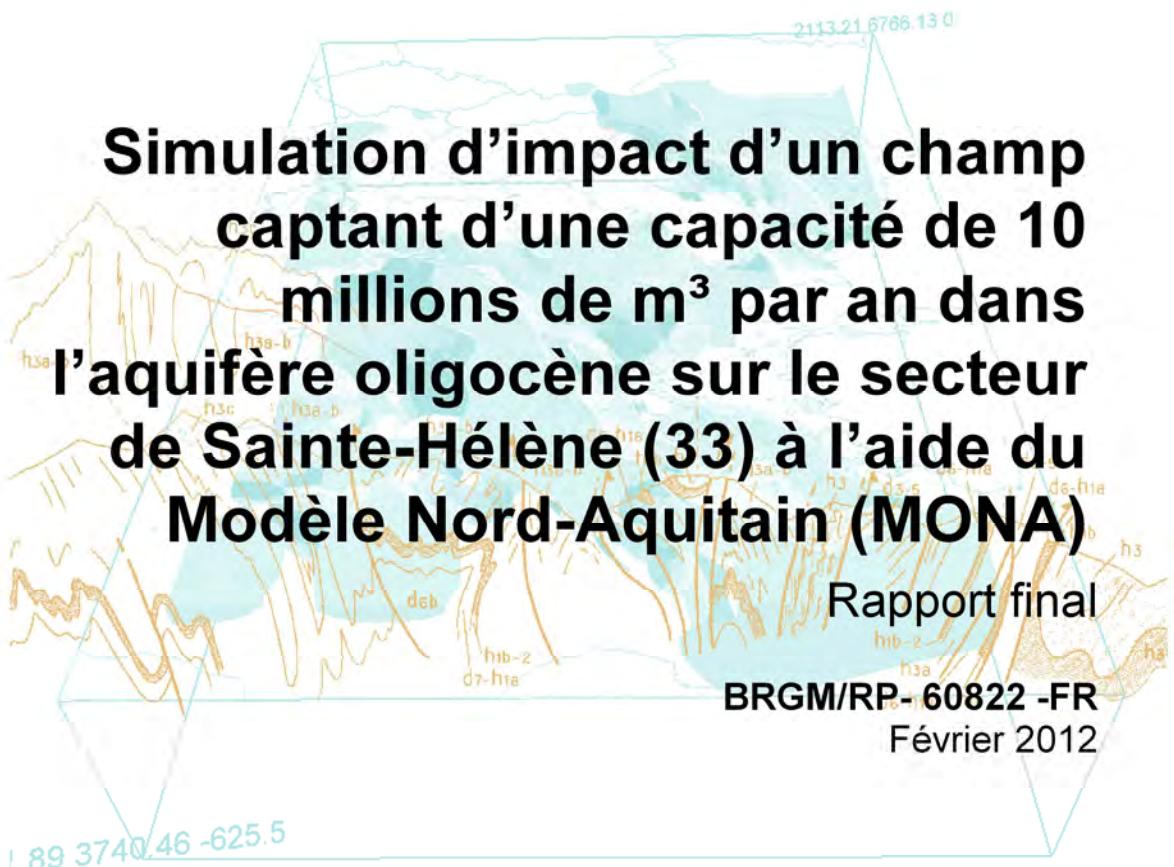




Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

Rapport final

BRGM/RP-60822 -FR
Février 2012



Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

Rapport final

BRGM/RP- 60822-FR
Février 2012

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public PSP11AQI31

M. Saltel

Vérificateur :

Original signé par :

J.J. SEGUIN

Approbateur :

Original signé par :

N. PEDRON

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.



Avertissement

Les simulations réalisées dans ce rapport visent uniquement à évaluer l'impact quantitatif de la mise en œuvre d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA). L'impact qualitatif n'est pas abordé ici, le modèle dans sa version actuelle ne permettant pas d'intégrer les problématiques de transport.

Mots clés : modélisation hydrodynamique, modèle nord-aquitain, simulation, Oligocène, Sainte-Hélène, champ captant.

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

Salte M. (2012) Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA) –Rapport BRGM/RP-60822-FR, 40 p., 18 fig., 3 ann.

Synthèse

Le travail présenté dans ce rapport rend compte d'une étude réalisée à la demande du SMEGREG (Syndicat Mixte d'Etudes pour la Gestion de la Ressource en Eau de la Gironde) qui la finance intégralement. L'objectif est de simuler, à l'aide du Modèle hydrodynamique régional Nord-Aquitain (MONA), l'impact de l'exploitation d'un champ de grande ampleur captant l'aquifère de l'Oligocène sur les communes de Sainte-Hélène (33) et de Saumos (33).

Le SMEGREG souhaite que les limites d'utilisation et les résultats fournis par le modèle soient précisés notamment sur les points suivants :

- passage éventuel de la nappe de l'Oligocène de l'état captif à l'état libre à l'ouest de la Communauté Urbaine de Bordeaux (CUB),
- impact sur les sources oligocènes et miocènes de l'ouest de la CUB,
- impact à long terme, mettant en jeu des phénomènes de déstockage.

A l'issue du travail de modélisation réalisé, l'impact global de la mise en service du champ captant dans l'Oligocène après 10 et 20 ans d'exploitation apparaît non négligeable compte tenu de l'importance des prélèvements qui sont envisagés (10 millions de m³/an). En effet, ce nouveau pôle de prélèvement induit des phénomènes d'ampleur régionale avec une propagation de la dépression sur plusieurs dizaines de kilomètres au sein du réservoir et une influence non négligeable sur les aquifères qui l'encadrent.

Les rabattements les plus importants sont logiquement observés dans l'Oligocène où le champ captant est implanté. L'impact est maximum dans les mailles au droit des forages d'exploitation avec des abaissements piézométriques allant jusqu'à 67 m. A noter que les niveaux piézométriques se stabilisent rapidement au bout de deux années d'exploitation (Annexe 2). Ceci tient principalement à la bonne productivité de l'aquifère oligocène et à sa bonne réalimentation depuis les aquifères sus-jacents et notamment l'aquifère miocène (Aquitainien). Pour mémoire, dans le cadre des simulations réalisées en 2009, les abaissements piézométriques étaient de l'ordre de 15 à 25 m pour un champ captant dimensionné à 5 millions de m³/an (Pédron et al., 2009). L'impact observé pour 10 millions de m³/an est donc beaucoup plus conséquent.

Par ailleurs, il existe pour l'aquifère oligocène une forte dissymétrie de la dépression qui engendre des abaissements piézométriques plus marqués à l'ouest. Ainsi, l'impact est sensible sur tous les ouvrages de la façade atlantique. En revanche, le champ captant n'a que peu d'influence sur la piézométrie à l'est et donc sur les ouvrages de la CUB dont les sources de St-Médard-en-Jalles (Thil, Gamarde). Ainsi, les chroniques des points 08024X0019 à Saint-Aubin-du-Médoc et 08024X0050 à Saint-Médard-en-Jalles (Annexe 2) ne montrent pas d'abaissement piézométrique lié à la mise en œuvre du champ captant. Cependant, il faut noter qu'en dehors de ces deux forages, il

n'existe pas à l'heure actuelle de points de contrôle de la piézométrie à moins de 17 km à l'est de l'emplacement du futur champ captant.

La réalisation de piézomètres dans ce secteur serait très utile pour affiner la connaissance du réservoir oligocène dans ce secteur à fort enjeu (paramètre hydrodynamiques, piézométrie) censé correspondre à une ligne de partage des eaux entre les écoulements dirigés vers l'océan et ceux allant vers la Garonne. Ces forages pourraient être utilisés dans le futur pour évaluer physiquement l'impact vers l'est du champ après sa mise en service.

Les simulations réalisées à l'échelle régionale dans le Modèle Nord Aquitain ne montrent pas de dénoyage du réservoir oligocène. En revanche, en raison des limites de précision du modèle, on ne peut écarter l'éventualité d'un dénoyage local aux abords des points de captage (notamment dans la partie Nord où l'aquifère est moins profond) qui serait lié aux interférences entre les forages d'exploitation et/ou leur régime d'exploitation.

Par ailleurs, les résultats de simulation semblent indiquer que la mise en œuvre du champ captant à Sainte-Hélène n'induit pas pour les réservoirs considérés de déstockage significatif. Cependant, il faut garder à l'esprit que les recharges utilisées dans le cadre de ces simulations correspondent à des valeurs plutôt favorables en comparaison des données observées sur la dernière décennie où la recharge des aquifères a globalement été plus faible. L'enchaînement de plusieurs années sèches pourrait engendrer des baisses piézométriques plus importantes que celles calculées dans le cadre de cette étude. Un déficit chronique de la recharge pourrait engendrer à terme un déstockage du réservoir.

Compte tenu de ces éléments, un test dans des conditions climatiques plus sévères permettrait de disposer d'éléments complémentaires notamment pour apprécier l'impact du projet dans des conditions de recharge moins favorables et de s'assurer que les abaissements piézométriques ainsi que les variations de stock restent acceptables.

Sommaire

1. Introduction.....	7
2. Le Modèle Nord-Aquitain	9
2.1. GENERALITES	9
2.1.1.Extension du modèle.....	9
2.1.2.Fonctionnement	12
2.1.3.Domaine et limites techniques d'utilisation	12
2.2. GEOMETRIE DE L'AQUIFERE OLIGOCENE DANS LE SECTEUR DE STE-HELENE.....	13
2.3. PRELEVEMENTS	14
2.4. DONNEES METEOROLOGIQUES	17
2.5. PIEZOMETRES D'OBSERVATION.....	18
2.6. REAJUSTEMENT LOCAL DU CALAGE.....	21
3. Simulations	23
3.1. SCENARIOS	23
3.1.1.Tendanciel	23
3.1.2.Exploitation : Hypothèses de production du champ captant	23
3.2. RESULTATS	24
3.2.1.Piézométrie.....	24
3.2.2.Variation de stock	35
4. Conclusion	37
5. Bibliographie.....	39

Liste des illustrations

Figure 1 : Localisation du secteur d'étude.....	8
Figure 2 : Géométrie du Modèle Nord-Aquitain.....	10
Figure 3 : Extension du Modèle Nord Aquitain (MONA V3.3)	11
Figure 4 : Prélèvements dans les aquifères modélisés du MONA de 2007 à 2009 (m ³ /an)	14
Figure 5 : Évolution des prélèvements dans les couches du Modèle Nord Aquitain de 1972 à 2009 tous départements confondus.....	15
Figure 6 : Répartition spatiale des prélèvements miocènes et oligocènes de l'année 2009 sur la zone d'étude.....	16
Figure 7 : Évolution des précipitations efficaces annuelles à la station de Mérignac (33) pour une Réserve Utile (RU) de 150 mm.	17
Figure 8 : Localisation des points d'observations de la piézométrie utilisés pour contrôler l'impact du champ captant.....	19
Figure 9 : Exemple d'amélioration du calage	21
Figure 10 : Carte indicative des perméabilités de la couche oligocène après réajustement local du calage.....	22
Figure 11 : Coordonnées des forages du champ captant en Lambert II étendu.....	23
Figure 12 : Evolution des rabattements calculés dans la nappe du Miocène (Aquitaniens) après 10 ans et 20 ans d'exploitation du champ captant	26
Figure 13 : Miocène (Aquitaniens) - Piézométrie calculée – année 2009 et 2029.....	27
Figure 14 : Evolution des rabattements calculés dans l'Oligocène après 10 ans et 20 ans d'exploitation du champ captant	29
Figure 15 : Oligocène - Piézométrie calculée – année 2009.....	30
Figure 16 : Oligocène - Piézométrie calculée – année 2029.....	31
Figure 17 : Éocène moyen - Piézométrie calculée – année 2009 et 2029.....	34
Figure 18 : Évolution cumulée du stock de l'Oligocène et des réservoirs encadrants pour le scénario intégrant le nouveau champ captant.....	36

Liste des annexes

Annexe 1 Nomenclature des versions du MONA.....	41
Annexe 2 Chroniques piézométriques restituées par le modèle.....	47
Annexe 3 Rabattements calculés par le modèle	71

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. Il est à l'heure actuelle en cours de révision. 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. Parmi les différentes mesures du SAGE, l'une d'elle prévoit la mise en place de ressources de substitution pour soulager les nappes les plus sollicitées qui sont en situation de déséquilibre quantitatif.

C'est dans ce contexte que le SMEGREG (Syndicat Mixte d'Etudes pour la Gestion de la Ressource en Eau de la Gironde) a lancé des investigations visant à apprécier les potentialités du réservoir oligocène dans le Médoc. Cet aquifère apparaît comme une solution de substitution intéressante à l'exploitation importante de l'aquifère de l'Éocène et ce pour plusieurs raisons :

- son eau est de bonne qualité ; elle est souvent protégée des infiltrations depuis la surface,
- son potentiel aquifère est équivalent à celui de l'Éocène.

Ainsi, plusieurs forages de reconnaissance et d'exploitation relatifs aux aquifères captifs ont été réalisés dans le Médoc [(Larroque, 2004) ; (Nadaud et al., 2006)]. Ces investigations ont permis de recueillir des informations géologiques nouvelles sur ce secteur jusqu'à présent peu renseigné et d'envisager la création d'un champ captant de grande ampleur à l'Oligocène sur les communes de Sainte-Hélène (33) et de Saumos (33).

Le travail présenté dans ce rapport est réalisé dans le cadre d'une demande du SMEGREG et vient en complément des travaux réalisés précédemment (Pédron et al., 2009). Il vise à simuler, à l'aide du Modèle hydrodynamique régional Nord-Aquitain (MONA), l'impact à moyen terme (10 ans et 20 ans) de ce champ captant prévisionnel sur la ressource.

Le champ captant projeté est représenté en rouge sur la Figure 1. Les points d'observation sur lesquels le SMEGREG souhaite voir l'impact du champ captant sont représentés en vert sur cette même carte.

Après une présentation des caractéristiques du Modèle Nord Aquitain, la méthodologie utilisée pour la réalisation des simulations sera exposée et suivie d'une description détaillée des impacts du champ captant sur l'aquifère de l'Oligocène et les réservoirs encadrants.

Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

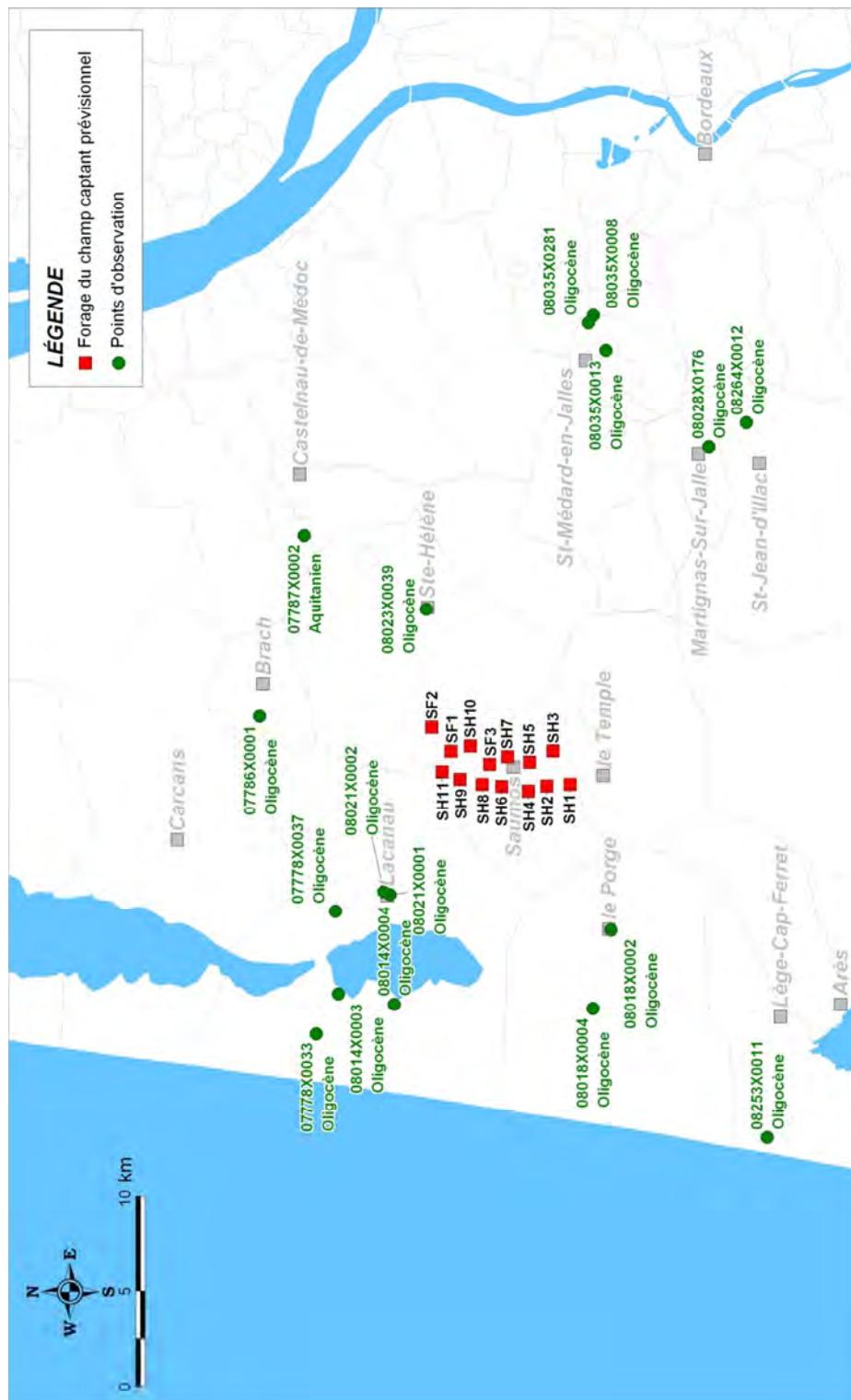


Figure 1 : Localisation du secteur d'étude.

2. Le Modèle Nord-Aquitain

2.1. GENERALITES

Le MOdèle Nord Aquitain est le fruit d'un long développement, qui a commencé depuis plus de 15 ans [(Braneyre, 1993) ; (Braneyre et al., 1993) ; (Braneyre et al., 1994) ; (Amraoui et al., 1998) ; (Amraoui et al., 1999) ; (Seguin, 1999) ; (Seguin, 1999) ; (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., 2010a) ; (Gomez et al., 2010b)]. Les différentes évolutions qui ont été apportées au modèle notamment dans le cadre des différentes conventions « Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine », ont abouti à l'élaboration de plusieurs versions décrites en annexe 1. La version du modèle dans le cadre de ce travail est la V3.3b-2009.

Le modèle Nord-Aquitain V3.3 est décrit de manière détaillée dans les rapports des années 1 et 2 de la convention « Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine 2008-2013 » se rapportant au module 1 dédié aux développements du modèle [(Gomez et al., 2010) ; (Saltel et al., 2011)].

Le Modèle construit utilise le code de calcul **MARTHE** (Modélisation d'Aquifères par maillage Rectangulaire en régime Transitoire pour le calcul Hydrodynamique des Ecoulements) développé par le BRGM (actuellement version 7.2.1) via l'interface **WinMarthe** version 4.5 [(Thiéry, 1990) ; (Thiéry, 2006) ; (Thiéry, 2010)]. Le schéma de résolution utilise les différences finies. Les couches du modèle sont discrétisées en mailles parallélépipédiques dont les faces supérieures et inférieures correspondent respectivement au toit et au mur de la formation considérée.

MONA est un modèle « pseudo 3D », c'est-à-dire que les épontes ne figurent pas explicitement en tant que couches de calcul. Les charges hydrauliques n'y sont donc pas calculées¹. Toutefois, bien que les termes stockages-déstockages ne soient pas pris en compte, les échanges verticaux entre couches aquifères sont restitués.

2.1.1. Extension du modèle

Le maillage du MONA est régulier (mailles carrées de 2 km de côté). Le modèle comprend 148 colonnes, 128 lignes et 15 couches soit un total de 284 160 mailles dont 66 973 servent au calcul des écoulements.

Dans sa version actuelle (**MONA V3.3b-2009**) le modèle simule les écoulements au sein de 15 aquifères (Figure 2) ainsi que les échanges entre ces couches au travers de

¹ Dans un modèle pseudo 3D, les termes de stockage-déstockage des épontes ne sont pas pris en compte (le coefficient d'emmagasinement dans les épontes n'est pas renseigné).

chacune des épontes ("semi-perméables") qui les séparent. Les niveaux aquifères pris en compte sont :

- le Plio-Quaternaire,
- l'Helvétien,
- l'Aquitaniens-Burdigalien,
- l'Oligocène,
- l'Éocène supérieur,
- l'Éocène moyen,
- l'Éocène inférieur,
- le Campano-Maastrichtien,
- le Coniacien-Santonien,
- le Turonien
- le Cénomanien,
- le Tithonien,
- le Kimméridgien,
- le Bathonien-Callovio-Oxfordien,
- le Bajocien

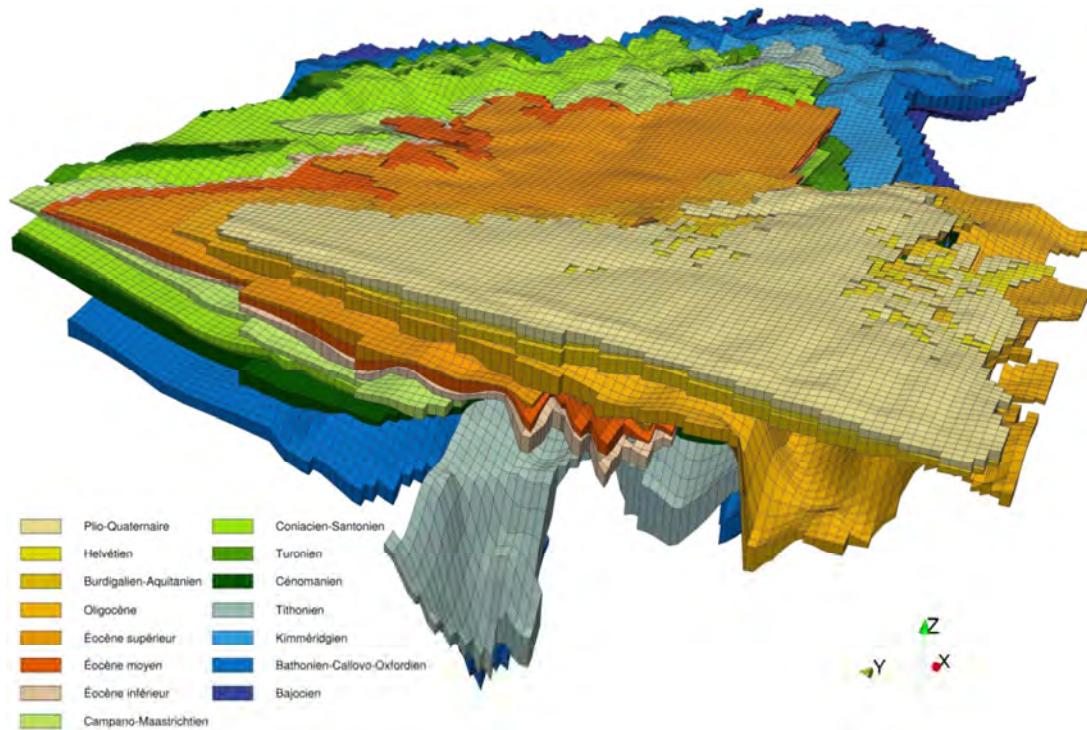


Figure 2 : Géométrie du Modèle Nord-Aquitain

Le domaine modélisé (Figure 3) couvre la partie nord du Bassin aquitain : la totalité du département de la Gironde, une grande partie de celui des Landes (pour les 4 premières couches principalement), l'essentiel (hormis le nord-est) de celui de la Dordogne, le nord et l'ouest du Lot-et-Garonne, le nord-ouest du Gers, et le sud de la Charente et de la Charente maritime.

Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

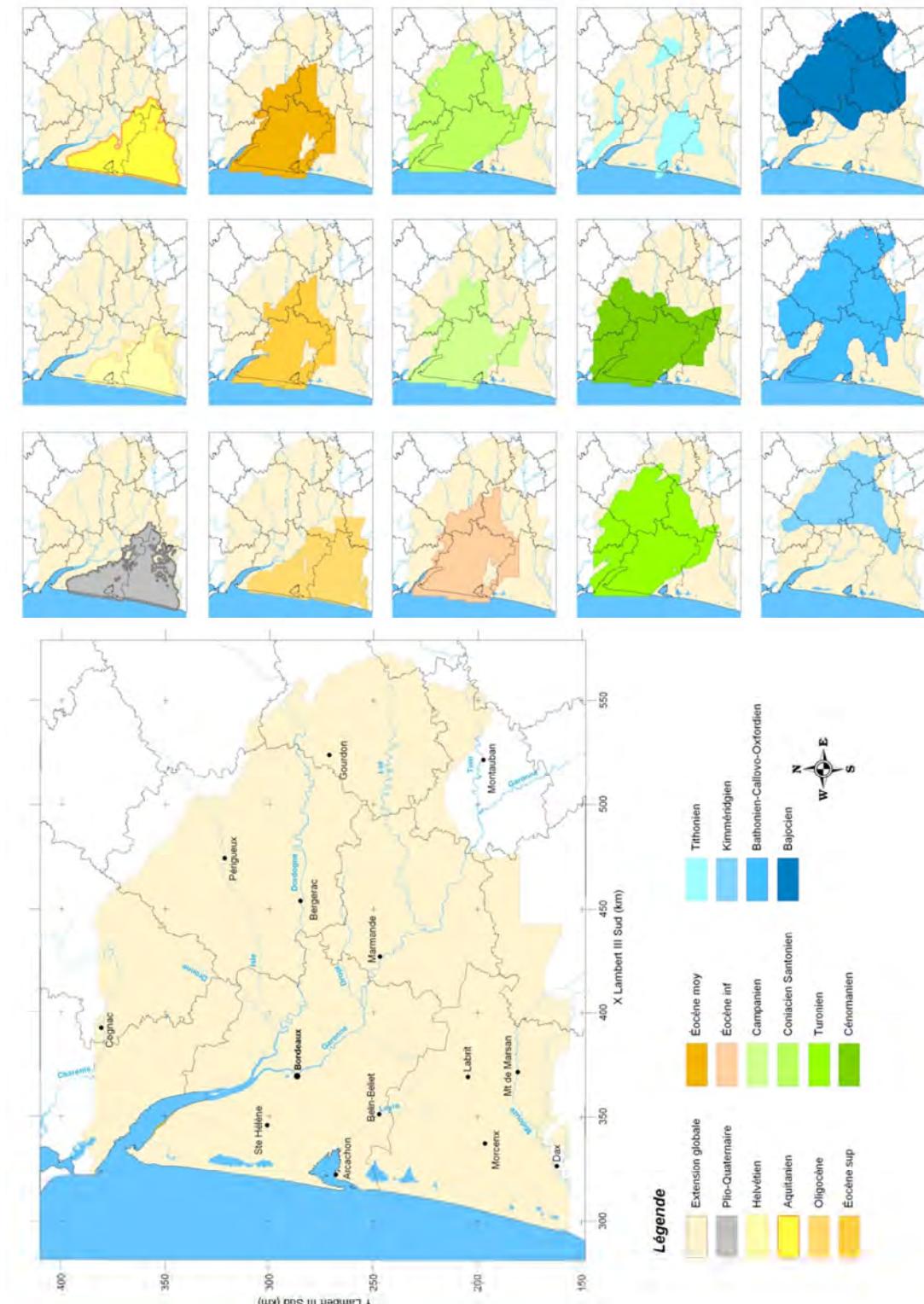


Figure 3 : Extension du Modèle Nord Aquitain (MONA V3.3)

2.1.2. Fonctionnement

Le modèle fonctionne en régime transitoire sur la période 1973-2009 avec un pas de temps annuel. Les phénomènes observés de période inférieure à l'année ne peuvent donc pas être pris en compte ou restitués. Un régime permanent initial correspondant à l'année 1972 permet d'initialiser le modèle. Chacune des actualisations réalisées (1999, 2001, 2005, 2009 et 2011) a permis de vérifier la robustesse du calage.

2.1.3. Domaine et limites techniques d'utilisation

Le modèle a été conçu comme un outil régional d'aide à la gestion des ressources en eaux souterraines du nord du Bassin aquitain. A ce titre, il peut être utilisé pour simuler des scénarios d'exploitation (d'une certaine ampleur) de ces ressources et des tendances à long terme, en particulier pour les aquifères de l'Oligocène, de l'Éocène et du Crétacé supérieur pour lesquels il a été initialement développé. Compte tenu du très grand nombre d'informations géologiques disponibles dans le Bassin aquitain, des historiques piézométriques et de prélèvements sur plus de quarante ans comme dans le département de la Gironde, le modèle Nord-Aquitain a pu bénéficier d'une construction et d'un calage robustes. Robustesse accrue par les nombreux développements qui se sont succédé, par la longue période sur laquelle a été réalisé le calage (1972-1996) et par la validation qui s'effectue depuis (1996-2009) au fil des actualisations.

Malgré de bonnes restitutions piézométriques, un certain nombre de limites techniques actuelles (lacunes de connaissances géologiques dans certains secteurs, complexité des relations d'échanges nappes/rivières, incertitudes sur le fonctionnement hydraulique des épontes, exhaustivité des prélèvements individuels ou agricoles aux abords des zones d'affleurements.....) et les choix inhérents à la structure du modèle actuel (taille des mailles, pas de temps, conditions aux limites) le réservent en pratique à la simulation d'évolutions générales des nappes (poursuite des conditions actuelles d'exploitation, tendances d'évolutions générales basées sur des scénarios d'exploitation, impact de projets nouveaux d'une certaine ampleur.....).

La demande formulée par le SMEGREG entre dans le domaine d'application du modèle régional dans la mesure où le champ captant prévisionnel est de grande ampleur (10 Millions de m³/an) et que l'objectif est d'évaluer son impact à l'échelle régionale. Dans le secteur de Sainte-Hélène, les informations géologiques et hydrogéologiques récentes acquises lors de travaux universitaires (Larroque, 2004) ont permis de compléter les données, peu nombreuses, utilisées pour le calage du modèle et ainsi de lever certaines incertitudes. Néanmoins, la nappe de l'Oligocène dans le Médoc reste peu exploitée et donc peu renseignée, les résultats seront donc assortis de limites d'interprétation.

A noter que seul l'impact quantitatif est évalué ici, le modèle dans sa version actuelle ne permettant pas d'intégrer les problématiques de transport donc les aspects qualitatifs.

2.2. GEOMETRIE DE L'AQUIFERE OLIGOCENE DANS LE SECTEUR DE STE-HELENE

Une actualisation de la géométrie de l'Oligocène du Modèle Nord-aquitain a été réalisée en 2005 (Pédron et al., 2005) à partir des nouvelles données issues des forages réalisés par le SMEGREG dans le cadre des recherches de substitution (Larroque, 2004).

Ces travaux ont permis :

1. de déceler une lacune de l'Oligocène aquifère (secteur érodé ou de non dépôt) sur le forage de Moulis-en-Médoc au lieu-dit Sivaillan (07787X0011/MP1), au niveau de la partie occidentale du dôme de Listrac.
2. de réinterpréter certains ouvrages du secteur initialement mal décrits notamment le sondage pétrolier Sainte-Hélène 1 (07787X0001/F) sur lequel s'appuyait la validation géologique d'autres ouvrages (AEP de Brach 07786X0001/F, de Sainte-Hélène 08023X0039/F3 et de Saumos 08026X0034/F2 en particulier). Les erreurs relevées concernaient à la fois des problèmes d'attribution stratigraphique (formations considérées plus jeunes qu'elles ne l'étaient en réalité) et d'extension verticale des réservoirs. Sur la base de ces observations, des coupes géologiques de corrélation avec les nouveaux ouvrages ont été réalisées et une mise à jour de la géométrie du modèle a été réalisée.

Les simulations effectuées en 2009 par le BRGM pour le SMEGREG (Pédron et al., 2009), ont été discutées avec F. Larroque, ce qui a permis de s'assurer que les hypothèses retenues dans le modèle Nord-Aquitain étaient en adéquation avec les travaux réalisés dans le cadre de sa thèse.

Les interrogations portaient notamment :

- **sur les flexures tectoniques du secteur et leur rôle du point de vue des écoulements.** La géométrie du modèle prend en compte les flexures tectoniques du secteur (dans la limite de précision du maillage) mais ne leur confère pas un rôle hydraulique particulier (pas de failles étanches, ce qui suppose que la continuité hydraulique prévaut). Les travaux récents menés sur ce secteur (Larroque et al., 2004) ont montré que ces flexures n'engendraient pas, à priori, de discontinuités dans les aquifères tertiaires.
- **la configuration géométrique des aquitards.** Le forage de reconnaissance BP1 ainsi que le profil sismique PB réalisés au nord de la faille de Carcans n'ont pas permis d'identifier d'éponge marquée entre le Miocène et l'Oligocène. Le profil sismique Nord-Sud PB ne présente pas non plus de réflecteur marqué entre les deux aquifères. Toutefois, la résolution verticale limitée du profil peut masquer l'apparition d'une éponte de faible épaisseur.

2.3. PRELEVEMENTS

Afin de restituer au mieux les variations piézométriques de chacune des nappes modélisées sur l'ensemble de la période considérée, il est nécessaire d'acquérir une connaissance la plus exhaustive possible des volumes soutirés au milieu. Des données de prélèvements sont recueillies annuellement par le BRGM dans le cadre du programme de « gestion des nappes d'eaux souterraines du département de la Gironde ». Cette collecte permet de disposer des volumes prélevés d'environ 4 520 ouvrages du département captant une ou plusieurs nappes d'eaux souterraines. Elle est réalisée directement auprès des exploitants et chaque prélèvement est rattaché à un ouvrage parfaitement localisé. Elle constitue le noyau de la base de données utilisée pour le modèle Nord-Aquitain. Dans les autres départements, le BRGM ne procède pas directement au recueil annuel des volumes prélevés sur les captages d'eaux souterraines. Les informations hors Gironde sont fournies par différents organismes (Agence de l'Eau Adour-Garonne, DDT, Chambres d'Agricultures,...) puis intégrées après traitement dans la base de prélèvements du modèle.

A l'heure actuelle, la base de données de prélèvement du MONA compte au total 3 865 forages pour lesquelles les volumes annuels soutirés sont renseignés sur la période 1972 – 2009. Sur cet ensemble 3 344 forages sont compris dans les limites du MONA et sont utilisés comme données d'entrée pour la simulation des écoulements.

Les prélèvements totaux, par an et par nappe, intégrés dans le modèle Nord-Aquitain pour les années 2007 à 2009 sont indiqués ci-après (Figure 4).

	2007	2008	2009
Aquitanien	41 464 633	43 555 200	42 887 408
Langhien Serravallien	23 705 835	24 235 555	21 921 278
Oligocène	68 195 182	67 921 632	64 052 651
Éocène sup	2 695 875	3 328 968	2 886 149
Éocène moy	53 245 343	53 260 886	54 852 694
Éocène inf	8 438 110	9 054 364	9 623 737
Campanien	16 956 135	15 526 143	17 535 540
Coniacien-Santonien	14 169 419	15 415 985	15 561 065
Turonien	34 460 210	35 000 546	34 904 530
Cénomanien	11 812 984	14 150 812	13 906 129
Tithonien	800 990	804 045	866 619
Kimméridgien	2 915 378	2 601 651	2 751 461
Bathonien-Callovo-Oxfordien	10 487 071	11 846 112	12 269 324
Bajocien	3 384 730	4 058 078	3 840 131
TOTAL	292 731 896	300 759 977	297 858 714

Figure 4 : Prélèvements dans les aquifères modélisés du MONA de 2007 à 2009 (m³/an)

L'évolution des prélèvements retracée à partir de la base de prélèvement du MONA montre que les aquifères de l'Oligocène et de l'Éocène moyen sont les réservoirs les plus sollicités avec des volumes pompés largement supérieurs à ceux des autres nappes (Figure 5).

L'Oligocène est cependant, depuis le début des années quatre-vingt-dix, l'aquifère le plus exploité parmi les nappes modélisées. La diminution des prélèvements observée pour l'Oligocène entre 2008 et 2009 est en partie due aux reports de prélèvements vers l'Éocène moyen dans le secteur de Martillac en raison de la pollution des sources de Gamarde de juin 2009.

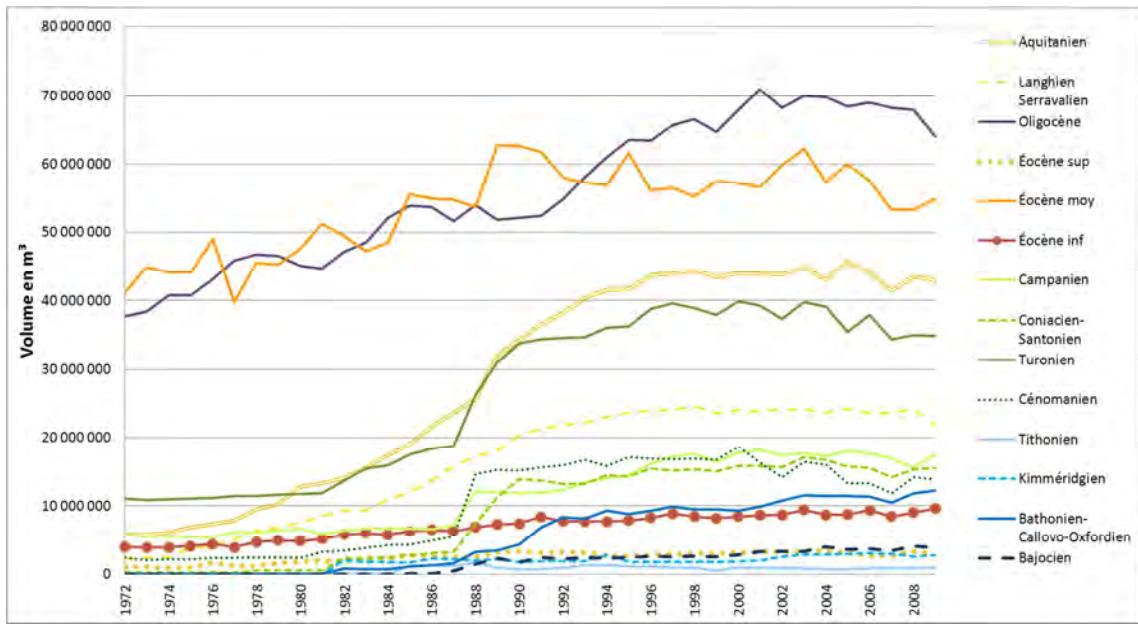


Figure 5 : Évolution des prélèvements dans les couches du Modèle Nord Aquitain de 1972 à 2009 tous départements confondus.

La Figure 6 permet de visualiser la répartition spatiale des prélèvements sur le secteur d'intérêt pour les nappes du Miocène (Langhien-Serravallien et Aquitanien) et de l'Oligocène pour l'année 2009.

Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

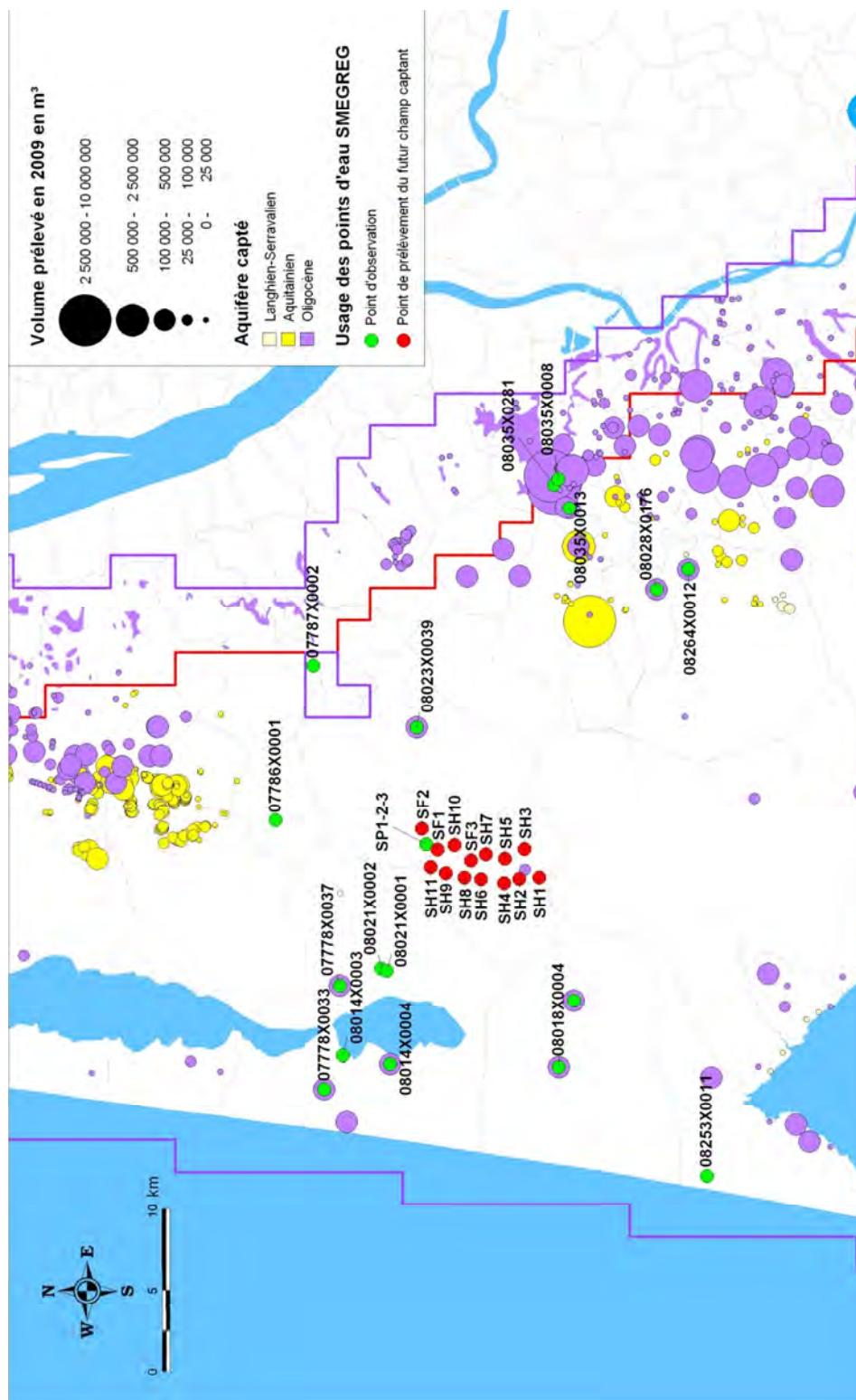


Figure 6 : Répartition spatiale des prélèvements miocènes et oligocènes de l'année 2009 sur la zone d'étude.

2.4. DONNEES METEOROLOGIQUES

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.

L'évolution des précipitations efficaces annuelles depuis 1972 (pour une RU de 150 mm) à la station de mesure de Mérignac (33) est retracée en Figure 7.

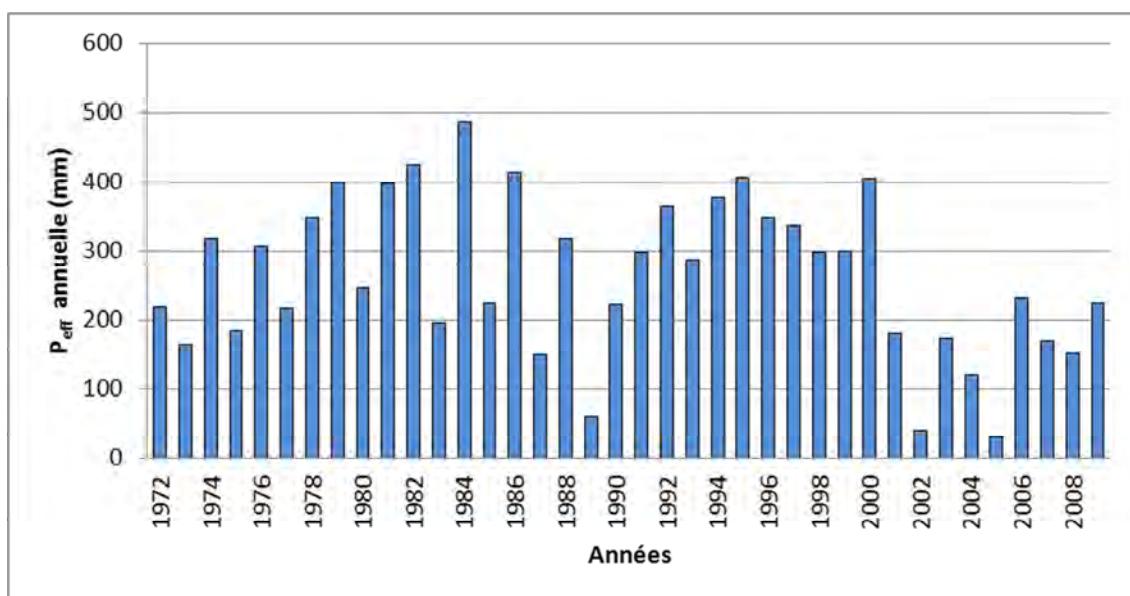


Figure 7 : Évolution des précipitations efficaces annuelles à la station de Mérignac (33) pour une Réserve Utile (RU) de 150 mm.

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 1972-2000 (avec une RU maximale de 150 mm).

A 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 :

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

$R_{z,k}$ est la valeur de recharge de l'année k affectée à la zone z

$\overline{R_z}$ est la valeur de recharge du régime permanent pour la zone z

$P_{eff}(k)$ est la pluie efficace de l'année k

$\overline{P_{eff}}$ est la pluie efficace moyenne calculée sur la période 1972-2000

Les données de pluies efficaces de la station de Mérignac, pour une RU de 150 mm, sont utilisées pour l'Éocène (sup, moy et inf), 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 plio-quaternaire, miocènes (Aquitaniens-Burdigalien et Langhien - Serravallien) et 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.

2.5. PIEZOMETRES D'OBSERVATION

Les 17 points d'observations retenus par le SMEGREG pour contrôler l'impact du champ captant sur la piézométrie de l'aquifère oligocène sont reportés sur la Figure 8.

A noter que, les points de Lacanau/Talaris (07778X0037/F5), Lacanau/Moutchic (08014X0003/F2), Saint-Médard-en-Jalles/Gamarde (08035X0008/P), Saint-Médard-en-Jalles/Thil (08035X0281/THIL19) et Castelnau-de-Médoc/UCFA (07787X0002/F) ne disposent pas de mesures piézométriques. Les chroniques restituées par le modèle au droit de ces ouvrages ne seront donc pas contraintes par des observations. A noter que l'ouvrage de l'Union Coopérative Forestière d'Aquitaine (07787X002/F) sur la commune de Castelnau-de-Médoc ne correspond pas à un point oligocène. Ce point est situé sur la retombée de l'anticlinal de Blaye-Listrac dans un secteur où l'aquifère oligocène est absent. Ce forage capte en fait la nappe de l'Aquitainien.

Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

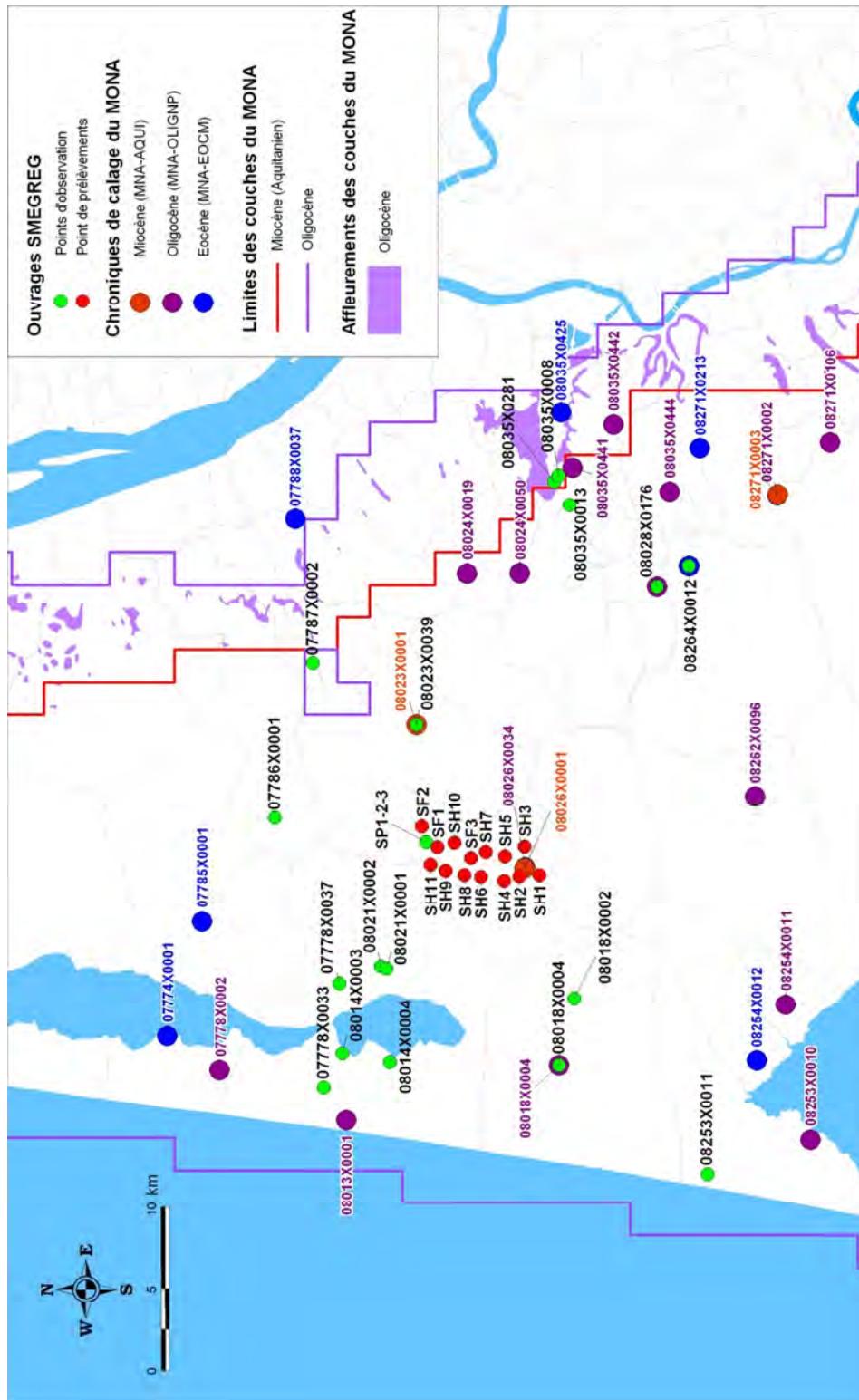


Figure 8 : Localisation des points d'observations de la piézométrie utilisés pour contrôler l'impact du champ captant

Les données piézométriques des autres points ont été récupérées dans la Banque de Données sur les Eaux Souterraines (BDES) gérée par le BRGM. Certains ouvrages constituent déjà des piézomètres de calage du modèle régional. Les chroniques piézométriques additionnelles ainsi obtenues permettent de vérifier la qualité du calage (Annexe 2).

Sur le forage de Lège Cap-Ferret/Camping (08253X011/F) (Annexe 2), on note que seules deux mesures piézométriques ont pu être récupérées. Le réajustement local du calage a permis d'améliorer la restitution du niveau piézométrique. L'écart entre simulation et observation est de 60 cm contre 4 m auparavant.

La liste initiale des piézomètres d'observation a été complétée par les ouvrages utilisés pour le calage des couches de l'Aquitainien-Burdigalien, l'Oligocène et l'Éocène (moyen et supérieur) du modèle régional (Figure 8). Ils disposent de chroniques souvent étoffées permettant d'obtenir les niveaux, la tendance et les amplitudes de variations de la piézométrie.

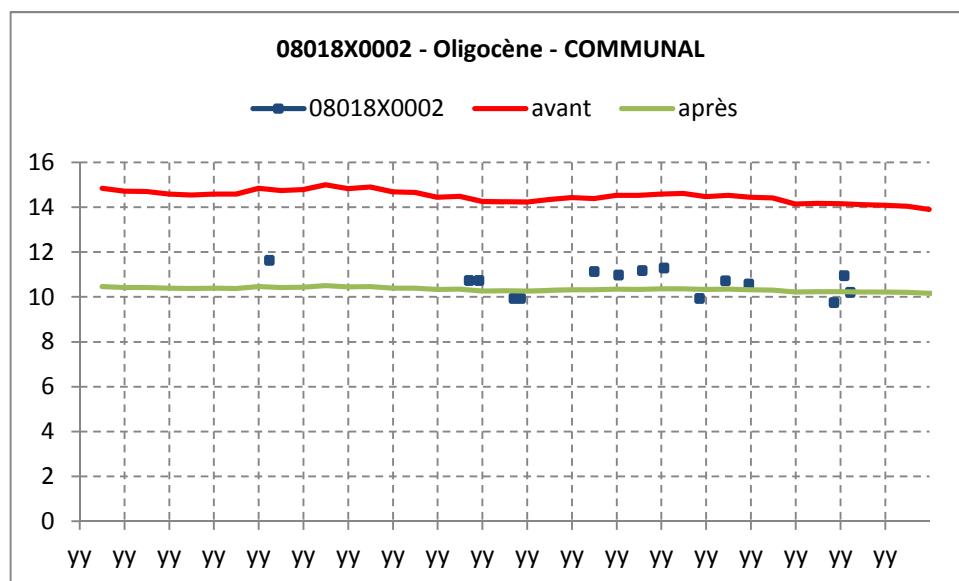
Remarque : le modèle calcule au centre de chaque maille une valeur de niveau piézométrique qui est une valeur moyenne sur la maille. En tenant compte du gradient hydraulique dans la maille il est possible, à partir de cette valeur, d'obtenir une estimation du niveau en un point quelconque situé à l'intérieur de la maille. Ce calcul permet de discriminer les points pouvant être situés dans une même maille, mais les paramètres hydrodynamiques restent néanmoins des paramètres moyens affectés par maille.

Enfin, les piézomètres SP1 (08022X0008), SP2 (08022X0009) et SP3 (08022X0010) réalisés tous les trois par le SMEGREG au lieu-dit de l'étang de la Levade sur la commune de Sainte-Hélène ont été intégrés. Bien que ne figurant pas dans la liste initiale des points de contrôle fournis par le SMEGREG, ce triplet de piézomètres permet d'avoir le niveau des nappes du Miocène (SP3 - 08022X0010), de l'Oligocène (SP2 - 08022X0009) et de l'Éocène moyen (SP1 - 08022X0008), sur une verticale au cœur du site choisi pour l'implantation du champ captant. Il a donc été jugé opportun d'intégrer ces points de contrôle.

2.6. REAJUSTEMENT LOCAL DU CALAGE

Dans le cadre des simulations effectuées en 2009 (Pédrone et al., 2009), le MOdèle Nord Aquitain avait fait l'objet d'un réajustement local du calage pour prendre en compte aussi fidèlement que possible la piézométrie du secteur sans dégrader la restitution piézométrique obtenue sur les autres points d'observation habituellement utilisés. Les niveaux piézométriques des forages de reconnaissance SP1 (08022X0008), SP2 (08022X0009) et SP3 (08022X0010) ont ainsi été pris en compte pour ajuster les perméabilités. Les modifications dans le modèle n'avaient alors porté que sur la perméabilité de la couche oligocène dans les secteurs de Sainte-Hélène, Saumos et Lacanau.

Dans le cadre des travaux réalisés pour la présente étude, un ajustement du calage a également été réalisé. L'objectif était ici de vérifier que les évolutions apportées au modèle au cours de son développement n'avaient pas engendré de dégradation du calage dans ce secteur. Par ailleurs, certaines zones ont été modifiées pour améliorer encore la restitution de la piézométrie (Figure 9). Les modifications concernent essentiellement la zone au sud-ouest du site du champ captant (Commune du Porge et de Lège-Cap-Ferret). Ainsi, les points améliorés sont les suivants : 08018X0002-Communal, 08018X0004-Gleize vieille, 08253X0011-Camping.



Les ajustements ont porté sur les perméabilités de la couche oligocène (Figure 10) dans les secteurs du Porge et de Lège-Cap-Ferret. Les valeurs de perméabilités des autres couches, des épontes et les coefficients d'emmagasinement sont restées inchangées.

Les valeurs des potentiels imposés à l'ouest d'Arcachon ont également été modifiées pour améliorer la restitution du point 08018X0002.

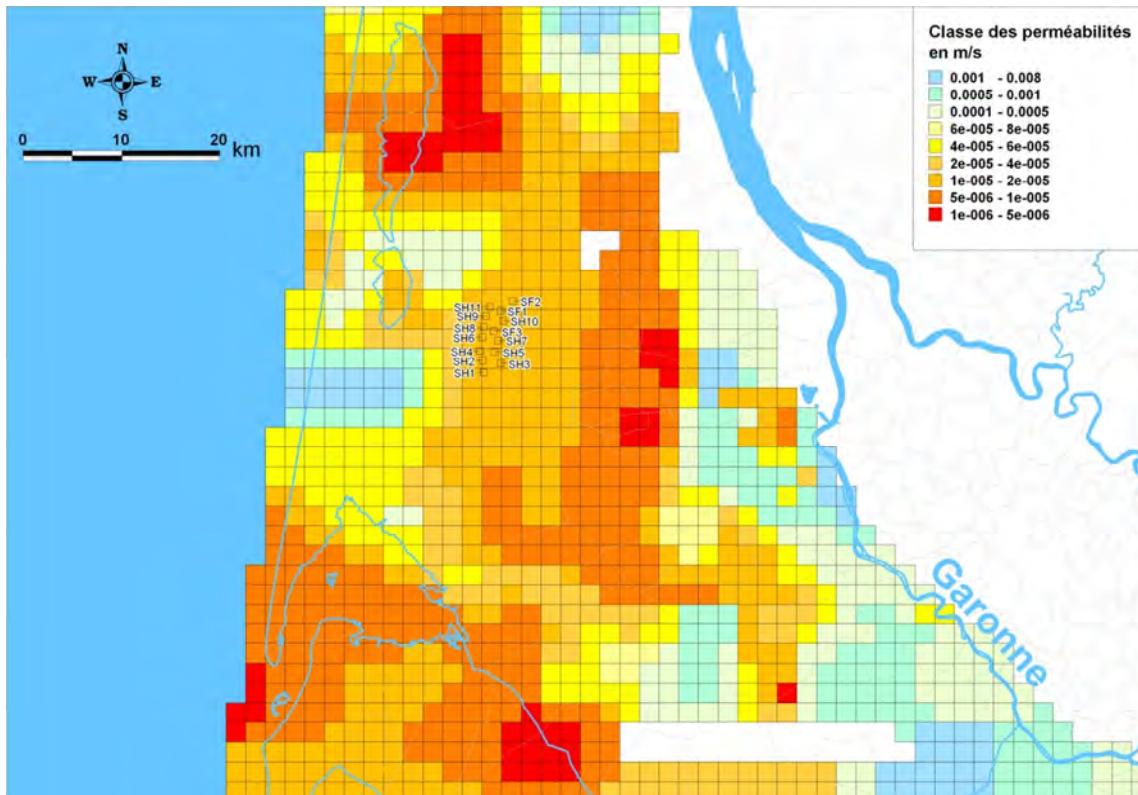


Figure 10 : Carte indicative des perméabilités de la couche oligocène après réajustement local du calage

Les perméabilités intégrées dans le modèle au droit du champ captant (1.10^{-5} m/s) sont du même ordre de grandeur que celles calculées à partir des pompages d'essai réalisés sur les forages SF1 et SF2 soit 6.10^{-5} m/s (Nadaud et al., 2006). Il en est de même pour les coefficients d'emmagasinement de l'ordre de 1 à 5.10^{-4} .

Les zones de perméabilités maximales sont localisées aux abords des zones d'affleurements de l'aquifère à l'est. C'est le cas à proximité des sources de Saint-Médard-en-Jalles (Thil, Gamarde) où des perméabilités élevées sont nécessaires à la restitution des flux et de la piézométrie.

Les simulations ponctuelles réalisées avec le Modèle Nord-Aquitain permettent souvent d'améliorer localement le calage et donc la représentativité de l'outil. Les modifications apportées dans le cadre de cette étude seront répercutées dans la future version du MODèle Nord-aquitain.

3. Simulations

Pour évaluer l'impact de l'exploitation d'un champ de forages captant la nappe de l'Oligocène dans le secteur de Sainte-Hélène pour une capacité de 10 millions de m³/an, deux simulations ont été réalisées. La première correspond à un scénario tendanciel sans champ captant, la seconde présente les mêmes caractéristiques (conditions climatiques, prélèvements,...) avec en plus la mise en œuvre du parc de forages à Sainte-Hélène. Les deux scénarios (tendanciel et exploitation) sont simulés sur 20 ans de 2009 à 2029.

3.1. SCENARIOS

3.1.1. Tendanciel

Le scénario tendanciel a pour but d'établir un état de « référence » nécessaire à l'estimation de l'impact du projet indépendamment de toute interférence induite par d'autres phénomènes. Il est élaboré en considérant la poursuite des prélèvements de l'année 2009 à un niveau constant dans toutes les couches jusqu'en 2029. La recharge prise en compte sur la période 2010-2029 correspond à la moyenne calculée sur les 30 dernières années (de 1980 à 2009).

3.1.2. Exploitation : Hypothèses de production du champ captant

Le scénario d'exploitation reprend les mêmes hypothèses que le scénario tendanciel mais introduit les prélèvements correspondant à la mise en service du champ captant de Sainte-Hélène. La répartition des 14 forages d'exploitation constituant le champ captant est précisée en Figure 1. Les coordonnées prévisionnelles des forages sont indiquées ci-après en Lambert II étendu (Figure 11) :

Nom	X (en m)	Y (en m)
SH10	338 557	1 998 992
SH4	336 201	1 995 948
SH5	337 708	1 995 888
SH3	338 297	1 994 669
SH2	336 471	1 994 997
SH11	337 205	2 000 478
SF2	339 559	2 001 006
SH6	336 444	1 997 349
SH7	337 992	1 997 050
SH9	336 825	1 999 524
SH8	336 553	1 998 371
SH1	336 569	1 993 768
SF1	338 286	2 000 023
SF3	337 600	1 997 976

Figure 11 : Coordonnées des forages du champ captant en Lambert II étendu

Le champ captant est prévu pour produire 10 millions de m³/an. Ce volume est ramené à un débit fictif continu de 2 000 m³/j pour 20 heures d'exploitation journalière à 100 m³/h (soit 730 000 m³/an) réparti de façon homogène sur chacun des 14 forages d'exploitation. Les débits sont considérés constants sur la période 2010-2029.

3.2. RESULTATS

3.2.1. Piézométrie

L'impact du champ captant sur la piézométrie des aquifères de l'Aquitaniens-Burdigalien, de l'Oligocène et de l'Éocène (supérieur et moyen) est restitué par comparaison des niveaux piézométriques simulés issus des scénarios tendanciel (état de référence) et d'exploitation. La représentation cartographique des résultats se fait sous forme de :

- chroniques piézométriques sur les différents ouvrages d'observation identifiés (cf. chapitre 2.5). Celles-ci permettent d'observer l'évolution des niveaux piézométriques au cours du temps, l'impact du champ captant en un point donné et de comparer les valeurs simulées aux valeurs observées pour évaluer la qualité du calage. Toutes les chroniques retenues sur la zone d'étude sont présentées en annexe 2.

Remarque : les rabattements simulés sur les piézomètres SP1 (Éocène moyen), SP2 (Oligocène) et SP3 (Aquitaniens-Burdigalien) ainsi que sur les ouvrages AEP de Saumos (08026X0034 à l'Oligocène et 08026X0001 au Miocène) sont fournis à titre indicatif car ils sont très proches voire situés dans les mailles de prélèvements du champ captant. Les rabattements qui y sont calculés sont représentatifs de l'ensemble de la maille soit 4 km². Ils ne permettent donc pas de juger du rabattement réel au droit des ouvrages d'exploitation ou des piézomètres d'observations mais fournissent un état moyen.

- cartes de rabattements après 10 ans et 20 ans d'exploitation déduites des cartes piézométriques issues du scénario d'exploitation et du scénario tendanciel (état de référence). Les cartes issues du modèle représentant l'abaissement piézométrique induit par le projet dans les couches du Miocène, de l'Oligocène et de l'Éocène sont reportées en annexe 3.

Aquifère miocène

L'impact de l'exploitation de l'aquifère de l'Oligocène sur celui du Miocène (Aquitaniens) n'est pas négligeable. Les cartes traduisant l'abaissement piézométrique après 10 et 20 ans d'exploitation (Figure 12) montrent une diminution au droit du champ captant comprise entre 10 m et 12 m. Les deux états présentés sont très similaires en raison de la stabilisation très rapide (au bout de 2 années) du réservoir oligocène après la mise en fonctionnement du champ captant. La dépression apparaît nettement dissymétrique avec une propagation plus marquée vers l'ouest. Le rabattement calculé est d'environ 0,25 m à 15 km à l'ouest du champ captant alors que cette même valeur est obtenue à une distance de seulement 10 km vers l'est.

La comparaison des cartes piézométriques simulées pour l'Aquitainien en 2009 (avant mise en route du champ captant) et 2029 (après 20 ans d'exploitation) montrent un impact sur la distribution des isopièzes (Figure 13). Le sens d'écoulement vers l'ouest est maintenu mais l'abaissement piézométrique induit par le champ captant provoque la formation d'un axe de drainage.

La structure piézométrique haute à l'est joue le rôle de limite d'alimentation, ce qui réduit l'influence du champ dans cette direction. Ainsi, vers l'est les chroniques piézométriques calculées au droit du forage communal de Sainte-Hélène (08023X0001) indiquent en ce point un rabattement de l'ordre de 20 cm au bout de 20 ans contre près de 10 m sur le point miocène SP3 au lieu-dit étang Levade (08022X0010) à proximité du champ captant (Annexe 2).

La bonne réalimentation de cet aquifère depuis le Plio-Quaternaire et ses propriétés hydrodynamiques restreignent l'abaissement des niveaux piézométriques et la propagation de la dépression autour du champ captant malgré les volumes importants exploités.

Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

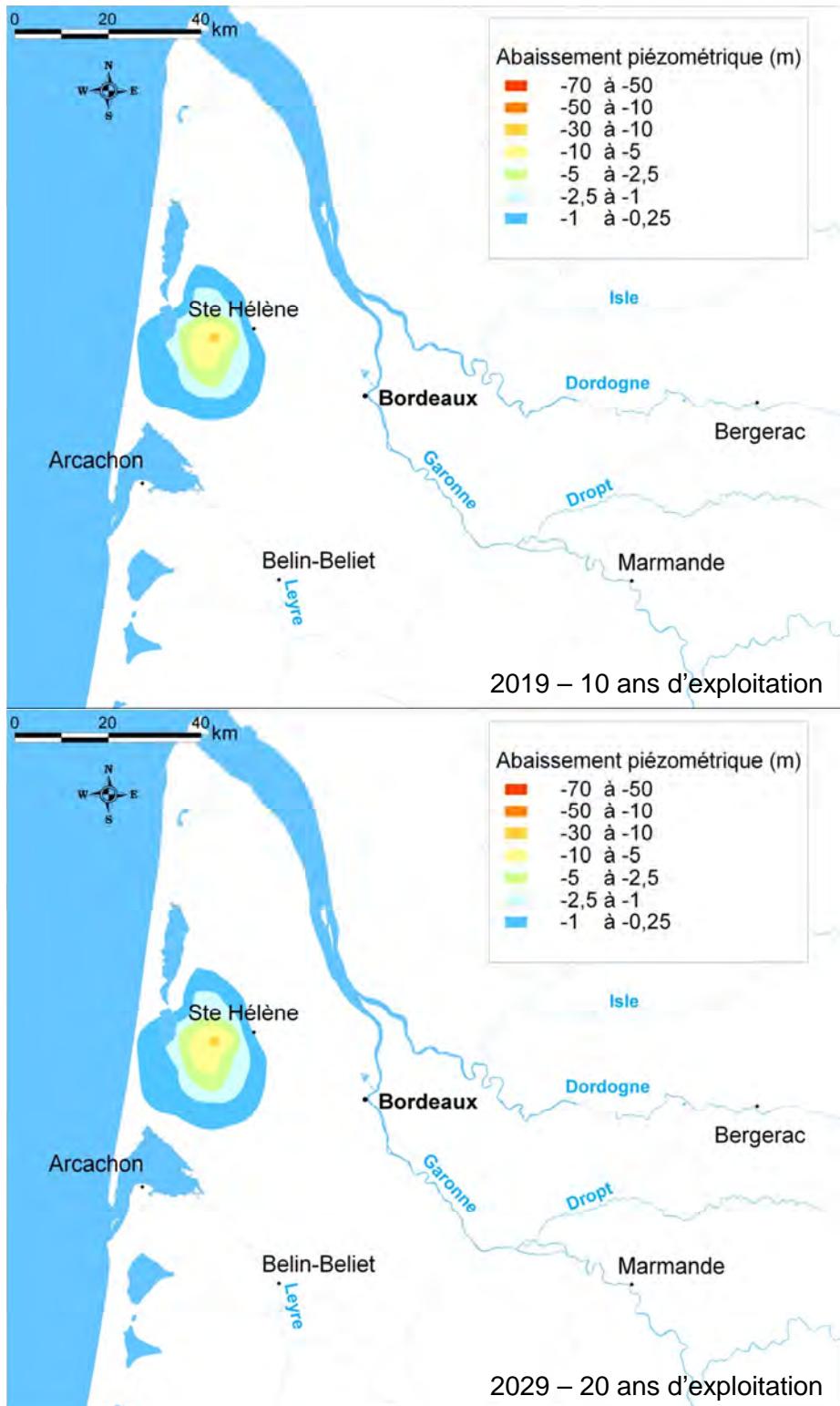


Figure 12 : Evolution des rabattements calculés dans la nappe du Miocène (Aquitainien) après 10 ans et 20 ans d'exploitation du champ captant

Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

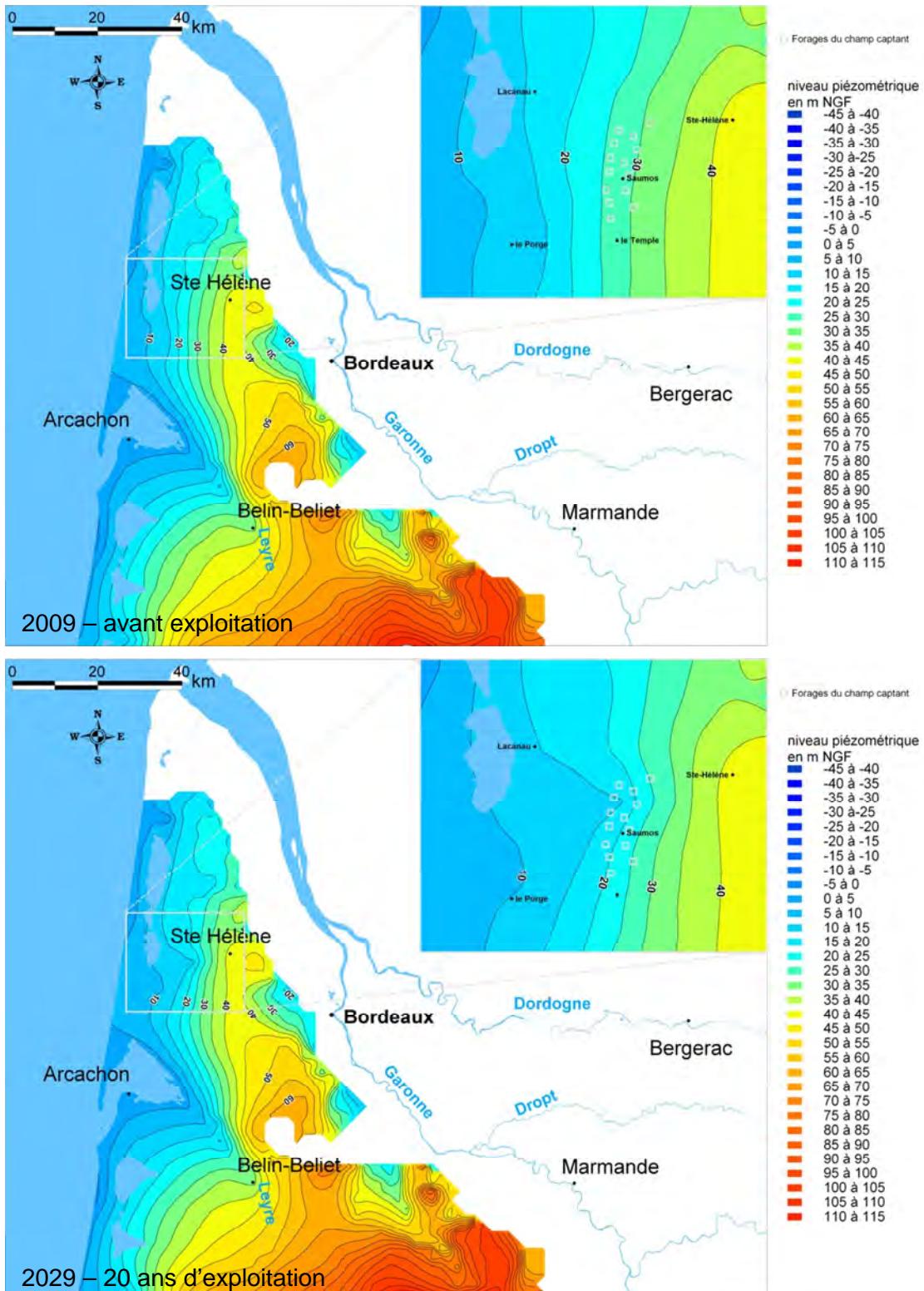


Figure 13 : Miocène (Aquitainien) - Piézométrie calculée – année 2009 et 2029

Aquifère oligocène

Les rabattements les plus importants sont logiquement observés dans l'Oligocène (Figure 14 à Figure 16) où le champ captant est implanté. L'impact est maximum dans les mailles au droit des forages d'exploitation avec des abaissements piézométriques allant jusqu'à 67 m. A noter que les niveaux piézométriques se stabilisent rapidement au bout de deux années d'exploitation (Annexe 2).

Pour mémoire, dans le cadre des simulations réalisées en 2009, les abaissements piézométriques étaient de l'ordre de 15 à 25 m pour un champ captant dimensionné à 5 millions de m³/an (Pédron et al., 2009). L'impact observé pour 10 millions de m³/an est donc beaucoup plus conséquent.

Comme dans le Miocène, on note une forte dissymétrie de la dépression qui engendre des rabattements plus marqués à l'ouest. Les rabattements calculés par le modèle deviennent inférieurs à 0,25 m au-delà de 15 km vers l'ouest et 22 km vers le sud-ouest contre seulement 12 km vers l'est. Ainsi, l'impact est visible sur tous les ouvrages de la façade atlantique avec à Lacanau (Annexe 2) une baisse calculée de près de 3 m sur les ouvrages communaux (08021X0001/F et 08021X0002/F3) et de 0,5 m au lieu-dit Océan (08013X001/F4). Des baisses de 0,35 m à Carcans (07778X0002/F) et de 0,50 m au Porge (08018X004/F) sont également constatées.

Parallèlement, la propagation de la dépression est beaucoup plus marquée vers le sud-ouest, en direction du Bassin d'Arcachon, que dans le Miocène. Celle-ci peut être attribuée au confinement plus important de l'aquifère dans ce secteur. Les forages d'Andernos (08254X0011/F) et de Lège-Cap-Ferret (08253X0010/F) (Annexe 2) apparaissent légèrement impactés. L'ampleur du rabattement sur ces ouvrages du pourtour du Bassin d'Arcachon reste cependant difficile à apprécier finement notamment à cause des incertitudes sur rôle hydraulique des failles du secteur (en particulier celle de la Leyre). Elles pourraient localement limiter la propagation d'influence de la dépression vers le sud.

Vers l'est, on observe le phénomène inverse. La présence des charges élevées au droit de la ligne de partage des eaux entre les écoulements orientés vers la Garonne et ceux ce dirigeant vers l'océan (Figure 16) limite l'extension de la dépression engendrée par le champ captant. Cette structuration des écoulements conjuguée à des transmissivités élevées se traduit par une bonne réalimentation du réservoir depuis les aquifères sus-jacents.

L'influence de la lacune oligocène à l'est du champ captant n'apparaît pas significative d'un point de vue hydraulique. L'effet de limite induit par cette lacune est vraisemblablement masqué par les apports d'eau depuis les aquifères sus-jacents.

L'influence sur les forages situés à l'est et au sud-est se trouve ainsi réduite comme en témoignent les rabattements nuls calculés au droit de Saint-Aubin-de-Médoc (08024X0019/F2) et de Saint-Médard-en-Jalles (08024X0050/F) (Annexe 2).

Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

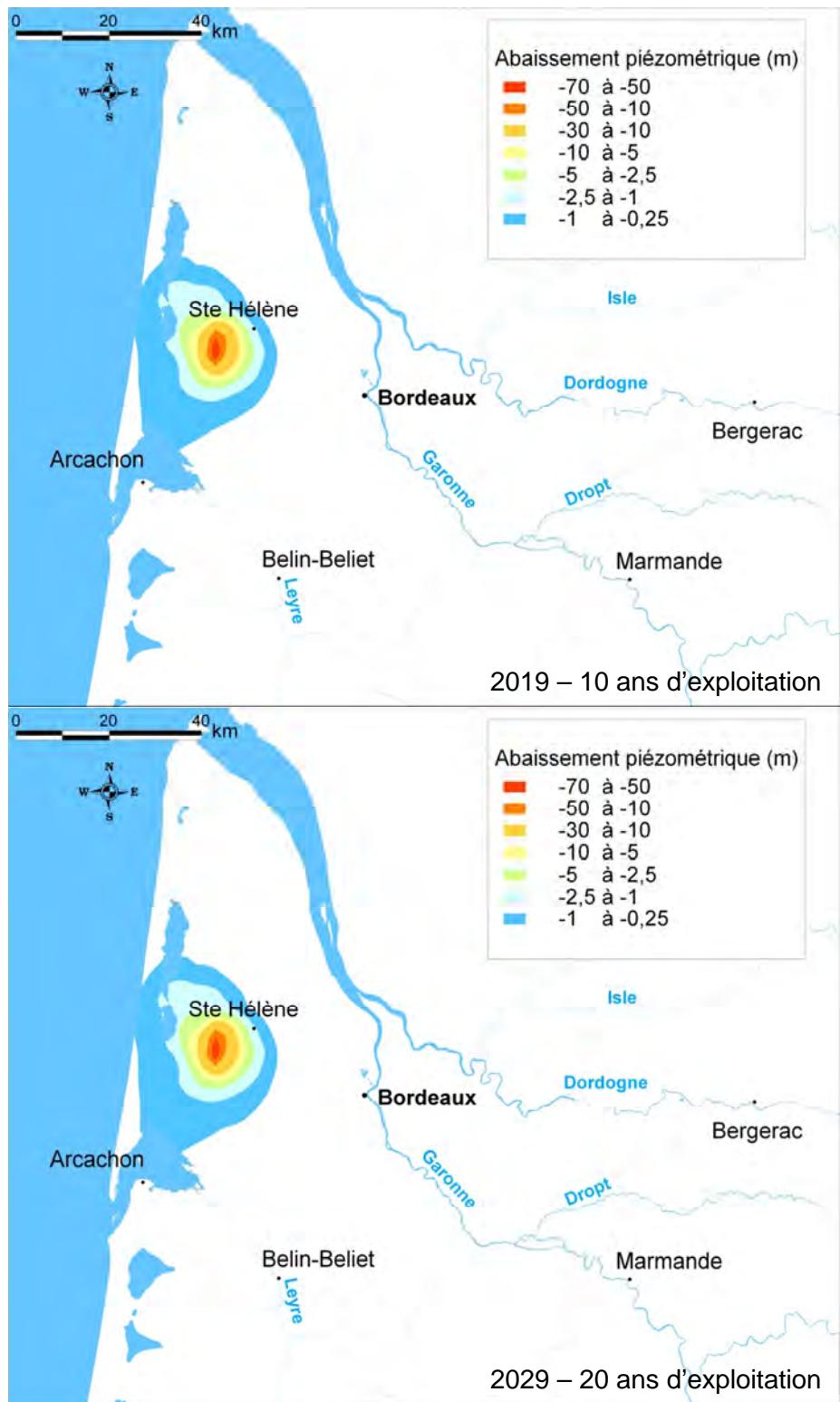


Figure 14 : Evolution des rabattements calculés dans l'Oligocène après 10 ans et 20 ans d'exploitation du champ captant

Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

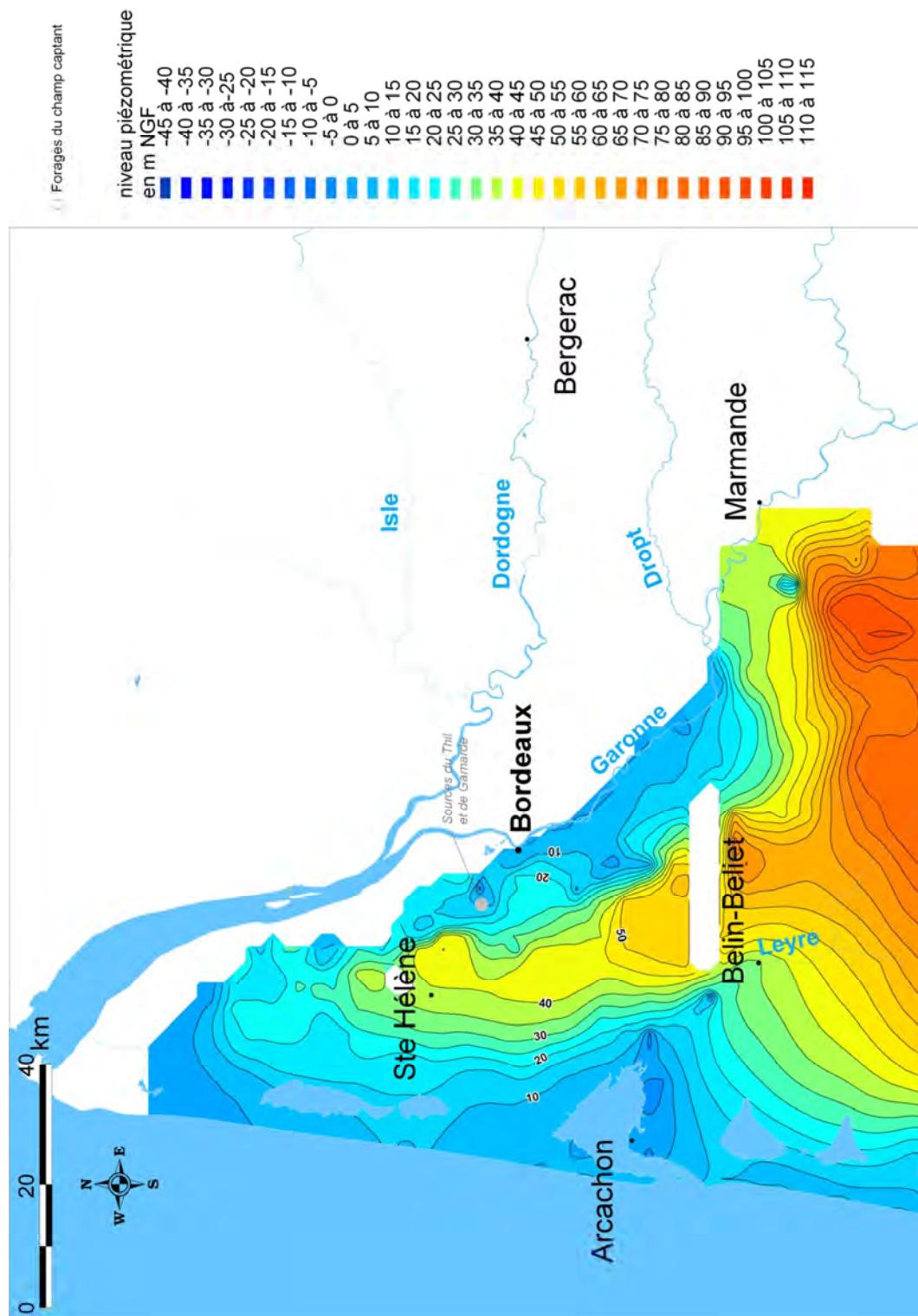


Figure 15 : Oligocène - Piézométrie calculée – année 2009

Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

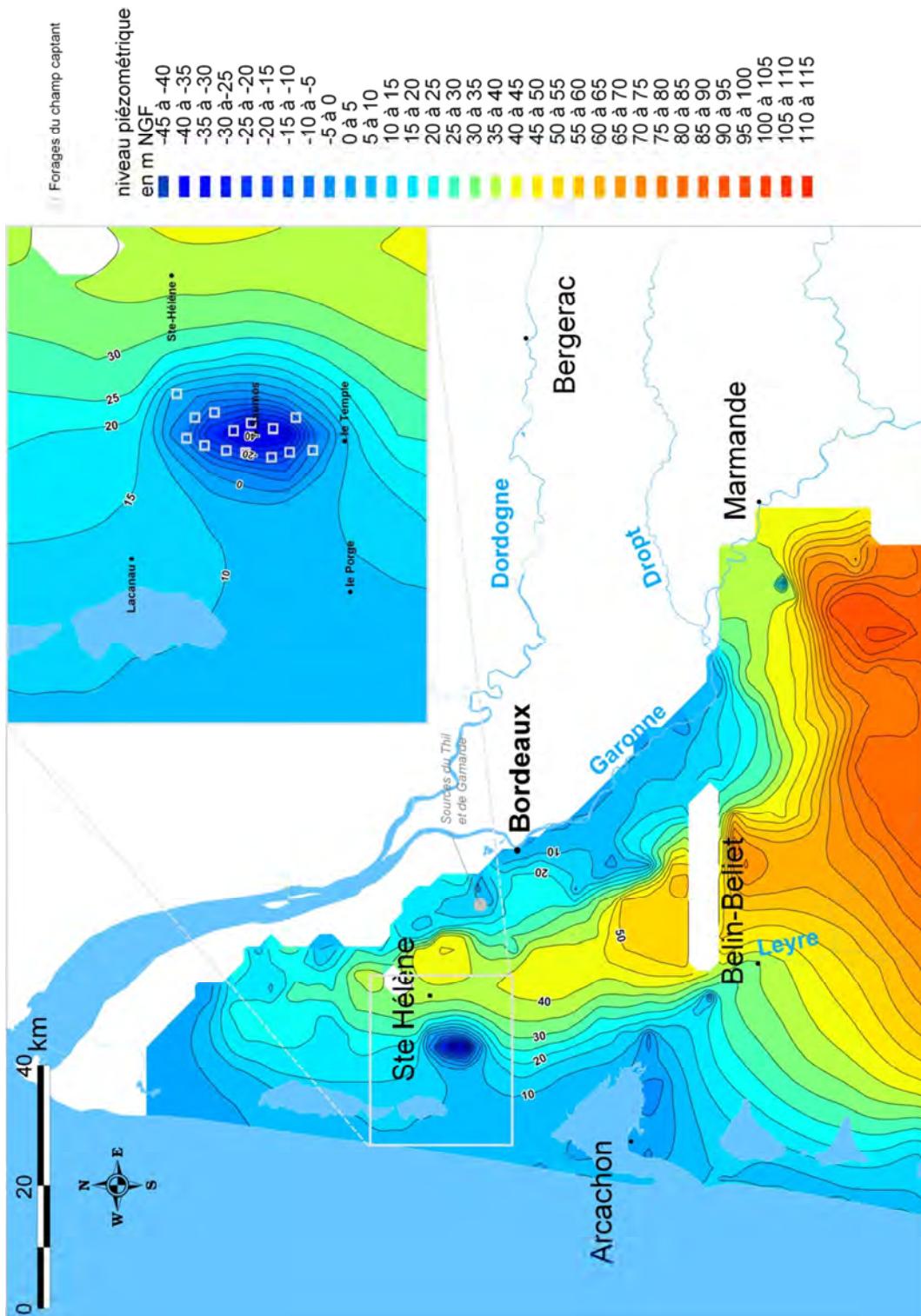


Figure 16 : Oligocène - Piézométrie calculée – année 2029

A l'ouest de la CUB, dans le secteur des sources du Thil (08035X0281/THIL19) et du champ captant de Gamarde (08035X0008/P), le modèle ne montre pas d'évolution sensible du niveau piézométrique entre les deux scénarios. Il n'y a pas non plus de diminution des débordements aux abords des zones d'affleurements. Il faut noter que la précision du modèle régional (taille du maillage et pas de temps essentiellement) ne permet pas de reproduire finement le fonctionnement hydraulique de ces secteurs, il existe donc une incertitude sur les résultats obtenus. Toutefois, il apparaît clairement qu'un maintien des pressions à l'amont hydraulique de ces sources, tel que le montre le modèle dans les conditions de recharge et de prélèvements retenus pour les scénarios, serait le gage d'un impact limité du champ captant sur celles-ci. Ainsi, les chroniques des points 08024X0019 à Saint-Aubin-du-Médoc et 08024X0050 à Saint-Médard-en-Jalles (Annexe 2) ne montrent pas d'abaissement piézométrique provoqué par le champ captant. Cependant, il faut noter qu'en dehors de ces deux forages, il n'existe pas à l'heure actuelle de points de contrôle de la piézométrie à moins de 17 km à l'est de l'emplacement du futur champ captant. La réalisation de piézomètres dans ce secteur serait très utile pour affiner la connaissance du réservoir oligocène dans ce secteur à fort enjeu (paramètre hydrodynamiques, piézométrie) supposé correspondre à une ligne de partage des eaux entre les écoulements dirigé vers l'océan et ceux allant vers la Garonne. Ces forages pourraient être utilisés dans le futur pour évaluer physiquement l'impact vers l'est du champ après sa mise en service.

La comparaison des niveaux piézométriques issus du scénario tendanciel à l'horizon 2029 et des cotes du toit de l'aquifère oligocène ne montre pas de dénoyage du réservoir à l'échelle régionale suite à la mise en service du champ captant. En revanche, comme indiqué par ailleurs, les niveaux piézométriques calculés sont représentatifs d'une maille de 4 km² au pas de temps annuel. Le modèle ne permet donc pas d'écartier l'hypothèse d'un dénoyage local aux abords du champ captant lié aux interférences entre les forages d'exploitation et/ou leur régime d'exploitation (notamment dans la partie Nord où l'aquifère est moins profond).

Aquifère Éocène supérieur

Cet aquifère présente des caractéristiques hydrodynamiques très médiocres sur le secteur d'étude (valeurs de perméabilités de 5.10^{-7} à 1.10^{-6} m/s dans le modèle). Il n'y a pas de chroniques d'observation ni de forages d'exploitation recensés dans cette zone. Cet aquifère ne présente que peu d'intérêt mais joue le rôle de tampon vis-à-vis de l'influence du champ captant sur le principal aquifère de l'Éocène moyen situé en dessous. Les rabattements calculés seraient de l'ordre de 10 à 30 mètres au droit du champ captant selon les secteurs considérés (Annexe 3). Ces valeurs s'expliquent essentiellement par les caractéristiques hydrodynamiques médiocres de cette couche. Le forage de reconnaissance réalisé dans le secteur (SP1) confirme le caractère peu aquifère de cet ensemble constitué pour l'essentiel de calcaires marneux.

Aquifère Éocène moyen

L'aquifère de l'Éocène moyen apparaît impacté plus modérément (Figure 17). Le rabattement calculé est de l'ordre de 2,5 à 5 m au bout de 20 ans (Annexe 3) dans les mailles au droit des forages d'exploitation. Le caractère très confiné de l'aquifère entraîne une large propagation de la dépression induite par la mise en service du champ captant. Toutefois, l'impact s'atténue rapidement avec la distance. Après 20 années d'exploitation, le rayon moyen de la dépression est de l'ordre de 25 kilomètres pour un rabattement de 0,25 m. La structure de la dépression est beaucoup moins dissymétrique que celle calculée dans l'Oligocène et le Miocène du fait de paramètres de perméabilités assez homogènes et d'une structure piézométrique haute moins marquée à l'est. En effet, les flux de drainance verticaux descendants sont beaucoup moins conséquents que dans les couches de l'Oligocène et du Miocène ce qui ne limite pas l'extension de la dépression vers l'est. Quelques ouvrages de l'Éocène moyen montrent d'ailleurs une très légère baisse des niveaux piézométriques (St-Jean-d'Illac – 08264X0004 ou Arès - 08254X0012).

Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

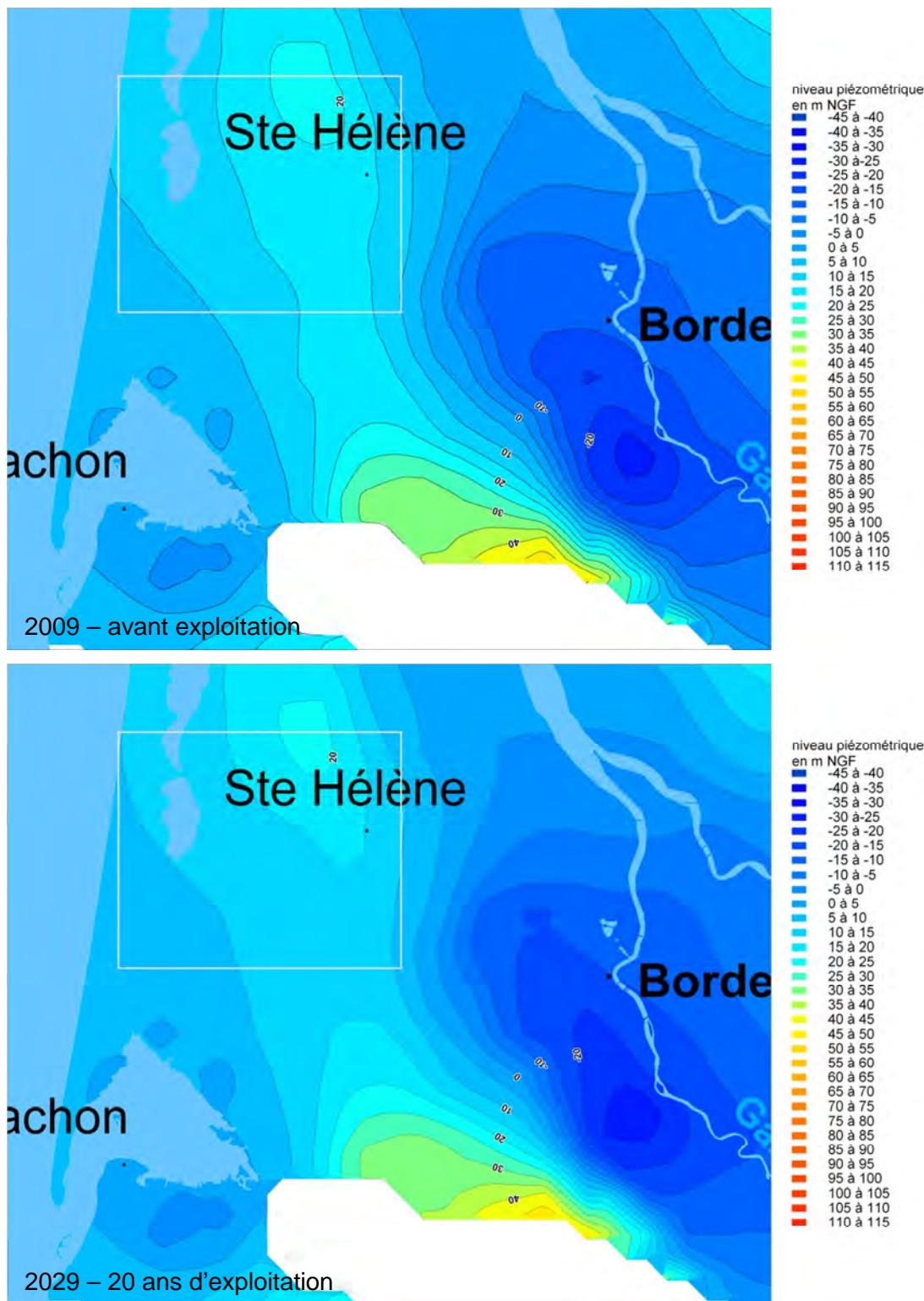


Figure 17 : Éocène moyen - Piézométrie calculée – année 2009 et 2029

3.2.2. Variation de stock

Définition

Le calcul des termes de stockage (en valeur algébrique et exprimés en débits), s'effectue dans MARTHE selon l'état de la maille de calcul (en charge ou pas), 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

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

si la maille devient en charge

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

si la maille devient à surface libre.

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 :

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

Exploitation des résultats

Pour évaluer l'impact du champ captant sur l'évolution du stock dans les différentes couches du modèle, les variations de stock (algébriques) d'un pas de temps au suivant ont été cumulées à partir de l'état initial (ce qui permet, par rapport à une représentation année par année, très fluctuante, d'avoir une meilleure "lisibilité" de l'évolution). La figure 18 présente l'évolution ainsi calculée de ce stock. Les variations de stock au cours du temps dans un aquifère sont influencées par des facteurs climatiques (recharge plus ou moins importante), anthropiques (prélèvements), hydrogéologiques (propriétés physiques des réservoirs : perméabilité et coefficient d'emmagasinement). Sur la période de référence (1972 – 2007) les paramètres climatiques et anthropiques (variables dans le temps) contrôlent l'évolution des stocks. Pour les simulations prospectives, les conditions climatiques sont considérées comme constantes de manière à évaluer l'impact des prélèvements sur les variations des stocks. Dans les conditions climatiques utilisées lors des simulations prospectives (recharge moyenne calculée sur les 30 dernières années de 1980 à 2009), le stock des aquifères de l'Oligocène et du Miocène (Aquitaniens) reste stable. Les diminutions de stock observées pour les réservoirs de l'Éocène sont liées à l'exploitation importante de ces aquifères dans les conditions climatiques retenues ici. Par ailleurs, pour la nappe de l'Oligocène, la comparaison de ce calcul entre la simulation avec champ captant et le scénario tendanciel n'est pas sensible et ne serait pas visible à l'échelle du graphique de la figure 18. Elle atteint au maximum 2 000 000 de m³. Il semble donc que la mise en œuvre du champ captant à Sainte-Hélène n'indue pas pour les réservoirs considérés, de déstockage significatif. Cependant, il faut garder à l'esprit que les recharges utilisées dans le cadre de ces simulations correspondent à des valeurs plutôt favorables en comparaison des données observées sur la dernière décennie où la recharge des aquifères a globalement été plus faible.

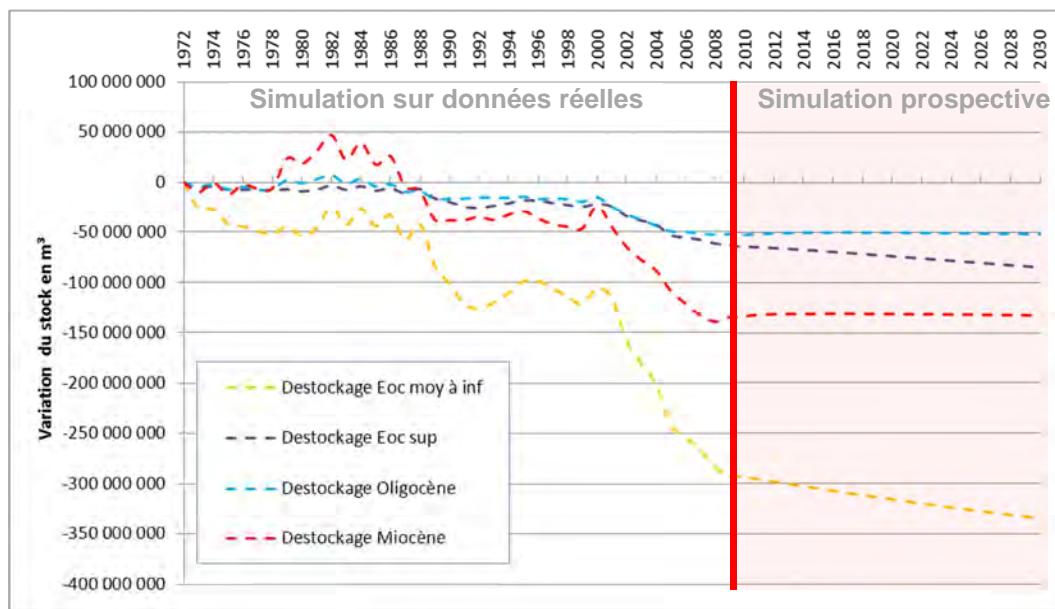


Figure 18 : Évolution cumulée du stock de l'Oligocène et des réservoirs encadrants pour le scénario intégrant le nouveau champ captant

4. Conclusion

A l'issue du travail de modélisation réalisé, l'impact global de la mise en service du champ captant dans l'Oligocène apparaît non négligeable compte tenu de l'importance des prélèvements qui sont envisagés (10 millions de m³/an).

Ce nouveau pôle de prélèvement induit en effet des phénomènes d'ampleur régionale avec une propagation de la dépression sur plusieurs dizaines de kilomètres au sein du réservoir et une influence significative sur les aquifères qui l'encadrent.

Les rabattements les plus importants sont logiquement observés dans l'Oligocène où le champ captant est implanté. L'impact est maximum dans les mailles au droit des forages d'exploitation avec des abaissements piézométriques allant jusqu'à 67 m. A noter que les niveaux piézométriques se stabilisent rapidement au bout de deux années d'exploitation (Annexe 2). Ceci tient principalement à la bonne productivité de l'aquifère oligocène et à sa bonne réalimentation depuis les aquifères sus-jacents et notamment l'aquifère miocène (Aquitaniens). Pour mémoire, dans le cadre des simulations réalisées en 2009, les abaissements piézométriques étaient de l'ordre de 15 à 25 m pour un champ captant dimensionné à 5 millions de m³/an (Pédron et al., 2009). L'impact observé pour 10 millions de m³/an est donc beaucoup plus conséquent.

Par ailleurs, il existe pour l'aquifère oligocène une forte dissymétrie de la dépression qui engendre des abaissements piézométriques plus marqués à l'ouest. Ainsi, l'impact est sensible sur tous les ouvrages de la façade atlantique. En revanche, le champ captant n'a que peu d'influence sur la piézométrie à l'est et donc sur les ouvrages de la CUB dont les sources de St-Médard-en-Jalles (Thil, Gamarde). Ainsi, les chroniques des points 08024X0019 à Saint-Aubin-du-Médoc et 08024X0050 à Saint-Médard-en-Jalles (Annexe 2) ne montrent pas d'abaissement piézométrique lié à la mise en œuvre du champ captant. Cependant, il faut noter qu'en dehors de ces deux forages, il n'existe pas à l'heure actuelle de points de contrôle de la piézométrie à moins de 17 km à l'est de l'emplacement du futur champ captant. La réalisation de piézomètres dans ce secteur serait très utile pour affiner la connaissance du réservoir oligocène dans ce secteur à fort enjeu (paramètre hydrodynamiques, piézométrie) supposé correspondre à une ligne de partage des eaux entre les écoulements dirigé vers l'océan et ceux allant vers la Garonne. Ces forages pourraient être utilisés dans le futur pour évaluer physiquement l'impact vers l'est du champ après sa mise en service.

Les simulations réalisées à l'échelle régionale dans le Modèle nord Aquitain ne montrent pas de dénoyage du réservoir oligocène. En revanche, en raison des limites de précision du modèle, on ne peut écarter l'éventualité d'un dénoyage local aux abords des points de captage lié aux interférences entre les forages d'exploitation et/ou leur régime d'exploitation (notamment dans la partie Nord où l'aquifère est moins profond). L'utilisation d'un modèle analytique (par exemple, formule de Theis en tenant compte des interférences entre forages) permettrait d'apporter des éléments complémentaires, malgré des conditions d'application restrictives. Une approche

similaire (modèle global / modèle semi-analytique local) avait d'ailleurs été utilisé pour évaluer l'impact de l'exploitation d'une configuration différente d'un champ captant dans le Médoc (Larroque, 2004).

Dans la zone médocaine, le fonctionnement du système multicouche Nord-Aquitain apparaît, au moins pour les aquifères les moins profonds, largement influencé par les flux de drainance verticaux. La mise en service du champ captant à l'Oligocène conduit localement à une amplification conséquente des flux de drainance descendants depuis l'aquifère Miocène. Ce dernier participe alors de manière non négligeable aux volumes prélevés. Les flux de drainance depuis l'Éocène deviennent localement ascendants aux abords immédiats du champ captant.

Les résultats de simulation semblent indiquer que la mise en œuvre du champ captant à Sainte-Hélène n'induit pas pour les réservoirs considérés de déstockage significatif. Cependant, il faut garder à l'esprit que les recharges utilisées dans le cadre de ces simulations correspondent à des valeurs plutôt favorables en comparaison des données observées sur la dernière décennie où la recharge des aquifères a globalement été plus faible. L'enchaînement de plusieurs années sèches pourrait engendrer des baisses piézométriques plus importantes que celles calculées dans le cadre de cette étude. Un déficit chronique de la recharge pourrait s'accompagner à terme d'un déstockage du réservoir.

Compte tenu de ces éléments, un test dans des conditions climatiques plus sévères permettrait de disposer d'éléments complémentaires notamment pour apprécier l'impact du projet dans des conditions de recharge moins favorable et de s'assurer que les abaissements piézométriques ainsi que les variations de stock restent acceptables.

5. Bibliographie

- 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., 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.
- Gomez E., Pédrone N., Buscarlet E.** (2010a) - 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., Saltel M., Pédrone N.** (2010b) - 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.
- Larroque F.** (2004) - Gestion globale d'un système aquifère complexe, Application à l'ensemble aquifère multicouche médocain. Université Michel de Montaigne – Bordeaux³.
- Larroque F., Dupuy A.** (2004) - Apports de la méthode sismique réflexion haute résolution à l'identification des structures profondes des formations tertiaires en Médoc (Gironde, France) : implications hydrogéologiques. Comptes Rendus Géosciences, Volume 336, Pages 1111-1120
- Nadaud H., Martin G.** (2006) - Recherche de ressources nouvelles pour l'alimentation en eau potable dans l'aquifère de l'Oligocène dans les environs de SAINT-HELENE - Compte rendu des études 2000-2006. .

Pédrone N., Akar A., Gomez E. (2009) - Simulation d'impact d'un champ captant dans l'aquifère Oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA) – BRGM/RC-57035-FR. .

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

Pédrone 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.

Pédrone 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.

Pédrone 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.

Pédrone 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.

Salte M., Pédrone N., Platel J.P., Bourgine B., Gutierrez T. (2011) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine -Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes – Module 1 – Année 2 – BRGM/RP-59 959-FR.

Seguin J.J. (1999) - 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. (1999) - Restructuration du modèle nord-aquitain de gestion des nappes. Correction du biais de calage du modèle. R40711.

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

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

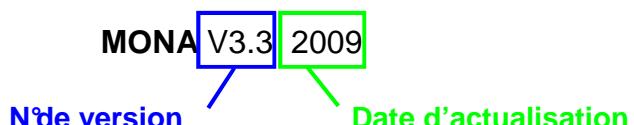
Annexe 1

Nomenclature des versions du MONA

Depuis près de 20 ans, le SGR Aquitaine développe des outils régionaux de gestion de la ressource en eaux souterraines. Le plus ancien et le plus abouti de ces outils est le Modèle Nord-Aquitain qui simule les écoulements au sein des grands aquifères captifs du nord du Bassin aquitain.

Au cours des différents développements qui se sont enchaînés notamment dans le cadre des deux conventions « Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine », ce modèle régional d'aide à la gestion de la ressource a beaucoup évolué et les versions se sont succédées. Cela a amené le BRGM à réfléchir à la mise en place d'une nomenclature pour désigner ces différentes versions et ainsi permettre à ses partenaires et clients de pouvoir facilement identifier les versions en cours d'utilisation (notamment dans le cadre d'études ponctuelles) et les évolutions apportées au modèle.

Il a donc été décidé de désigner le **MOdèle Nord–Aquitain par MONA** et d'y adjoindre systématiquement le numéro de version du modèle et son année d'actualisation (dernière date pour laquelle tous les paramètres (recharge, prélèvements, piézométrie) du modèle sont mis à jour). Cette nouvelle nomenclature est illustrée par l'exemple ci-dessous :



De façon à résituer la numérotation actuelle dans son contexte historique, celles des anciennes versions du modèle (qui pour certaines n'existent plus) ont été reconstituées de façon rétrospective. Pour cela, un bref historique a été établi et est présenté ci-dessous.

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, 1999b) 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 V2B : 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., 2003b), 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'Aquitainien-Burdigalien, du Langhien-Serravallien (Helvétien) et du Plio-Quaternaire en remplacement de l'ancienne couche Mio-Plio-Quaternaire à potentiels imposés (MONA V3-2000).
- Subdivision de l'Éocène 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, Langhien-Serravallien (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-Callovio-Oxfordien, Kimméridgien et Tithonien) et à l'intégration de ces couches dans le modèle hydrodynamique pour aboutir à une version **MONA** V3.3.

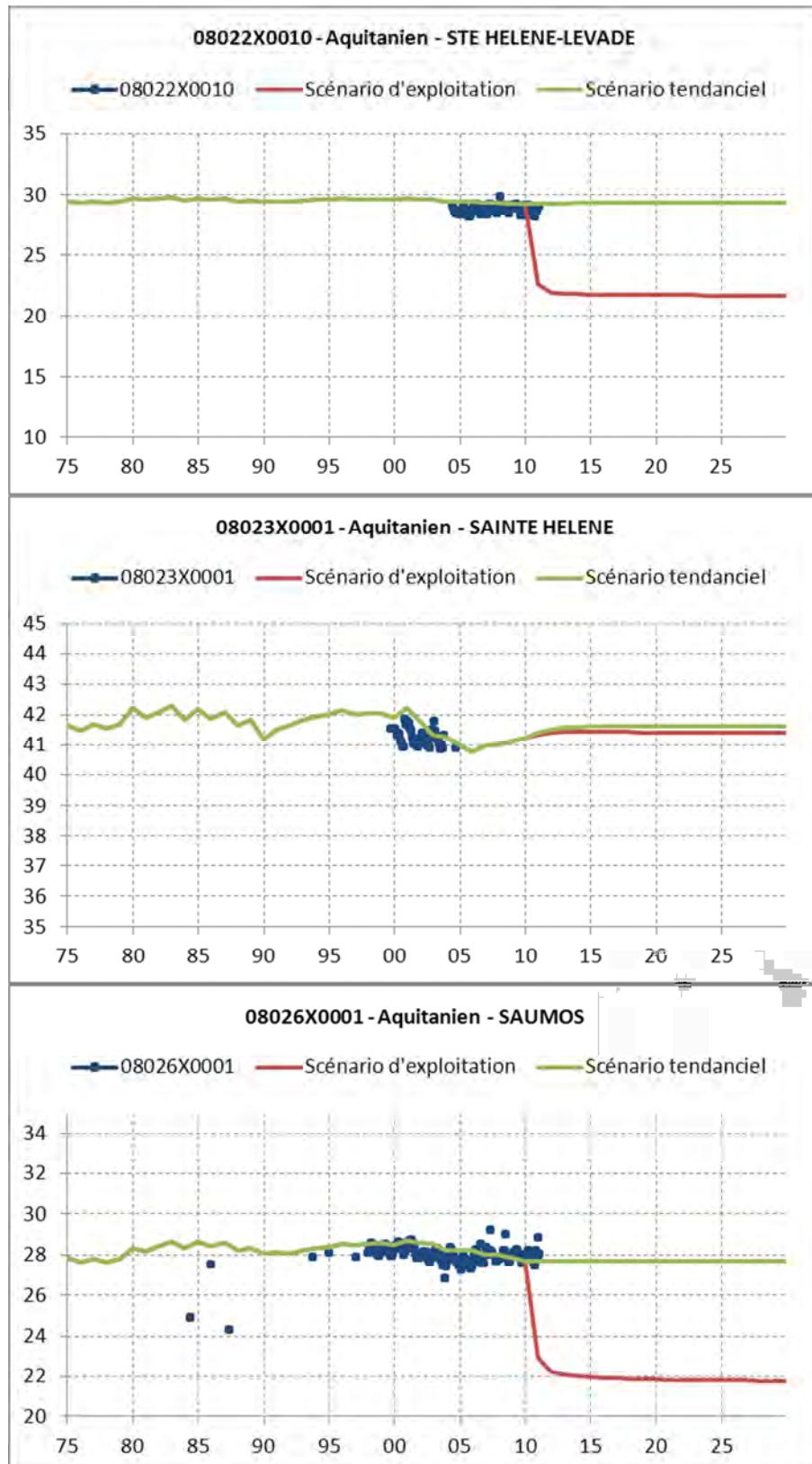
La version V3.3b correspond principalement à des ajustements de la loi de recharge de la nappe du Plio-Quaternaire et à une meilleure prise en compte du comportement des réservoirs autour de la structure de Villagrains-Landiras suite aux études récentes réalisées dans le secteur (Salte, 2008).

Annexe 2

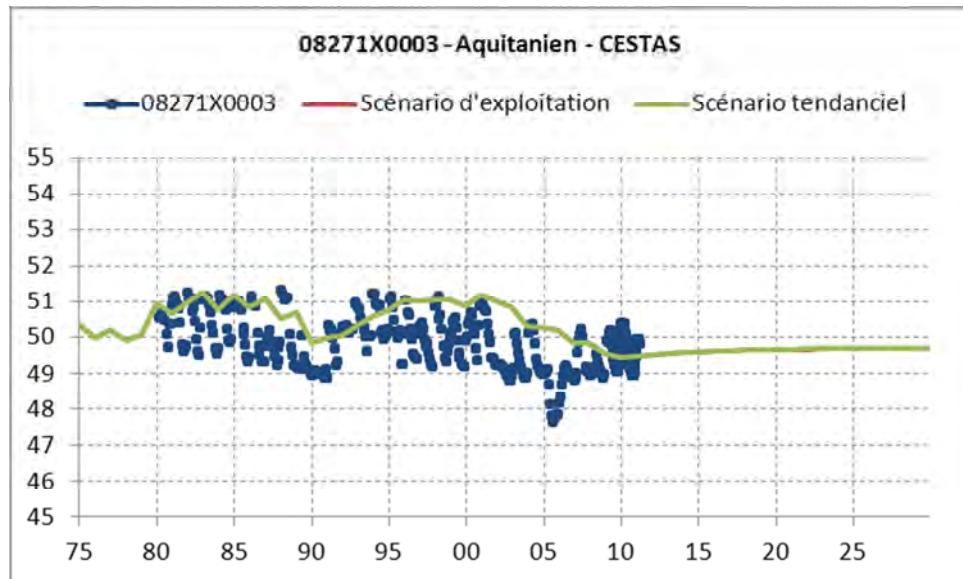
Chroniques piézométriques restituées par le modèle

Nappe de L'Aquitainien

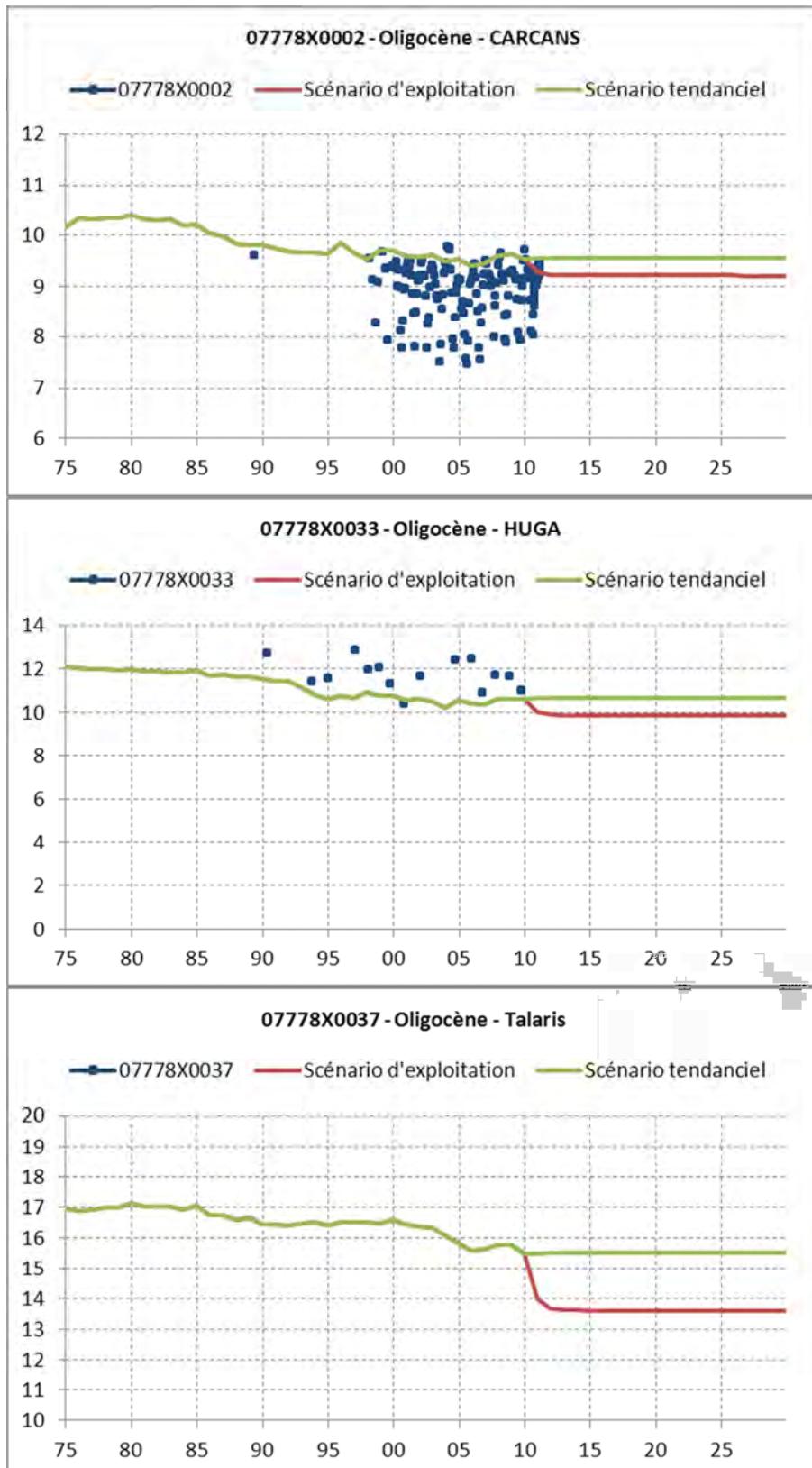
Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)



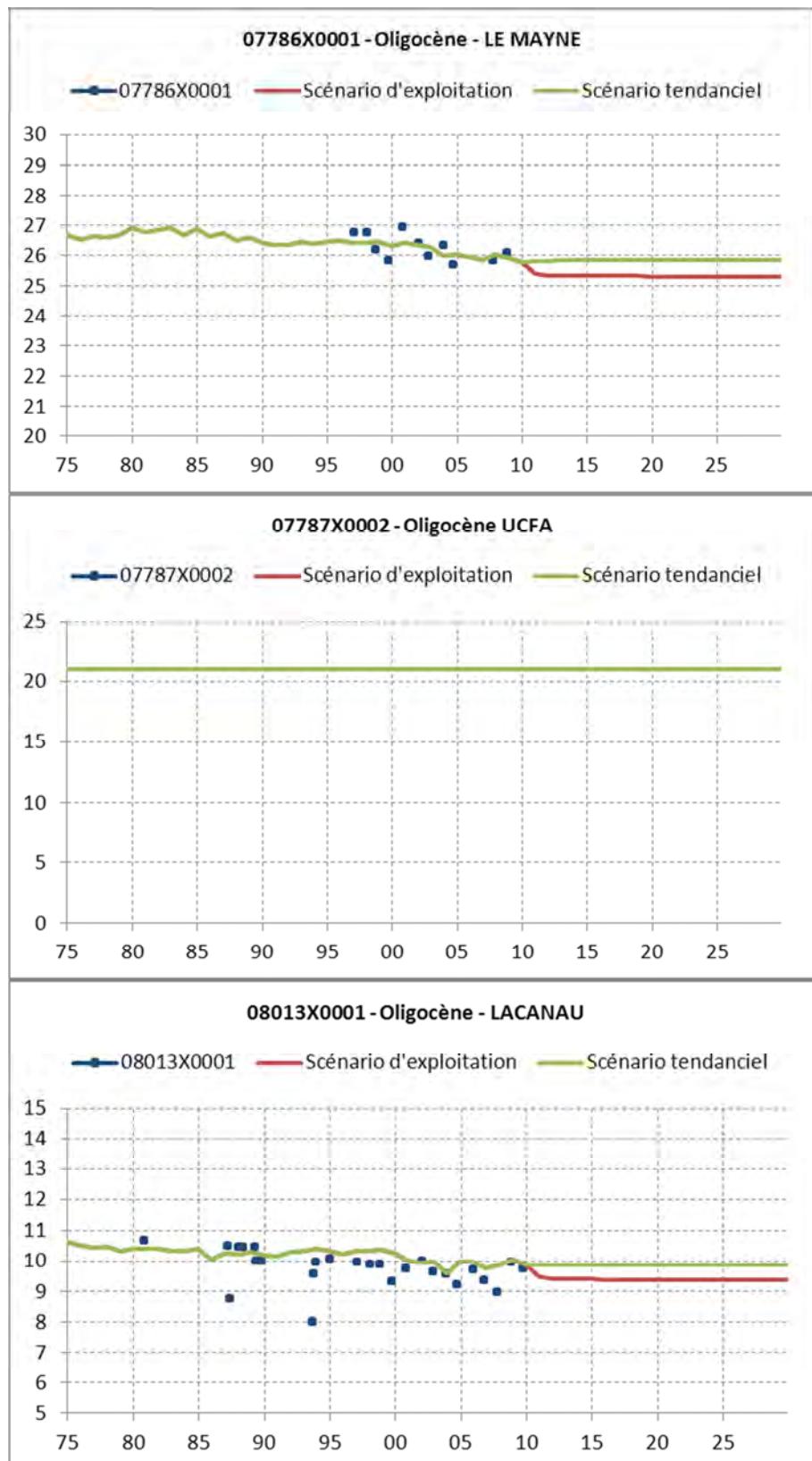
Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

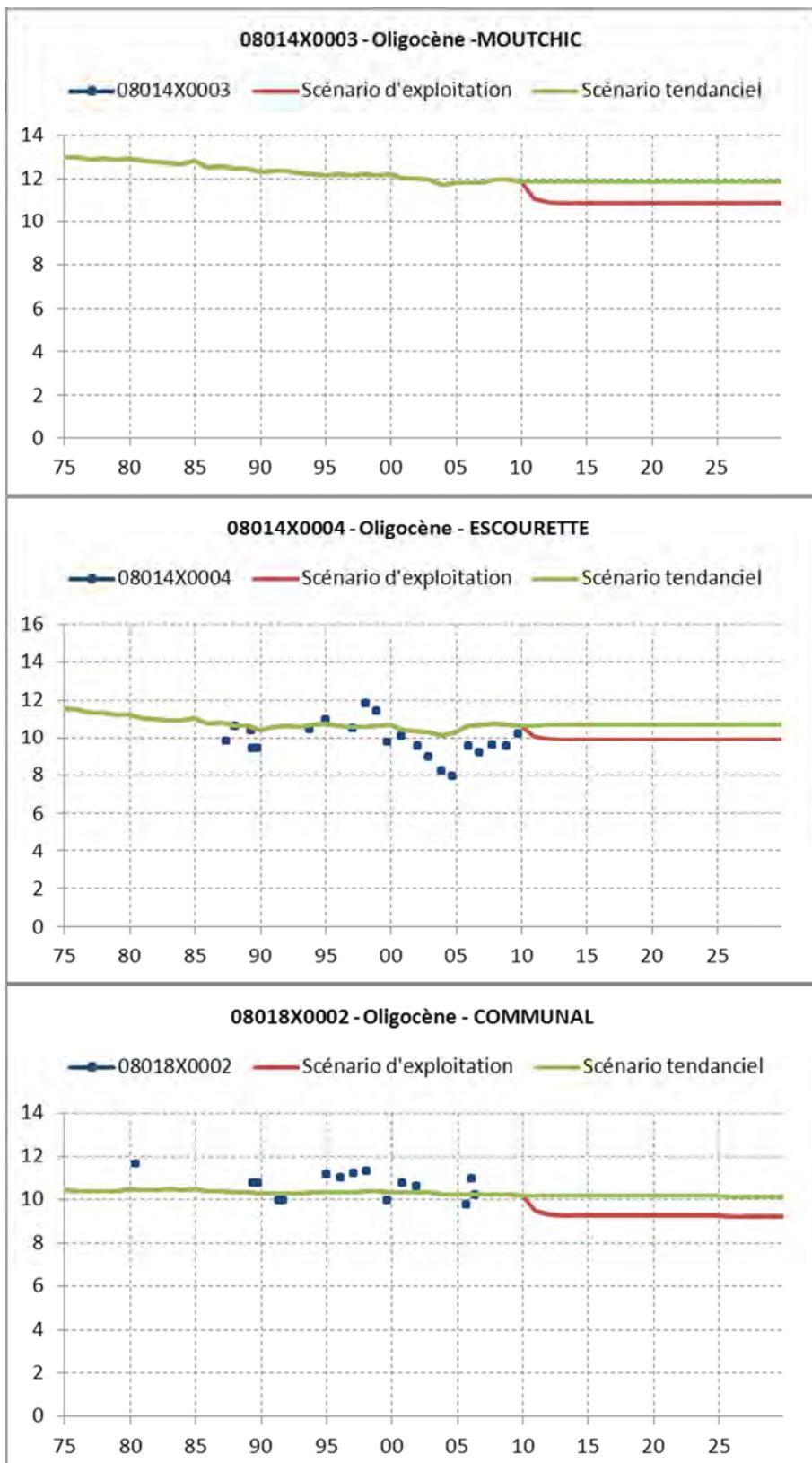


Nappe de L'Oligocène

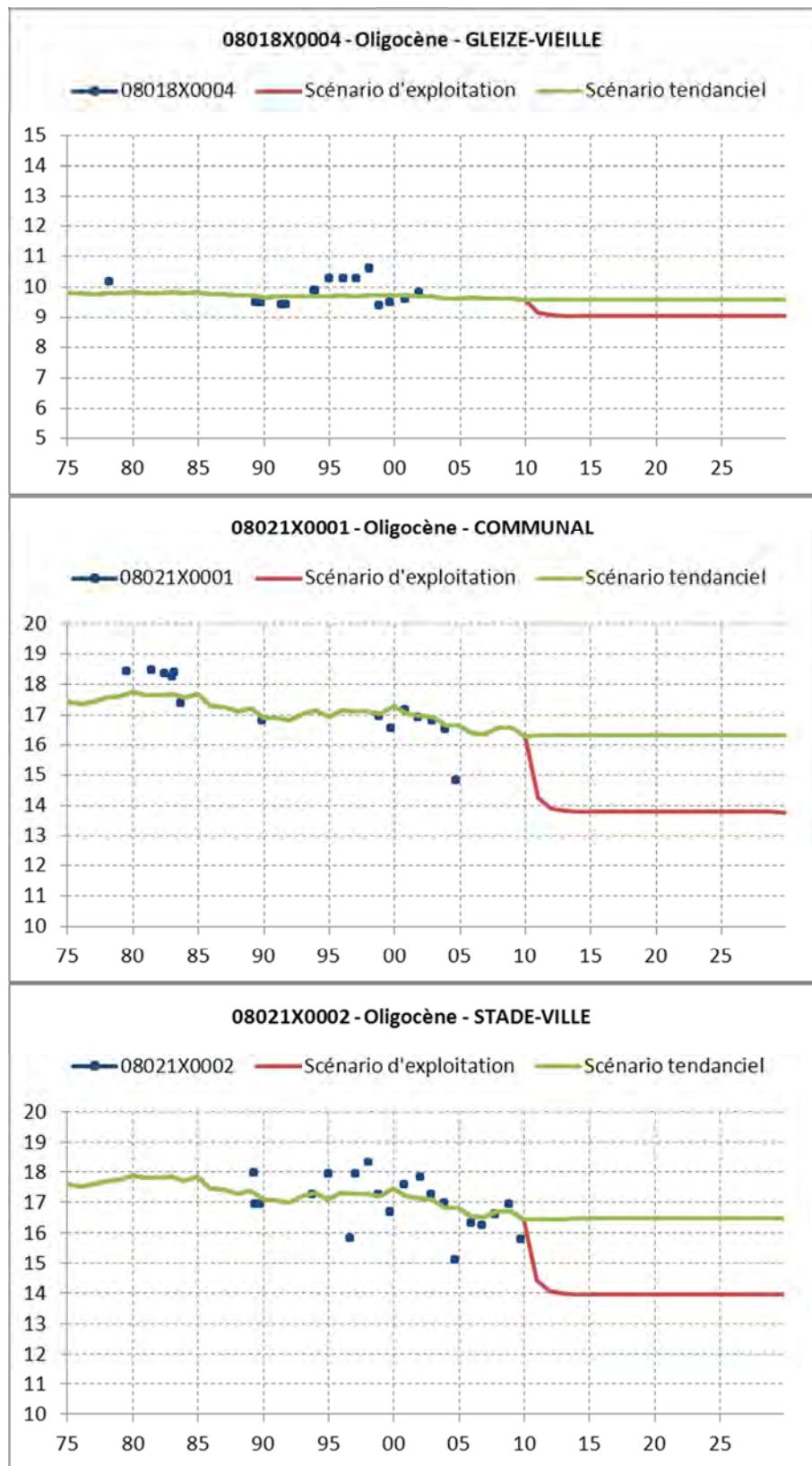


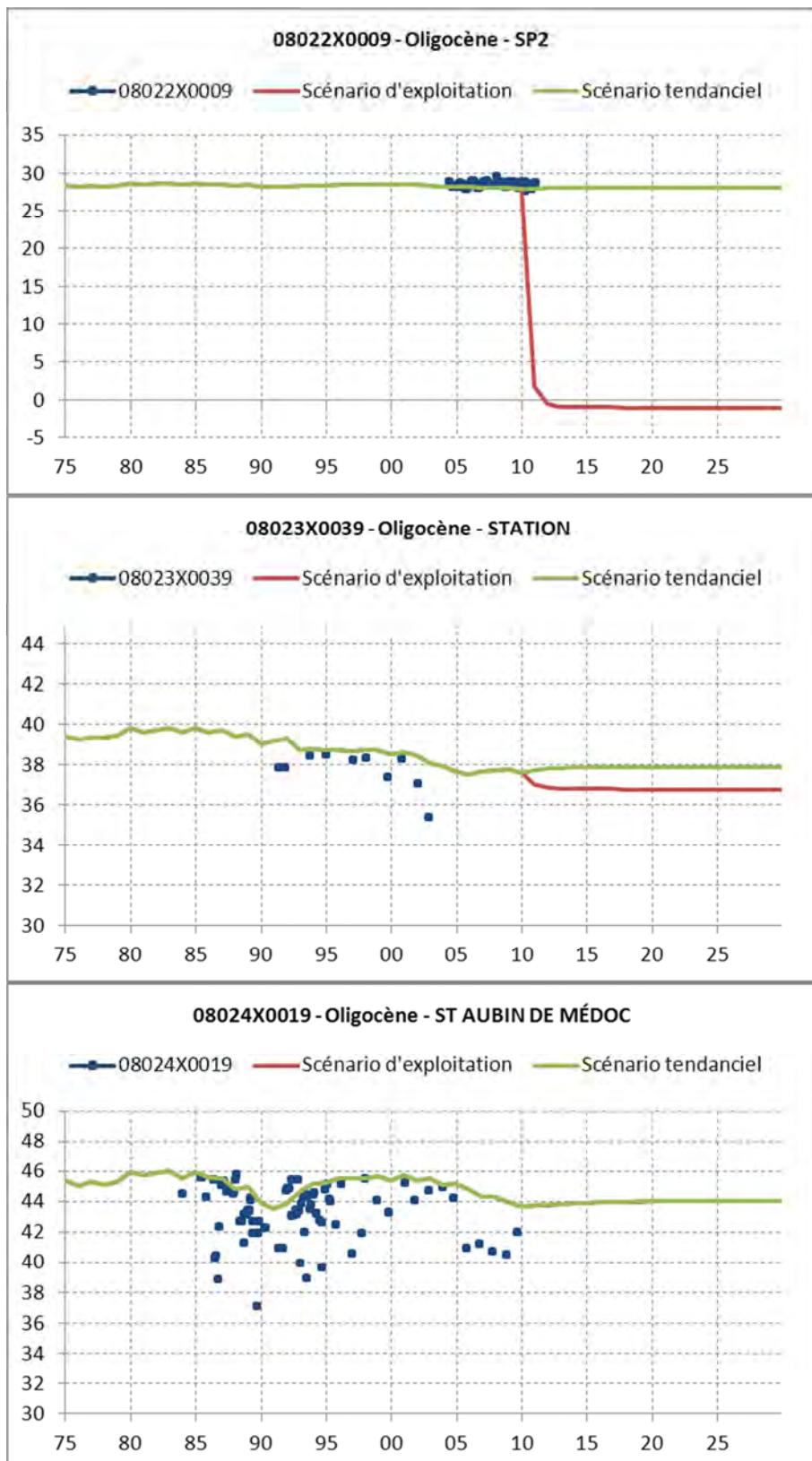
Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)



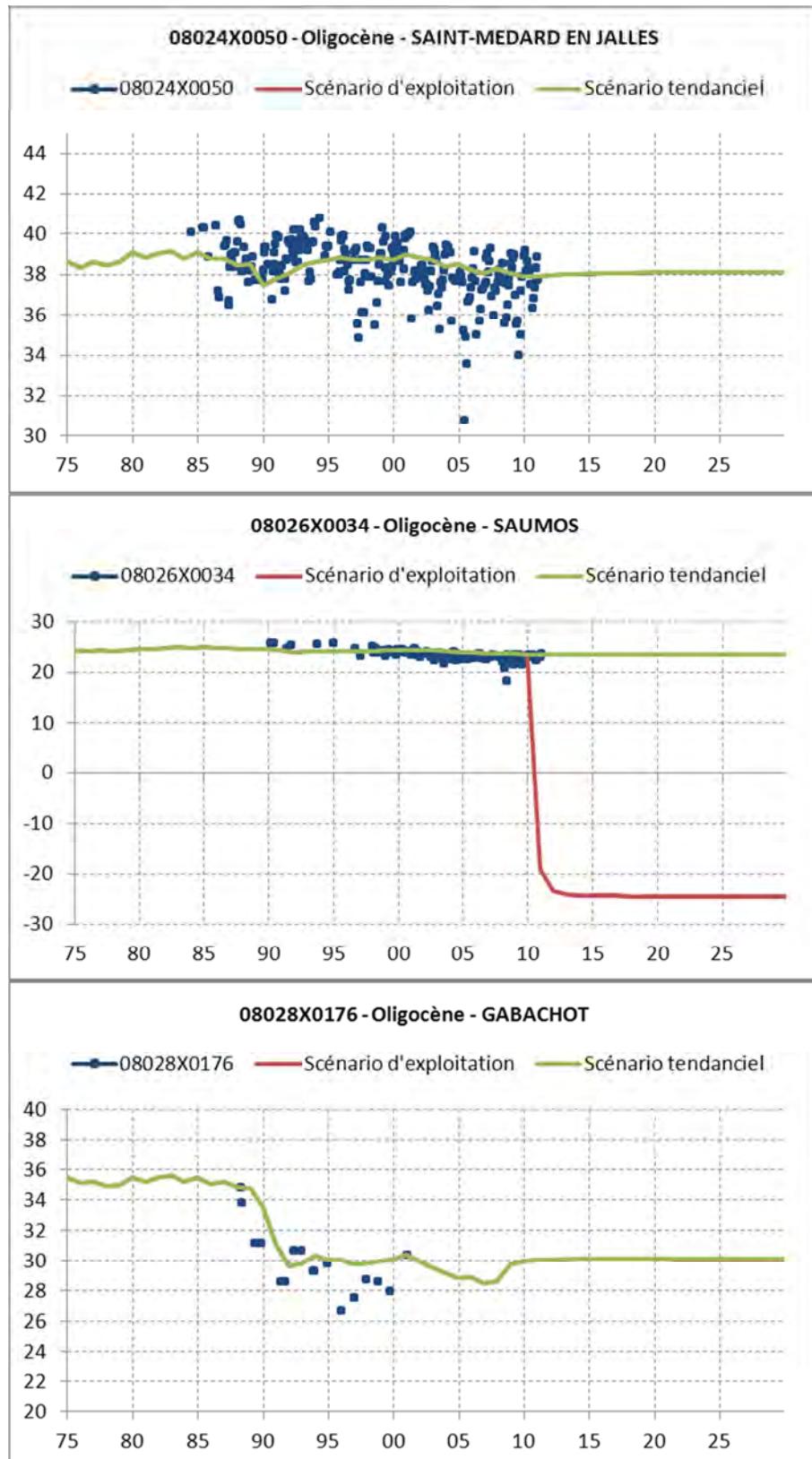


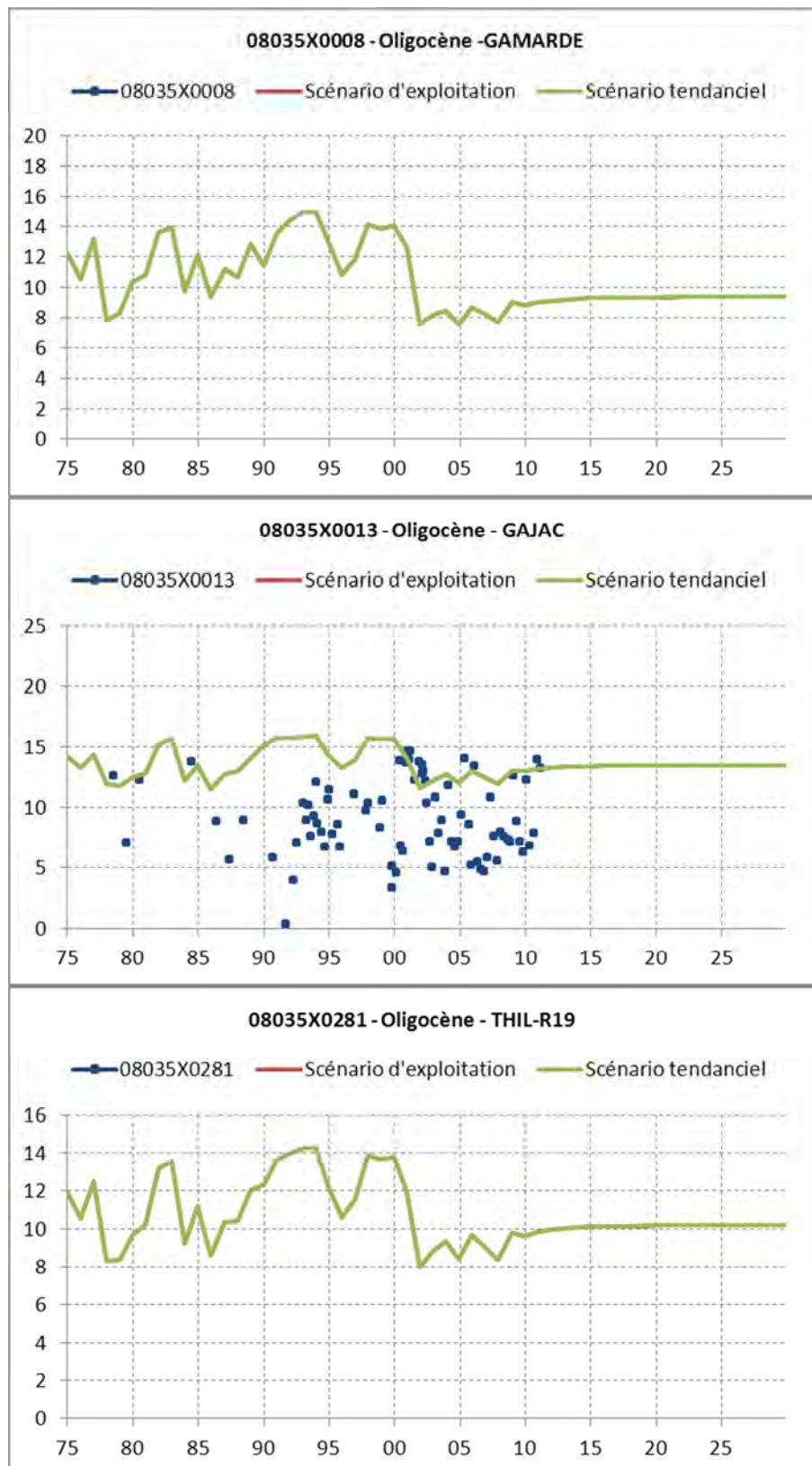
Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)



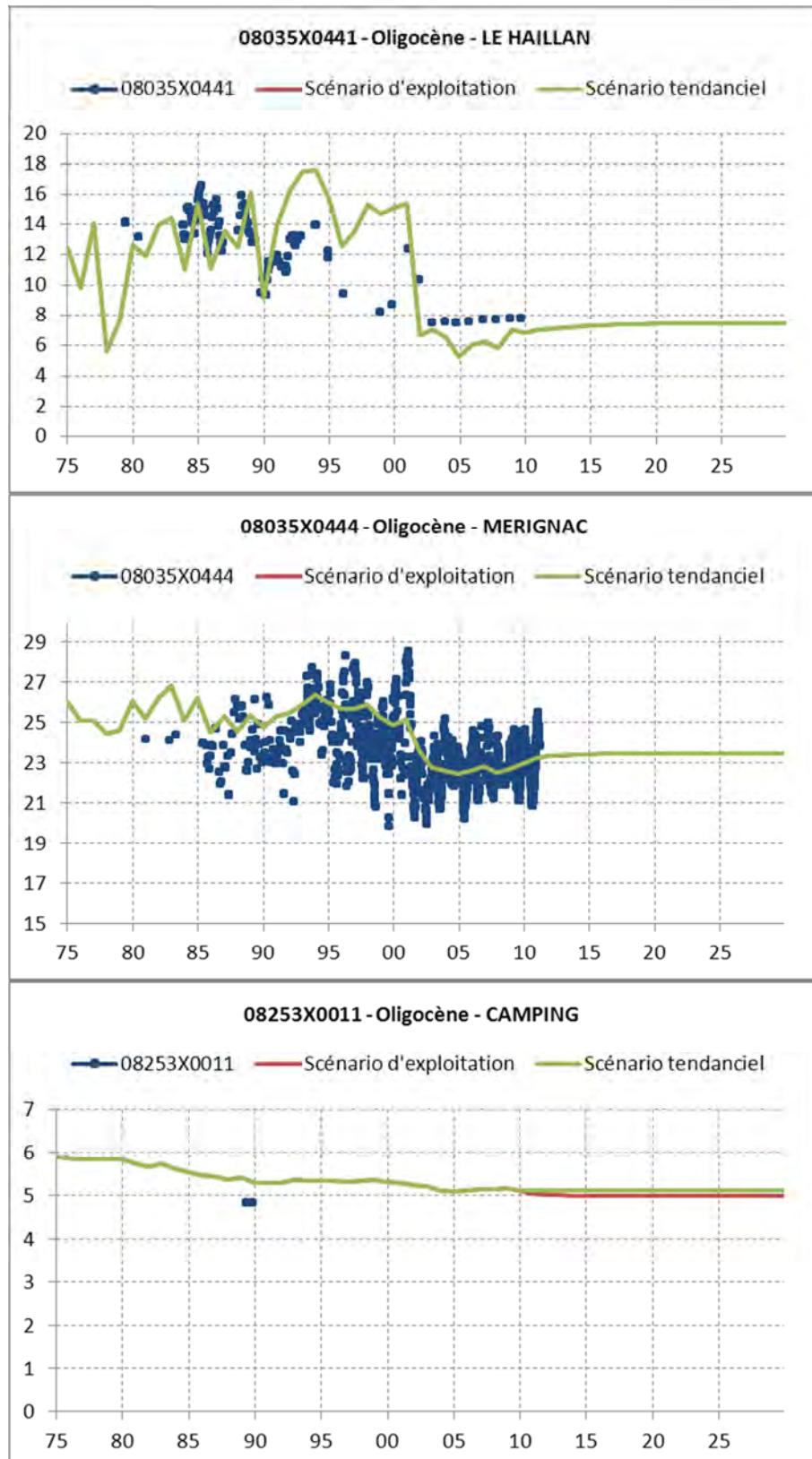


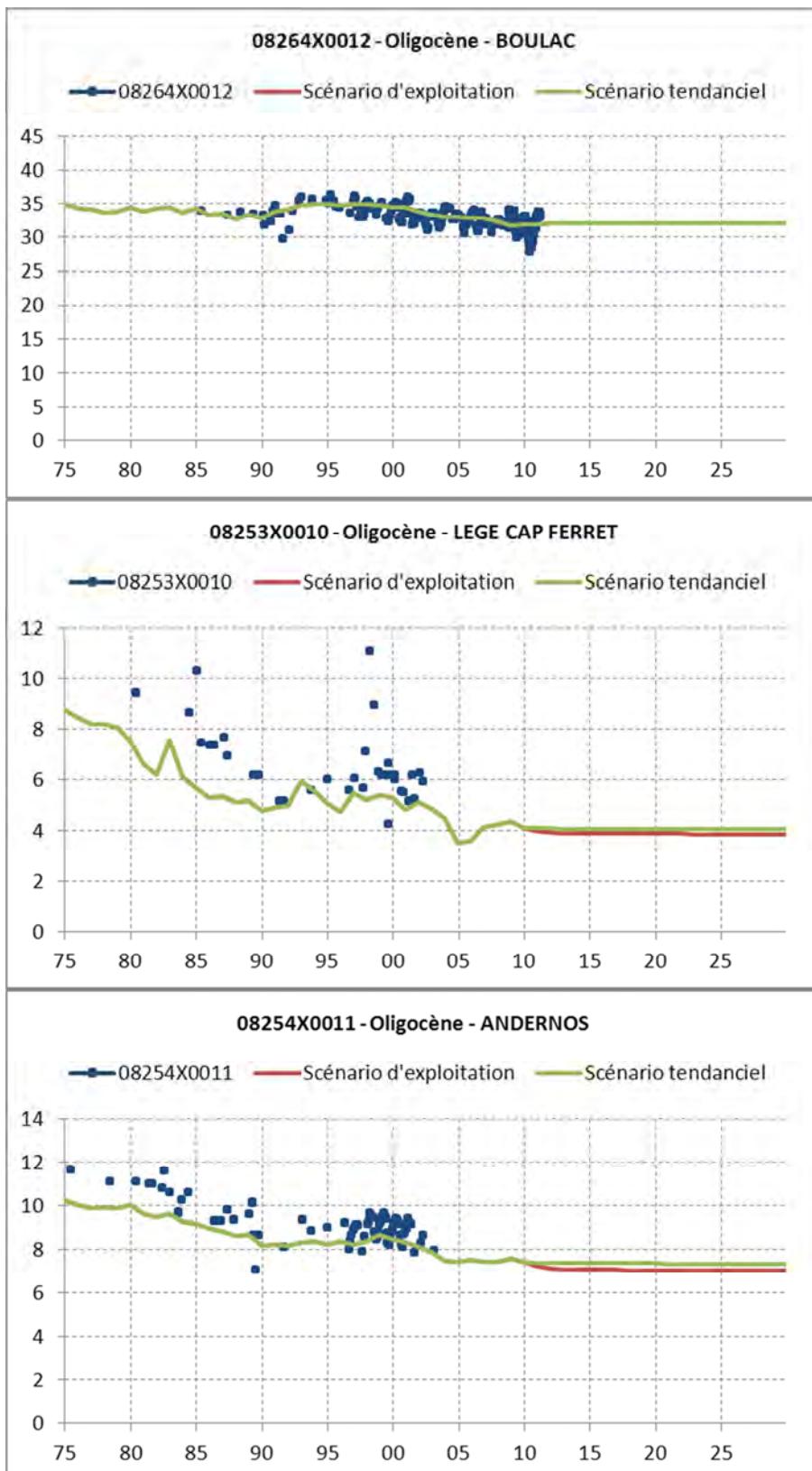
Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)



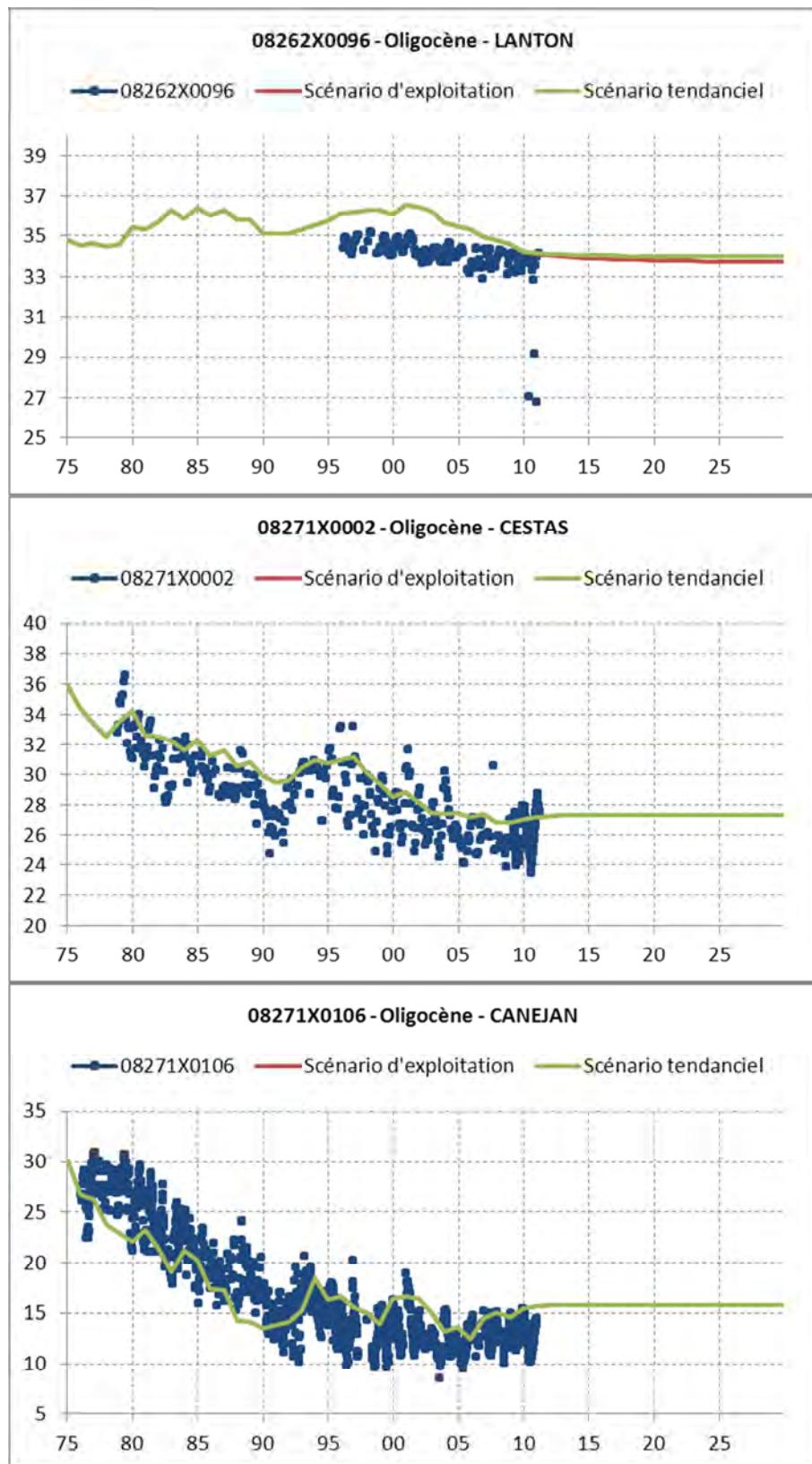


Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

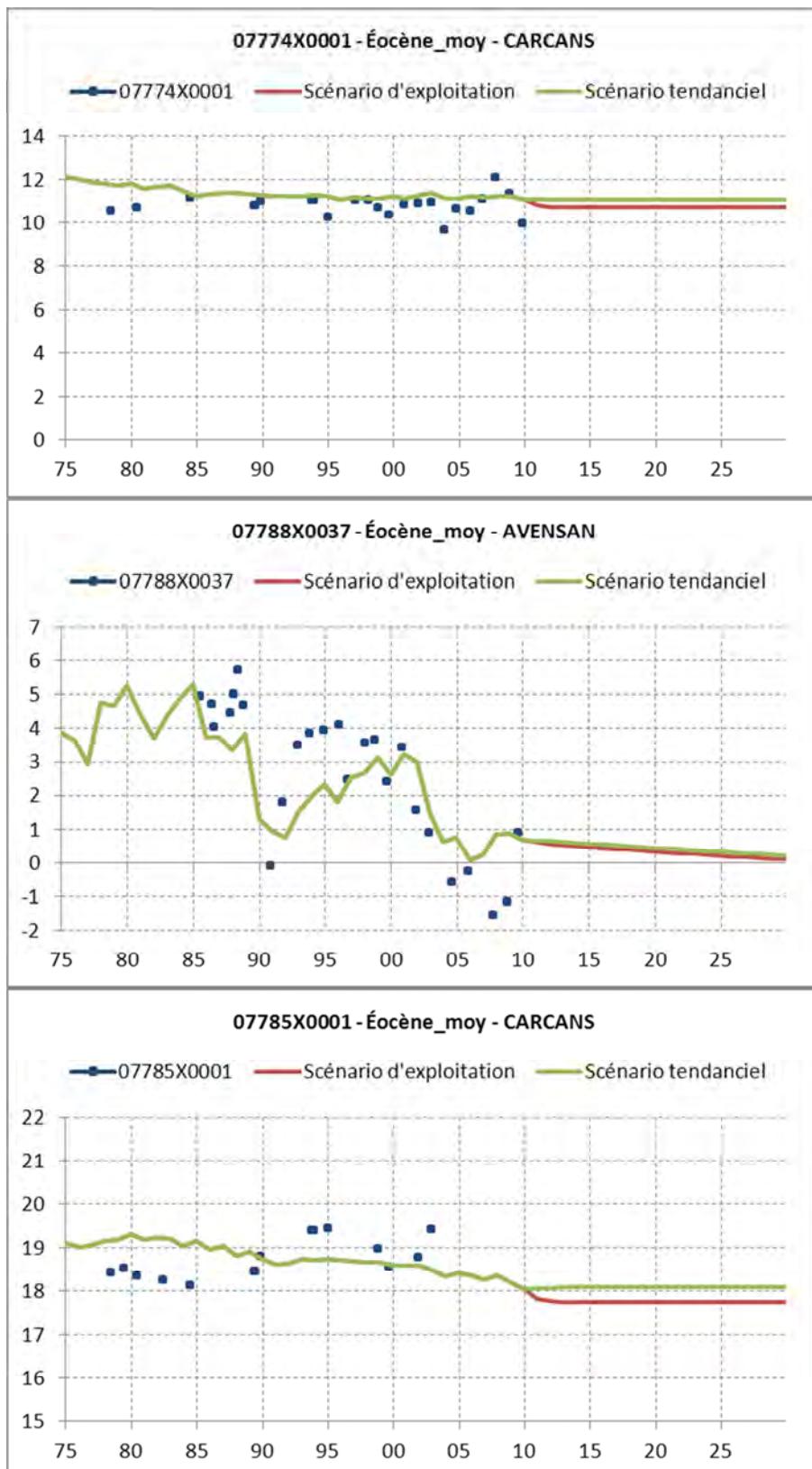




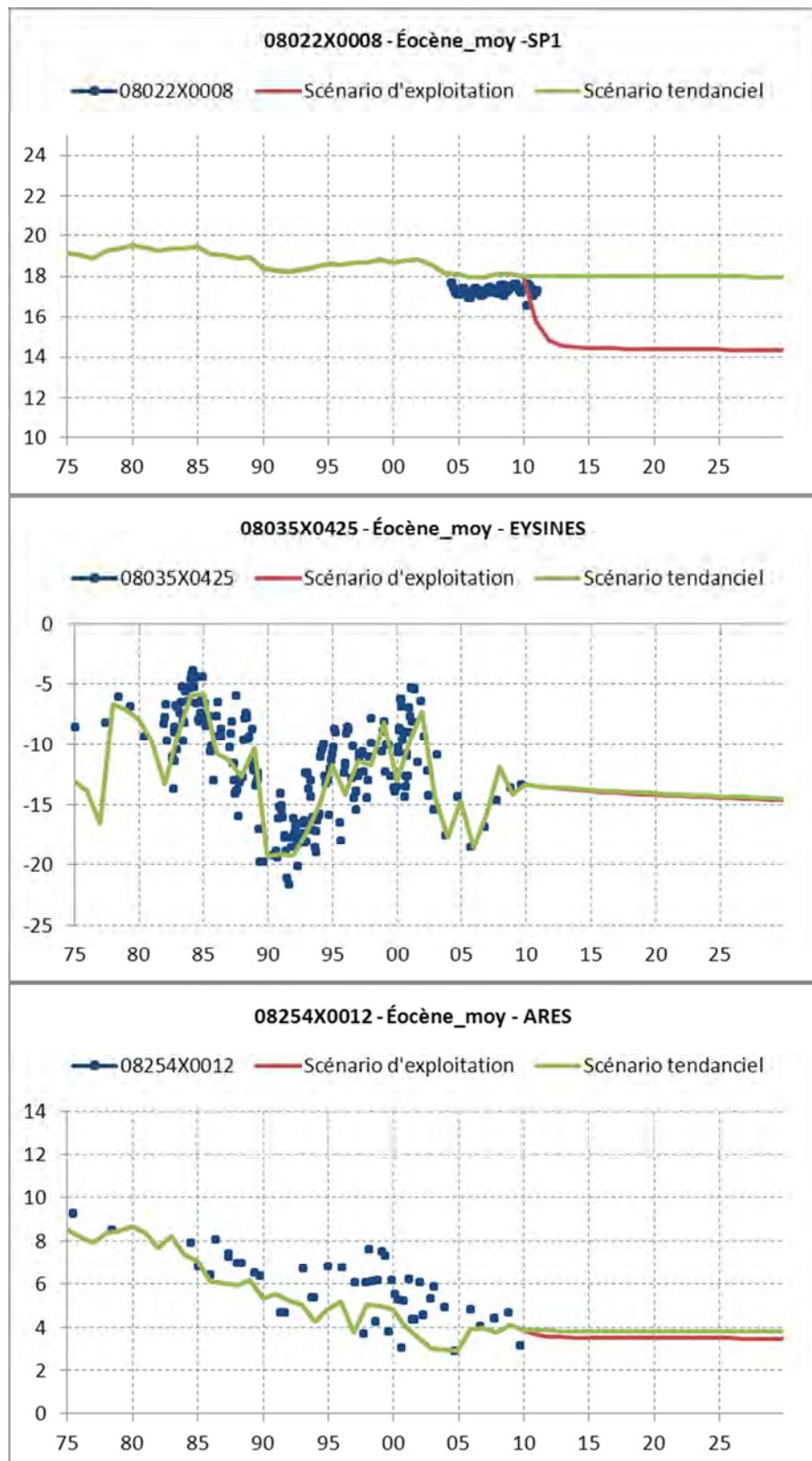
Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

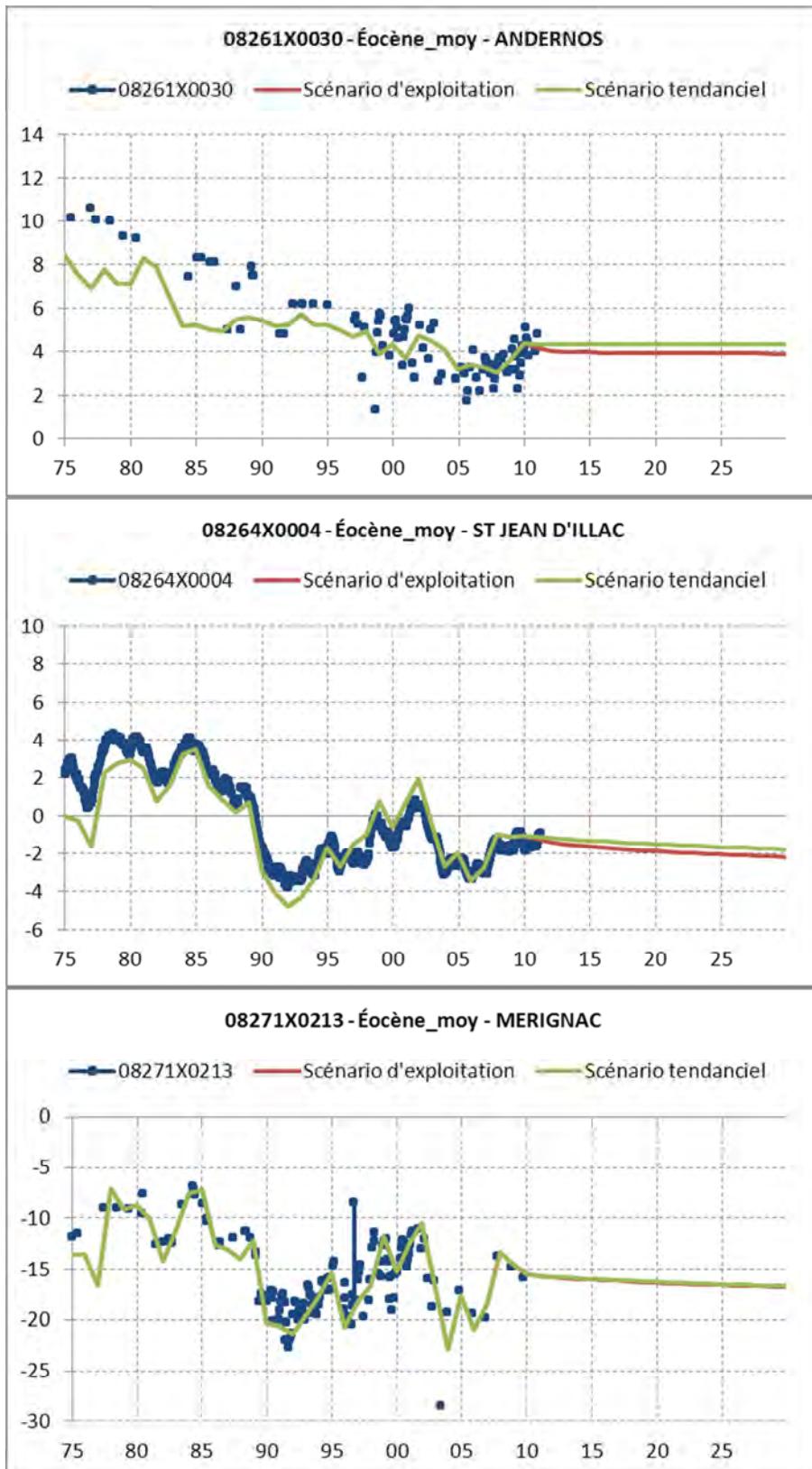


Nappe de L'Éocène moyen



Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

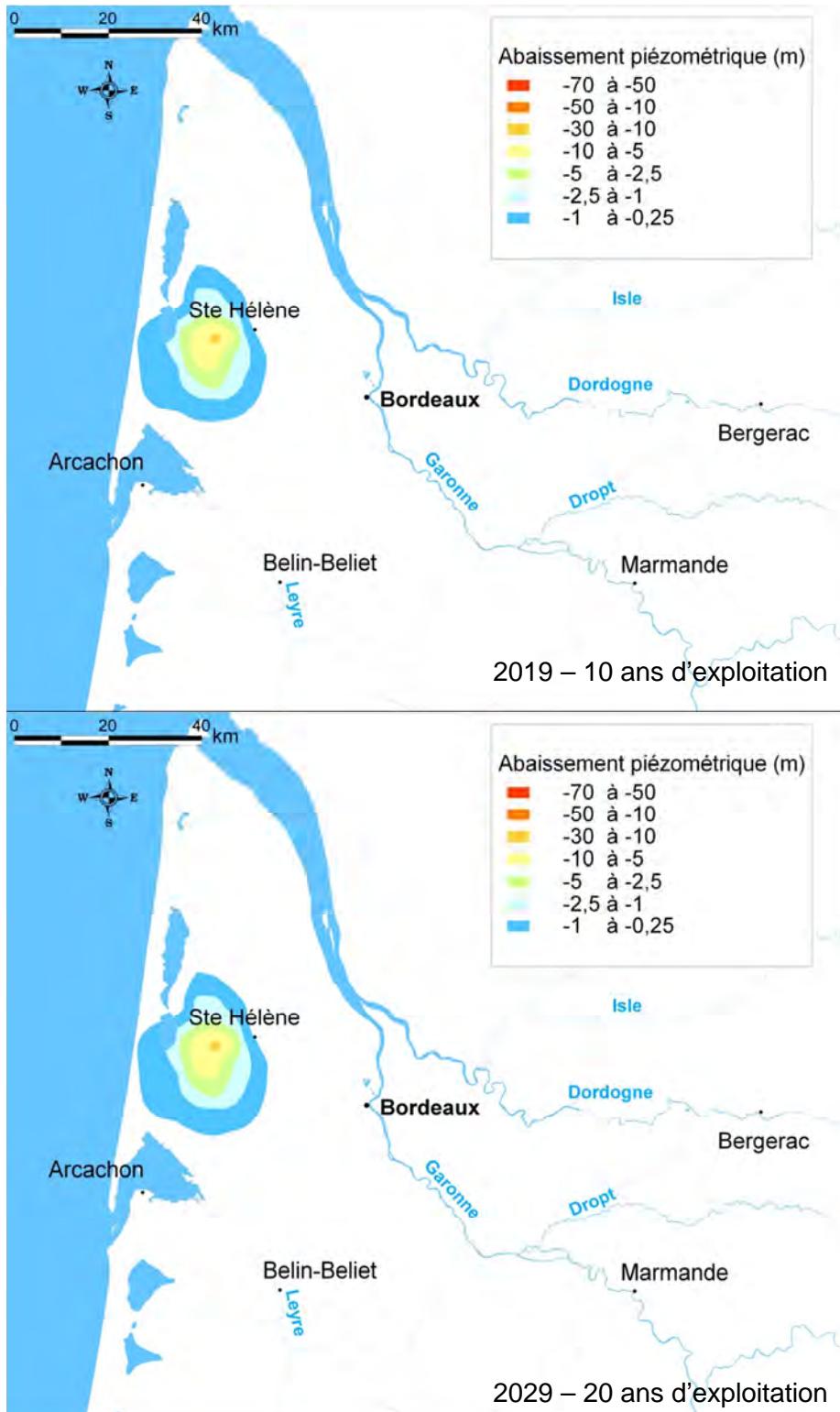




Annexe 3

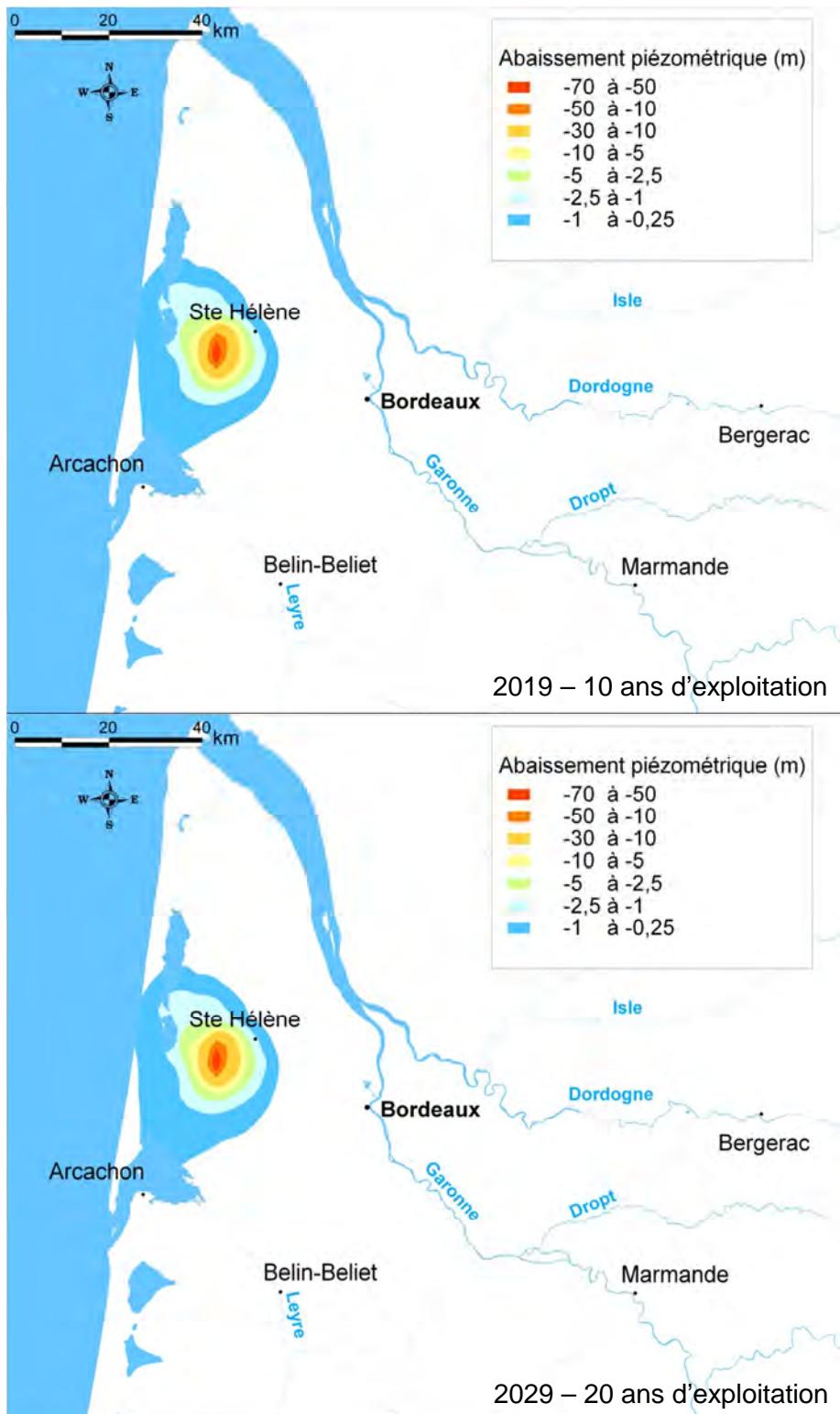
Rabattements calculés par le modèle

Impact piézométrique sur la nappe de L'Aquitainien

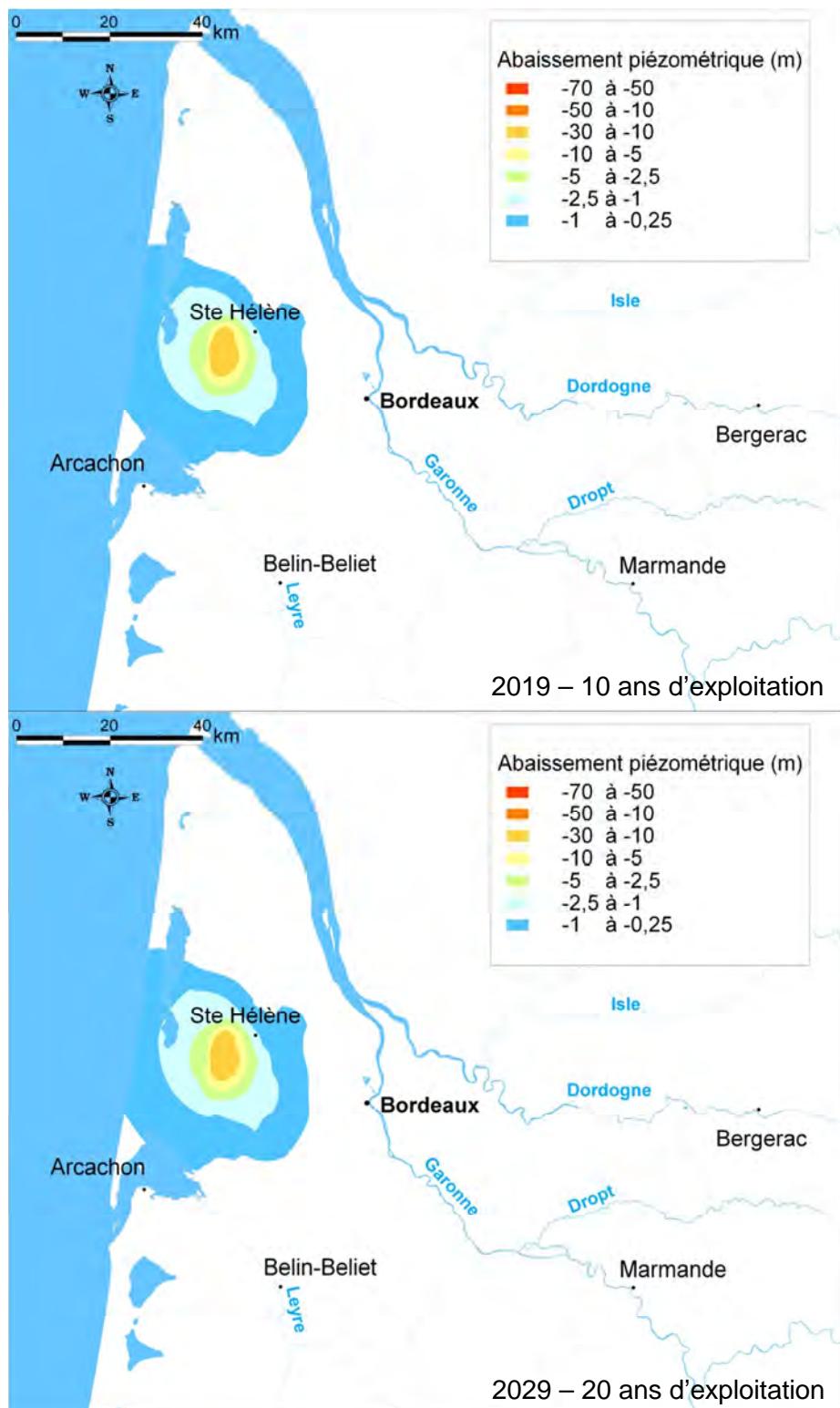


Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

Impact piézométrique sur la nappe de l'Oligocène

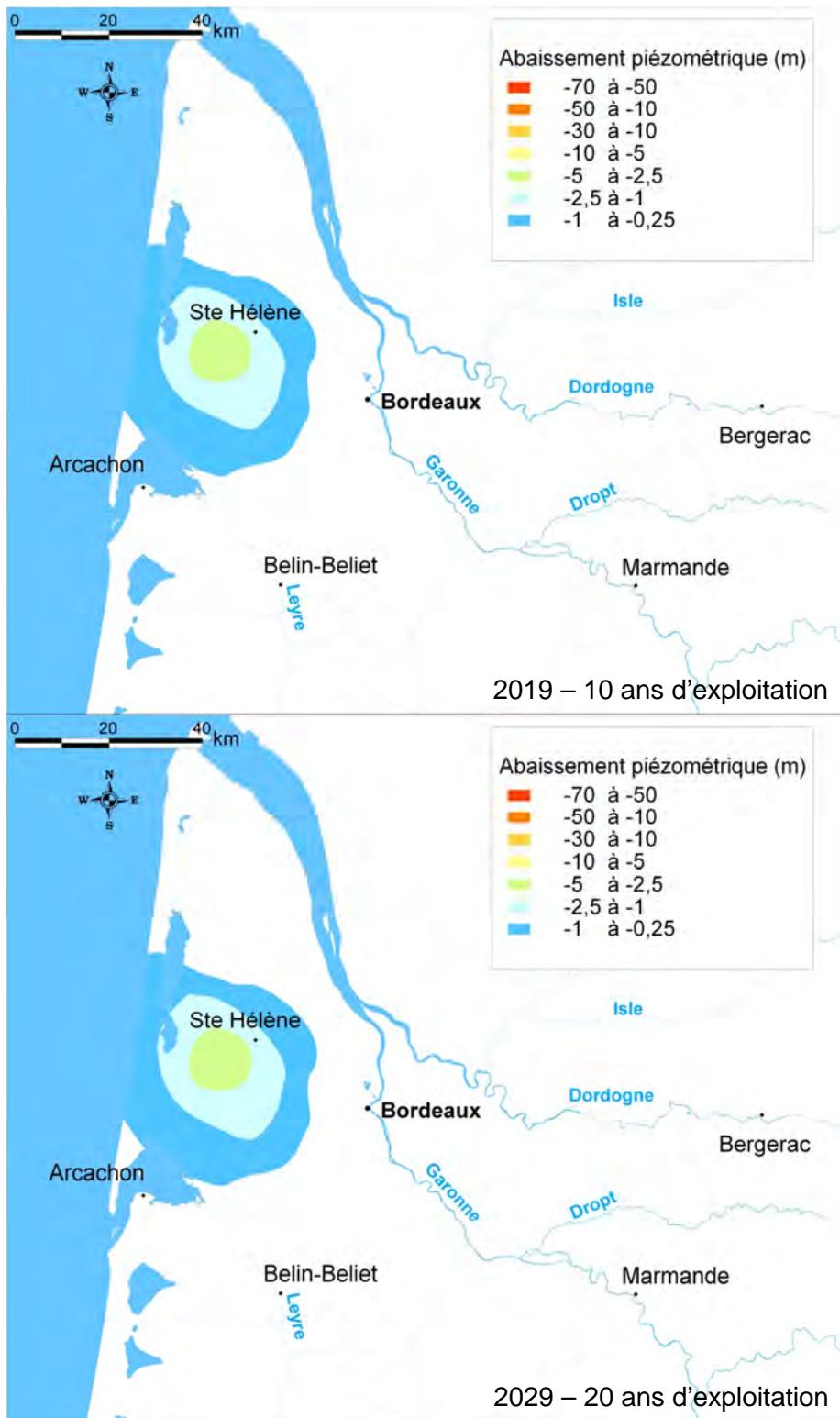


Impact piézométrique sur la nappe de l'Éocène supérieur



Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m³ par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA)

Impact piézométrique sur la nappe de l'Éocène moyen





Géosciences pour une Terre durable

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

Service Géologique Régional Aquitaine
Parc Technologique Europarc
24, Avenue Léonard de Vinci
33600 – Pessac - France
Tél. : 05 57 26 52 70