. (2012) - Contribution à la révision du SAGE Nappes Profondes de Gironde : Utilisation du Modèle Nord-Aquitain - phase « Tendances et Scénarios » - Rapport final, BRGM/RP-60416-FR.

Seguin J.J. (1999a) - Contrôle qualité et gestion des nappes d'eaux souterraines en Gironde. Actualisation du modèle nord-aquitain de gestion des nappes. Période 1997-1998. BRGM/RR-40760-FR.

Seguin J.J. (1999b) - Restructuration du modèle nord-aquitain de gestion des nappes. Correction du biais de calage du modèle. BRGM/RR-40711-FR.

Seguin J.J. (2002) - Gestion des eaux souterraines en Aquitaine. Actualisation du modèle nord-aquitain. Période 1999-2000. BRGM/RP-51758-FR.

SMEGREG (2012) - SAGE Nappes profondes de Gironde - Orientations de gestion - Objectifs du SAGE et moyens pour les atteindre. Approuvé par la CLE le 19 mars 2012.

Thiéry D. (1990) - Logiciel MARTHE Modélisation d'Aquifère par maillage Rectangulaire en régime Transitoire pour le calcul Hydrodynamique des Écoulements - R-32210.

Thiéry D. (2006) - Didacticiel du pré-processeur WinMarthe v4.0 - Rapport final - BRGM/RP -54652-FR.

Thiéry D. (2010) - Didacticiel du code de calcul Marthe v7.0 - Votre premier modèle - BRGM/RP-58632-FR.

Annexe 1

Historique du Modèle Nord Aquitain

MONA V1

Elaboration d'un 1er modèle régional à mailles carrées de 5 km de côté au début des années 90 [(Braneyre, 1993) ; (Braneyre et al., 1993) ; (Braneyre et al., 1994)] fonctionnant en régime transitoire sur la période 1972-1992 et simulant les écoulements au sein de 4 couches aquifères : Mio-Plio-Quaternaire (à potentiels imposés), Oligocène, Éocène et Campano-Maastrichtien.

En 1996, L'Agence de l'Eau Adour-Garonne, la Communauté Urbaine de Bordeaux et le Conseil Général de la Gironde ont décidé la mise en place d'un schéma directeur de gestion des ressources en eau de la Gironde, proposant des solutions alternatives permettant de limiter les prélèvements dans l'Éocène. Les partenaires ci-dessus ont demandé au BRGM d'utiliser le **MONA** V1 pour tester les différentes solutions proposées par les cabinets d'étude du schéma. En 1998, 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, nécessaires pour mettre en œuvre les solutions du schéma. La prise en compte des différentes recommandations de l'expertise a permis de faire évoluer le modèle et d'aboutir à la version 2 décrite ci-dessous.

MONA V2

Version du modèle au pas de 5 km fonctionnant en régime transitoire sur la période 1972-1996 (**MONA** V2-1996) et simulant les écoulements au sein de 5 couches aquifères : Mio-Plio-Quaternaire (à potentiels imposés), Oligocène, Éocène, Campano-Maastrichtien, Turonien-Coniacien-Santonien (Amraoui et al., 1999).

Cette version du modèle a été par la suite actualisée à deux reprises :

- en 1999 (Seguin, 1999) avec les données 1997 et 1998 (**MONA** V2-1998). Cette version du modèle a permis de reprendre les simulations du Schéma Directeur de Gestion des Ressources en Eau de la Gironde pour tester différents scénarios d'exploitation des nappes et de réduction des prélèvements dans l'Éocène.
- en 2001 (Seguin, 2002) avec les données 1999 et 2000 (**MONA** V2-2000). Le modèle ainsi actualisé a été utilisé dans le cadre du SAGE "Nappes profondes de Gironde" pour simuler différents scénarios d'économie d'eau, aider à la définition des VMPO (Volumes Maximum Prélevables Objectifs) pour chacune des nappes visées par le SAGE, et proposer des indicateurs de l'état de la ressource.

Parallèlement, à la demande de la MISE de Gironde, des simulations ponctuelles ont été réalisées pour fonder les autorisations d'implantation et de prélèvements d'une dizaine d'ouvrages devant solliciter des nappes visées par le SAGE « Nappes Profondes ».

MONA V2**B** : Il existe une version du modèle 5 km fonctionnant en régime permanent avec 7 couches (+Cénomanien et Jurassique) développé au cours de l'année 2 de la convention « Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine 1996-2001 ».

MONA V3

Développements réalisés dans le cadre de la convention régionale « Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine » 2002-2006. Au cours de l'année 1 (Pédron et al., 2003), les améliorations suivantes ont été apportées :

- Passage du modèle à mailles carrées de 5 km de côté (MONA V2-2000) à une version 2 km avec adjonction de l'Aquitanien-Burdigalien, de l'Helvétien et du Plio-Quaternaire en remplacement de l'ancienne couche Mio-Plio-Quaternaire à potentiels imposés (MONA V3-2000).

- Subdivision de l'Eocène en 3 couches distinctes et réajustement de la géométrie de l'Oligocène (MONA V3.1-2000).

Au cours de l'année 2, la finalisation de la géométrie de l'Oligocène a été réalisée et le calage des trois couches de l'Éocène et celle de l'Oligocène effectuées.

La version **MONA** V3.1 du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes intègre donc 9 couches : Plio-Quaternaire, Helvétien, Aquitanien-Burdigalien, Oligocène, Éocène supérieur, Éocène moyen, Éocène inférieur, Campano-Maastrichtien, et l'ensemble Turonien-Coniacien-Santonien.

Cette version du modèle a été actualisée en 2005 (Pédron et al., 2006) avec les données de la période 2001-2003 (**MONA** V3.1-2003), puis partiellement en 2007 (uniquement les 3 couches de l'Éocène et du Campano-Maastrichtien) sur la période 2004-2006 (**MONA** V3.1-2006p) pour les besoins de l'étude sur l'évaluation des ressources dans le Bergeracois (Pédron et al., 2008).

Au cours de l'année 3 (Pédron et al., 2006), les travaux réalisés ont permis la subdivision de la couche du Turonien-Coniacien-Santonien en deux couches distinctes (Turonien et Coniacien-Santonien) et l'actualisation de la géométrie du Campano-Maastrichtien (**MONA** V3.2).

L'année 4 (Pédron et al., 2008) a été consacrée à la réalisation d'un modèle géologique régional des couches du Cénomanien et du Jurassique (Bajocien, Bathonien-Callovo-Oxfordien, Kimméridgien et Tithonien) et à l'intégration de ces couches dans le modèle hydrodynamique pour aboutir à une version MONA V3.3.

La version V3.3b correspond principalement à des ajustements de la loi de recharge de la nappe du Plio-Quaternaire et à une meilleure prise en compte du comportement des réservoirs autour de la structure de Villagrains-Landiras suite aux études récentes réalisées dans le secteur (Saltel, 2008).

Annexe 2

Evaluation des besoins en prélèvements pour l'alimentation en eau potable (Extrait du rapport SMEGREG, 2012)

On gardera à l'esprit que les prélèvements pour l'alimentation en eau potable dans les nappes du SAGE se font (référence 2008 de l'état des lieux) :

- à 38 % dans des unités de gestion déficitaires dans lesquelles ils représentent 92 % des prélèvements ;
- à 44 % dans des unités de gestion à l'équilibre dans lesquelles ils représentent 93 % des prélèvements ;
- à 18 % dans des unités de gestion non déficitaires dans lesquelles ils représentent 47 % des prélèvements.

L'alimentation en eau potable représente 92 % des prélèvements de 2008 dans les unités de gestion déficitaires et plus de 93 % dans les unités de gestion à l'équilibre.

Comme cela a déjà été dit précédemment, les besoins en prélèvements sur les nappes profondes pour l'alimentation en eau potable ne peuvent pas être estimé directement, notamment parce que la politique volontariste d'économie d'eau touche tous les prélèvements, que les ressources utilisées soient ou non concernées par le SAGE.

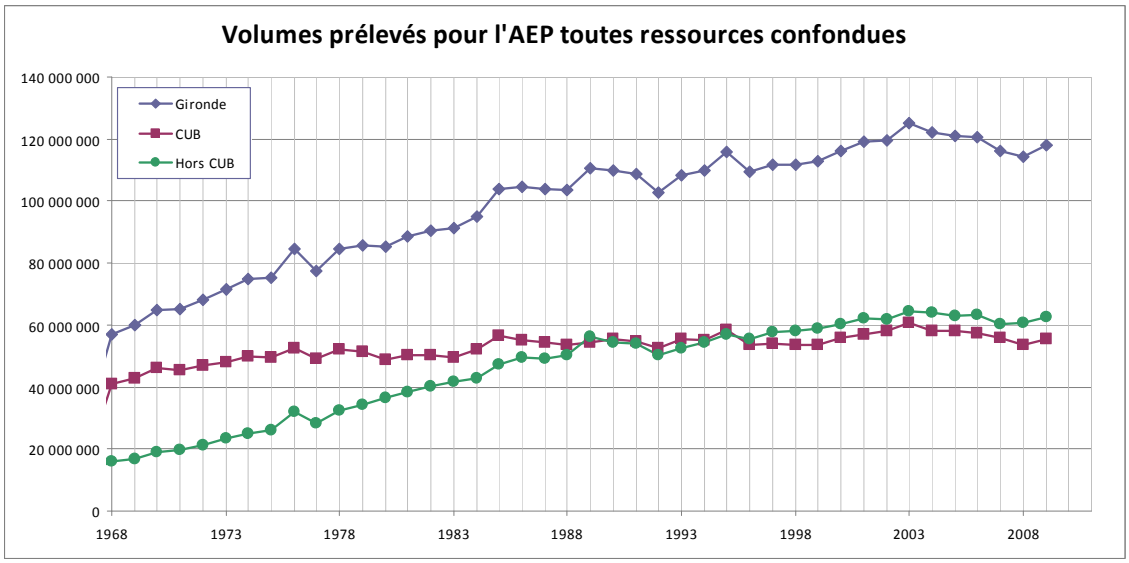


Figure 5 : Evolution des prélèvements pour l'AEP toutes ressources confondues

Pour l'alimentation en eau potable, l'étape 1 consiste donc à estimer les besoins tendanciels en prélèvements pour l'eau potable toutes ressources confondues.

Cette estimation s'appuie sur la formule :

(nombre d'habitants) x (prélèvement unitaire en m³/an par habitant),

Les paramètres à prendre en considération pour l'estimation des besoins futurs en prélèvement sur la ressource sont donc :

- le nombre d'habitants projeté,
- le prélèvement unitaire par habitant.

Evolution démographique :

Pour estimer le nombre d'habitant, la CLE a retenu deux hypothèses :

- une évolution de population basée sur les projections calculée par l'INSEE dans le cadre d'une étude spécifique réalisée pour la révision du SAGE : cette étude fournit des pourcentages d'augmentation de population par secteur géographique (hypothèse basse) ;
- une évolution de population conforme à l'ambition d'une "CUB millionnaire" (hypothèse haute).

A noter que, pour ce deuxième scénario, la cohérence voudrait que l'augmentation de la population de la CUB, plus forte que les projections de l'INSEE, soit compensée par des ratios d'accroissement plus faibles dans les zones rurales. La question se pose alors des zones rurales concernées et des taux à appliquer. A défaut de pouvoir trancher cette question, l'hypothèse haute sera construite avec une "CUB millionnaire" sans réduction de l'accroissement démographique issu des projections INSEE pour les territoires hors CUB (ce qui justifie la qualification d'hypothèse haute).

Les évolutions démographiques projetées selon le découpage de l'étude de l'INSEE et ces deux hypothèses sont présentées dans la figure suivante.

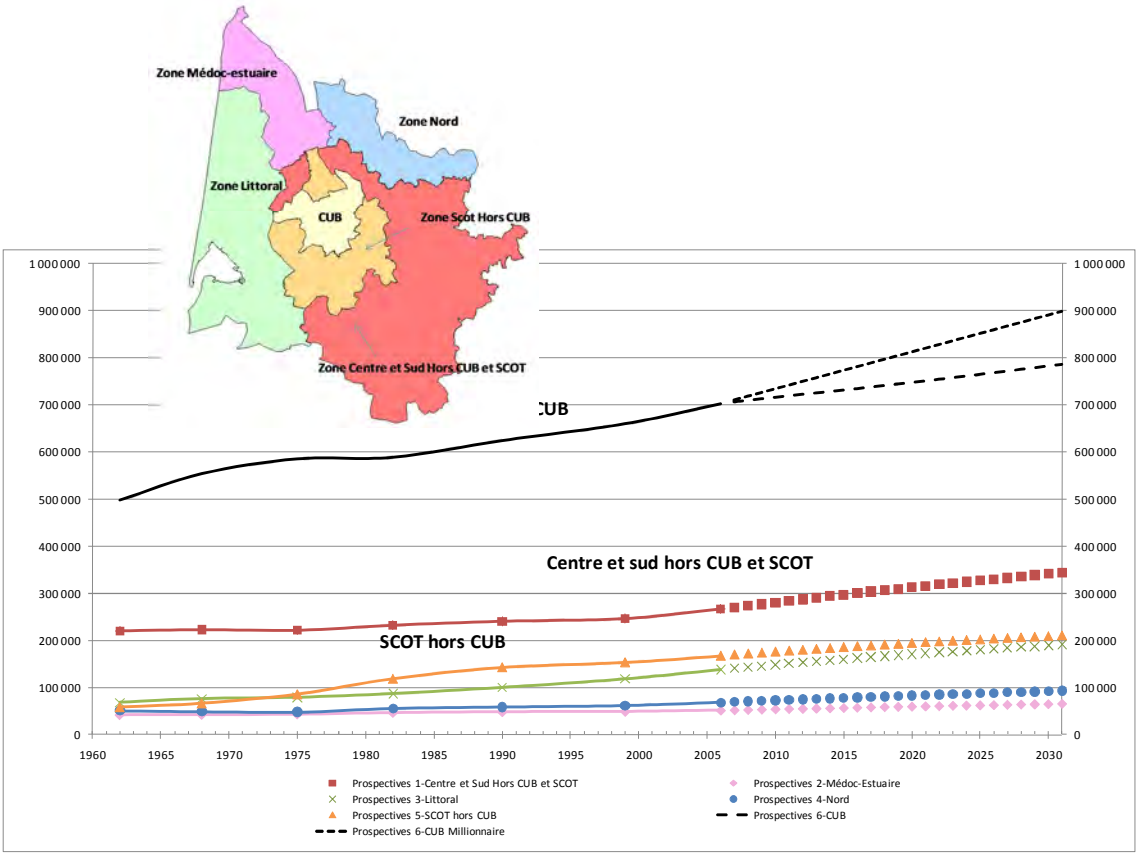


Figure 6: Evolutions de population projetées par l'INSEE

Ces projections nous donnent les populations départementales suivantes :

- projection INSEE :.....1 578 675 hab. à 2021 .....1 678 799 hab. à 2030
- projection "CUB millionnaire" :.....1 647 959 hab. à 2021 .....1 786 533 hab. à 2030

Prélèvement unitaire pour l'alimentation en eau potable :

Les projections s'appuient sur l'évolution constatée du prélèvement par habitant depuis 1968 et plus particulièrement sur les deux dernières décennies.

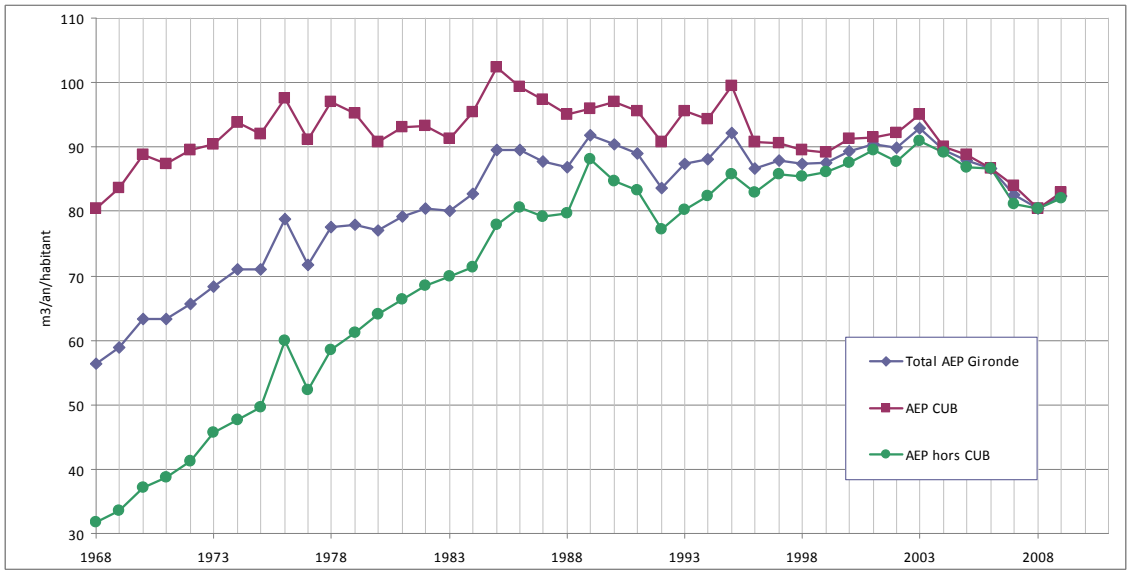


Figure 7 : Evolution du prélèvement par habitant pour l'AEP toutes ressources confondues depuis 1968

Alors que le prélèvement pas habitant est supérieur à 80 m³/hab/an pour le service de l'eau de la CUB depuis 1968, celui calculé pour le reste de département n'a dépassé cette valeur qu'en 1986.

Sur toute la période, les ratios calculés pour les services de l'eau autres que la CUB se rapprochent progressivement des valeurs calculées pour la CUB.

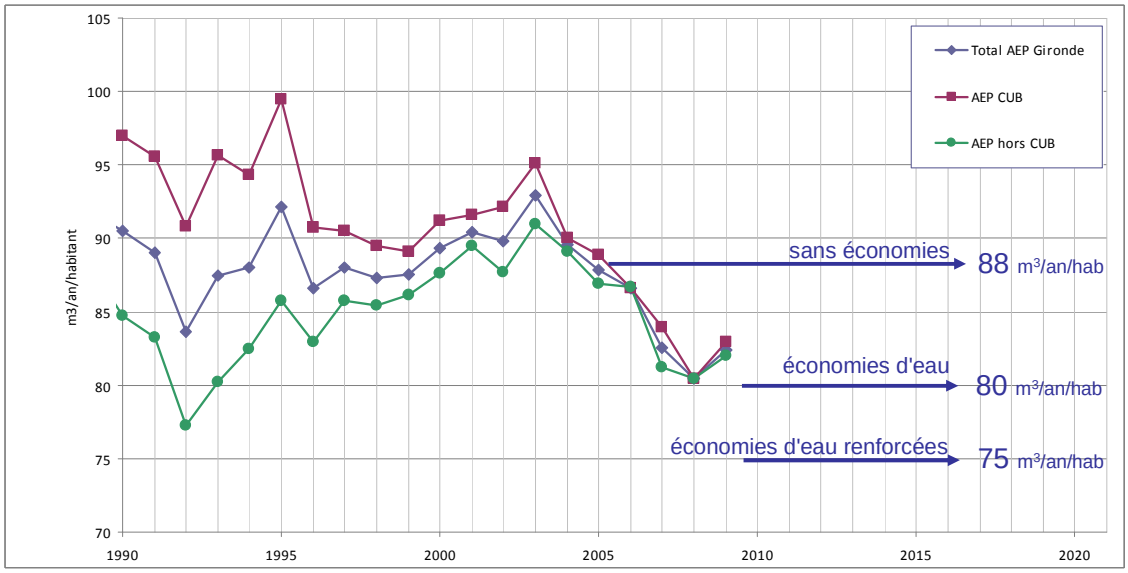
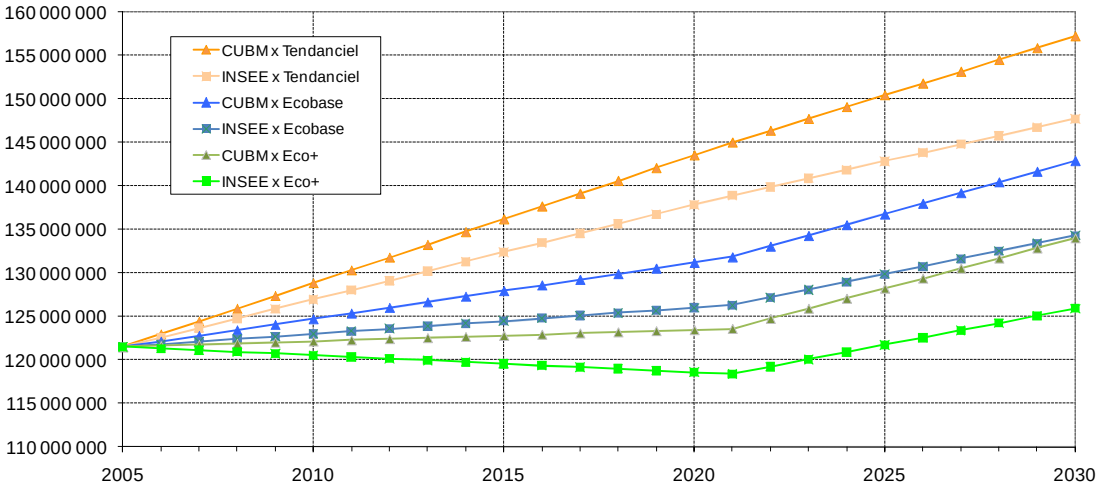


Figure 8 : Evolution du prélèvement par habitant pour l'AEP toutes ressources confondues depuis 1990

Sur la base de l'évolution de ces ratios sur la période 1990-2009, la CLE a décidé de retenir les valeurs suivantes pour les projections à 2021 :

- en tendanciel, une valeur de 88 m³/hab/an qui correspond à la valeur médiane sur cette période, valeur proche de celles calculées pour l'année 2005, année jugée représentative d'une situation moyenne ;
- en matière d'optimisation des usages, deux hypothèses :
  - ✓ 80 m³/hab/an en hypothèse basse ;
  - ✓ 75 m³/hab/an dans l'hypothèse d'une politique d'économie d'eau renforcée.

Ces hypothèses de besoins unitaires en prélèvements sont supposées être effectives en 2021. Avant cette échéance, les besoins seront influencés par la politique d'économies d'eau dont les résultats sont considérés progressifs sur la période 2005-2021 (action du SAGE Nappes profondes version 1 et 2).
Le croisement de ces hypothèses d'évolution démographiques et de besoins unitaires en prélèvements donne les projections suivantes (usage AEP et toutes ressources confondues).



Scénario	Dotation unitaire	Population totale 2021	Population totale 2030	2005	2021	2030
INSEE x Eco+	75	1 578 675	1 678 799	121 502 856	118 400 625	125 909 925
CUBM x Eco+	75	1 647 959	1 786 533	121 502 856	123 596 925	133 989 975
INSEE x Ecobase	80	1 578 675	1 678 799	121 502 856	126 294 000	134 303 920
CUBM x Ecobase	80	1 647 959	1 786 533	121 502 856	131 836 720	142 922 640
INSEE x Tendanciel	88	1 578 675	1 678 799	121 502 856	138 923 400	147 734 312
CUBM x Tendanciel	88	1 647 959	1 786 533	121 502 856	145 020 392	157 214 904

Figure 9 : Projection des besoins en prélèvements pour l'AEP toutes ressources confondues

Annexe 3

Compléments d'informations sur les solutions de substitutions mises en œuvre

Forages des projets de substitutions mis en œuvre dans le modèle

Nom	X en m (Lambert II)	Y en m (Lambert II)	Commune	Aquifère capté
Projet Cénomanien Sud Gironde (12 Mm^3/an)				
Saint-Magne 1	357815	1956092	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 2	358475	1955391	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 3	359175	1954588	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 4	359925	1953888	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 5	360576	1953048	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 6	357483	1955055	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 7	357998	1954193	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 8	358696	1953470	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 9	359577	1952900	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 10	360814	1952093	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 11	356991	1953855	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 12	362068	1952278	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 13	363375	1952212	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 14	364395	1952536	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 15	364915	1951843	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 16	365968	1951708	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 17	362777	1951589	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 18	364248	1951115	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 19	365443	1950748	SAINT MAGNE	Cénomanien
Saint-Magne 20	363895	1950163	SAINT MAGNE	Cénomanien
Projet Oligocène Sainte-Hélène (10 Mm^3/an)				
Sainte-Hélène : 08022X0011/SF1	338286	2000023	SAINTE-HELENE	Oligocène
Sainte-Hélène : 08022X0012/SF2	339559	2001006	SAINTE-HELENE	Oligocène
Sainte-Hélène : 08022X0016/SF3	337600	1997976	SAUMOS	Oligocène
Sainte-Hélène : SH1	336569	1993768	SAUMOS	Oligocène
Sainte-Hélène : SH2	336471	1994997	SAUMOS	Oligocène
Sainte-Hélène : SH3	338297	1994669	SAUMOS	Oligocène
Sainte-Hélène : SH4	336201	1995948	SAUMOS	Oligocène
Sainte-Hélène : SH5	337708	1995888	SAUMOS	Oligocène
Sainte-Hélène : SH6	336444	1997349	SAUMOS	Oligocène
Sainte-Hélène : SH7	337992	1997050	SAUMOS	Oligocène
Sainte-Hélène : SH8	336553	1998371	SAUMOS	Oligocène
Sainte-Hélène : SH9	336825	2000023	SAUMOS	Oligocène
Sainte-Hélène : SH10	338557	1998992	SAUMOS	Oligocène
Sainte-Hélène : SH11	337205	2000478	LACANAU	Oligocène

Liste des sources de la CUB dont le débit a été considéré comme constant

Nom	X en m (Lambert II)	Y en m (Lambert II)	Commune	Volume (m^3/an)
08518X0017	384095	1952447	BUDOS	9 400 000
08035X0298	362074	1992456	LE HAILLAN	360 000
08035X0281	360750	1992809	SAINT-MEDARD-EN-JALLES	700 000
08035X0006	360866	1992641	SAINT-MEDARD-EN-JALLES	3 500 000
08277X0002	376915.7	1968539.2	CASTRES-GIRONDE	1 600 000
08028X0006	352290.2	1990633.5	SAINT-MEDARD-EN-JALLES	2 400 000
08035X0300	363173	1992253	EYSINES	240 000
08035X0286	361354	1993049	LE TAILLAN-MEDOC	3 600 000

Forage sur lesquels des diminutions des prélèvements ont été appliquées dans le modèle suite à la mise en place des ressources de substitution

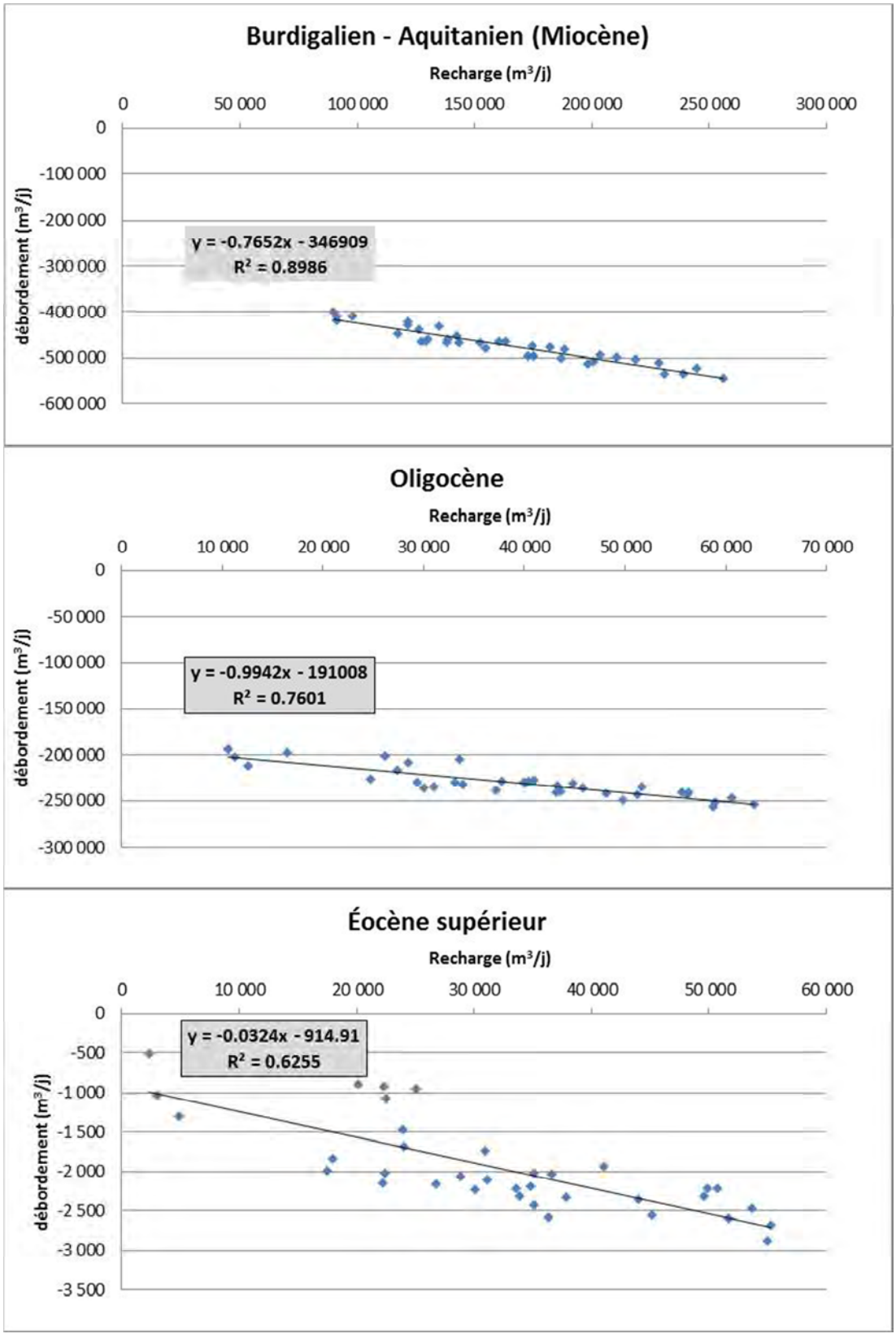
Nom	X en m (Lambert II)	Y en m (Lambert II)	Z (m)	Commune	Lieu-dit	Aquifère capté	Code nappe	Collectivité ou syndicat exploitant
07796X0106	372686	2006454	3	AMBES	BECHADE	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
07797X0001	374484	2005031	3.13	AMBES	BEAUREGARD	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08026X0034	337040	1994653	32.39	SAUMOS	COMMUNAL	Oligocène	MNA-OLIGNP	Saumos-Le-Temple
08031X0172	364665	1996404	18.82	BLANQUEFORT	LINAS	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08031X0198	362872	1994866	30	TAILLAN-MEDOC(LE)	L'ECUREUIL	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08031X0199	364322	2000106	12	PIAN-MEDOC(LE)	COMMUNAL - BOUCHAUD	Éocène moyen	MNA-EOCM	Le Pian
08032X0221	366755	1995570	4	BLANQUEFORT	LE TREMBLAY	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08032X0222	365770	1997910	18	BLANQUEFORT	LANDOT	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08032X0331	366214	2001003	10	PIAN-MEDOC(LE)	GRAVIEL	Éocène moyen	MNA-EOCM	Le Pian
08034X0031	384326	1994806	3.36	SAINT-SULPICE-ET-CAMEYRAC	PETITE RIVIERE - DROUILLARD	Éocène moyen	MNA-EOCM	Syndicat intercommunal AEP de Bonnetan
08035X0015	364360	1987580	39	MERIGNAC	CAPEYRON	Oligocène	MNA-OLIGNP	Oligocène Mérignac
08035X0270	363158	1992265	9.55	EYSINES	CANTINOLLE	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08035X0287	361358	1993068	12.03	TAILLAN-MEDOC(LE)	DEMON-R19	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08035X0299	363111	1988443	44	MERIGNAC	CAP-ROUX	Oligocène	MNA-OLIGNP	Oligocène Mérignac
08035X0337	363818	1986291	35	MERIGNAC	PARC	Oligocène	MNA-OLIGNP	Oligocène Mérignac
08035X0338	362097	1992446	11	HAILLAN(LE)	MOULINAT - LAYNE	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08035X0360	364233	1989151	43.1	EYSINES	FORET 1	Oligocène	MNA-OLIGNP	Oligocène Mérignac
08035X0376	364240	1989150	42.5	EYSINES	FORET 2	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08035X0393	359416	1992181	15	SAINT-MEDARD-EN-JALLES	GAJAC 5	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08035X0425	364999	1992391	5	EYSINES	MOULIN NOIR	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08035X0442	364253	1989161	42	EYSINES	FORET 3 (1 BIS)	Oligocène	MNA-OLIGNP	Oligocène Mérignac
08036X0015	368735	1989464	2.7	BOUSCAT(LE)	BARBUSSE	Éocène moyen et inférieur	MNA-EOCM+MNA-EOCI	Éocène CUB
08036X0016	371854	1985933	3.2	BORDEAUX	JOURDE	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08036X0018	371285	1988579	4.8	BORDEAUX	BOURBON	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08036X0019	370658	1989500	3.8	BORDEAUX	LUCIEN FAURE	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08036X0682	367058	1991568	13.3	BRUGES	LAGRANGE	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08037X0039	374217	1985753	27.86	FLOIRAC	JALINEAU	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08037X0040	372591	1991768	4.45	BORDEAUX	AMELIN	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08037X0041	374225	1987504	69	CENON	CAVAILLES	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08037X0042	372591	1986997	4.34	BORDEAUX	LA BENAUGE	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08037X0313	374856	1988003	63.5	CENON	LORET-ZUP	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08037X0396	376599	1989101	40	ARTIGUES-PRES-BORDEAUX	MOULINAT - MIRAIL	Éocène moyen	MNA-EOCM	SYNDICAT CARBON-BLANC
08037X0400	373879	1989945	58.8	LORMONT	GENICART	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08037X0402	373222	1985905	3.7	FLOIRAC	PASTEUR	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08037X0425	375335	1987362	64	CENON	LA MAREGUE	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08037X0428	373981	1991242	10	LORMONT	CARRIET	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08037X0429	374829	1990174	36	LORMONT	LA RAMADE	Éocène moyen	MNA-EOCM	Éocène CUB
08037X0453	376185	1992993	16	CARBON-BLANC	FAVOLS	Éocène moyen	MNA-EOCM	SYNDICAT CARBON-BLANC

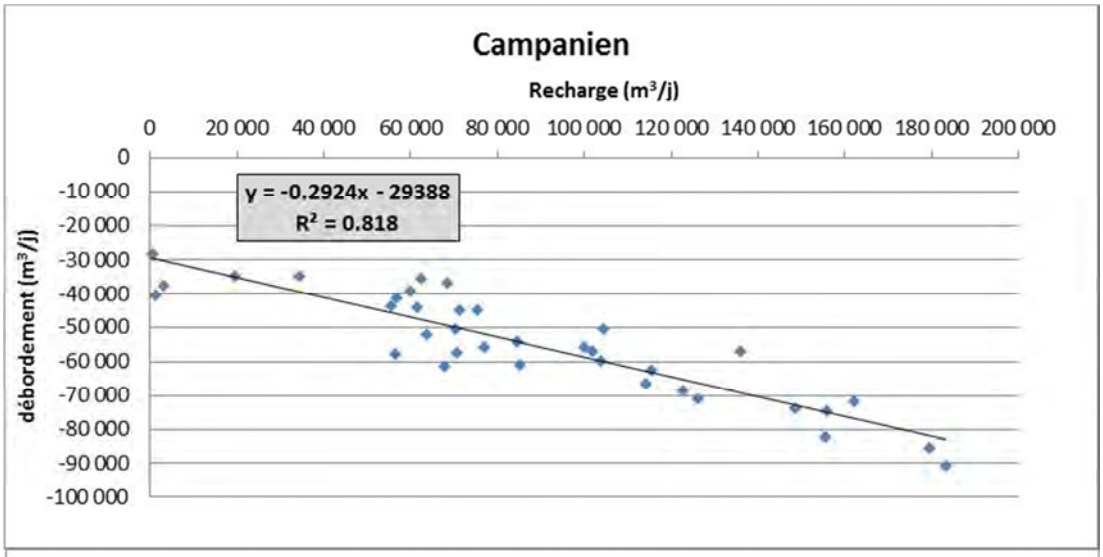
Forage sur lesquels des diminutions des prélèvements ont été appliquées dans le modèle suite à la mise en place des resso

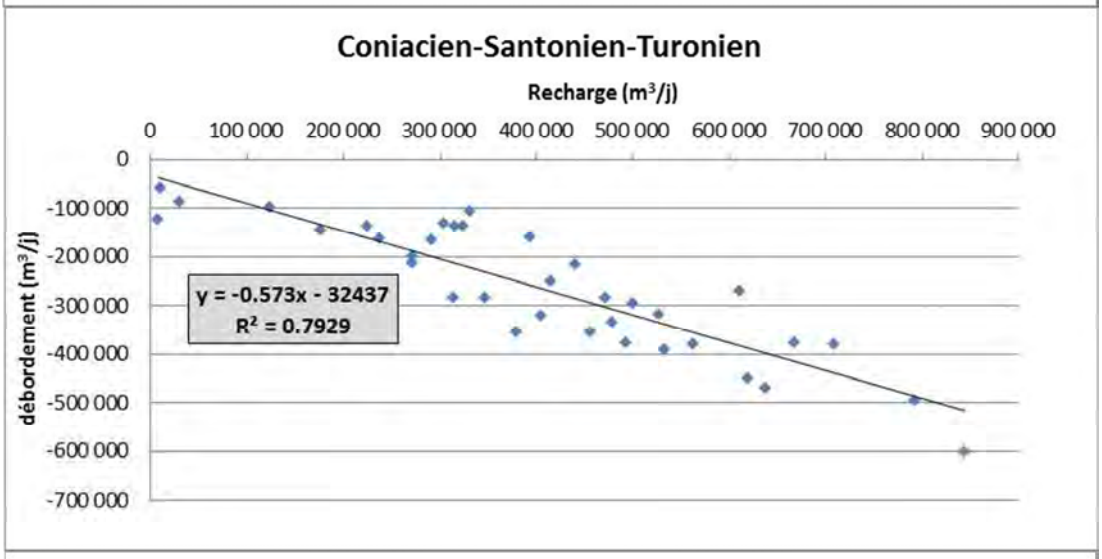
Nom	X en m (Lambert II)	Y en m (Lambert II)	Z (m)	Commune	Lieu-dit	Aquifère capté	Code
08037X0565	378303	1991099	34	YVRAC	BOIS HAUT	Éocène moyen	MNA-E
08045X0037	386479	1986400	24	SALLEBOEUF	LA GRAVETTE	Éocène moyen	MNA-E
08271X0213	362783	1983871	42.5	MERIGNAC	JACOB	Éocène moyen	MNA-E
08272X0005	372084	1983057	5.52	BEGLES	PRECHE	Éocène moyen	MNA-E
08272X0006	370173	1981577	13.68	BEGLES	BEQUET	Éocène moyen	MNA-E
08272X0007	371565	1982135	5.15	BEGLES	VERDUN	Éocène moyen	MNA-E
08272X0391	369515	1977116	30	VILLENAVE-D'ORNON	GAUCHON	Éocène moyen	MNA-E
08272X0393	371311	1974301	23	MARTILLAC	SAUTEGRIT - CANTINOLLE	Éocène moyen	MNA-E
08272X0397	371664	1975542	14	MARTILLAC	MATASSET	Éocène moyen	MNA-E
08272X0403	370311	1980467	8	BEGLES	PONT DE LA MAYE	Éocène moyen	MNA-E
08272X0404	366936	1978721	18	GRADIGNAN	CAZEAUX 4	Éocène moyen	MNA-E
08272X0406	367416	1984043	26.1	TALENCE	LAVARDENS	Éocène moyen	MNA-E
08273X0043	372291	1979593	6.85	VILLENAVE-D'ORNON	SERVANTIN	Éocène moyen et inférieur	MNA-EOCM
08273X0262	375005	1981539	4.05	LATRESNE	COULOMB	Éocène moyen	MNA-E
08276X0001	367054	1965653	51.5	SAUCATS	BOURG	Oligocène	MNA-O
08276X0067	367146	1966604	55.59	SAUCATS	SABATEY	Oligocène	MNA-O
08276X0068	366522	1970210	57.94	LEOGNAN	PINS-VERTS	Oligocène	MNA-O
08276X0085	368935	1971104	52	MARTILLAC	LA CAPE	Éocène moyen	MNA-E
08276X0088	366685	1971830	54	LEOGNAN	BONOIS	Oligocène	MNA-O
08276X0090	368104	1965181	51	SAUCATS	Min-LAGUS	Oligocène	MNA-O
08276X0091	368932	1971131	52	MARTILLAC	LA CAPE	Oligocène	MNA-O
08276X0098	365767	1973390	45	LEOGNAN	MIGNOY	Oligocène	MNA-O
08277X0003	376831	1968506	9.4	CASTRES-GIRONDE	BELLEFOND	Éocène moyen	MNA-E
08277X0016	373040	1973148	10.04	MARTILLAC	CORDON	Éocène moyen	MNA-E
08277X0152	375135	1968962	30.8	BREDE(LA)	GUIGEOT	Éocène moyen	MNA-E
08277X0153	373519	1972232	23	SAINT-MEDARD-D'EYRANS	PONTET	Éocène moyen	MNA-E
08277X0154	372351	1973939	12	MARTILLAC	CASTAING	Éocène moyen	MNA-E
08277X0155	372077	1971348	42	MARTILLAC	HAUT NOUCHET	Éocène moyen	MNA-E
08277X0159	373509	1972197	18	SAINT-MEDARD-D'EYRANS	BLAYET 1	Éocène moyen	MNA-E
08277X0162	374135	1969664	17.5	BREDE(LA)	LA SAUQUE	Éocène moyen	MNA-E
08277X0170	372465	1970097	46	BREDE(LA)	MARSALETTE	Oligocène	MNA-O
08277X0215	376050	1971542	7	AYGUEMORTE-LES-GRAVES	BLANCHERIE	Éocène moyen	MNA-E

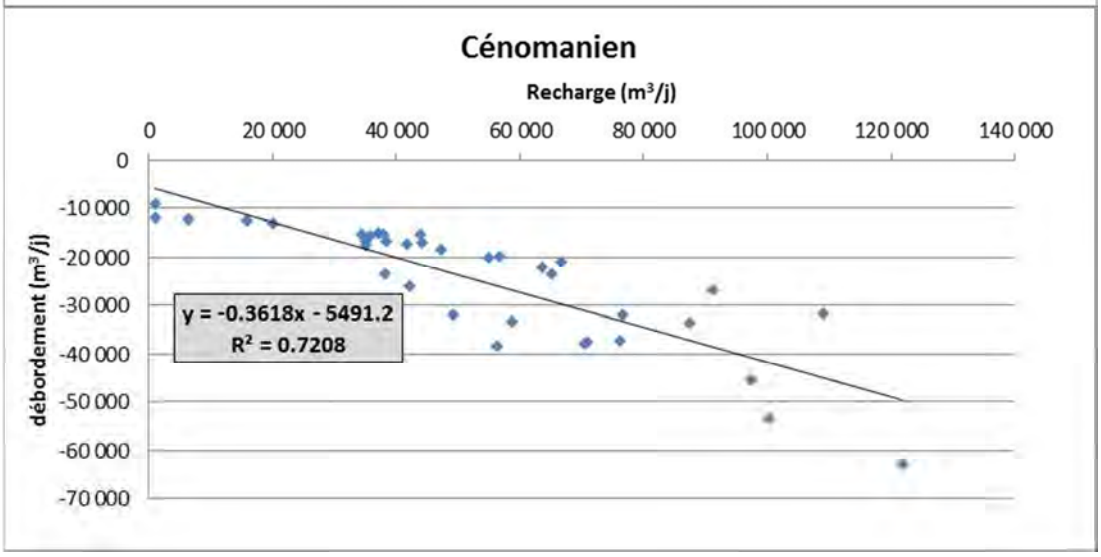
Annexe 4

Evaluation de la recharge nette par mise en relation du flux de recharge introduit dans le modèle et du flux de débordement


Burdigalien - Aquitanien (Miocène)
Recharge (m³/j)
0
50 000
100 000
150 000
200 000
250 000
300 000
débordement (m³/j)
0
-100 000
-200 000
-300 000
-400 000
-500 000
-600 000
y = -0.7652x - 346909
R² = 0.8986
Oligocène
Recharge (m³/j)
0
10 000
20 000
30 000
40 000
50 000
60 000
70 000
débordement (m³/j)
0
-50 000
-100 000
-150 000
-200 000
-250 000
-300 000
y = -0.9942x - 191008
R² = 0.7601
Éocène supérieur
Recharge (m³/j)
0
10 000
20 000
30 000
40 000
50 000
60 000
débordement (m³/j)
0
-500
-1 000
-1 500
-2 000
-2 500
-3 000
-3 500
y = -0.0324x - 914.91
R² = 0.6255


Campanien
Recharge (m³/j)
0
20 000
40 000
60 000
80 000
100 000
120 000
140 000
160 000
180 000
200 000
débordement (m³/j)
0
-10 000
-20 000
-30 000
-40 000
-50 000
-60 000
-70 000
-80 000
-90 000
-100 000
y = -0.2924x - 29388
R² = 0.818


Coniacien-Santonien-Turonien
Recharge (m³/j)
0
100 000
200 000
300 000
400 000
500 000
600 000
700 000
800 000
900 000
débordement (m³/j)
0
-100 000
-200 000
-300 000
-400 000
-500 000
-600 000
-700 000
y = -0.573x - 32437
R² = 0.7929


Cénomanien
Recharge (m³/j)
0
20 000
40 000
60 000
80 000
100 000
120 000
140 000
débordement (m³/j)
0
-10 000
-20 000
-30 000
-40 000
-50 000
-60 000
-70 000
y = -0.3618x - 5491.2
R² = 0.7208

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

BRGM Aquitaine
Parc Technologique Europarc
24, avenue Léonard de Vinci
33600 – Pessac - France
Tél. : 05 57 26 52 70