

Document public



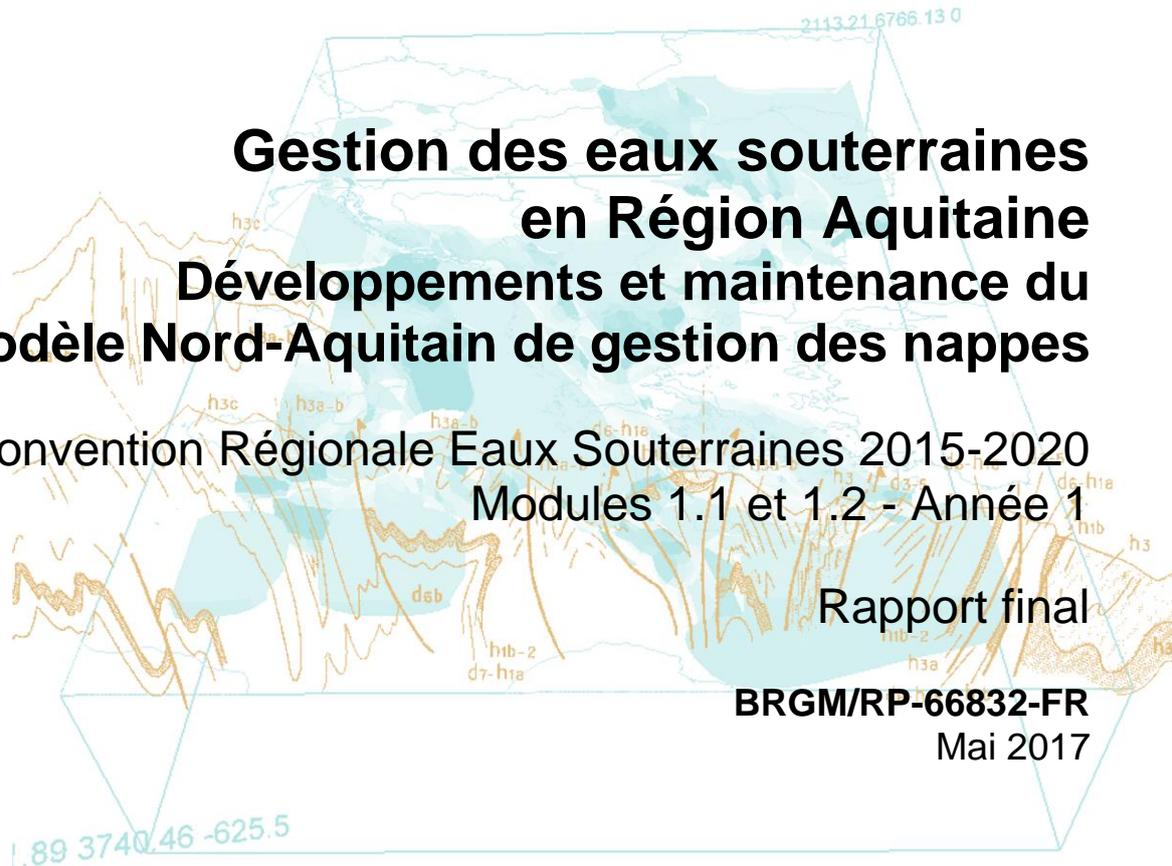
Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquain de gestion des nappes

Convention Régionale Eaux Souterraines 2015-2020
Modules 1.1 et 1.2 - Année 1

Rapport final

BRGM/RP-66832-FR

Mai 2017



Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine

Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes

Convention Régionale Eaux Souterraines 2015-2020
Modules 1.1 et 1.2 - Année 1

Rapport final

BRGM/RP-66832-FR
Mai 2017

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM AP15AQI023 et AP15AQI019

M. Saltel, F. Compère et O. Cabaret



Vérificateur :

Nom : J-J. SEGUIN

Fonction : Hydrogéologue

Date : 12/05/2017

Approbateur :

Nom : N. PEDRON

Fonction : Directeur du BRGM
Nouvelle-Aquitaine

Date : 18/05/2017

Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Mots-clés : Modélisation hydrodynamique, recharge, régime permanent, réseau hydrographique, Bassin Nord-Aquitain, Modèle Nord-Aquitain, Bajocien, Bathonien, Callovo-Oxfordien, Kimméridgien, Tithonien, Cénomanién, Turonien, Coniacien-Santonien, Campano-Maastrichtien, Éocène moy à inf, Éocène sup, Oligocène, Aquitanien, Serravallien, Plio-Quaternaire.

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

Saltel M., Compère F. et Cabaret O. (2017) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes - Module 1.1 -Année 1. BRGM/RP-66832-FR, 43 p., 19 ill., 4 tabl., 2 ann.

Synthèse

Cette étude (AP15AQI019 et AP15AQI023) a été réalisée dans le cadre de l'année 1 de la convention « Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine » signée entre l'État, la Région Nouvelle Aquitaine et le BRGM, portant sur la période 2015-2020 et conduite avec le concours financier de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne. Elle s'inscrit dans le prolongement des travaux de modélisation des aquifères de la région Nouvelle Aquitaine engagés par le BRGM Nouvelle Aquitaine. Ces travaux ont vocation à élaborer des outils d'aide à la décision destinés à apporter des éléments scientifiques et techniques permettant aux gestionnaires de définir les stratégies d'exploitation des ressources en eaux souterraines de la Région. Certaines nappes sont en effet très sollicitées et parfois en situation de déséquilibre avec des prélèvements excédant leur possibilité de renouvellement. Elles requièrent donc une gestion stricte afin de préserver leur pérennité. L'objectif global de ce module est de développer le Modèle Nord-Aquitain (MONA) pour obtenir une plus grande finesse de représentation des aquifères et être en mesure de mieux traiter ainsi les problèmes posés à une échelle plus locale, en particulier ceux soulevés par le SAGE "Nappes profondes de Gironde", mais aussi ceux qui émergent dans les départements voisins du Lot-et-Garonne et de la Dordogne.

Le travail réalisé au cours de cette année d'étude a consisté à actualiser les données d'entrée du modèle dans sa version 3.3b (prélèvements, flux d'infiltration) et les chroniques piézométriques jusqu'en 2014 pour bénéficier ainsi d'un outil le plus à jour possible. Cette actualisation a démontré que le modèle retranscrit bien la piézométrie mesurée avec les nouvelles données d'entrée sans qu'aucune modification des paramètres hydrodynamiques n'ait été nécessaire. Le calage du modèle peut donc être considéré comme robuste.

En parallèle à la maintenance de la version 3.3b du MONA, ce module a permis de poursuivre le développement de la version 4 du modèle, dont la nouvelle géométrie, représentant à une échelle plus fine la complexité des réservoirs du Nord du Bassin aquitain, avait été finalisée en année 4 de la convention régionale eaux souterraines 2008-2013. Le passage d'une maille de 2 km de côté à une maille de 500 m et la meilleure prise en compte des épontes a pour objectif d'améliorer la représentativité du modèle. Les toits et les murs des 30 couches du modèle géologique ont donc été implémentés dans le modèle hydrodynamique, via l'interface graphique WinMarthe du logiciel de modélisation MARTHE.

Les premières simulations ont été menées en régime permanent. Elles ont permis de valider les choix de construction du modèle (potentiels imposés, gamme de perméabilités, recharge,...) et d'aboutir ainsi à une version ne présentant plus de problème de convergence numérique. Cela a nécessité d'apporter des modifications à la marge sur la géométrie introduite dans le modèle hydrodynamique, en supprimant par exemple des mailles isolées ou en ajustant des épaisseurs de couches trop réduites entraînant des instabilités numériques. Par ailleurs, le processus de modélisation en régime transitoire a été initié et s'est accompagné d'un certain nombre d'évolution par rapport à la version 3.3b du modèle, à savoir :

- la modification de la prise en compte de la recharge dans le modèle avec l'utilisation des données climatiques (précipitation et d'évapotranspiration – pas de temps journalier) SAFRAN de Météo France via le module GARDENIA de Marthe ;
- le passage au pas de temps trimestriel pour les calculs de charge et au pas de temps journalier pour le calcul des bilans hydroclimatiques ;
- la ventilation des prélèvements en fonction des usages au pas de temps trimestriel ;
- l'introduction des coefficients d'emmagasinement dans les épontes.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Actualisation des données spatio-temporelles du MONA version 3.3	11
2.1. PRELEVEMENTS.....	11
2.1.1. Collecte des données de prélèvements	11
2.1.2. Traitement des données collectées.....	12
2.1.3. Bilan général de l'actualisation des données de prélèvements du modèle Nord-Aquitain sur la période 2011-2012	13
2.2. CALCUL DES PRECIPITATIONS EFFICACES ET ACTUALISATION DES DONNEES DE RECHARGE DES NAPPES DU MODELE NORD AQUITAIN	15
2.2.1. Les précipitations efficaces	15
2.2.2. La recharge.....	16
2.3. CHRONIQUES PIEZOMETRIQUES	18
2.3.1. Mise à jour des chroniques d'observations	18
2.3.2. Campagne piézométrique complémentaire.....	21
2.4. RESULTATS DU MODELE ACTUALISE	22
2.4.1. Les chroniques de calage	22
2.4.2. Les cartes piézométriques	24
3. Développement de la version 4 du MONA	27
3.1. SIMULATIONS EN REGIME PERMANENT.....	27
3.2. SIMULATIONS EN REGIME TRANSITOIRE	29
3.2.1. Paramètres climatiques	29
3.2.2. Recharge et ruissellement	30
3.2.3. Répartition temporelle des prélèvements	33
3.2.4. Conditions imposés.....	36
3.2.5. Paramètres hydrodynamiques	37
4. Conclusion.....	39
5. Bibliographie	41

Liste des figures

Illustration 1 - Carte de répartition des points de prélèvements dans l'extension du modèle (6240 ouvrages)	12
Illustration 2 - Évolution des prélèvements dans les couches du Modèle Nord Aquitain de 1972 à 2012 tous départements confondus.....	14
Illustration 3 - Évolution des précipitations efficaces annuelles à la station de Mérignac (33) pour une Réserve Utile (RU) de 150 mm.....	15
Illustration 4 - Localisation des zones d'affleurement du modèle dans sa version 3.3b pour chaque nappe et source des données de pluies utilisées pour le calcul de la recharge	17
Illustration 5 - Localisation des 430 points de mesures piézométriques	20
Illustration 6 - Localisation des 42 points de mesures complémentaires ayant fait l'objet d'une mesure piézométrique en 2014 et mise en évidence des nappes captées.....	21
Illustration 7 - Exemple de comparaison entre les niveaux observés et simulés - forage de Bouliac (Eocène moyen).....	22
Illustration 8 - Contrôle du calage par la réalisation de mesures complémentaires (Mes comp).....	23
Illustration 9 - Évolution de la piézométrie de la nappe de l'Éocène moyen sur le secteur de Camblanes et Meynac	24
Illustration 10 - Niveaux piézométriques simulés par le modèle Nord-Aquitain version MONA V3.3b-2014 dans l'aquifère « Eocène moyen » pour les années 2013 (haut) et 2014 (bas).....	25
Illustration 11 - Carte des variations du niveau de la nappe de l'Eocène moyen entre 2014 et 2013.	26
Illustration 12 - Exemple de visualisation 3D du modèle géologique	27
Illustration 13 - Description des différentes couches du MONA V4	28
Illustration 14 - Les 818 mailles du réseau SAFRAN utilisées dans la version 4 du MONA.....	30
Illustration 15 - Schéma de fonctionnement de la recharge du module GARDENIA intégré au logiciel MARTHE (Thiéry, 2003).	31
Illustration 16 - Répartition spatiale des 11 zones de sol définies à l'échelle du MONA	33
Illustration 17 - Profils type des prélèvements pour l'agriculture (SMEGREG, 2013).....	34
Illustration 18 - Évolutions mensuelles des prélèvements AEP sur Bordeaux Métropole (ex : CUB).....	35
Illustration 19 - Population de pointe en aout (source INSEE)	36

Liste des tableaux

Tableau 1 - Prélèvements dans les aquifères modélisés du MONA-V3.3b de 2012 à 2014 (m ³ /an)	13
Tableau 2 - Précipitations efficaces (mm) en 2012, 2013 et 2014 calculées pour les 5 stations météorologiques prises en compte dans le MONA.....	16
Tableau 3 - Nombre de chroniques piézométriques utilisées pour le calage.....	19
Tableau 4 - Paramétrisation du modèle GARDENIA par zone de sol.....	32

Liste des annexes

Annexe 1 Historique du Modèle Nord Aquitain	45
Annexe 2 Actualisation des chroniques de calage - période 1972 - 2014	51

1. Introduction

Les travaux présentés dans ce rapport ont été effectués dans le cadre des modules 1 et 2 de l'axe 1 de l'année 1 de la convention "Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine" (convention comprenant 10 modules répartis en 4 axes) signée entre l'État, la Région Nouvelle Aquitaine et le BRGM pour la période 2015-2020 avec le concours financier de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

Cette étude fait suite aux travaux de modélisation des aquifères de la région Nouvelle Aquitaine engagés par le BRGM Aquitaine depuis près de 20 ans pour disposer d'outils d'aide à la gestion et à la décision, et appuyer ainsi au mieux la définition des stratégies d'exploitation des ressources souterraines de la région. Certaines nappes sont en effet très sollicitées et mises en situation de déséquilibre.

Le MOdèle Nord-Aquitain (MONA), initialement construit pour apporter des réponses à la problématique de l'effondrement des niveaux de la nappe de l'Eocène en Gironde, est le fruit d'un long développement, qui a commencé il y a près de 25 ans [(Braneyre et al., 1993) ; (Braneyre et al., 1993) ; (Braneyre et al., 1994) ; (Amraoui et al., 1998) ; (Amraoui et al., 1999) ; (Seguin, 1999) ; (Seguin, 1999) ; (Seguin, 2002) ; (Pédrón et al., 2003) ; (Pédrón et al., 2005) ; (Pédrón et al., 2006) ; (Pédrón et al., 2006) ; (Pédrón et al., 2008) ; (Pédrón et al., 2008) ; (Gomez et al., 2010) ; (Saltel et al., 2011) ; (Saltel et al., 2012) ; (Saltel et al., 2014), (Saltel et al., 2015)]. 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. Initialement composé de 4 couches aquifères (Oligocène, Eocène et Campanien-Maastrichtien, la couche du Plio-Quaternaire étant quant à elle à potentiel imposée) et à mailles carrées de 5 km de côté, ce modèle (MONA V3.3b-2012) intègre aujourd'hui 30 couches (du Plio-Quaternaire au Jurassique moyen) à mailles carrées de 500 m de côté et couvre le sud de la Charente, la moitié sud-ouest de la Dordogne, le nord-ouest du Lot-et-Garonne, le nord des Landes et la totalité du département de la Gironde.

Le modèle a notamment été utilisé dans le cadre du Schéma Directeur de Gestion de la Ressource en Eau de la Gironde puis du SAGE « nappes profondes » de Gironde, pour chiffrer les économies d'eau à réaliser et proposer des réductions de prélèvements ou des ressources de substitution. Plus ponctuellement, il a permis de simuler l'impact sur la ressource de nouveaux champs captant dans le secteur de Sainte-Hélène en Gironde [(Pédrón et al., 2009) ; (Saltel, 2012) ; (Cabaret et al., 2012)] et a aussi servi à réaliser des simulations prospectives permettant d'évaluer les effets de différentes conditions de recharge et d'exploitation de la ressource sur les nappes du Secondaire de Dordogne et du Lot-et-Garonne (Platel et al., 2010). A une échelle plus large, le modèle a été utilisé pour apporter des éléments techniques permettant d'appuyer la définition de volumes prélevables dans toutes les nappes captives du nord du Bassin aquitain (Gomez et al., 2010) et pour réaliser des simulations prospectives dans le cadre de la révision du SAGE "Nappes profondes de Gironde" [(Saltel et al., 2012) ; (Cabaret et al., 2012)]. Le modèle a également été utilisé dans le cadre du projet national Explore 2070 visant à étudier les impacts du changement climatique sur les eaux souterraines (Saltel et al., 2012).

Le présent rapport traite de la maintenance et du développement du Modèle Nord-Aquitain pour obtenir une plus grande finesse de représentation des aquifères et mieux traiter ainsi les problèmes posés à une échelle plus locale.

La première partie du travail réalisé concerne l'actualisation de la version actuelle du MONA (Version 3.3b) : mise à jour des données d'entrée (prélèvements, flux d'infiltration) et des chroniques piézométriques sur les années 2013 et 2014 afin de bénéficier d'un outil le plus à jour possible.

La deuxième partie est consacrée au développement de la nouvelle version du modèle et concerne la finalisation des simulations en régime permanent, ainsi que la préparation des données en vue des simulations en régime transitoire.

2. Actualisation des données spatio-temporelles du MONA version 3.3

L'actualisation de la version 3 du MONA se fait au travers de la mise à jour de données spatio-temporelles : les prélèvements (chapitre 2.1), la pluie efficace et la recharge (chapitre 2.2) et les chroniques piézométriques (chapitre 2.3). Une simulation est ensuite conduite avec le modèle actualisé afin de s'assurer de son bon calage (chapitre 2.4).

Les phases d'actualisation des données réalisées successivement en 1999, 2001, 2005, 2010, 2011 et 2012 ont servi de périodes de validation du modèle et ont permis de contrôler sa fiabilité. La version actuelle du Modèle Nord-Aquitain (MONA V3.3b-2012) simule les écoulements au sein de quinze entités hydrogéologiques sur la période 1972-2012. Le recueil des données d'entrée (prélèvements, flux d'infiltration) et des chroniques piézométriques sur les années 2013 et 2014 permet de bénéficier d'un outil le plus à jour possible. Le modèle mis à jour correspond à la version MONA V3.3b-2014.

2.1. PRELEVEMENTS

Afin de restituer au mieux les variations piézométriques de chacune des nappes modélisées sur l'ensemble de la période considérée (1972-2014), il est nécessaire d'acquérir une connaissance la plus exhaustive possible des prélèvements dans les nappes. Un important travail de collecte des données de prélèvements est donc nécessaire.

2.1.1. Collecte des données de prélèvements

Le BRGM dispose d'une base de données de prélèvements référencant l'ensemble des volumes prélevés chaque année dans les différents ouvrages situés dans la zone d'extension du MONA. Cette base est constituée des données recueillies annuellement dans le cadre du programme de « Gestion des nappes d'eaux souterraines du département de la Gironde » (GN33). La collecte des données est réalisée auprès des exploitants et chaque prélèvement est rattaché à un ouvrage parfaitement localisé. En complément, la Chambre d'Agriculture de la Gironde fournit les estimations des prélèvements agricoles basées sur des sollicitations auprès des agriculteurs et sur les conditions climatiques de l'année considérée.

Dans les autres départements, le BRGM ne procède pas au recueil annuel des volumes prélevés sur les captages d'eaux souterraines. Les données sont recueillies principalement auprès de l'Agence de l'Eau Adour Garonne. Ponctuellement, des études spécifiques peuvent alimenter la base des données de prélèvements.

Celle-ci comprend actuellement 6 240 captages inclus dans l'emprise du MONA et sollicitant l'ensemble des couches aquifères. Pour chaque forage, des volumes annuels sont renseignés sur la période 1972-2014. Les points de prélèvements (Illustration 1) sont particulièrement concentrés au niveau de l'agglomération de Bordeaux et de ses environs, au sud de la Charente-Maritime et à l'est des Landes. En revanche, aucun point de prélèvements dans le Lot n'est actuellement pris en compte.

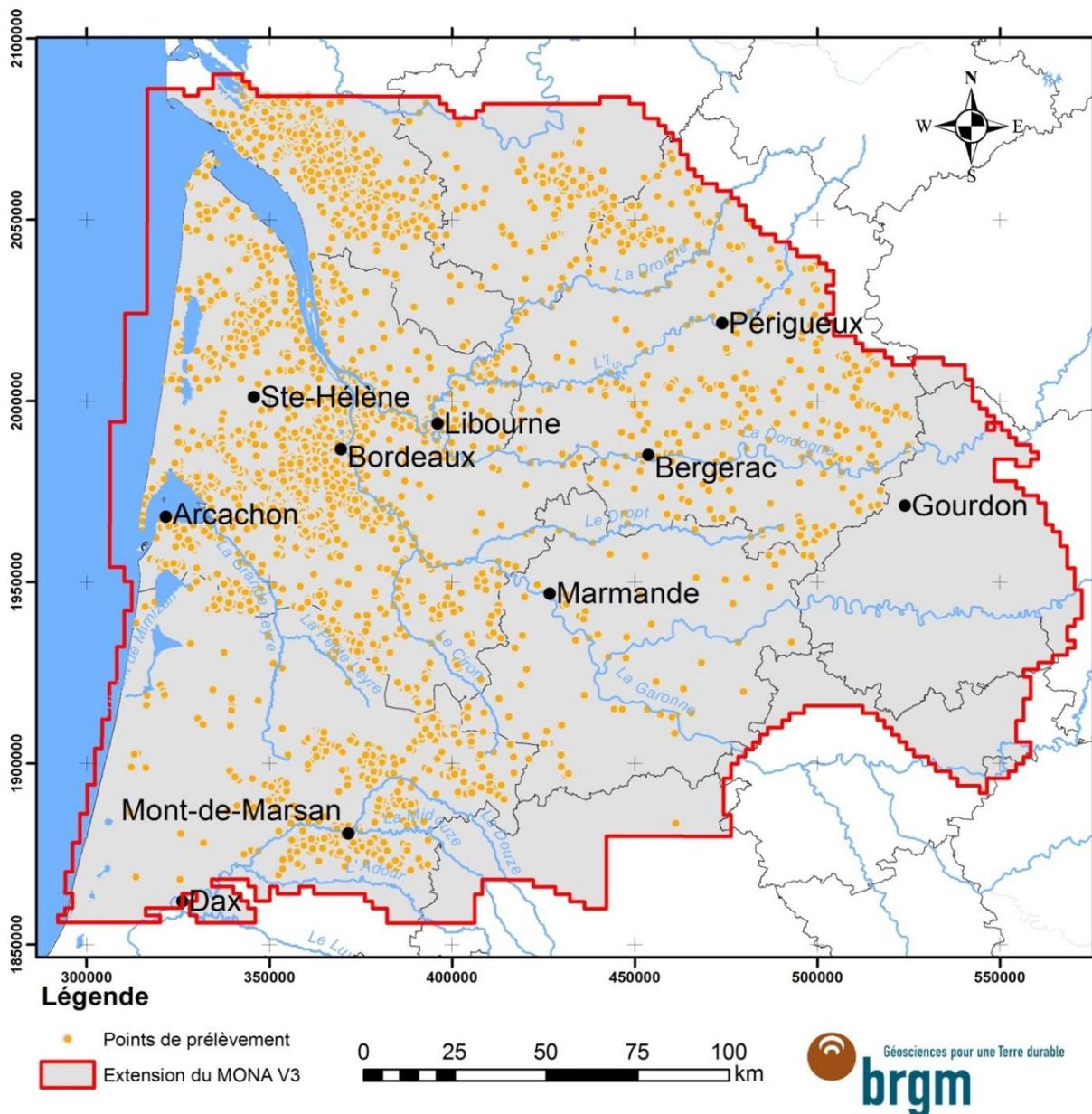


Illustration 1 - Carte de répartition des points de prélèvements dans l'extension du modèle (6240 ouvrages)

2.1.2. Traitement des données collectées

Les chroniques brutes de prélèvements recensés proviennent d'organismes différents ayant chacun leurs objectifs propres (connaissance pour le BRGM et les Chambres d'Agriculture, redevance pour l'AEAG, besoins de gestion et redevances pour les entreprises privées et les syndicats/régies), d'où des architectures de bases de données très hétérogènes. Chaque organisme applique généralement son propre système de codification pour identifier les ouvrages malgré l'existence de l'indice national issu de la Banque du Sous-Sol (BSS). De plus, suivant les bases de données, la qualité de la géolocalisation des points peut être très variable et la valeur des volumes prélevés aux points d'eau également. De ce fait, un travail important est mené depuis deux ans pour établir le lien entre les codes BSS et les codes adoptés par les différents organismes, et notamment ceux de l'AEAG qui disposent des données de volumes les plus nombreuses à l'échelle du territoire. Depuis 3 ans, la création d'une base de données

unique des prélèvements au sein du BRGM Nouvelle Aquitaine permet une gestion cohérente et homogène de celle-ci (validation géologique, historique des modifications, typologie de la source d'information,...) Cette démarche bénéficie à l'ensemble des projets pour lesquels son utilisation est nécessaire. Elle répond plus particulièrement à un besoin de connaissance fine des volumes prélevés, que ce soit ou non dans le cadre de projets de modélisation. Pour mener à bien le suivi sur le long terme des prélèvements, l'ensemble des données collectées par le BRGM auprès de l'AEAG, des exploitants, dans les rapports de bureau d'étude ou dans des thèses est compilé au sein de la Base « Prélèvements » propre au BRGM Aquitaine. Cette base identifie pour chaque volume prélevé à un ouvrage, son « type » (volume réel, estimé ou reporté), sa « source » (l'organisme ayant fourni la donnée) et un commentaire (facultatif) permettant d'apporter un complément d'information. Cette procédure permet d'assurer un suivi sur le long terme de l'évolution des volumes prélevés en un point, de faciliter sa mise à jour d'année en année en identifiant la source d'information ou encore d'enregistrer les écarts de volumes d'une source d'information à une autre (les volumes déclarés à l'Agence de l'Eau peuvent être différents pour un même point de ceux figurants dans des rapports ou même de ceux fournis directement par l'exploitant).

Le travail de rapprochement des bases est réalisé en premier lieu avec les volumes AEP et industriels disponibles via l'Agence de l'Eau. L'actualisation réalisée en 2016 permet à ce jour de disposer de 1 293 ouvrages avec une correspondance entre code BSS et code AEAG, contre 1 053 lors de la dernière actualisation.

2.1.3. Bilan général de l'actualisation des données de prélèvements du modèle Nord-Aquitain sur la période 2011-2012

Les prélèvements totaux, par an et par nappe, injectés dans le modèle Nord-Aquitain pour les années 2012 à 2014 sont indiqués ci-après (Tableau 1).

Aquifères	2012	2013	2014
Helvétien	22 934 416	22 472 935	22 168 357
Aquitainien	34 252 884	34 219 953	33 310 018
Oligocène	62 169 138	64 076 321	63 115 584
Eocène supérieur	2 549 789	2 462 001	2 382 370
Eocène moyen	58 444 746	52 968 515	51 757 225
Eocène inférieur	10 115 751	9 408 329	9 571 300
Campanien	14 935 585	14 707 574	14 559 227
Coniacien-Santonien	19 617 857	19 456 887	18 120 089
Turonien	27 599 106	26 594 925	26 095 921
Cénomaniens	13 109 469	13 143 880	13 189 628
Tithonien	790 902	742 699	654 201
Kimméridgien	3 092 824	3 260 141	3 247 909
Bathonien-Calovo-Oxfordien	11 205 235	10 328 000	10 596 185
Bajocien	4 208 902	4 271 654	4 660 560
TOTAL	285 026 603	278 113 811	273 428 576

Tableau 1 - Prélèvements dans les aquifères modélisés du MONA-V3.3b de 2012 à 2014 (m³/an)

Lorsqu'un ouvrage capte plusieurs aquifères à la fois, le volume prélevé est soit réparti sur chaque couche en fonction des informations fournies par les diagraphies de flux, soit divisé en parts égales entre chaque aquifère faute de renseignement.

Le modèle comprend entre autres 4 285 ouvrages à usage agricole, 248 ouvrages industriels et 1 058 points d'eau destinés à l'AEP (alimentation en eau potable).

Les 6 240 points du modèle se répartissent ainsi : 85 forages en Lot-et-Garonne, 543 dans les Landes, 4 396 en Gironde, 399 en Dordogne, 687 en Charente-Maritime, 129 en Charente et 1 dans le Gers (Illustration 1).

Sur les 6 240 ouvrages considérés comme entrant dans les limites du MONA, 75 ouvrages, situés à l'extérieur du maillage mais très proches des limites du MONA, ont été légèrement déplacés afin d'être pris en compte. Cette opération est liée à la taille du maillage de la version 3 du modèle (2km x 2km) qui ne permet pas de retranscrire de façon stricte les limites d'extension des réservoirs. C'est la raison pour laquelle certains forages se trouvent en dehors du maillage du modèle.

La représentation graphique des prélèvements par année (Illustration 2) montre que les réservoirs de l'Oligocène et de l'Eocène moyen sont les plus sollicités. En effet, les volumes pompés sont largement supérieurs à ceux des autres nappes, avec près de 20% du volume total représenté pour chacun d'eux. L'Oligocène est devenu, depuis le début des années quatre-vingt-dix, l'aquifère le plus exploité parmi ceux modélisés. Par ailleurs, il est possible de constater qu'en dehors des fluctuations liées aux conditions climatiques (plus ou moins favorables), les prélèvements peuvent être considérés comme quasi stables depuis les années 2000. Pour certaines nappes, les prélèvements montrent même des tendances à la baisse (ex : nappe de l'Aquitainien, de l'Oligocène, du Turonien, ...). Cette tendance est liée à la baisse des consommations par habitant qui est observée de manière générale à l'échelle nationale mais également européenne. Cette baisse de la consommation vient compenser voire parfois contrebalancer l'augmentation de la demande liée à l'accroissement démographique.

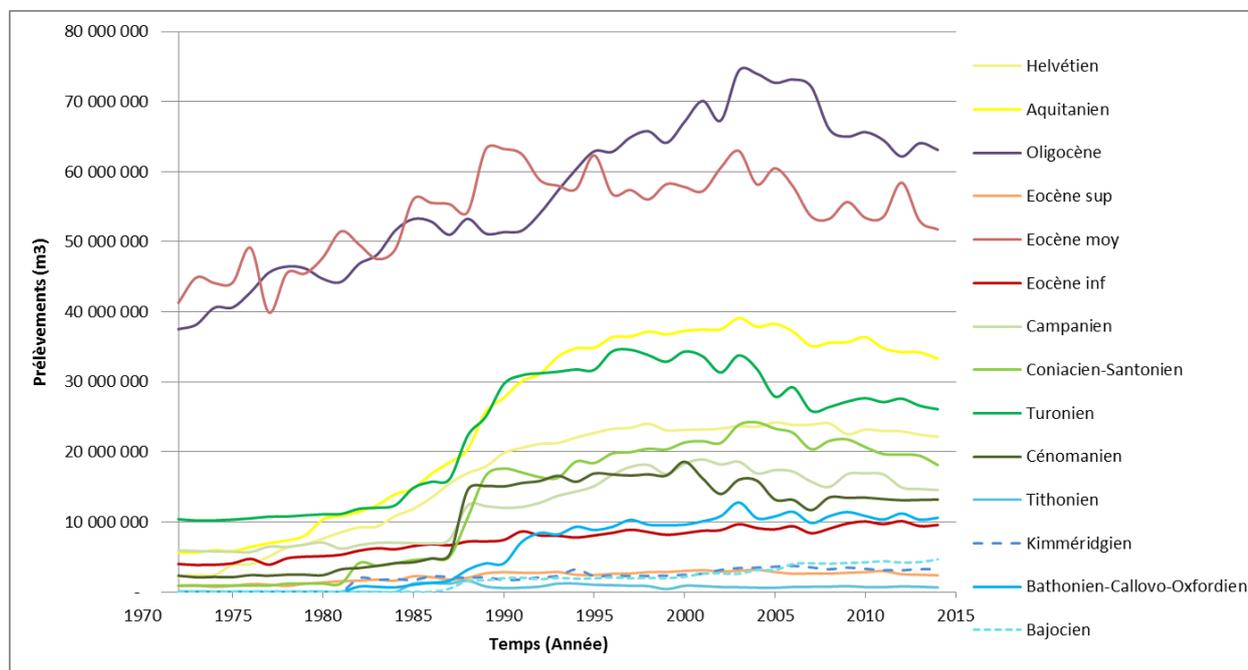


Illustration 2 - Évolution des prélèvements dans les couches du Modèle Nord Aquitain de 1972 à 2012 tous départements confondus.

Comme pour les versions précédentes du MONA, les prélèvements de l'aquifère du Plio-Quaternaire n'ont pas été pris en compte. En effet, la connaissance des prélèvements sur cet aquifère reste encore très parcellaire selon les années et n'est pas uniforme selon les départements.

2.2. CALCUL DES PRECIPITATIONS EFFICACES ET ACTUALISATION DES DONNEES DE RECHARGE DES NAPPES DU MODELE NORD AQUITAIN

2.2.1. Les précipitations efficaces

Les données de précipitations et d'évapotranspirations potentielles (ETP) pour les stations de Mérignac en Gironde, de Cognac (Château-Bernard) en Charente, de Bergerac en Dordogne, de Gourdon dans le Lot et de Mont-de-Marsan dans les Landes ont été acquises sur les sites internet de Météo-France (Climathèque et Publithèque). Les données de ces stations sont utilisées dans le modèle pour le calcul de la recharge des nappes par zones météorologiques (ZMTO).

Les précipitations efficaces ont été calculées 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'utilisation de deux valeurs distinctes est liée à la règle adoptée pour le calcul de la recharge (cf. 2.2.2).

L'évolution des précipitations efficaces annuelles calculées depuis 1972 (pour une RU de 150 mm) avec les données pluviométriques de la station de mesure de Mérignac en Gironde (Illustration 3) montre que les années 2013 et 2014 correspondent à des années proches de la moyenne. Il en va de même pour les autres chroniques de pluie efficaces calculées, qui présentent globalement des valeurs supérieures à la moyenne (Tableau 2). La station de Mont-de-Marsan voit ses précipitations efficaces fortement varier d'une année sur l'autre avec des écarts de près de 150 mm.

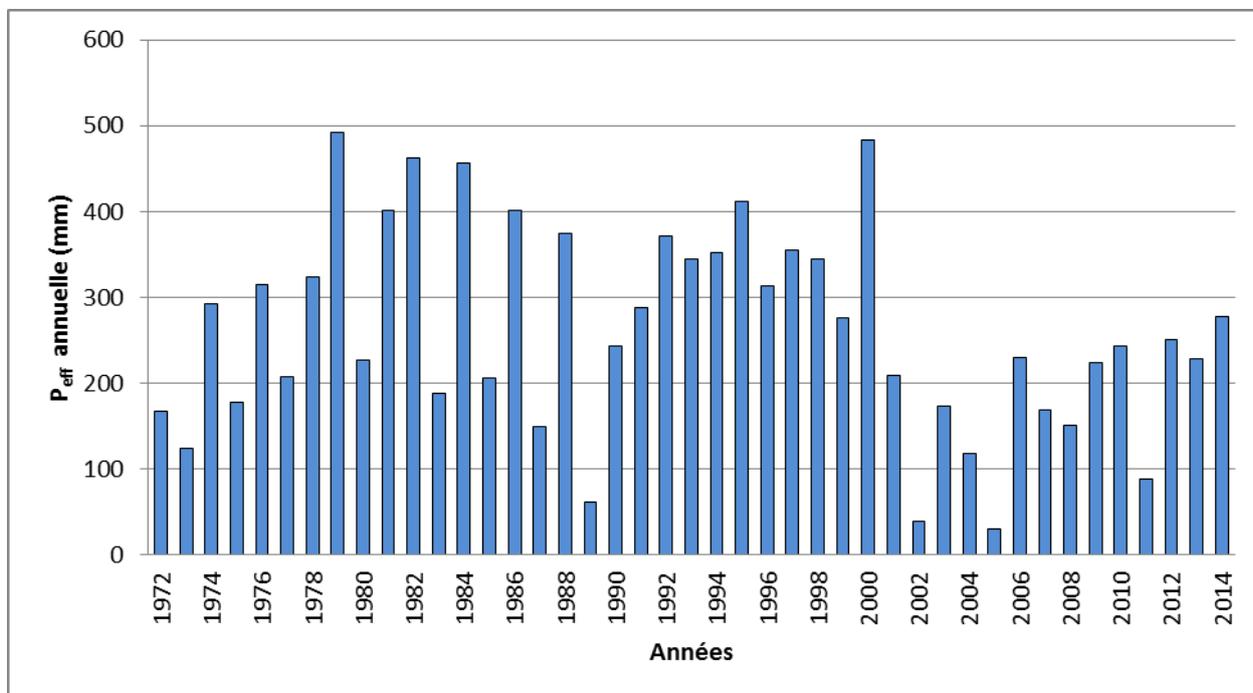


Illustration 3 - Évolution des précipitations efficaces annuelles à la station de Mérignac (33) pour une Réserve Utile (RU) de 150 mm

Années	Précipitations efficaces Peff (mm) selon les stations					
	Mérignac RU 150 (33)	Mérignac RU 100 (33)	Cognac (16)	Gourdon (46)	Bergerac (24)	Mont-de- Marsan (40)
2012	251	301	144	91	31	268
2013	228	278	197	267	163	421
2014	277	326	165	173	191	275
Moyenne 1972- 2014	261	310	161	167	154	297

Tableau 2 - Précipitations efficaces (mm) en 2012, 2013 et 2014 calculées pour les 5 stations météorologiques prises en compte dans le MONA

2.2.2. La recharge

Le mode de calcul de la recharge pour la période d'actualisation est le même que celui utilisé lors des phases de calage des différentes versions du modèle qui se sont succédées depuis 1998. Le calcul est détaillé dans le rapport BRGM/RP-53659-FR (Pédron et al., 2005). Dans cette phase, la recharge année par année a été 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 du régime permanent, les valeurs année par année pour chaque zone d'infiltration définie lors de la phase de calage sont obtenues par :

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

$R_{z,k}$ 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 ;

P_{eff} est la pluie efficace moyenne calculée sur la période 1971-2011.

La localisation des zones de recharge de chaque couche du modèle ainsi que les stations météorologiques qui s'y rattachent sont présentées en illustration 4. Les 5 stations météorologiques considérées (Mérignac, Bergerac, Gourdon, Cognac et Mont de-Marsan) sont utilisées pour le calcul de la recharge dans les mailles d'affleurement. Elles ont été choisies pour leur représentativité. Elles sont bien réparties sur le territoire modélisé et présentent des chroniques de pluies et d'ETP sur plus de 40 ans qui peuvent donc être utilisées pour le calcul de la recharge du modèle sur chaque pas de temps depuis l'état initial (1972).

Le Plio-Quaternaire constitue l'aquifère le plus superficiel du modèle Nord-Aquitain et affleure sur toute la partie ouest de la zone d'étude. L'attribution des flux d'infiltration s'y fait donc par grandes plages. Par contre, les zones d'affleurement des aquifères plus profonds sont peu nombreuses et souvent localisées. Il peut y avoir des écarts importants entre la superficie réelle des affleurements et la superficie des mailles correspondantes (4 km² par maille), ce qui impose de distribuer le flux d'infiltration dans les mailles en fonction de la superficie réelle des affleurements. Les superficies des affleurements dans les mailles de la grille du modèle de 2 km de côté ont été entièrement recalculées et regroupées en classes (0 à 10%, 10 à 20%...).

Chaque maille de recharge directe a ensuite été rattachée (en utilisant les polygones de Thiessen) à une station météorologique en fonction de sa localisation géographique (Illustration 4) de façon à moduler la recharge calculée en fonction de la variabilité spatiale des pluies efficaces.

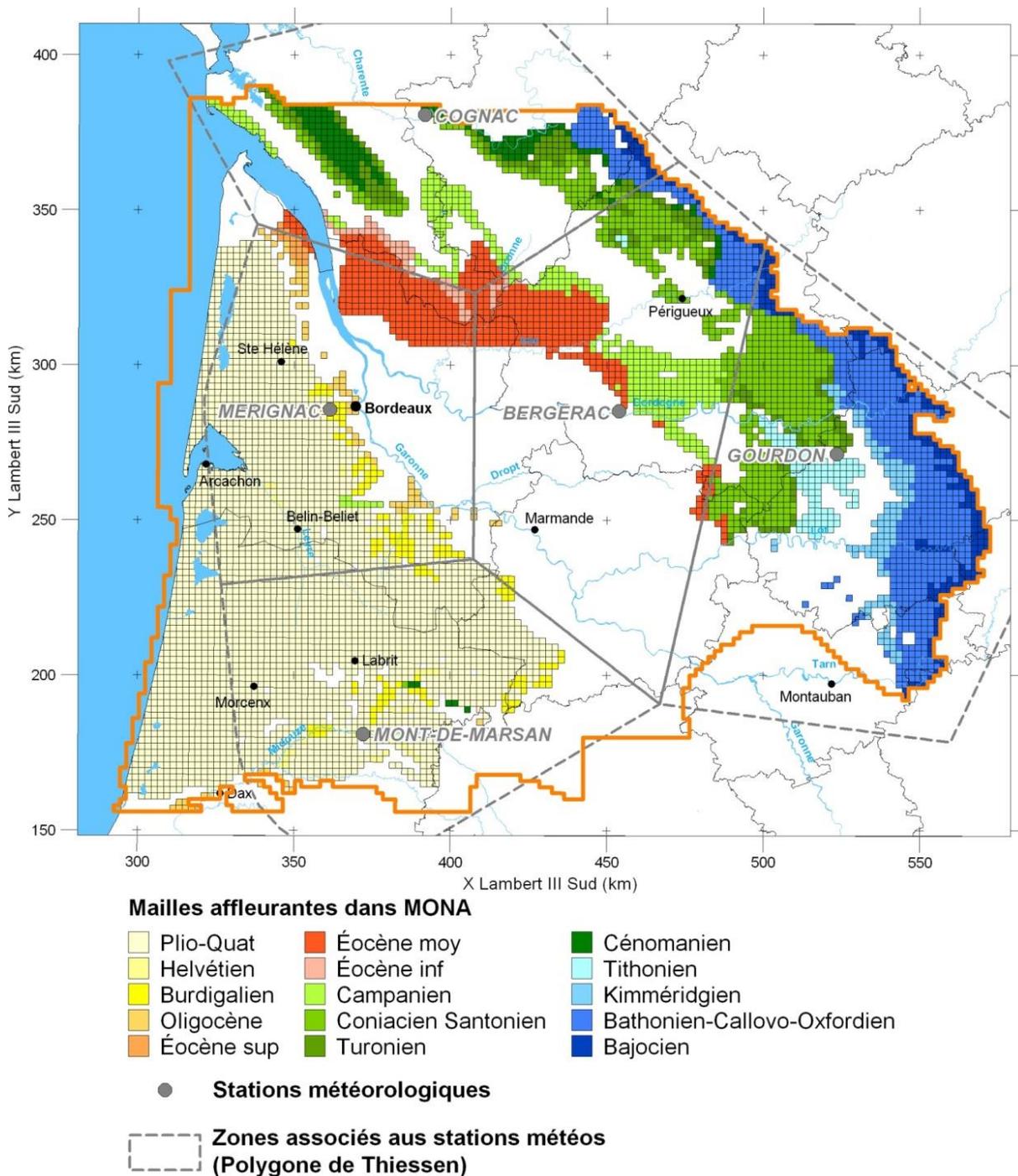


Illustration 4 - Localisation des zones d'affleurement du modèle dans sa version 3.3b pour chaque nappe et source des données de pluies utilisées pour le calcul de la recharge

Chaque maille d'affleurement du modèle est affectée d'un numéro de zone de recharge (ou météorologique [ZMTO] dans le logiciel MARTHE) qui dépend de la couche considérée, de la station météorologique à laquelle elle est rattachée et de la classe correspondant au rapport de la superficie réelle de l'affleurement sur la superficie totale de la maille (4 km²).

La nomenclature de codification des mailles est décrite ci-dessous :

14 1 9

- 14 : numéro de la couche du modèle, en l'occurrence le Bathonien-Callovo-Oxfordien ;
- 1 : numéro de la station météorologique ;
- 9 : superficie réelle de l'affleurement dans la maille, comprise ici entre 90 et 100% (Classe 9).

Cette numérotation permet d'ajouter des couches ou de prendre en compte des stations météorologiques supplémentaires sans modifier l'existant.

Les données de pluies efficaces calculées à la station de Mérignac, pour une RU de 150 mm, sont utilisées pour l'Eocène (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-quadernaire, miocènes (Aquitaniens-Burdigaliens 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'Eocène inférieur et de l'Eocène 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.

2.3. CHRONIQUES PIEZOMETRIQUES

2.3.1. Mise à jour des chroniques d'observations

Le calage et la validation du modèle s'appuient sur des chroniques de référence que le modèle doit restituer au mieux en respectant à la fois les niveaux observés, la pente, la phase et l'amplitude des variations.

Pour qu'une chronique piézométrique soit exploitable, elle doit être suffisamment étoffée et longue. L'aquifère capté doit être connu avec certitude et être unique (sauf lorsque deux réservoirs sont sollicités mais pas individualisés par une épente). Le pas d'acquisition des mesures est variable d'un point à un autre (journalier, hebdomadaire, ..., annuel). L'attribution du réservoir capté pour chacun des points d'observation a fait l'objet d'une validation par le géologue régional.

C'est au total 434 chroniques qui sont utilisées pour le calage et la validation du modèle (Tableau 3).

Du fait que certaines nappes captent plusieurs aquifères, c'est au total 450 points de contrôle qui permettent de valider le calage du modèle.

<i>Aquifère</i>	<i>Couche du modèle</i>	<i>Nombre de chroniques utilisées pour le calage</i>
<i>Plio-Quaternaire</i>	1	24
<i>Langhien-Serravallien</i>	2	13
<i>Aquitaniens</i>	3	45
<i>Oligocène</i>	4	63
<i>Éocène sup</i>	5	10
<i>Éocène moy</i>	6	77
<i>Éocène inf</i>	7	23
<i>Campanien</i>	8	57
<i>Coniacien-Santonien</i>	9	22
<i>Turonien</i>	10	37
<i>Cénomaniens</i>	11	21
<i>Tithonien</i>	12	7
<i>Kimmeridgien</i>	13	7
<i>Bathonien-Calovo-Oxfordien</i>	14	32
<i>Bajociens</i>	15	12
	TOTAL	450

Tableau 3 - Nombre de chroniques piézométriques utilisées pour le calage

L'ensemble des chroniques piézométriques utilisées pour le calage du modèle Nord-Aquitain a été actualisé jusqu'en 2014. Ces données ont été principalement extraites de la Banque de Données sur les Eaux Souterraines (BDES) gérée par le BRGM et la banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines (ADES). La localisation des points de mesures est présentée en illustration 5.

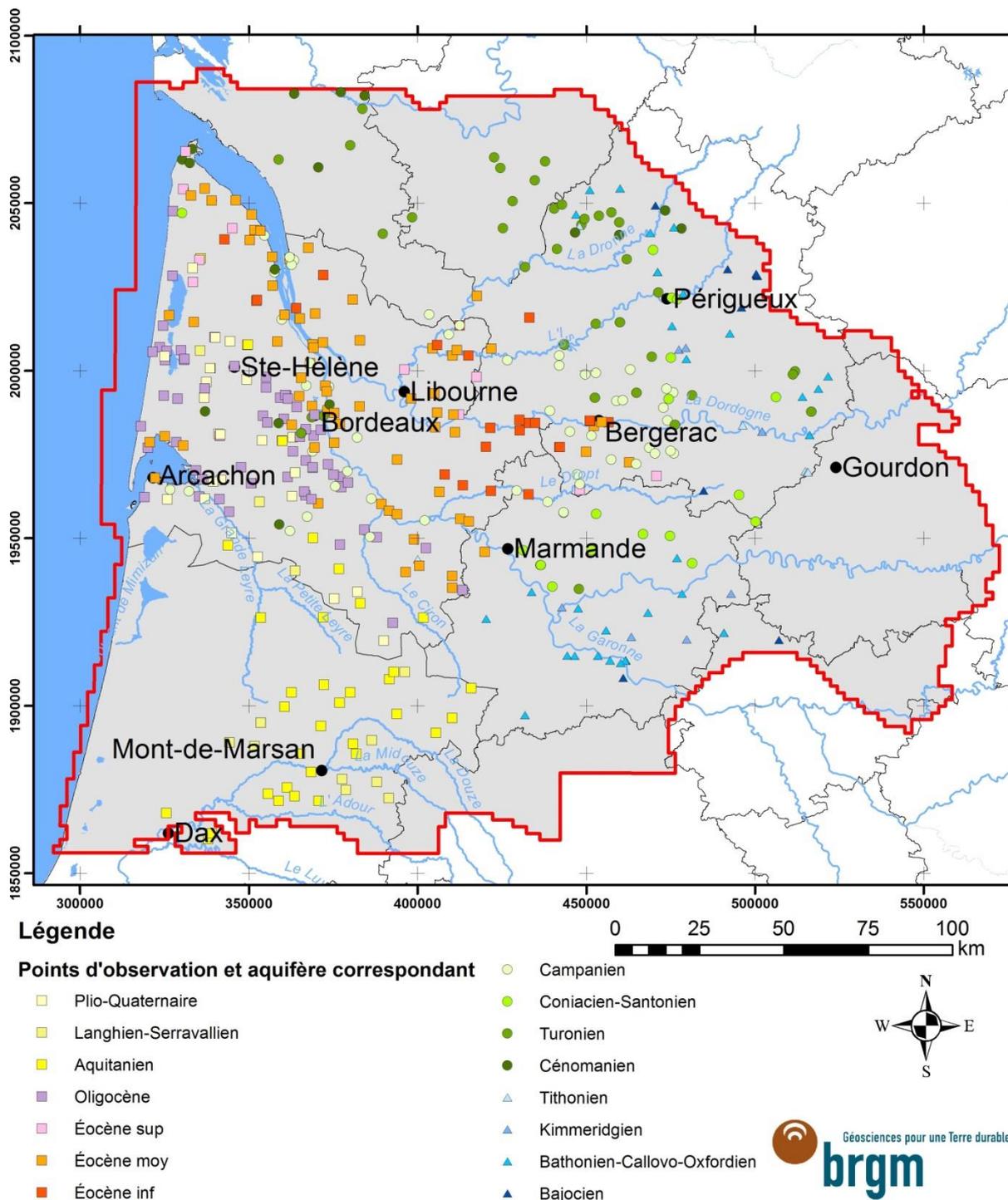


Illustration 5 - Localisation des 430 points de mesures piézométriques

2.3.2. Campagne piézométrique complémentaire

Sur les 434 points d'observation du modèle, certains ne sont plus suivis depuis de nombreuses années. Pour s'assurer de la fiabilité des simulations réalisées, des campagnes de mesures ponctuelles sont réalisées tous les deux ans. L'objectif est de vérifier que les tendances d'évolutions de la piézométrie calculée par le modèle sont bien en concordance avec les observations. Ces mesures permettent donc de valider et/ou d'améliorer le calage du modèle. La première campagne de ce type a été réalisée en 2012. En 2014 sur les 54 points visités, 42 mesures ont pu être réalisées (Illustration 6).

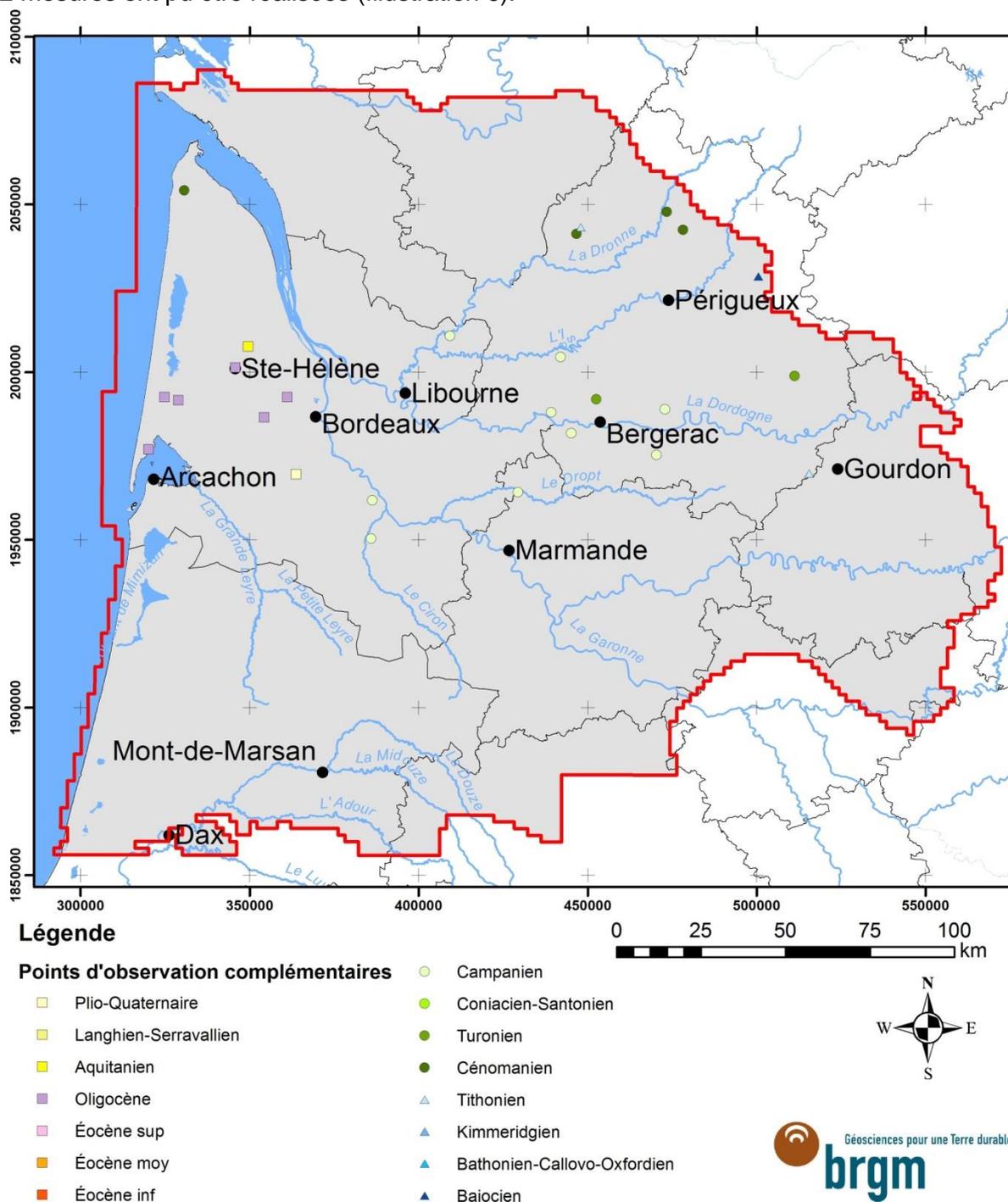


Illustration 6 - Localisation des 42 points de mesures complémentaires ayant fait l'objet d'une mesure piézométrique en 2014 et mise en évidence des nappes captées

2.4. RESULTATS DU MODELE ACTUALISE

2.4.1. Les chroniques de calage

Les graphiques de comparaison entre les courbes d'évolution tracées à partir des mesures et des charges calculées par le modèle pour les différentes nappes sont présentés en annexe 2. L'exemple de restitution ci-dessous (Illustration 7) montre en points bleu les mesures brutes observées et en rouge les niveaux calculés par le modèle version MONA 3.3b 2014 au droit du piézomètre considéré.

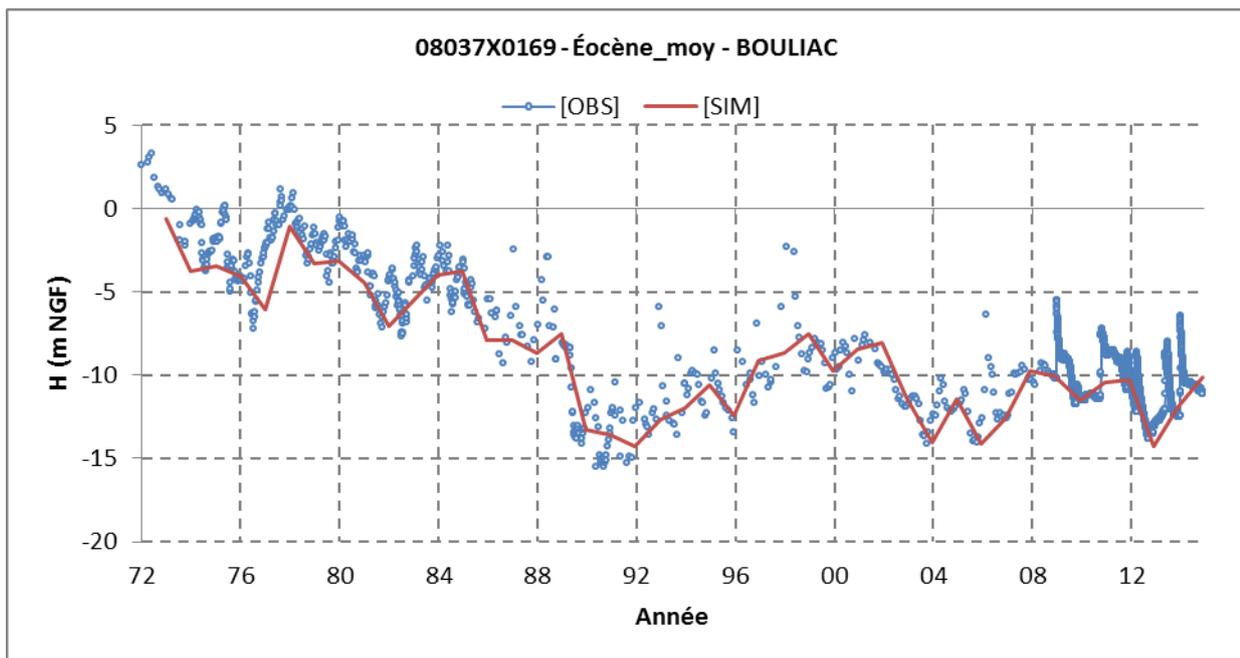


Illustration 7 - Exemple de comparaison entre les niveaux observés et simulés - forage de Bouliac (Éocène moyen)

L'ajustement apparaît visuellement satisfaisant sur la grande majorité des chroniques de calage pour les nappes considérées (Annexe 2). La plupart des points sont bien reproduits en niveaux, en phase et en pente. Ces résultats confirment la fiabilité du modèle. En effet, sur la période 2013-2014, le modèle retranscrit très convenablement les variations de charge avec les nouvelles données d'entrée sans qu'aucune modification des paramètres hydrodynamiques n'ait été nécessaire.

L'actualisation du modèle jusqu'en 2014 a été l'occasion de confronter les simulations aux mesures complémentaires réalisées sur des forages dont le suivi avait été arrêté (cf. chapitre 2.3.2). L'objectif est de vérifier qu'il n'y a pas au cours du temps de dérive entre les observations et les valeurs simulées et que le calage reste donc satisfaisant. Les exemples présentés en

illustration 8 permettent d'attester de la robustesse du modèle, les simulations étant en concordance avec les mesures récentes.

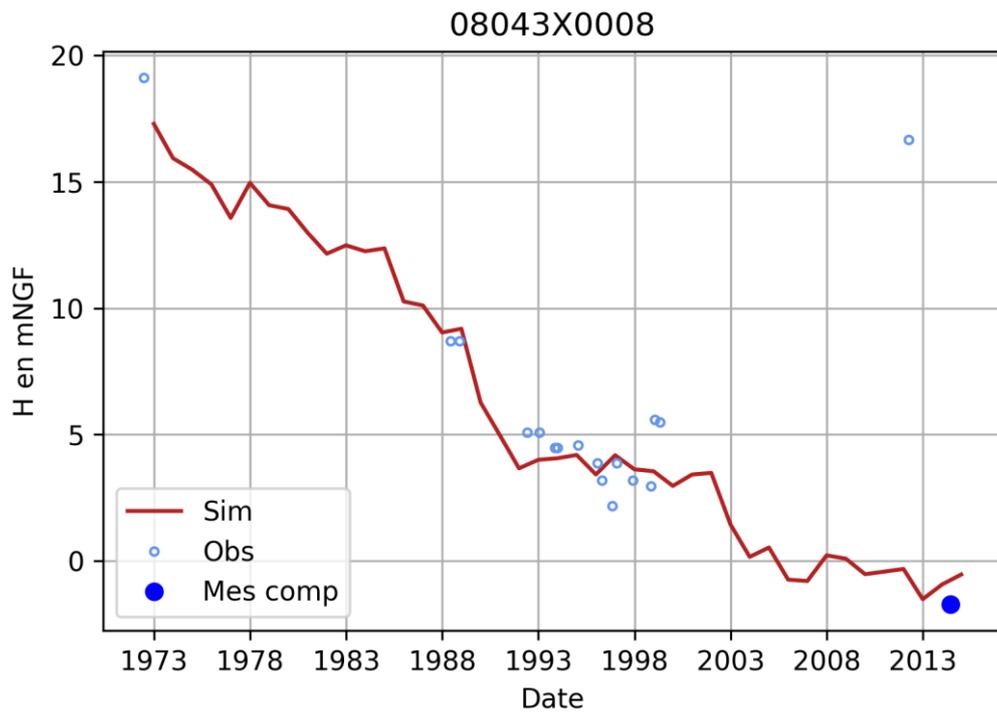
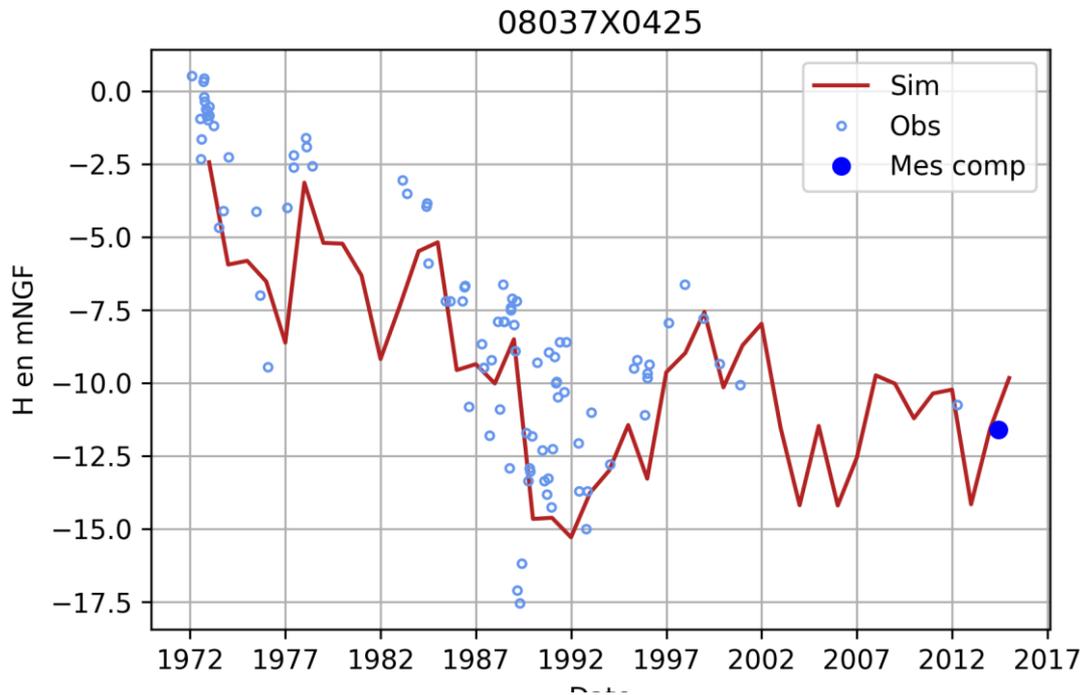


Illustration 8 - Contrôle du calage par la réalisation de mesures complémentaires (Mes comp)

2.4.2. Les cartes piézométriques

Le modèle actualisé dans sa version MONA V3.3b-2014 permet de restituer les cartes piézométriques simulées des nappes pour chaque année. Les cartes piézométriques de l'aquifère « Eocène moyen » pour les années 2013 et 2014 peuvent ainsi être comparées (Illustration 10).

Ce réservoir présente un enjeu important dans le nord du Bassin aquitain, notamment en Gironde où il est sollicité pour l'alimentation en eau potable de l'agglomération bordelaise.

La comparaison des deux cartes montre une hausse de la piézométrie au droit du cône de dépression situé sous l'agglomération de Bordeaux avec une charge augmentant localement de + 5 m de 2013 à 2014. Ceci est confirmé par des données observées : situé au droit de dépression, à Camblanes et Meynac, sur l'ouvrage 08273X0288 un relevé piézométrique de - 20,53 m NGF avait été effectué en septembre 2012. Depuis lors, la tendance générale est à la hausse avec un niveau atteignant - 16 m NGF fin 2014 (Illustration 9).

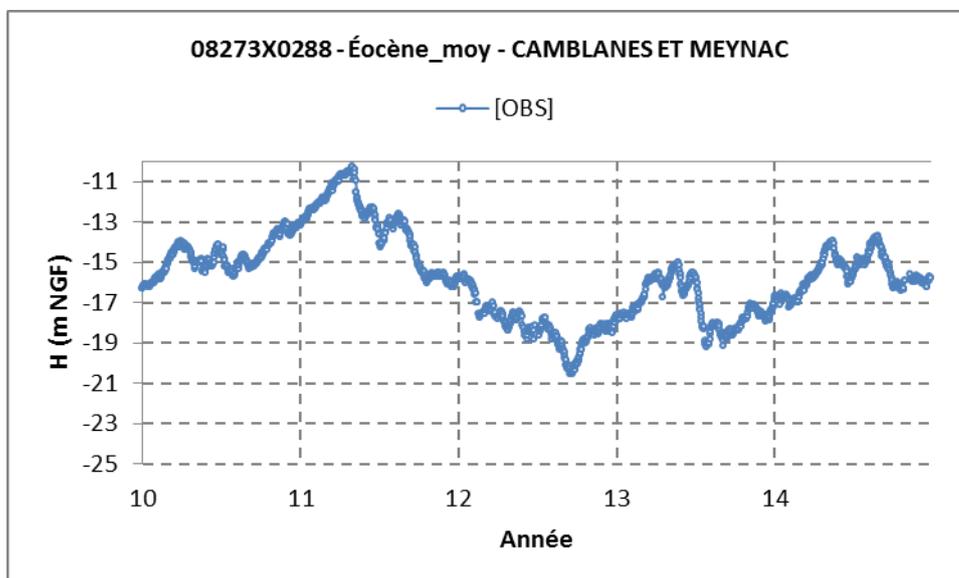


Illustration 9 - Évolution de la piézométrie de la nappe de l'Éocène moyen sur le secteur de Camblanes et Meynac

Par ailleurs, la diminution des prélèvements observés sur la nappe de l'Éocène moyen s'est traduite par une hausse de la piézométrie, ce qui se traduit notamment par une diminution de l'extension de l'isopièze -5 m NGF par rapport à 2012. En effet, sur la carte de 2012, l'isopièze - 5 m NGF atteignait au sud-ouest La Réole, alors qu'en 2014, elle se situe entre Barsac et Langon. Les niveaux les plus bas, pour les années 2013 et 2014, sont situés au niveau de Martillac et Villenave d'Ornon alors que dans les années 70, ils étaient mesurés dans le secteur de Blanquefort.

La carte de différence entre la piézométrie de l'année 2014 et celle de 2013 (Illustration 11) montre une hausse du niveau piézométrique centrée sur l'agglomération bordelaise mais allongée selon l'axe de la Garonne. La hausse la plus forte (près de 5 m) est observée à proximité de Gradignan et correspond naturellement à une diminution des prélèvements dans ce secteur. Parallèlement, de légères baisses du niveau sont observées au sud du Bassin d'Arcachon, avec une diminution de l'ordre de 5 m.

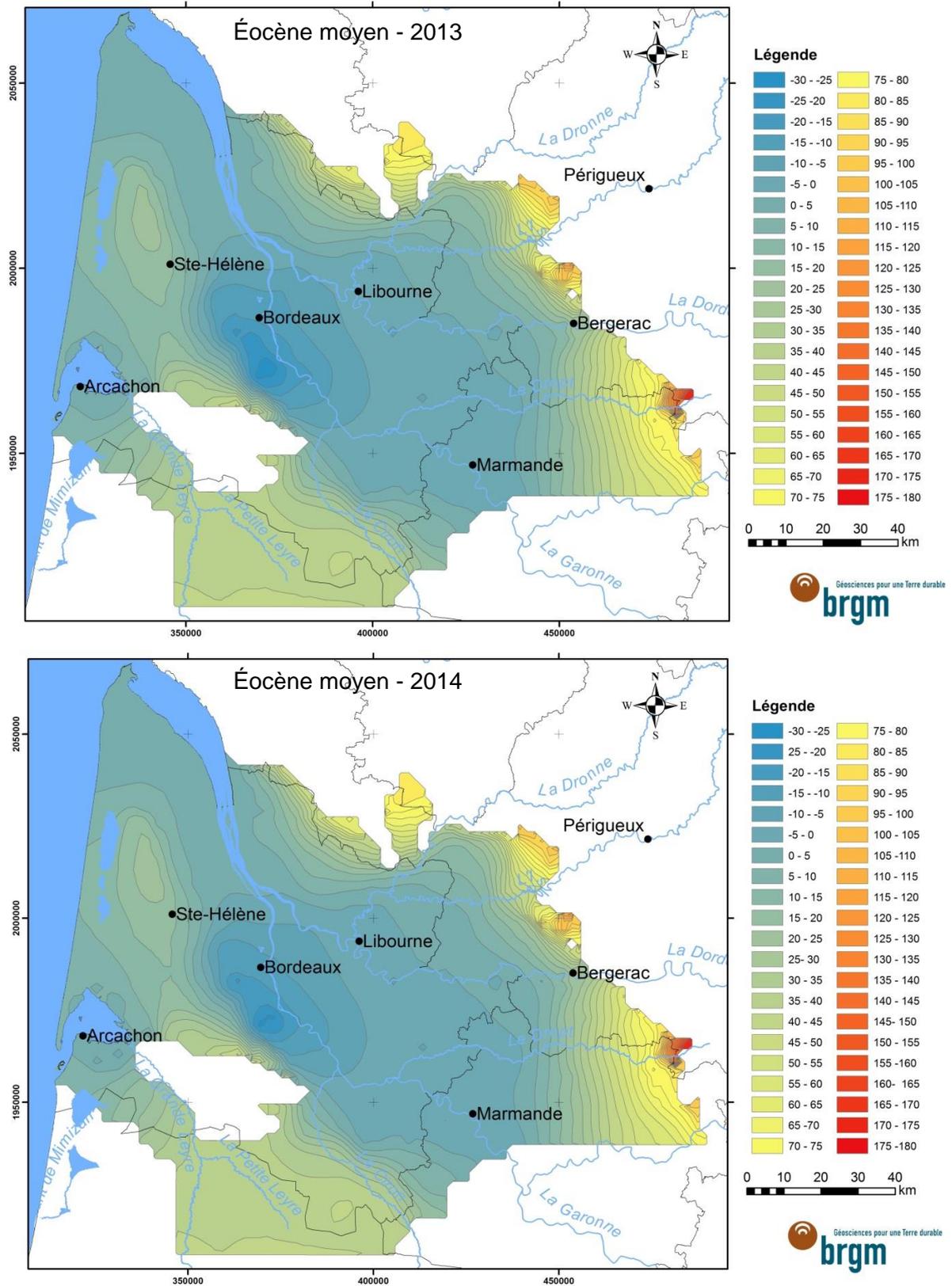


Illustration 10 - Niveaux piézométriques simulés par le modèle Nord-Aquitain version MONA V3.3b-2014 dans l'aquifère « Eocène moyen » pour les années 2013 (haut) et 2014 (bas)

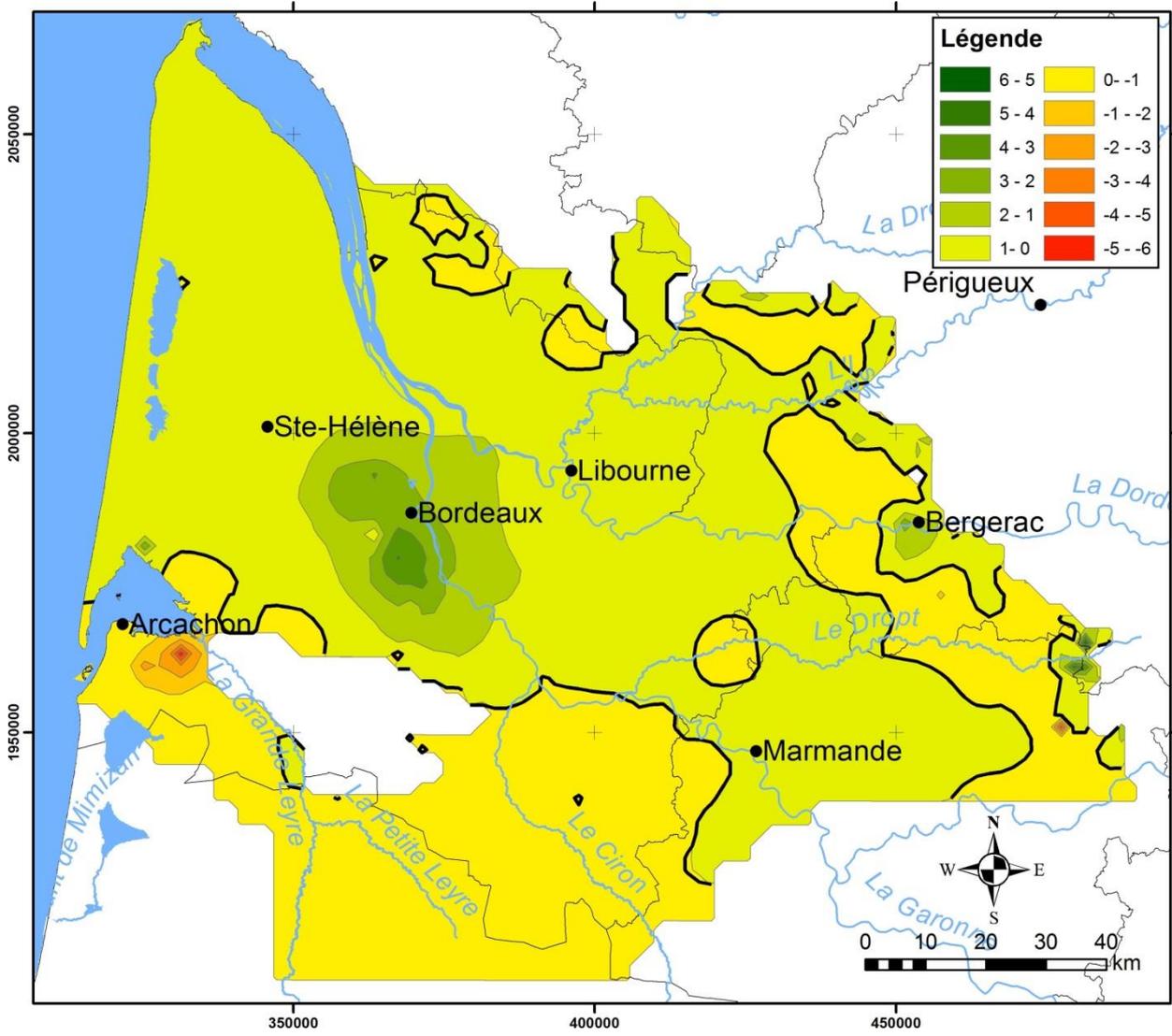


Illustration 11 - Carte des variations du niveau de la nappe de l'Eocène moyen entre 2014 et 2013.

3. Développement de la version 4 du MONA

3.1. SIMULATIONS EN REGIME PERMANENT

Le travail de simulation en régime permanent initié en année 5 de la convention régionale 2008-2013 (Saltel et al., 2015) a été poursuivi dans la nouvelle convention. L'objectif du travail n'était pas d'aboutir en régime permanent à un calage précis de l'outil mais de régler les problèmes numériques de convergence du modèle avant le passage en régime transitoire. Pour ce faire, un certain nombre de simplifications ont été apportées au modèle. En effet, dans sa configuration actuelle, le modèle comprend désormais 30 couches (15 aquifères et 15 épontes) soit 2 382 835 mailles de calcul effectives, ce qui représente 35 fois plus de mailles que dans la version 3.3 du MONA (Illustration 12).

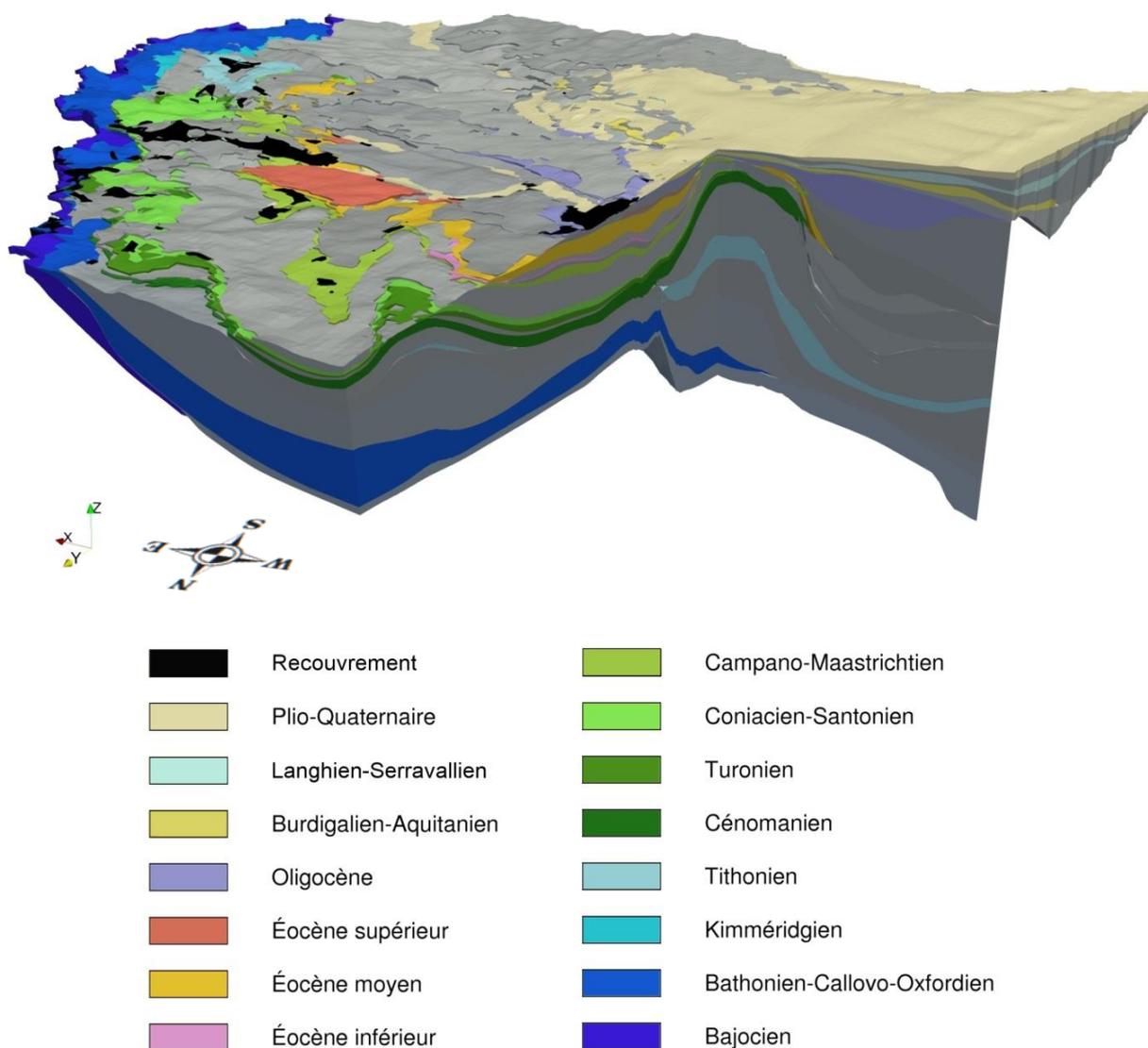


Illustration 12 - Exemple de visualisation 3D du modèle géologique

		NATURE	Codification MONA	N° Couche		
Ivraie et Illaire		Formations de recouvrement et alluvions flandriennes		RECO	1	
QUATERNAIRE		Plio-Quaternaire		AQUIFERE	QUAT	2
TERTIAIRE	NEOGENE	Eponte au sommet du langhien-Serravallien		EPONTE	EPLS	3
		Langhien Serravallien (Miocène moyen)		AQUIFERE	LASE	4
		Eponte au sommet de l'Aquitainien		EPONTE	EPAQ	5
		Aquitainien (Miocène inférieur)		AQUIFERE	AQUI	6
	PALEOGENE	Eponte Chattien-Miocene		EPONTE	EPCM	7
		Oligocène		AQUIFERE	OLNP	8
		Eponte à la base de l'Oligocène		EPONTE	EPOL	9
		Eocène supérieur		AQUIFERE	EOCS	10
		Eponte à la base de l'Eocène supérieur		EPONTE	EPES	11
		Eocène moyen		AQUIFERE	EOCM	12
		Eponte à la base de l'Eocène moyen		EPONTE	EPEO	13
		Eocène inférieur		AQUIFERE	EOCI	14
		Eponte au sommet du Campanien		EPONTE	EPCA	15
		Campanien		AQUIFERE	CAMP	16
SECONDAIRE	CRETACE	Eponte au sommet du Coniacien-Santonien		EPONTE	EPCS	17
		Coniacien-Santonien		AQUIFERE	COST	18
		Eponte au sommet du Turonien		EPONTE	EPTU	19
		Turonien		AQUIFERE	TURO	20
		Eponte au sommet du Cenomanien		EPONTE	EPCE	21
		Cénomanien		AQUIFERE	CENO	22
	JURASSIQUE	Eponte au sommet du Tithonien		EPONTE	EPTI	23
		Tithonien		AQUIFERE	TITH	24
		Eponte au sommet du Kimméridgien		EPONTE	EPKI	25
		Kimméridgien		AQUIFERE	KIMM	26
Eponte au sommet du Bathonien-Calovo-Oxfordien		EPONTE	EPCX	27		
Bathonien-Calovo-Oxfordien		AQUIFERE	BACX	28		
Eponte au sommet du Bajocien		EPONTE	EPBJ	29		
Bajocien		AQUIFERE	BAJO	30		

Illustration 13 - Description des différentes couches du MONA V4

L'élaboration d'une géométrie complexe via le modèle géologique (Saltel et al., 2014) a ainsi généré des mailles de très faibles épaisseurs qui peuvent provoquer des problèmes d'instabilité numérique lors des calculs hydrodynamiques. Ainsi, toutes les épaisseurs inférieures à 0,5 m ont été modifiées pour être ramenées à cette valeur minimale. Ce travail a été réalisé des couches les moins profondes aux couches les plus profondes.

Par ailleurs, au sein d'une couche, certaines mailles qui se trouvaient isolées ont été supprimées. Leur épaisseur a été ramenée à zéro avant d'être désactivées (en attribuant une perméabilité nulle).

In fine, les ajustements des paramètres hydrodynamiques appliqués à la version 4 du MONA n'avaient pour objet que de régler les problèmes numériques pour obtenir une bonne convergence.

Un travail important de recalage de l'outil reste à mener en régime transitoire pour être en mesure de simuler le régime d'exploitation des nappes qui varie sans cesse d'une année sur l'autre (avec une tendance à l'augmentation des prélèvements sur la majorité d'entre elles sur l'ensemble de la période prise en compte).

3.2. SIMULATIONS EN REGIME TRANSITOIRE

Le passage du modèle en régime transitoire constitue une étape charnière ; elle s'accompagne de plusieurs modifications par rapport à la version précédente du modèle (V3.3b).

La nouvelle version du MONA intègre désormais explicitement les épontes (prise en compte du coefficient d'emmagasinement), dont les propriétés hydrodynamiques vont réguler avec d'avantage de précision les échanges entre couches aquifères. Afin d'appréhender l'impact de ces couches supplémentaires et caractériser au mieux la dynamique de l'ensemble de l'hydrosystème, le pas de temps de simulation en régime transitoire a été fixé au trimestre. Le passage du pas de temps annuel au pas de temps trimestriel s'est également accompagné d'une modification de la prise en compte de la recharge basée sur le travail réalisé dans le cadre de la précédente convention (Saltel et al., 2015).

Le présent rapport détaille donc les modifications apportées au modèle en vue de simulations en régime transitoire. Ces modifications ont consisté en :

- une redéfinition des paramètres climatiques sur des zones météorologiques calées sur la grille de données SAFRAN de Météo-France ;
- la mise en place et la première paramétrisation d'un calcul de recharge et ruissellement basé sur le modèle GARDENIA couplé au logiciel MARTHE ;
- une nouvelle répartition des prélèvements, en fonction des usages ;
- la définition d'un premier jeu de paramètres hydrodynamiques (perméabilité, coefficients d'emmagasinement libre et captif).

3.2.1. Paramètres climatiques

Les données de précipitation et d'évapotranspiration utilisées sont issues des « réanalyses SAFRAN » et ont été fournies par Météo-France. Un total de 818 mailles SAFRAN de dimension 8 km x 8 km recouvrent le modèle MONA (Illustration 14) et constituent autant de zones météorologiques qui sont utilisées par le module GARDENIA de MARTHE permettant de calculer ruissellement et recharge.

Le maillage SAFRAN permet une meilleure spatialisation des paramètres de précipitation et d'évapotranspiration et constitue une nette amélioration de la représentativité de la distribution de ces paramètres dans l'espace par rapport à l'utilisation de quelques stations météorologiques (5 sur l'emprise géographique du MONA), dont les données étaient appliquées sur des polygones couvrant l'ensemble du domaine modélisé (Illustration 4).

Si le pas de temps de calcul de l'hydrodynamique est fixé au trimestre (calcul des débits et des niveaux piézométriques), le calcul hydroclimatique est effectué au pas de temps journalier. Pour chaque maille, les données de précipitation et d'évapotranspiration potentielle ont donc été précisées au pas de temps journalier sur la période de la modélisation (de 1972 à 2014). Pour mémoire, les bilans hydroclimatiques étaient calculés au pas de temps décadaire dans la version 3.3 de MONA. Le passage au pas de temps journalier permet donc d'être plus précis dans les bilans calculés.

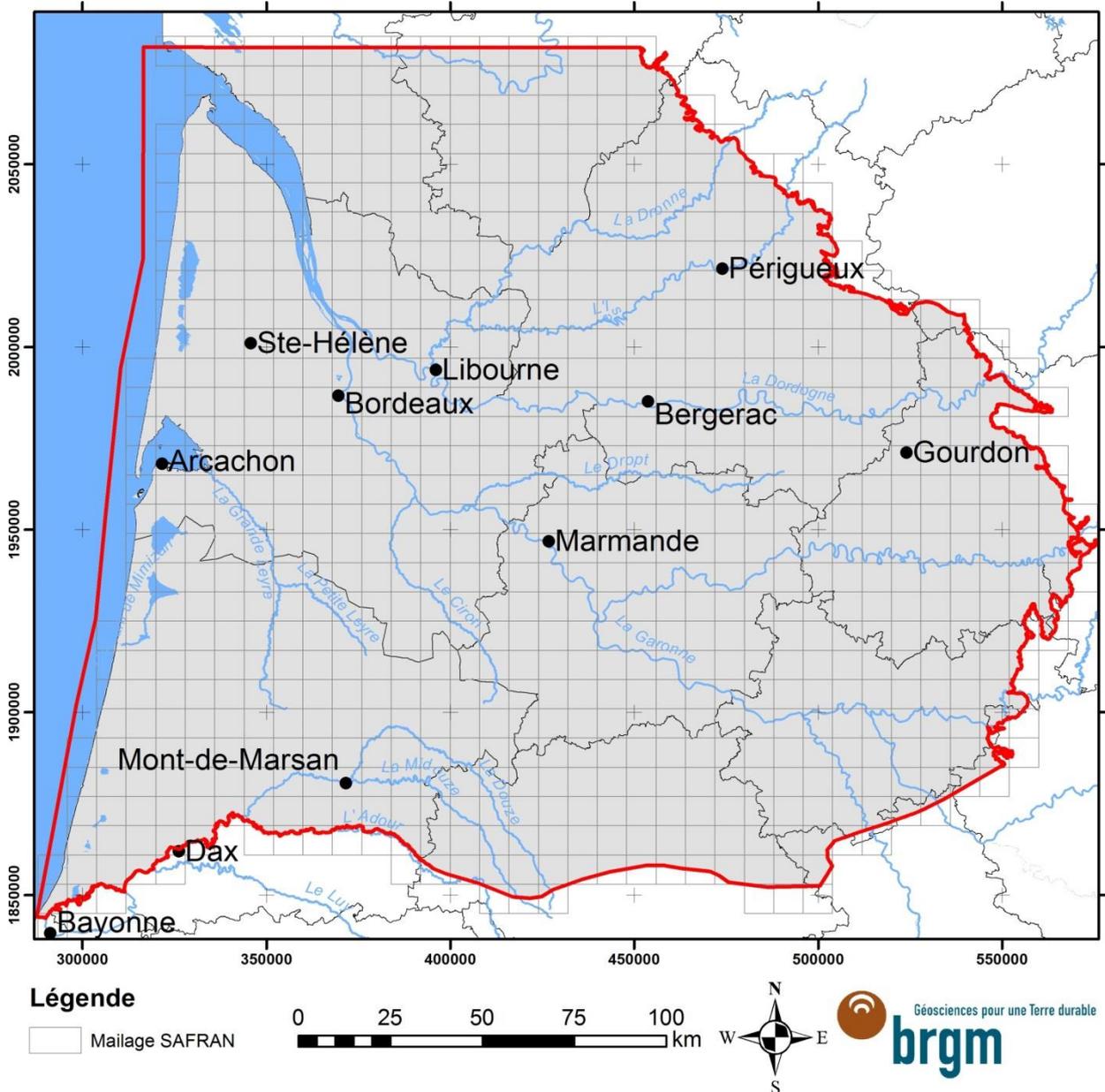


Illustration 14 - Les 818 mailles du réseau SAFRAN utilisées dans la version 4 du MONA

3.2.2. Recharge et ruissellement

Le calcul de la recharge des nappes et du ruissellement est effectué à l'aide de l'outil de calcul de bilans hydroclimatiques GARDENIA (intégré à MARTHE).

Le module GARDENIA utilise le principe des modèles à réservoirs (Illustration 15 - Schéma de fonctionnement de la recharge du module GARDENIA intégré au logiciel MARTHE) :

- un premier réservoir U (capacité de rétention du sol) modélise la partie supérieure du sol. Sa hauteur maximale est fixée par la Réserve Disponible pour l'Evapotranspiration (RDE) pour les premiers mètres du sol (concept analogue mais non équivalent à la Réserve Utile des agronomes.). Il se vide ou se remplit suivant les variations relatives de la pluie et de

- l'ETP. L'alimentation du réservoir H sous-jacent est possible lorsque la totalité du sol est saturée et que la RDE est atteinte et qu'une pluie efficace est générée ;
- le second réservoir H modélise la zone non saturée au-dessus du niveau de nappe. Il est alimenté par le réservoir U et se vidange par percolation (écoulement lent) dans le réservoir souterrain (aquifère) suivant une loi exponentielle caractérisée par un paramètre dit Temps de demi-PERColation (**TPERC**). Le paramètre niveau d'équilibre-RUIssellement-PERcolation (**RUIPER**) correspond à la hauteur d'eau dans le réservoir H pour laquelle il y a égale répartition entre écoulement rapide (ruissellement) et percolation.

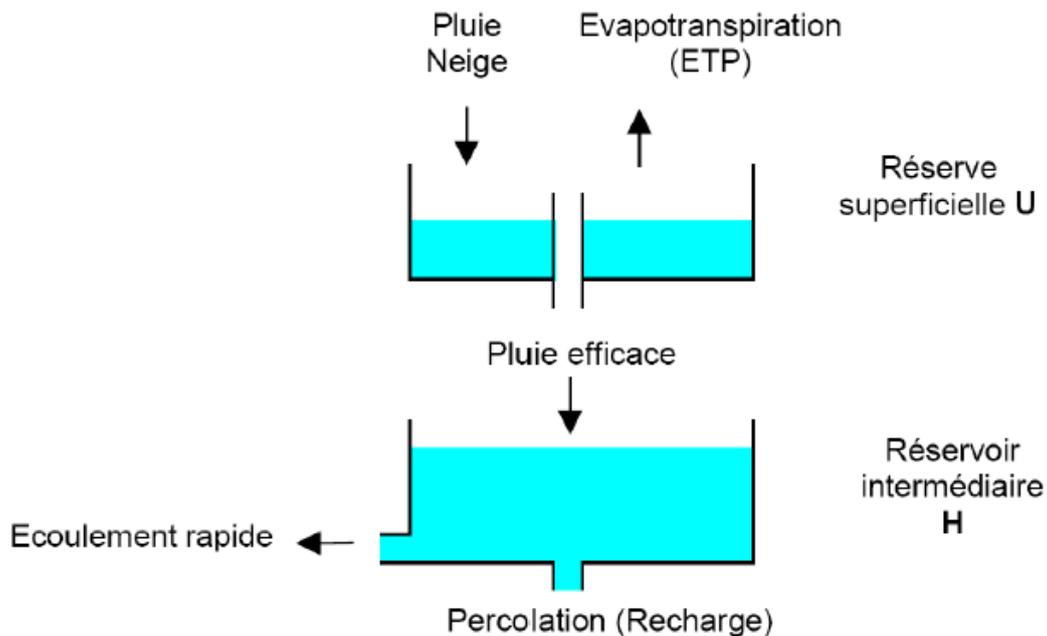


Illustration 15 - Schéma de fonctionnement de la recharge du module GARDENIA intégré au logiciel MARTHE (Thiéry, 2003).

Le calcul des composantes de ruissellement et d'infiltration nécessite de définir les trois paramètres RDE, TPERC et RUIPER.

Dans un premier travail de caractérisation de la recharge (Saltel et al., 2015), des modélisations à l'aide du logiciel GARDENIA ont été réalisées sur une sélection de bassins versants aussi homogènes que possible en termes de géologie. In fine, 15 bassins versants ont été retenus, présentant des chroniques de débit suffisamment longues et permettant de caractériser 10 entités hydrogéologiques affleurantes sur les 29 entités affleurant au total. La qualité du calage a été jugée par l'aptitude à reproduire les modules et chroniques des débits des cours d'eau ainsi que les chroniques de niveaux piézométriques.

Le nombre d'entités affleurantes caractérisées étant limité par les données de calage disponibles et le degré d'homogénéité des bassins versants, la spatialisation des paramètres GARDENIA s'est faite sur des rapprochements entre entités hydrogéologiques suites aux travaux réalisées en année 5 de la précédente convention (Saltel et al., 2015). En effet, lors de cette étude, le travail avait consisté à caractériser le comportement des entités hydrogéologiques du MONA V4 présentes à l'affleurement vis-à-vis de la recharge en s'appuyant sur le principe de la décomposition des hydrogrammes.

L'illustration 16 et le et le tableau 4 présentent respectivement la répartition spatiale des 11 zones de sol finalement retenues, ainsi que les valeurs des trois paramètres RDE, TPERC, RUIPER propres à chaque zone.

Les formations du Bajocien (BAJO) et du Bathonien-Callovo-Oxfordien (BACX) ont fait l'objet chacune d'une caractérisation sur un bassin versant associé. In fine, la paramétrisation du BACX approchant la pluie efficace de manière satisfaisante a été retenue (zone de sol n°1) et appliquée aux formations BAJO, BACX et KIMM (Kimméridgien). Ces trois entités affleurant en limite Est du secteur modélisé présentent des faciès de nature karstique, caractérisées par une RDE faible. Sur ces mêmes formations, les temps de demi-percolation sont très courts, traduisant des temps de circulations extrêmement rapides.

A l'échelle du triangle landais qui couvre une large partie Ouest et Sud-Ouest du modèle (zone de sol n°10), un temps court de percolation (présence de la nappe proche de la surface) est associé à une RDE de l'ordre de 300 mm.

Sur le reste du domaine modélisé, l'essentiel des formations à l'affleurement correspond à des épontes auxquelles une valeur de RUIPER très faible est systématiquement associée, traduisant une prépondérance d'un écoulement rapide (ruissellement) au détriment d'un écoulement lent différé (percolation).

Les paramètres du processus de recharge (la capacité de stockage du sol, la partition de la pluie efficace et le temps de demi-percolation) sont affectés d'une incertitude importante et feront l'objet de calages ultérieurs à la vue des résultats obtenus lors de l'exécution de simulations en régime transitoire.

Zone	RDE (mm)	TPERC (mois)	RUIPER (mm)	Couches MONA V4
1	140.9	0.49	40.2	26 / 28 / 30
2	163.1	2.33	86.5	4 / 6 / 8 / 10 / 12 / 14 / 16 / 18 / 20 / 22
3	468.4	2.2	4.7	45839
4	280.1	5.62	1.1	11
5	232.3	4.57	1	5
6	200.3	0.45	6.9	3
7	212.7	1.03	8.1	24
8	222.6	5.38	5	13 / 15 / 17 / 19 / 21 / 23 / 27
9	318.9	2.12	1.8	9
10	294.6	1.4	47.6	2
11	340.3	0.9	157.9	1

Tableau 4 - Paramétrisation du modèle GARDENIA par zone de sol

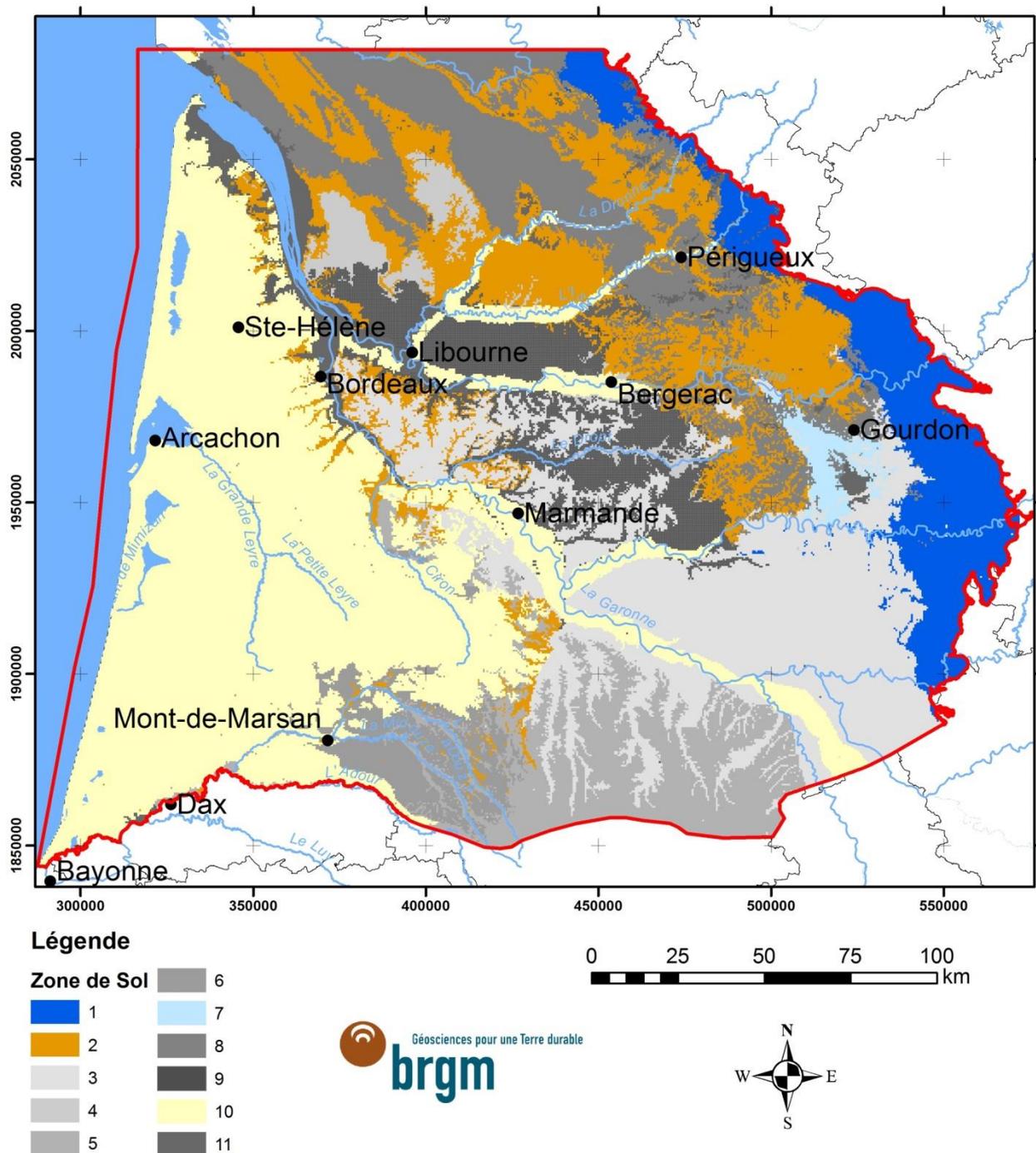


Illustration 16 - Répartition spatiale des 11 zones de sol définies à l'échelle du MONA

3.2.3. Répartition temporelle des prélèvements

Les données de prélèvements utilisées en régime transitoire sont issues de la même base de données que celle exploitée dans le cadre du MONA V3.3B (cf. page 11). Cependant, les données collectées sont toutes au pas de temps annuel et il est donc nécessaire de répartir les prélèvements au pas de temps trimestriel selon leurs usages. Une démarche identique avait été réalisée lors des premiers tests de simulation réalisés au pas de temps trimestriel (Saltel et al., 2011).

Cependant ici, en première approche, seules les données de prélèvements agricoles ont fait l'objet d'une répartition temporelle. Les prélèvements agricoles ont été introduits au 3^{ème} trimestre (mais la période d'irrigation peut s'étaler de fin mai à début septembre).

Cette approche paraît cohérente avec l'analyse de la Chambre d'Agriculture de la Gironde (Illustration 17) qui a proposé une répartition mensuelle des prélèvements à dire d'expert avec l'appui du GRCEA (Groupement de Recherche sur les Cultures Et Techniques Agricoles).

Sur un nombre total de 6240 ouvrages inventoriés, 4202 ouvrages à usage agricole ont fait l'objet d'un report du volume annuel prélevé disponible sur le 3^{ème} trimestre, soit en première approche une répartition uniforme sur les mois de juillet, août et septembre.

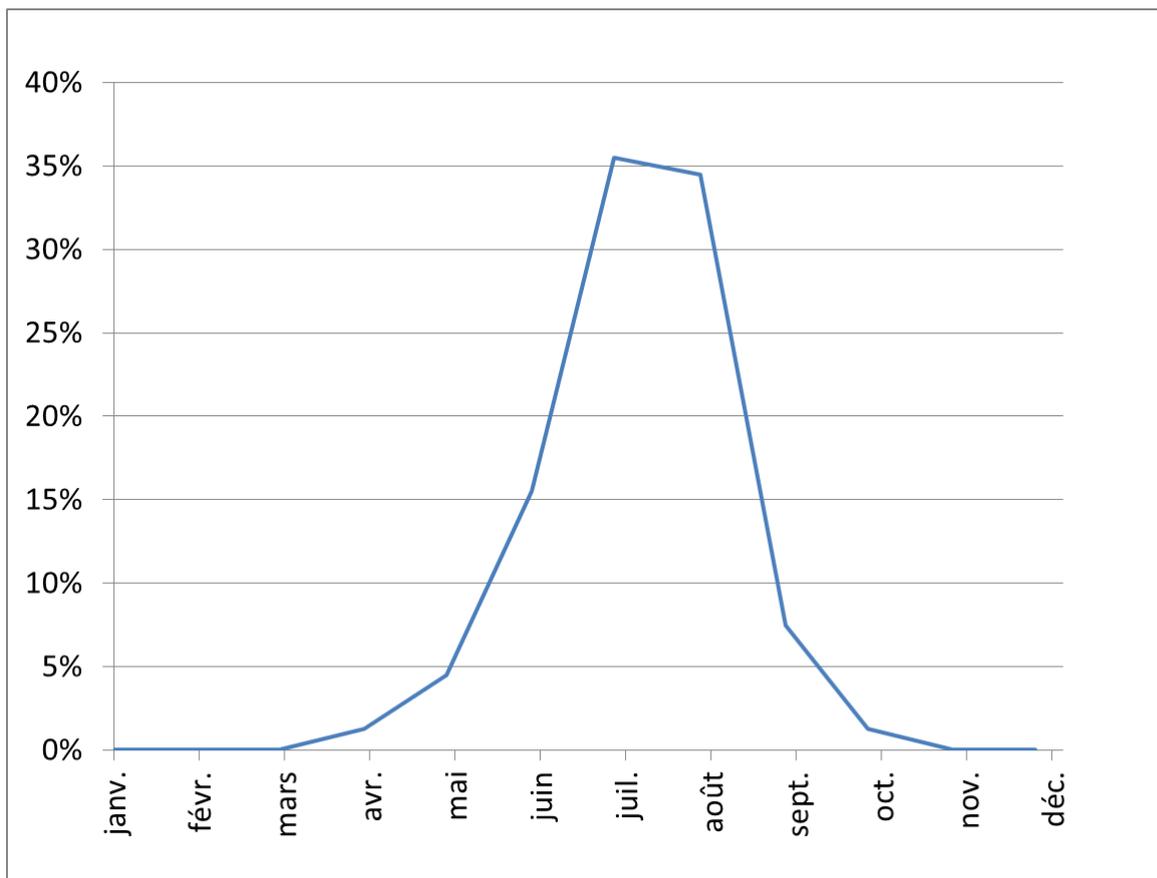


Illustration 17 - Profils type des prélèvements pour l'agriculture (SMEGREG, 2013)

A ce stade d'avancement du travail de modélisation, les prélèvements pour l'alimentation en eau potable et pour les besoins industriels ont été, quant à eux, considérés comme constants tout au long de l'année. L'approche utilisée pour l'alimentation en eau potable est une simplification de la réalité car les prélèvements ne sont pas homogènes tout au long de l'année comme le montre l'illustration 18.

En effet, des pics de consommation saisonnière sont observés sur la métropole bordelaise. Cependant, à l'échelle d'un territoire, comme par exemple le département de la Gironde, il existe des différences entre les agglomérations (ex : Bordeaux) et les stations balnéaires (ex : Arcachon), dont l'activité touristique influence grandement la consommation sur la période estivale.

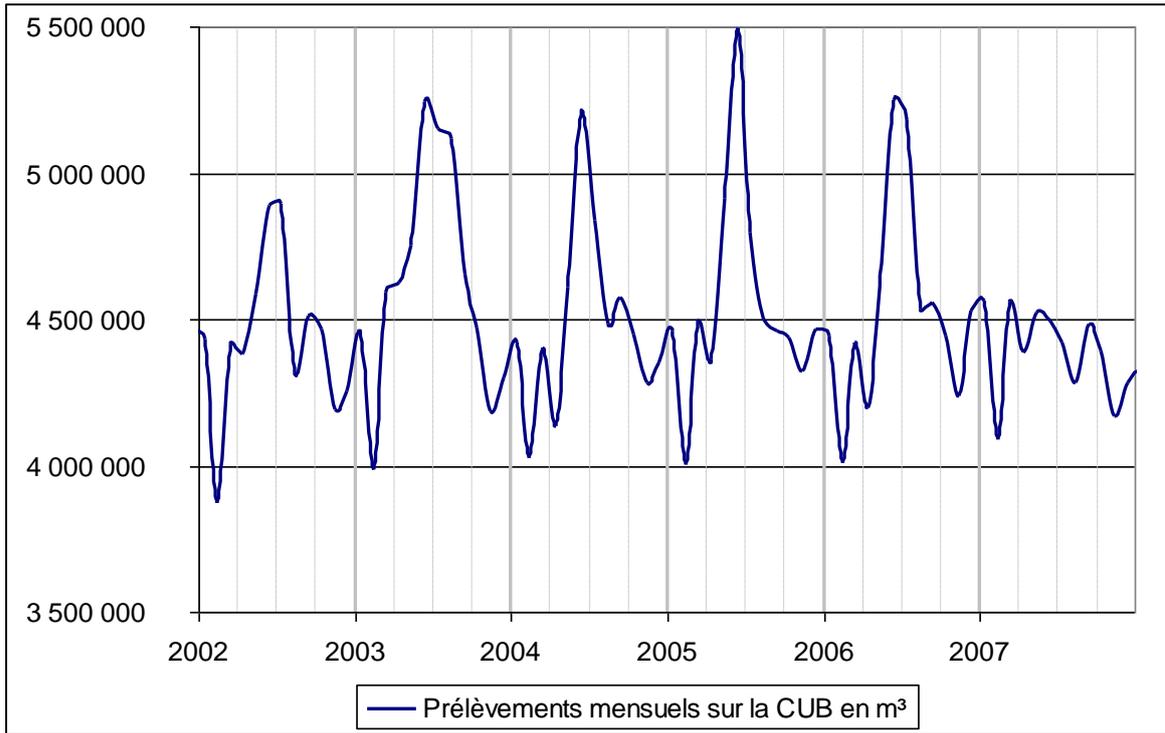


Illustration 18 - Évolutions mensuelles des prélèvements AEP sur Bordeaux Métropole (ex : CUB)

Des analyses récentes des profils de prélèvements de 58 services AEP sur le département de la Gironde (SMEGREG, 2013) montrent qu'une distinction peut être faite entre les services proches du littoral, où l'augmentation estivale de la population liée à l'activité touristique pèse sur la consommation en eau et les autres services AEP du département.

En effet, l'augmentation saisonnière de la population y est beaucoup plus importante.

Ainsi, la saisonnalité de la consommation en eau potable paraît largement corrélée au tourisme. Des travaux récents de l'INSEE (Source DGCIS, enquête SDT 2005 – Insee, RP2006) montrent que la population dans certains bassins de vie peut être augmentée de façon très importante au mois d'août par rapport à la population résidente (Illustration 19).

La frange littorale est particulièrement affectée (population multiplié par 6.3 en août sur le bassin de Lacanau), ainsi que la Dordogne et le Lot autour de Sarlat.

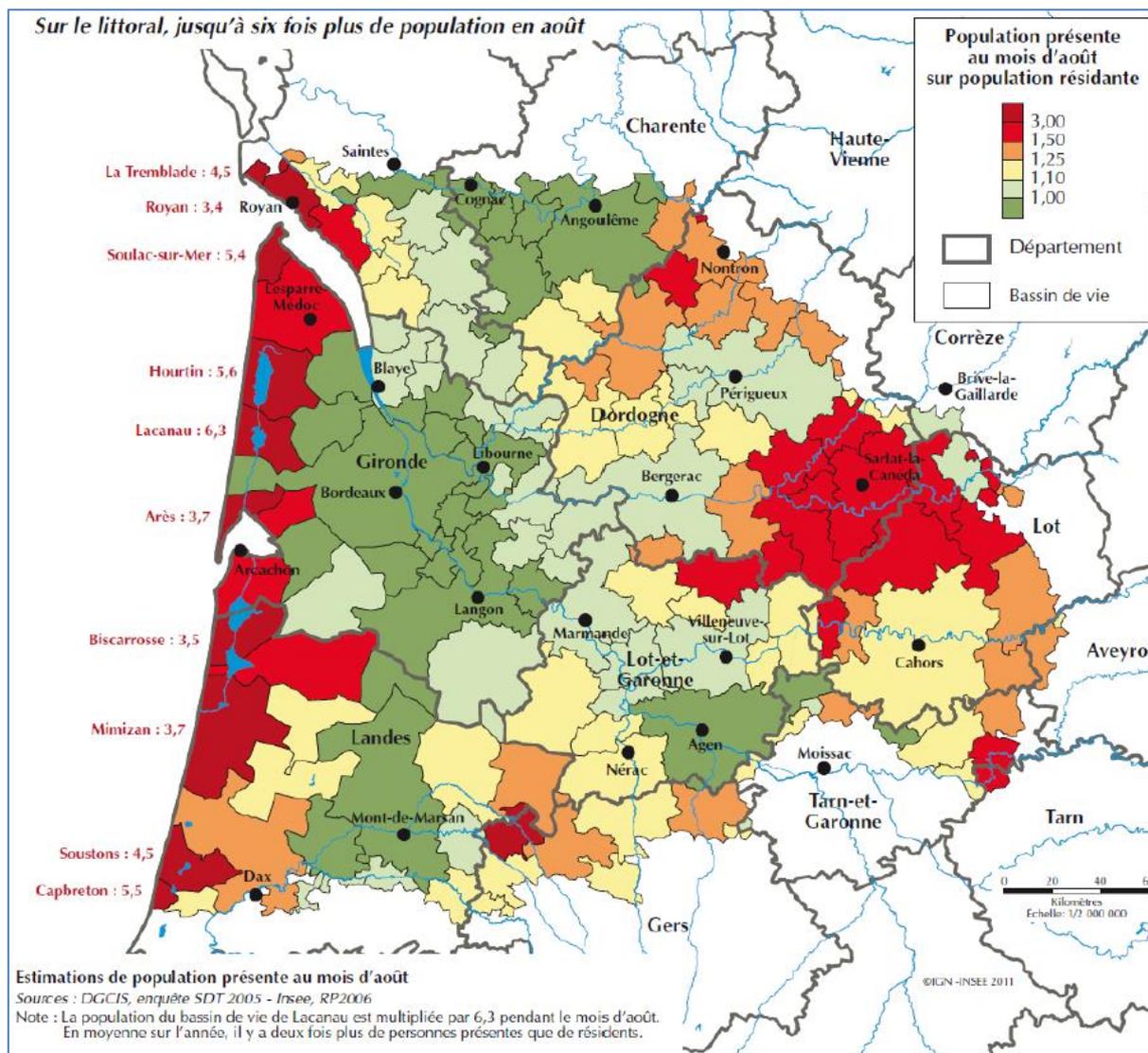


Illustration 19 - Population de pointe en aout (source INSEE)

Un travail spécifique reste à mener sur les données de prélèvements pour définir par zone cohérente les clés de répartition par trimestre des volumes annuels. Ce travail sera mené dans le cadre de l'année 2 de la convention.

3.2.4. Conditions imposés

Elles correspondent à toutes conditions hydrodynamiques, de flux ou de potentiels, permanentes ou variables, imposées aux limites ou à l'intérieur d'une couche du modèle. Elles sont matérialisées par des mailles à charge imposée, à flux nul, à cote de débordement (pour les sources en particulier et plus généralement pour toute zone où la nappe est susceptible d'émerger).

Potentiels imposés

Les potentiels ont été imposés sur la façade atlantique pour les horizons aquifères. Seule la Garonne a été considérée en potentiel imposé au droit de la nappe de l'Oligocène. A terme, ce potentiel sera remplacé par la mise en place d'un réseau hydrographique plus détaillé dans le modèle.

Cotes de débordement

Pour tous les aquifères, les mailles situées au droit d'affleurements ont été considérées comme "débordantes". Il s'agit de secteurs où la nappe est libre et donc susceptible de déborder. Il y a débordement si la charge calculée par le modèle est supérieure à la cote de débordement (surface du sol). Les dimensions du maillage (pas de 500 m) permettent ainsi une bonne restitution de la topographie et donc des grands axes de drainage.

Flux nuls

Cette condition est appliquée à toutes les limites du domaine qui ne sont pas régies par les conditions de potentiels ou de flux imposés. Ces limites correspondent :

1. soit à la disparition des aquifères par biseautage à proximité des zones d'affleurement ou à la faveur de lacunes au niveau de grandes structures anticlinales (ex : Villagrains-Landiras),
2. soit à une limite fixée arbitrairement (cas de la limite sud du modèle).

3.2.5. Paramètres hydrodynamiques

Le premier calage des champs des perméabilités (Saltel et al., 2015) a été réalisé sur la base d'un modèle en régime permanent correspondant à l'année 1996. Les champs des perméabilités issus de la version 3.3b du modèle ont été ajustés pour tenir compte des modifications importantes apportées à la géométrie du modèle.

En prévision des calages en régime transitoire, les coefficients d'emmagasinement libres et captifs des couches aquifères ont été repris du MONA 3.3b, avec un processus d'interpolation simple (méthode du plus proche voisin).

Pour les épontes dont les capacités d'emmagasinement n'étaient pas prises en considération dans les versions précédentes du modèle, des valeurs par défaut ont été attribuées uniformément, à savoir :

- coefficient d'emmagasinement en régime captif : 10^{-6} [-] ;
- coefficient d'emmagasinement en régime libre : 10^{-2} [-].

4. Conclusion

Ce module de l'année 1 de la Convention Régionale eaux souterraines 2015-2020 porte principalement sur l'évolution du Modèle Nord-Aquitain avec l'objectif de concevoir une nouvelle version du modèle, actualisée, affinée et destinée à permettre aux gestionnaires de définir au mieux les stratégies d'exploitation des ressources en eau souterraines de la région. Le programme de cette année 1 est scindé en deux parties :

- Une première partie qui s'est focalisée sur la version actuelle du MONA (Version 3.3b) avec l'objectif d'actualiser les données d'entrées (prélèvements, flux d'infiltration) et les chroniques d'observation jusqu'en 2014 afin de bénéficier d'un outil le plus à jour possible. L'actualisation du modèle jusqu'en 2014 a permis de démontrer que le modèle retranscrit bien les chroniques piézométriques observées avec les nouvelles données d'entrée, sans qu'aucune modification des paramètres hydrodynamiques n'ait été nécessaire. Par ailleurs, les simulations faites ont été confrontées aux mesures complémentaires réalisées en 2014 sur des forages dont le suivi avait été arrêté. Ces vérifications permettent d'attester la robustesse du modèle, les simulations produisant des résultats en concordance avec les mesures récentes.
- Une seconde partie a porté sur la poursuite du développement de la version 4 du modèle. Le travail réalisé cette année 1 de la convention constitue une phase préparatoire au calage du modèle en régime transitoire.

Ainsi, le travail réalisé cette année a consisté à préparer une version 4 du modèle fonctionnant en régime permanent sans problème de convergence. Pour se faire, un certain nombre d'ajustements ont été opérés. Une partie des problèmes numériques était liée au fait que le modèle géologique construit a abouti à la création de mailles de très faible épaisseur qui peuvent générer des problèmes d'instabilité numérique. Ainsi, toutes les épaisseurs inférieures à 0,5 m ont été modifiées pour être ramenées à cette valeur minimale. Par ailleurs, dans l'optique de simplifier le modèle géologique, les mailles isolées ont été supprimées. Leurs épaisseurs ont été ramenées à zéro avant d'être désactivées. Les ajustements de perméabilités opérés dans le modèle en régime permanent ont au final permis de régler les problèmes de convergence avant de passer aux simulations en régime transitoire.

Un certain nombre de modifications ont été apportées au modèle en vue de la réalisation des simulations en régime transitoire. Elles ont concerné principalement la modification de la prise en compte de la recharge dans le modèle avec l'utilisation des données climatiques (précipitation et d'évapotranspiration) SAFRAN de météo France. Un total de 818 mailles SAFRAN de dimension 8 km x 8 km recouvrent le modèle MONA et constituent autant de zones météorologiques qui sont utilisées par le module GARDENIA de MARTHE permettant de calculer ruissellement et recharge. La discrétisation temporelle a également été modifiée pour passer du pas de temps annuel au pas de temps trimestriel pour le calcul hydrodynamique (débits et niveaux piézométriques). Le calcul de la recharge et du ruissellement via le module GARDENIA est quant à lui effectué au pas de temps journalier.

En préalable aux premières simulations pour le calage en régime transitoire, les paramètres hydrodynamiques (perméabilité, coefficients d'emménagement libre et captif) ont été définis sur la base du travail réalisé en régime permanent sur l'année 1996 pour les perméabilités et les coefficients d'emménagement libres et captifs des couches aquifères ont été repris du MONA 3.3b, avec un processus d'interpolation simple (méthode du plus proche voisin). Concernant les coefficients d'emménagement dans les épontes, non renseignés dans la

version 3.3b du modèle, une valeur de 10^{-6} a été attribuée uniformément pour le coefficient d'emmagasinement captif et de 10^{-2} pour le coefficient d'emmagasinement en régime libre.

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 Cénomaniens et du Jurassique moyen et supérieur au modèle nord aquitain. BRGM/RR-40110-FR, 59 p. 24 fig., 13 tab., 6 ann.

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, 17 p.

Braneyre M., Seguin J.J., Lambert M. (1993) - Modèle conceptuel sommaire - Multicouche aquitain. Rapport BRGM R37322 BOR AQI 93, 12 p., 7 fig., 1 ann..

Braneyre M., Chigot D., Lambert M., Moreau C.F., Sourisseau B., Platel J.P., Dubreuilh J., Gaaloul N. (1993) - Modélisation mathématique multicouche de trois aquifères exploités du sédimentaire nord-aquitain (Oligocène - Eocène - Crétacé). R-37361, 26 p., 7 fig., 2 ann.

Braneyre M., Lambert M., Sourisseau B. (1994) - Rapport de synthèse du modèle régional multicouche du Bassin Nord-Aquitain : Calage en régime transitoire et simulations. Rapport BRGM R38006 SGN SP 94, 42 p, 29 fig, 9 ann.

Cabaret O., 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., 21 fig., 4 ann.

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., 62 fig., 3 ann.

Gomez E., Saltel M., Pédrón 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, 38 p., 15 ill., 8 ann..

Gomez E., Pédrón N., 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, 61 p., 30 fig. 13 ann.

Pédrón N., Lopez B. (2006) - Actualisation du modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes. Période 2001 - 2003. Rapport final - BRGM/RP-54220-FR, 26 p. 1 ann.

Pédrón N., Abou-Akar A., Platel J.P. (2008) - Évaluation de la ressource en eau de l'Éocène dans le Bergeracois. Phase 2 : Finalisation de l'inventaire, intégration des données au modèle régional et simulations. BRGM/RP-56301-FR, 72 p., 7 ann.

Pédrón 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, 96 p., 43 fig., 8 tab., 8 ann.

Pédron N., Platel J.P., Bourgine B., Loiseau J.B. (2008) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine -Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes - Année 4 - Module 4 - BRGM/RP-56614-FR, 99 p., 49 fig., 6 ann.

Pédron N., P. Platel J., Bourgine B. (2006) - Gestion des eaux souterraines en région aquitaine. Développement et maintenance du modèle nord-aquitain de gestion des nappes - Module 4 - Année 3 - BRGM/RP-55242-FR, 56 p., 24 fig., 3 ann.

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, 56 p., 25 fig., 5 tab., 7 ann.

Pédron N., Abou-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, 36 p., 11 fig., 6 ann.

Platel J.P., Pédron N., Gomez E., Saltel M. (2010) - Perspectives de gestion des nappes du Secondaire en Agenais-Périgord. Synthèse géologique et hydrogéologique, modélisation hydrodynamique. BRGM/RP-59330-FR, 217 p., 101 fig., 12 tab., 19 ann.

Saltel M., Pédron N. (2012) - Contribution à la révision du SAGE Nappes Profondes de Gironde : Utilisation du Modèle Nord-Aquitain dans le cadre du module « Tendances et Scénarios » -Rapport final, BRGM/RP-60416-FR 56 p., 24 fig., 5 ann.

Saltel M., Cabaret O. (2012) - Explore 2070 - Hydrologie souterraine - Bassin Aquitain - Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie - Armines - BRGM.

Saltel M., Pédron 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, 63 p., 38 fig., 6 ann.

Saltel M., Faucher A., B. Bourgine (2012) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine -Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes – Module 1 – Année 3 – BRGM/RP-61614-FR, 45 pages, 24 figures, 3 annexes.

Saltel M., Cabaret O., Bourgine B., Loiselet C. (2014) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine -Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes – Module 1 – Année 4. BRGM/RP-63381-FR, 49 p., 28 ill., 5 ann.

Saltel M., Wuilleumier A., Cabaret O. (2015) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine -Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes – Module 1 – Année 5. BRGM/RP-65039-FR, 82 p., 39 ill., 21 tab, 10 ann.

Saltel 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.

Saltel Marc (2008) - Impact de structures géologiques sur l'alimentation de systèmes aquifères profonds - Fonctionnement hydrogéologique des antiformes du sud de Bordeaux. Thèse de doctorat : Thèse de doctorat, Université Michel de Montaigne - Bordeaux 3, 268p., 268 p.

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, 22 p., 10 fig., 8 tab.

Seguin J.J. (2002) - Gestion des eaux souterraines en Aquitaine. Actualisation du modèle nord-aquitain. Période 1999-2000. BRGM/RP-51758-FR, 22 p., 8 fig., 8 tab.

Seguin J.J. (1999) - Restructuration du modèle nord-aquitain de gestion des nappes. Correction du biais de calage du modèle. BRGM/RR-40711-FR, 16 p., 11 fig.

SMEGREG (2013) - Note sur la ventilation mensuelle des prélèvements en Gironde.

Thiéry D. (2003) - Logiciel GARDENIA. version 6.0. Guide d'utilisation. BRGM/RP-52832-FR, 102 p., 42 fig, 3 ann.

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 et al., 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 V2B : Il existe une version du modèle 5 km fonctionnant en régime permanent avec 7 couches (+Cénomaniens 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'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 effectués.

La version **MONA V3.1** du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes intègre donc 9 couches : Plio-Quaternaire, Langhien-Serravallien (Helvétien), Aquitainien-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 Cénomaniens 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 (Saltel, 2008).

MONA V4

Développements réalisés dans le cadre de la convention régionale « Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine » 2008 – 2013.

L'année 2 de la convention 2008-2013 (Saltel et al., 2011) a permis d'initier l'élaboration d'une nouvelle version du modèle par la construction d'une base de données géologiques cohérente et la plus complète possible à partir des données disponibles (forages, diagraphies, cartes géologiques, failles, MNT,...). Cette dernière comporte au final près de 3480 forages pour lesquels plus de 15 000 passes (horizons correspondants soit à un aquifère soit à une éponte) sont décrites, les données diagraphiques disponibles de plus de 250 forages soit 343 mesures, les affleurements cartographiés des couches aquifères issus du Référentiel Hydrogéologique BD LISA sur l'équivalent de 100 cartes géologiques, les données sismiques disponibles (secteur de Villagrains-Landiras) et le tracé des failles.

La construction du modèle géologique a été initiée en année 3 (Saltel et al., 2012). Du fait de la limitation du logiciel en termes de nombre de couches, 3 modèles ont été nécessaires pour modéliser l'ensemble du système : un modèle pour les formations du Tertiaire, un autre pour le

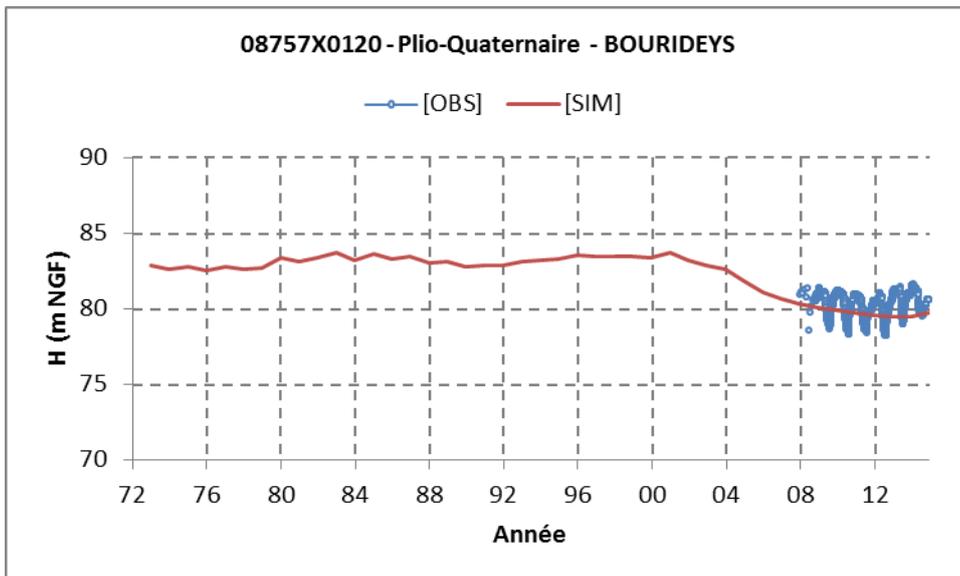
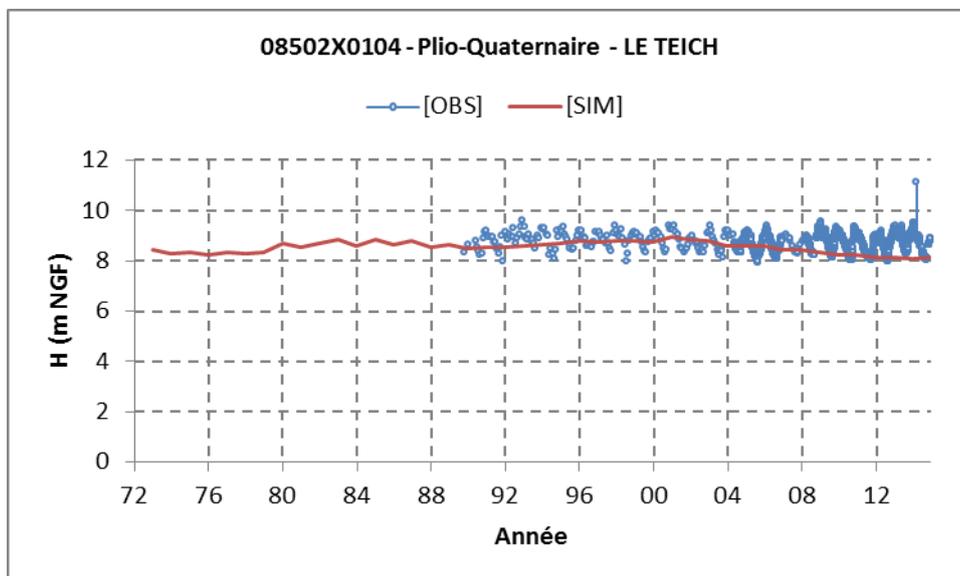
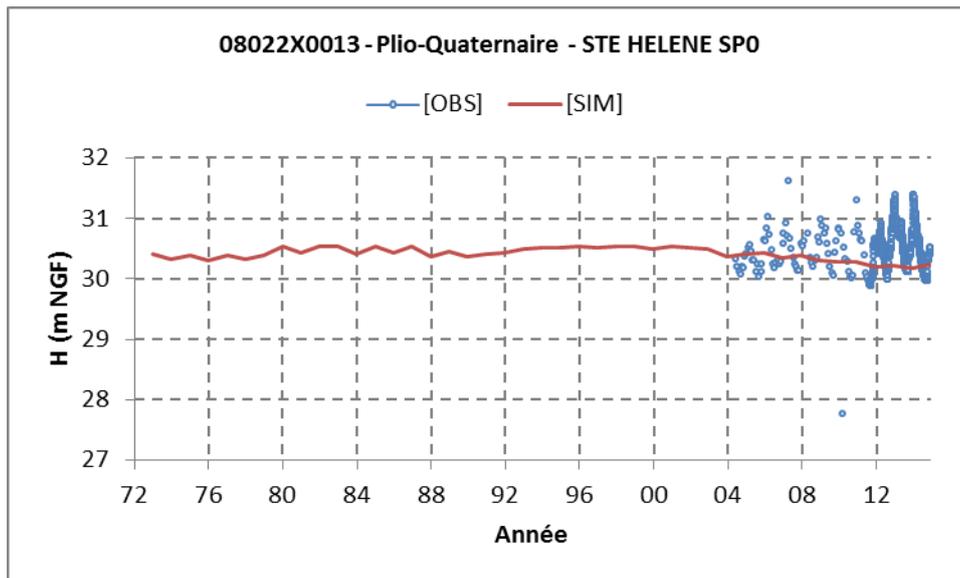
Crétacé et un dernier pour le Jurassique. Au final, le modèle géologique global comporte 30 couches dont 15 aquifères, 14 éponges et une couche de recouvrement quaternaire, soit 31 surfaces.

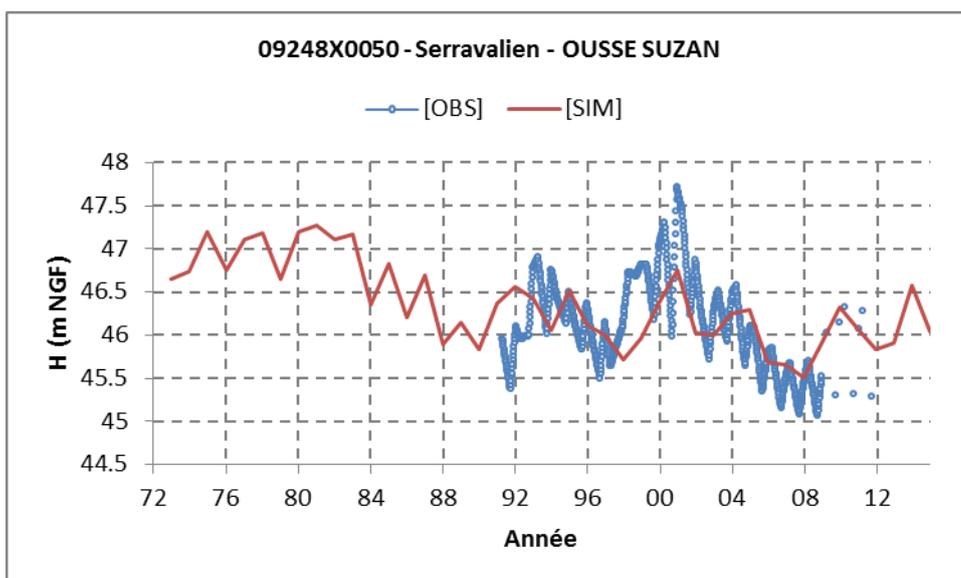
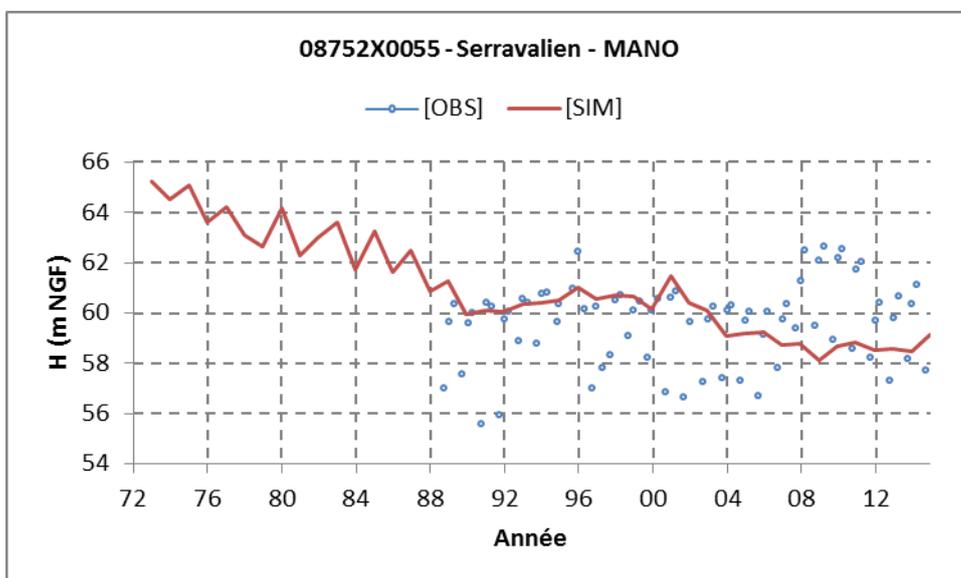
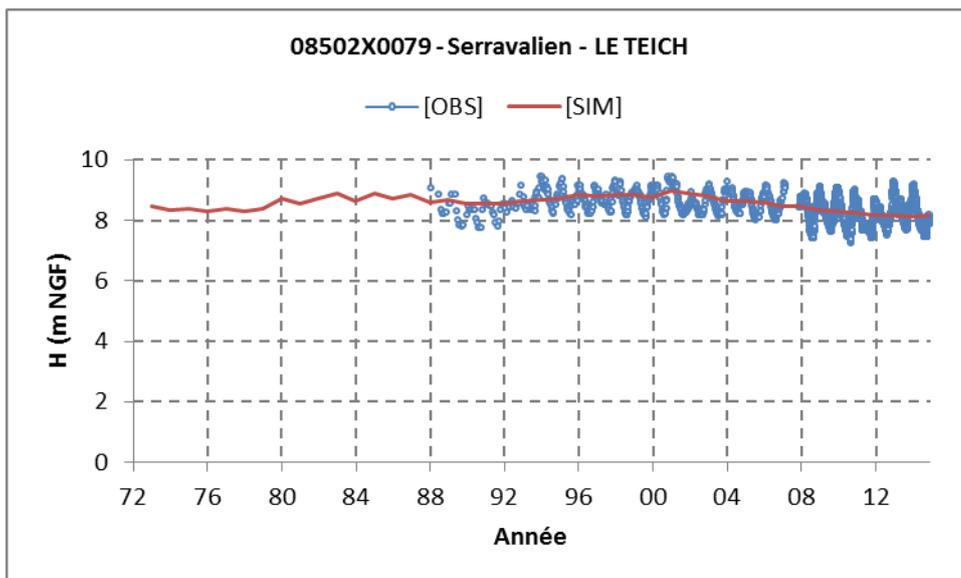
Un travail important de validation et de mise en cohérence des données a été réalisé. Il a notamment porté sur la correspondance des données de sondage et des cartes géologiques. Etant donné l'importance de la surface modélisée, ce sont près de 100 cartes géologiques qu'il a fallu revisiter pour faire coïncider au mieux les observations en forages avec celles des affleurements de la carte. Les limites d'extension des aquifères ont également été revues dans le cadre de la modélisation géologique.

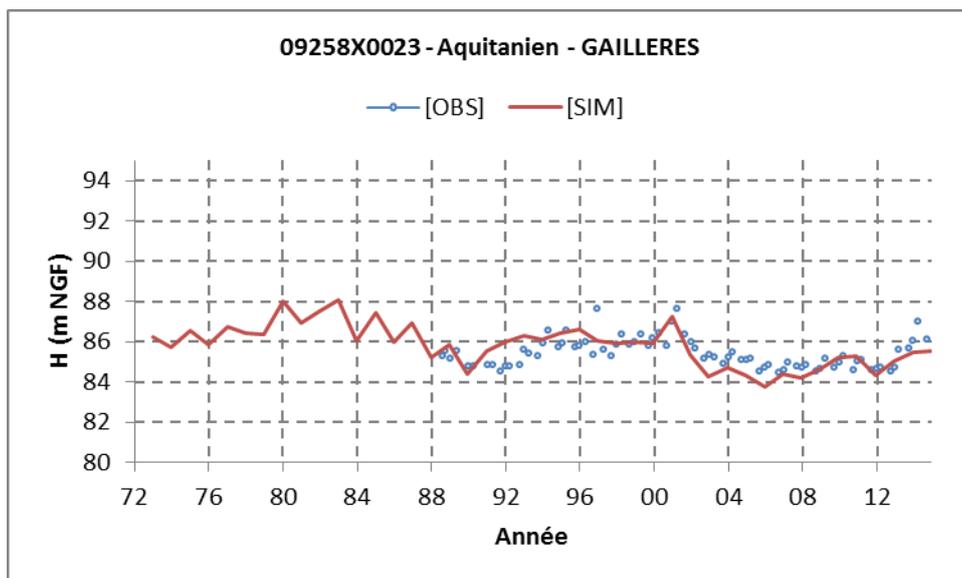
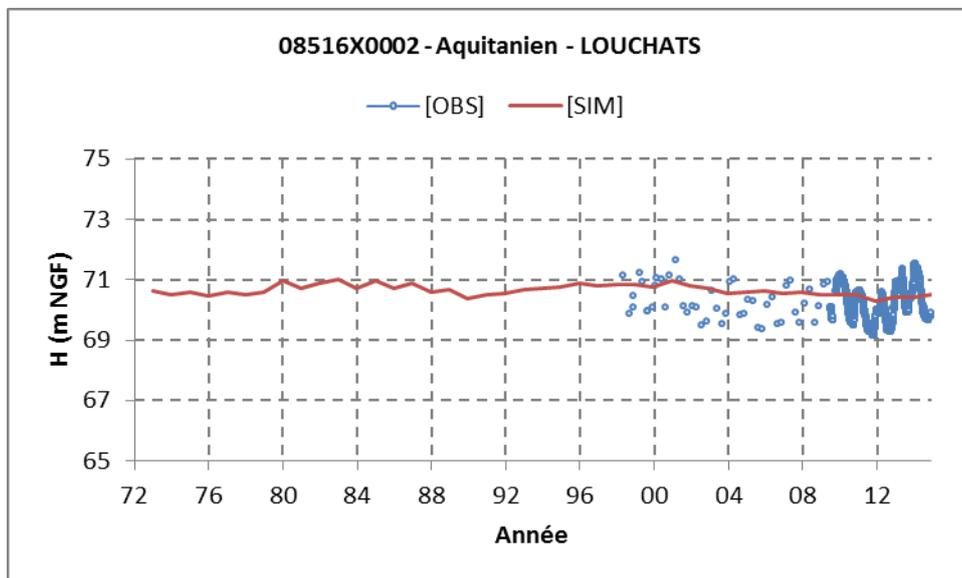
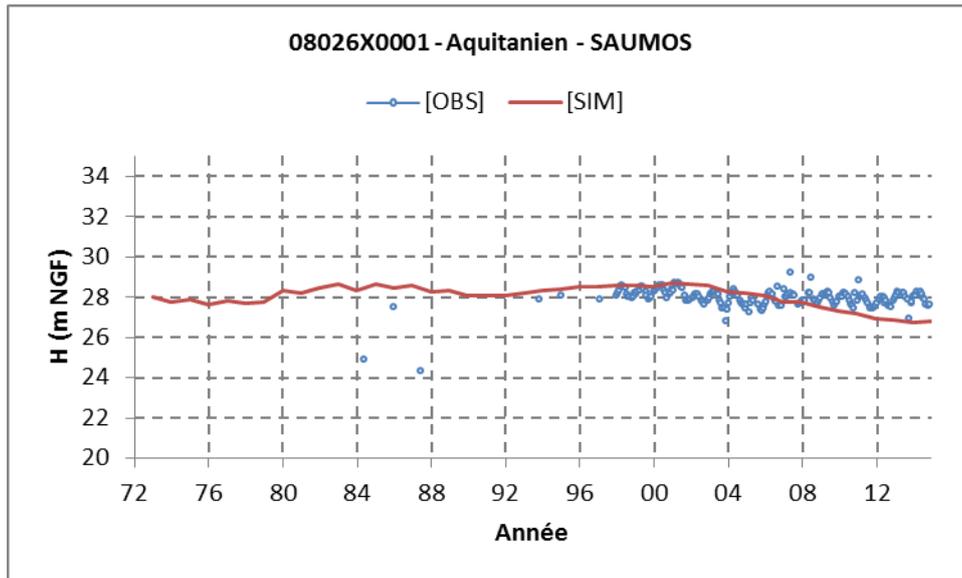
In fine, l'amélioration de la géométrie du modèle finalisé en année 4 (Saltel et al., 2014) a permis de représenter à une échelle plus fine la complexité des réservoirs du Nord du Bassin aquitain. Les toits et les murs des 30 couches du modèle géologique ont été implémentés dans le modèle hydrodynamique via l'interface graphique Win Marthe du logiciel de modélisation MARTHE. Les premières simulations en régime permanent ont été réalisées à partir des données provenant de la version 3.3 du MONA sans toutefois entamer le processus de calage.

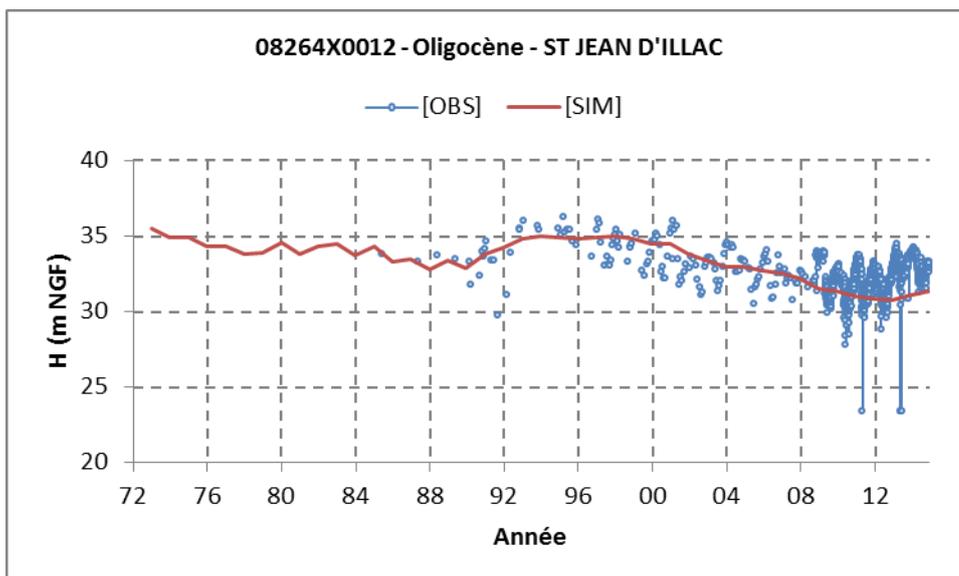
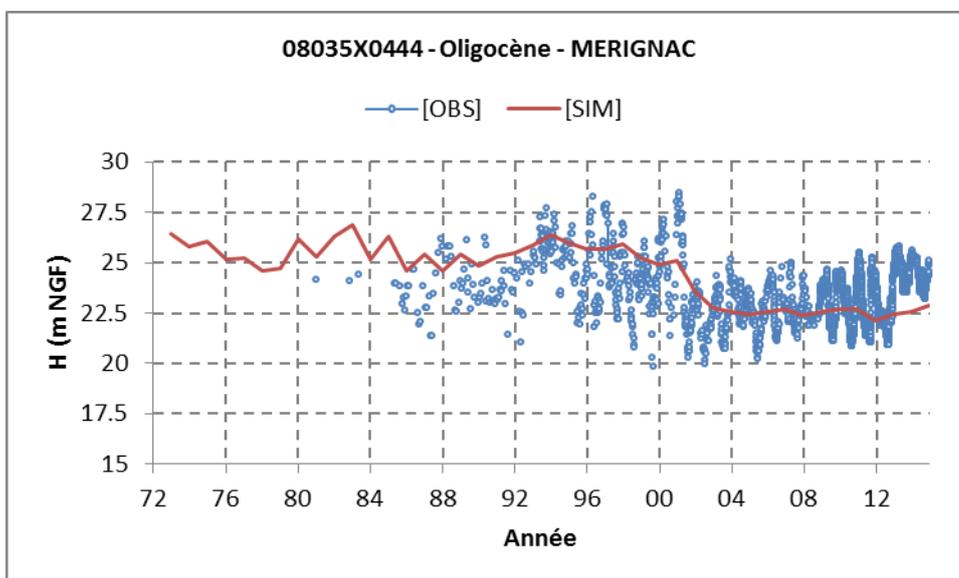
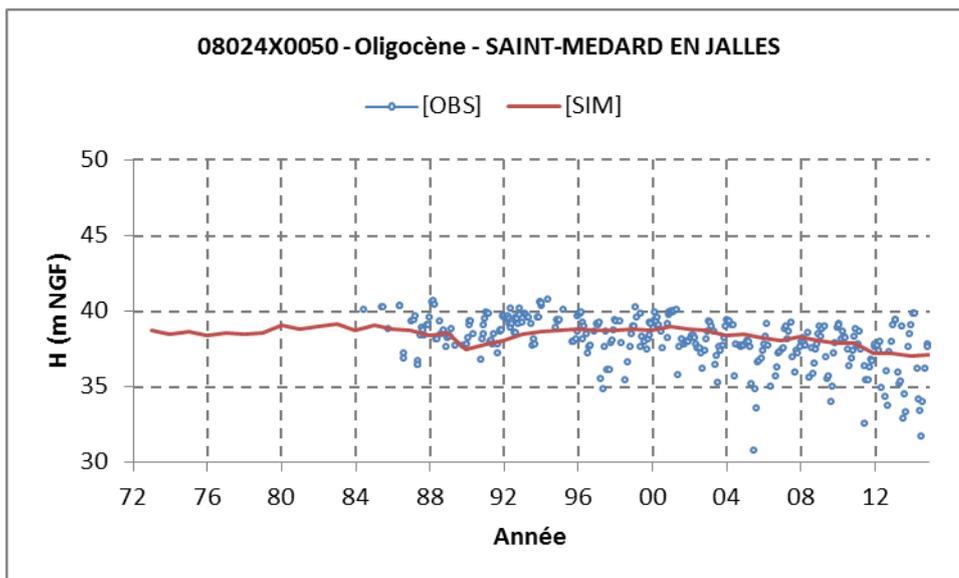
Annexe 2

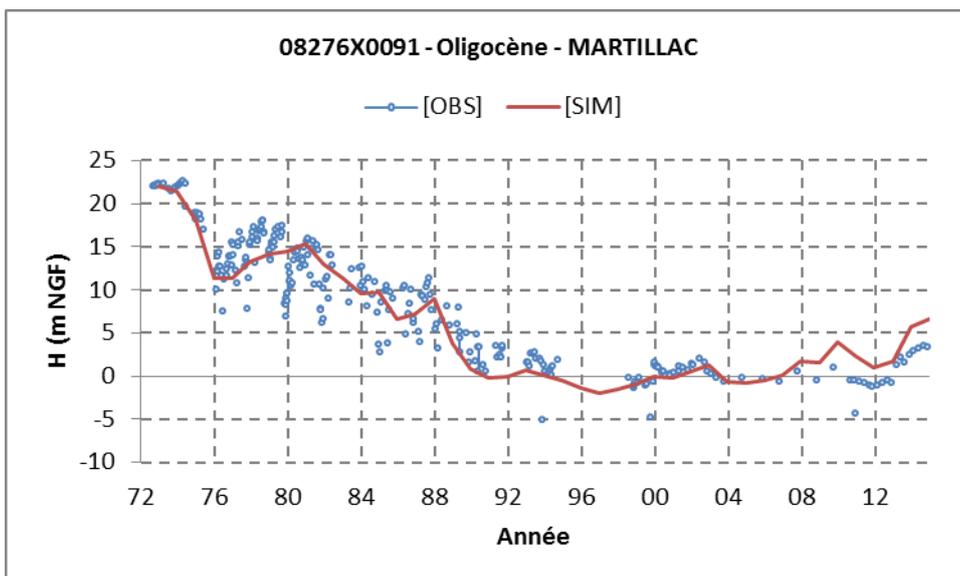
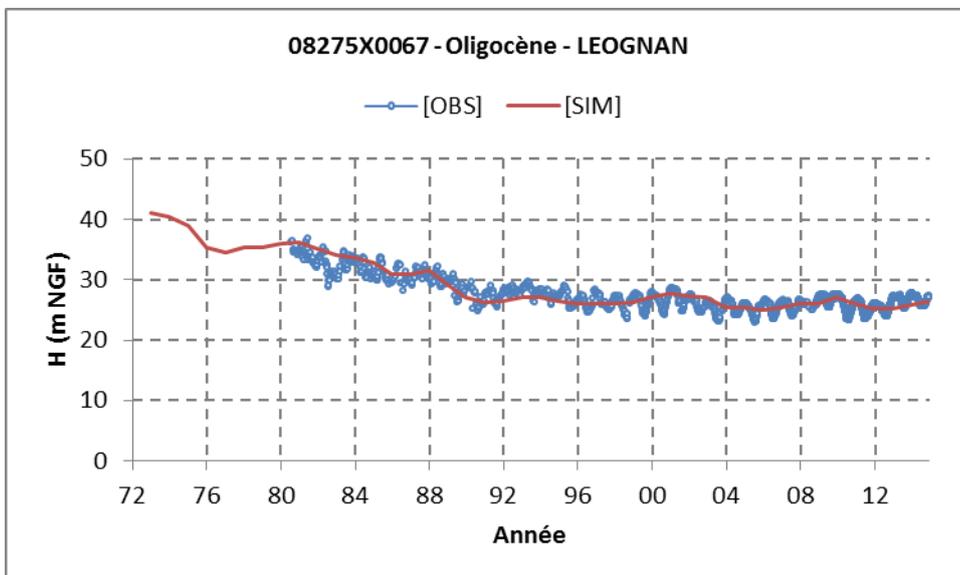
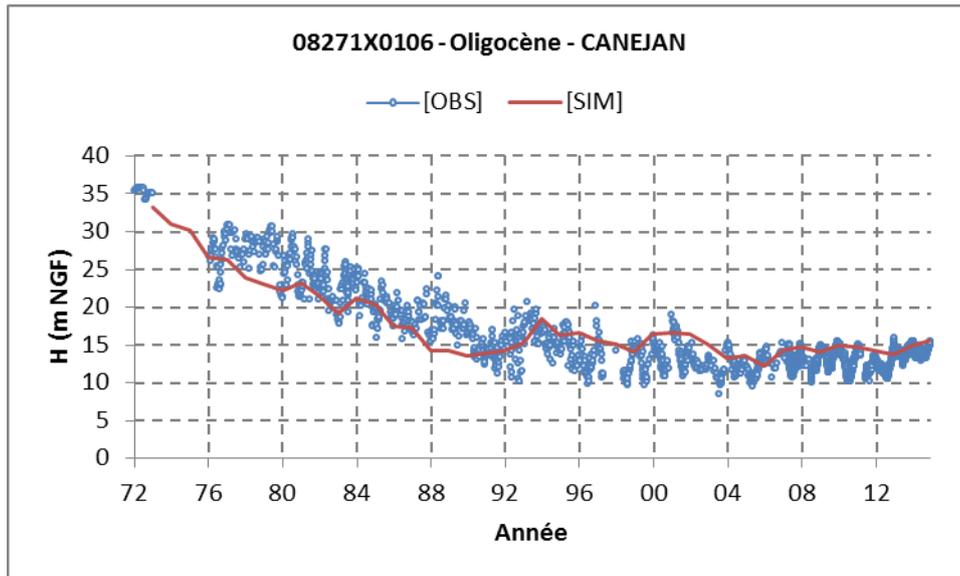
Actualisation des chroniques de calage - période 1972 - 2014

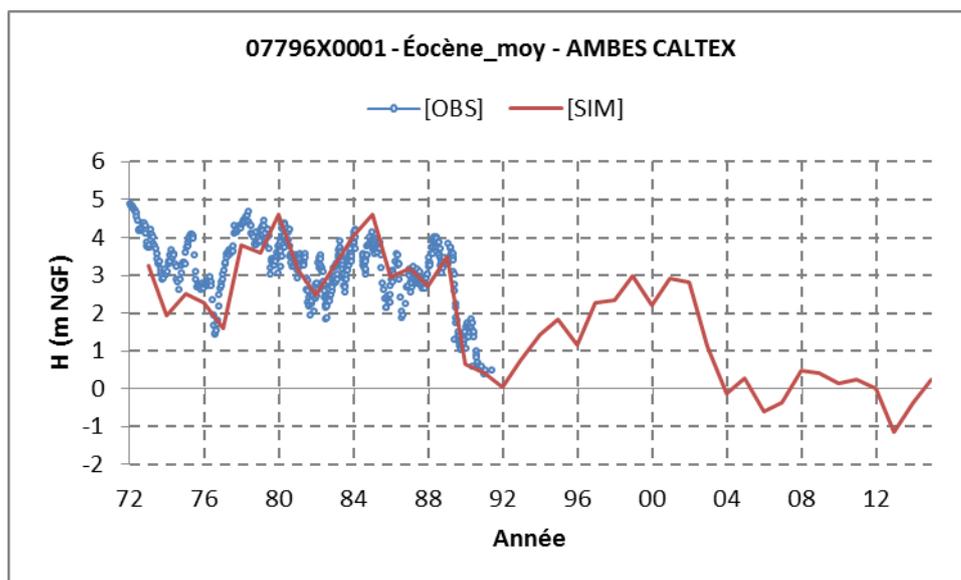
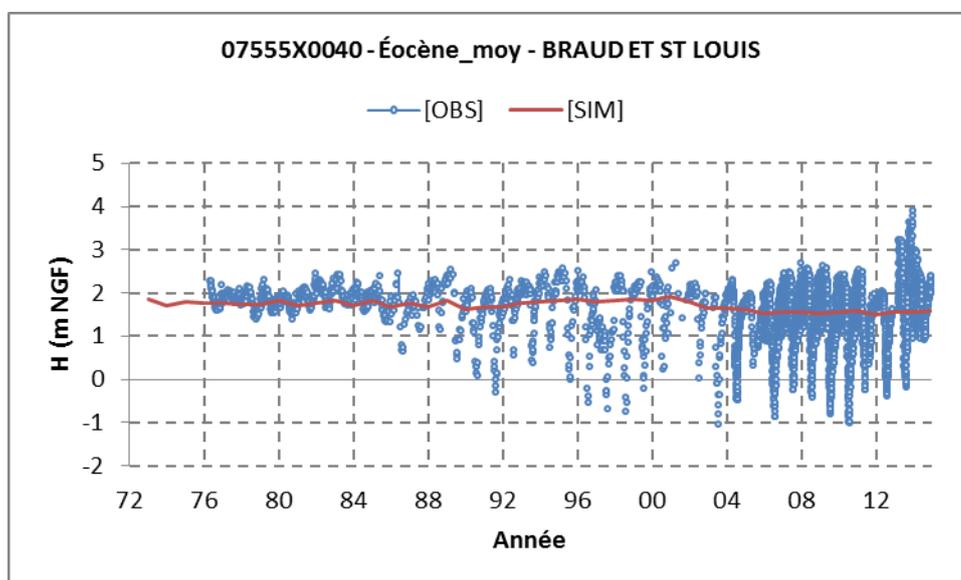
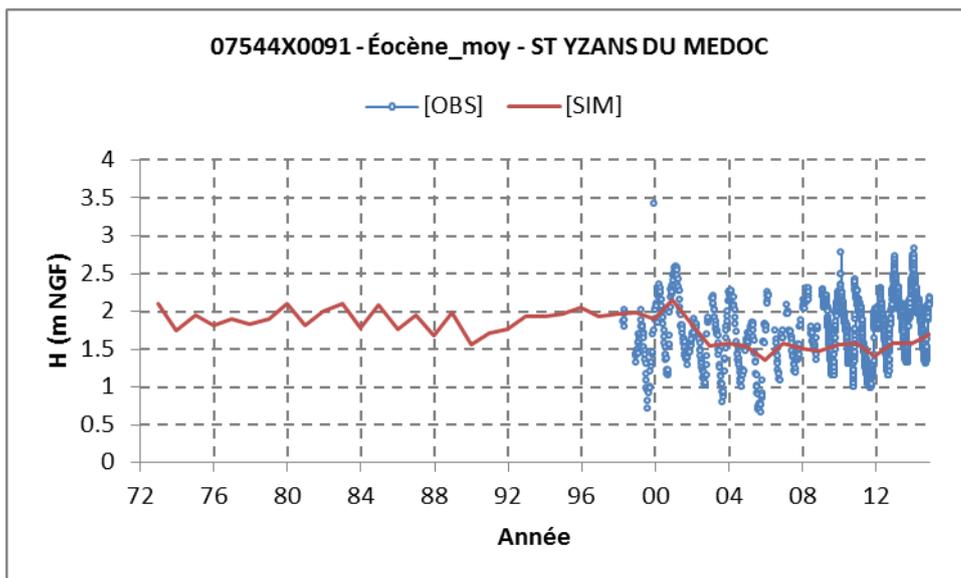


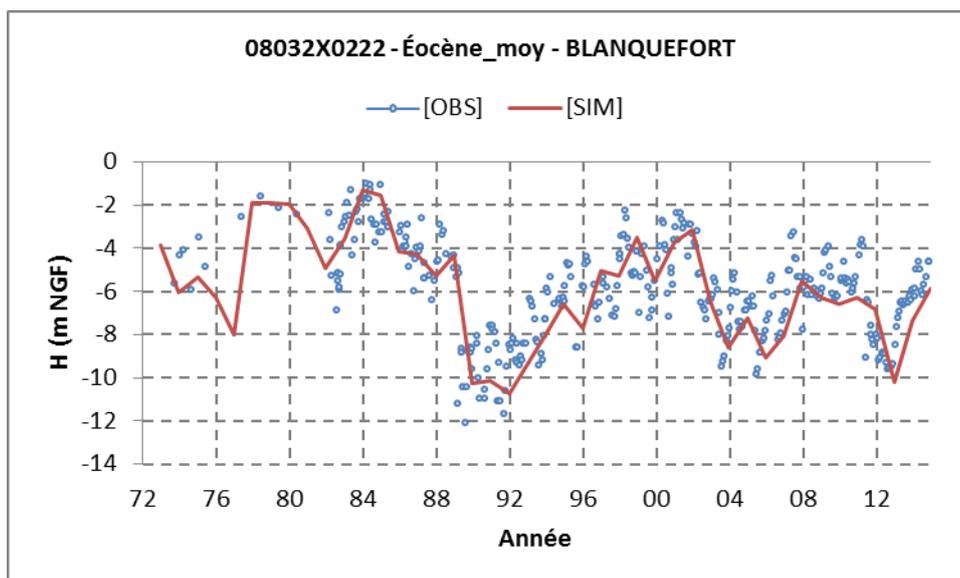
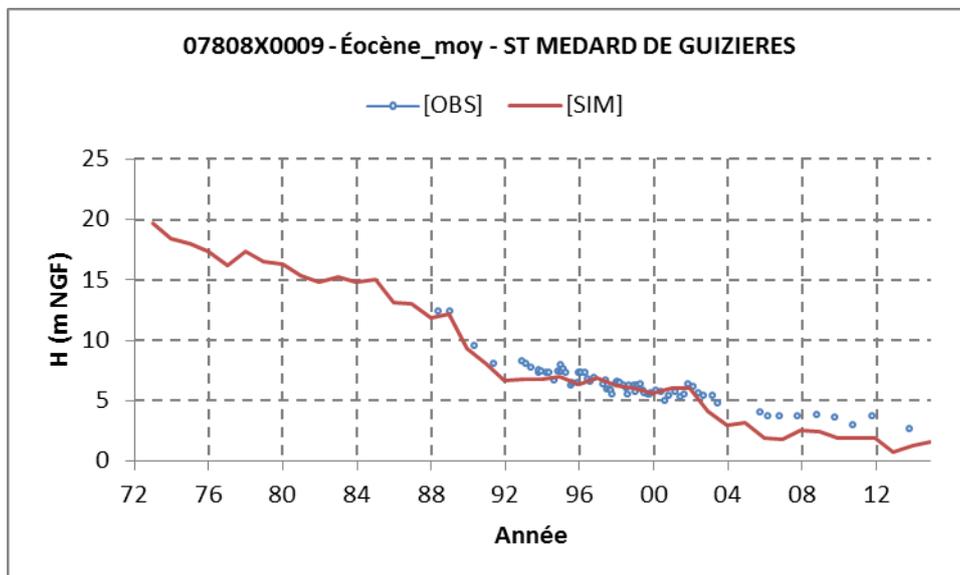
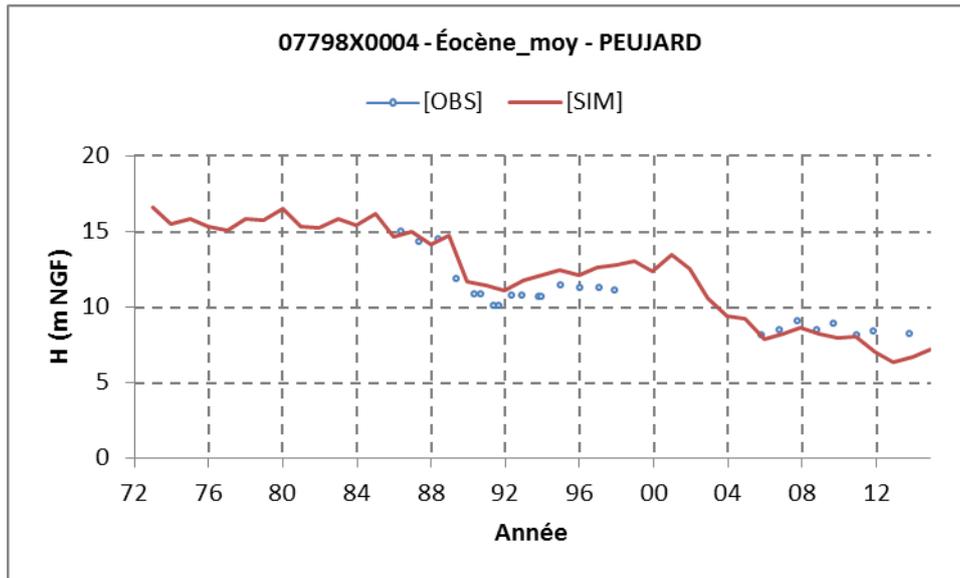


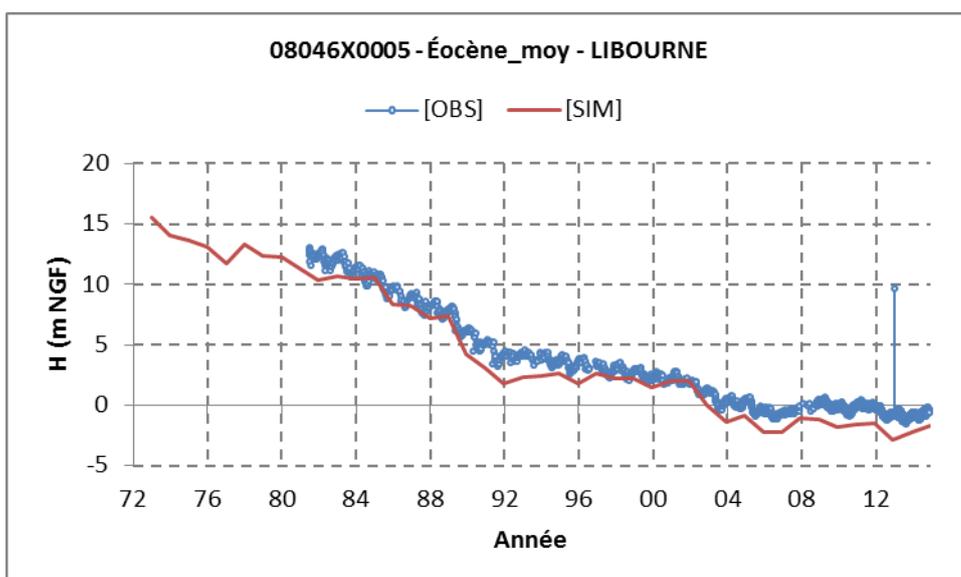
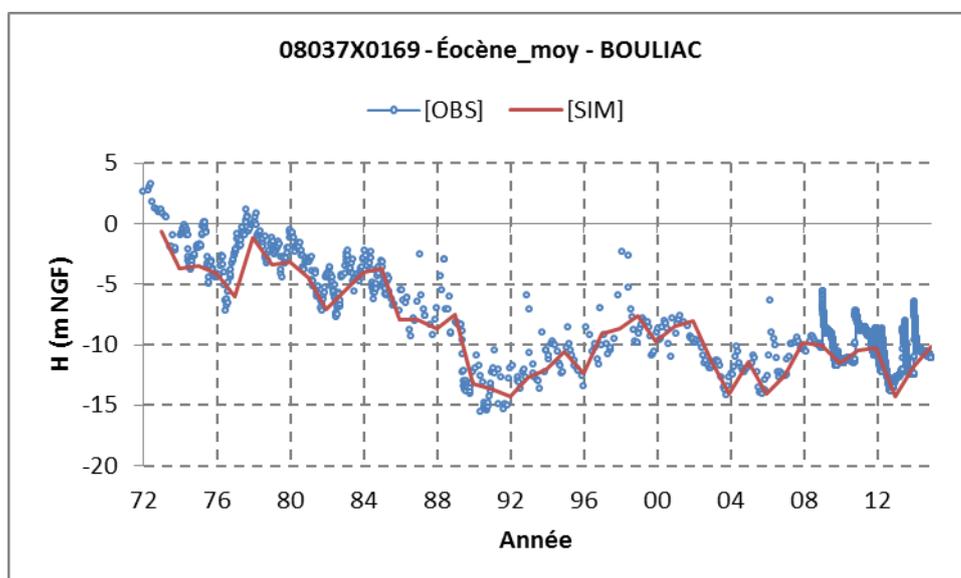
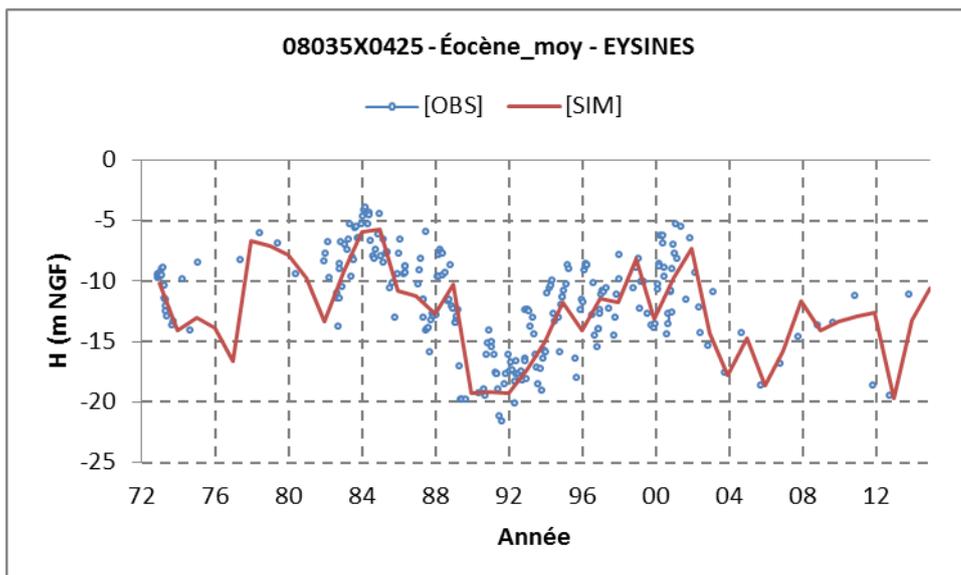


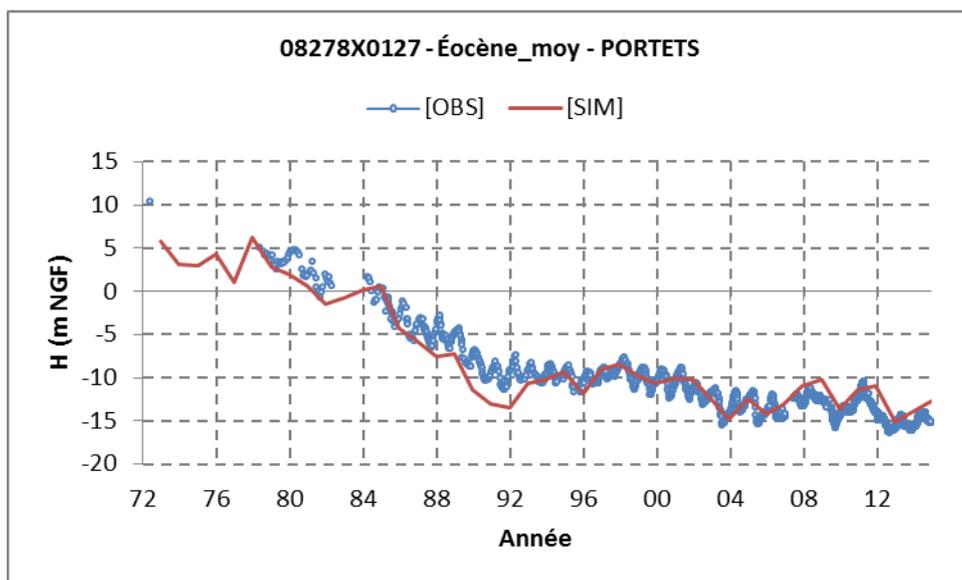
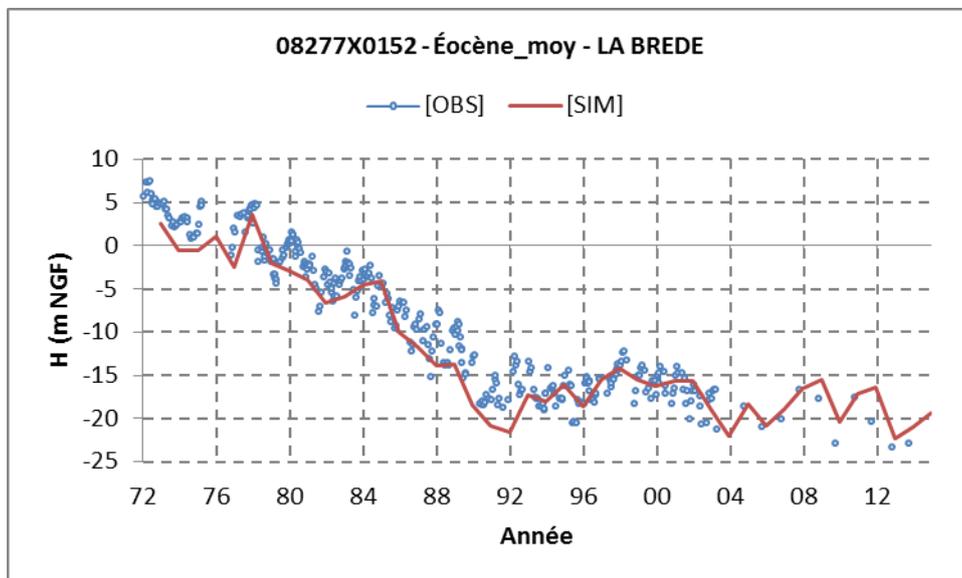
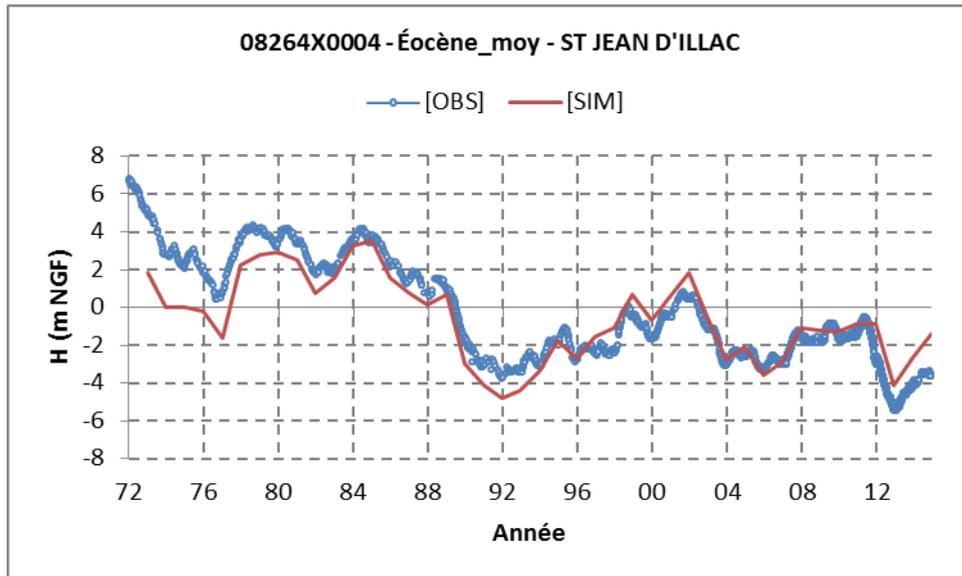


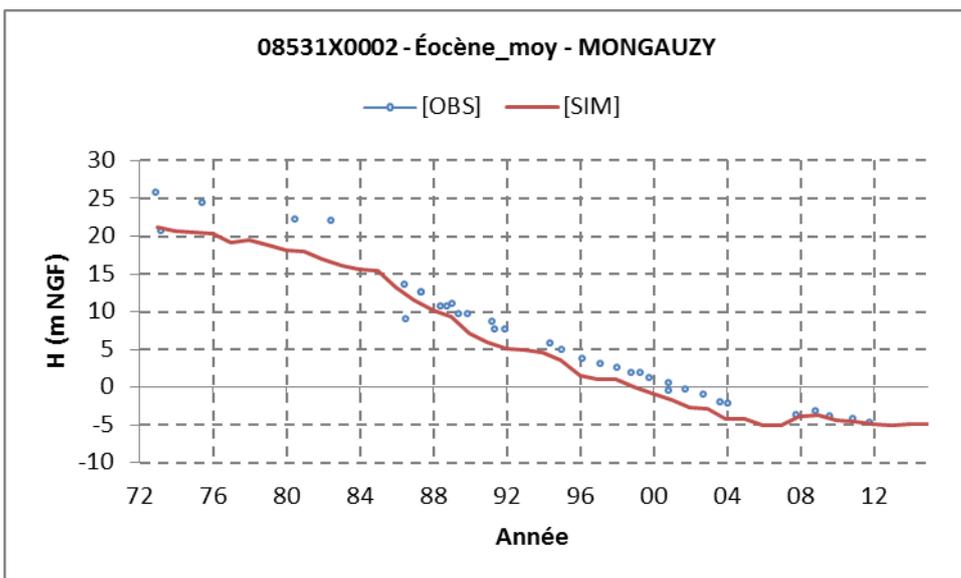
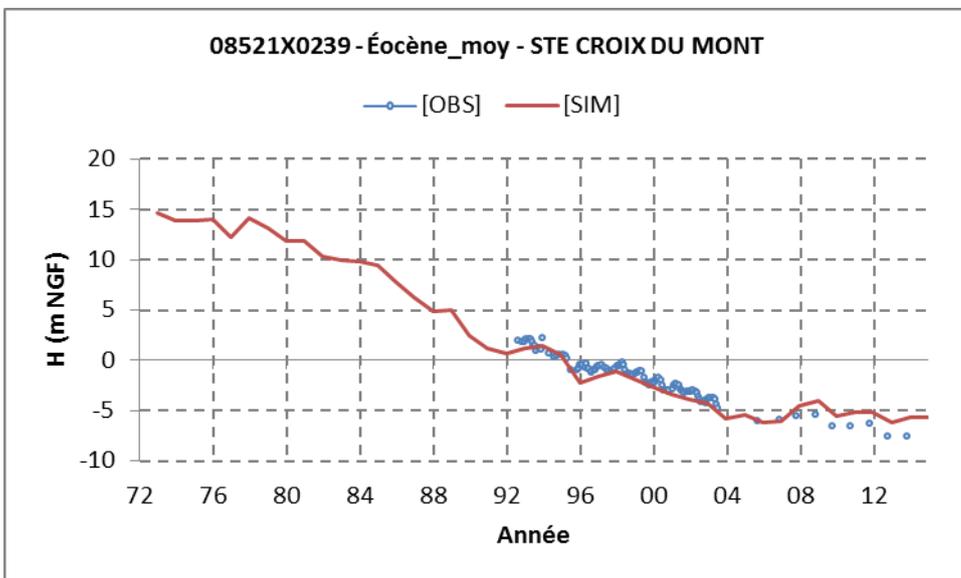
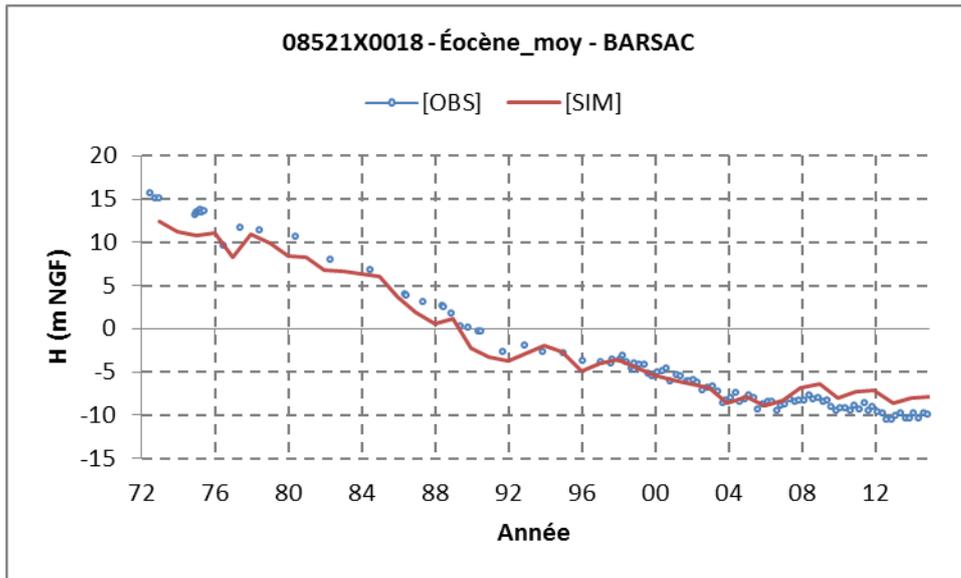


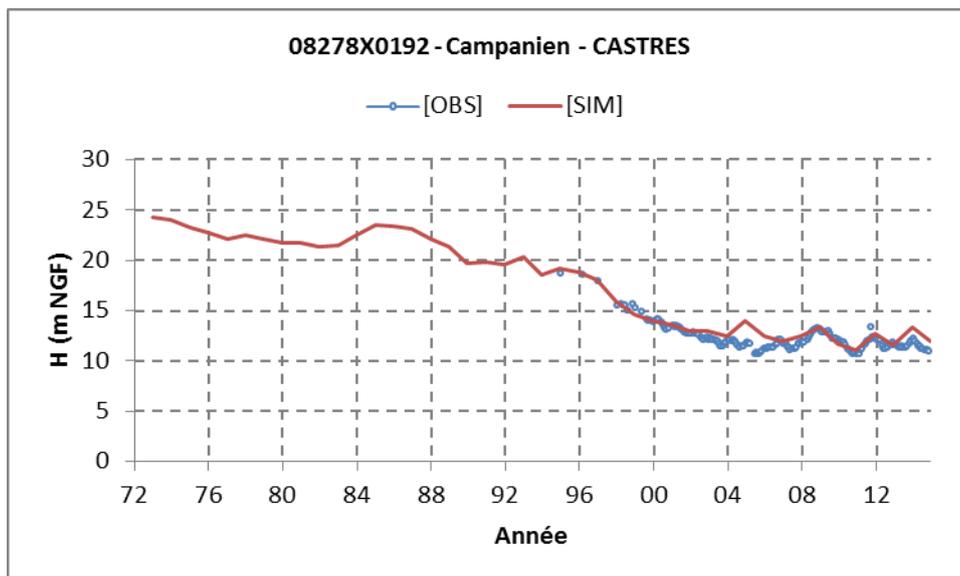
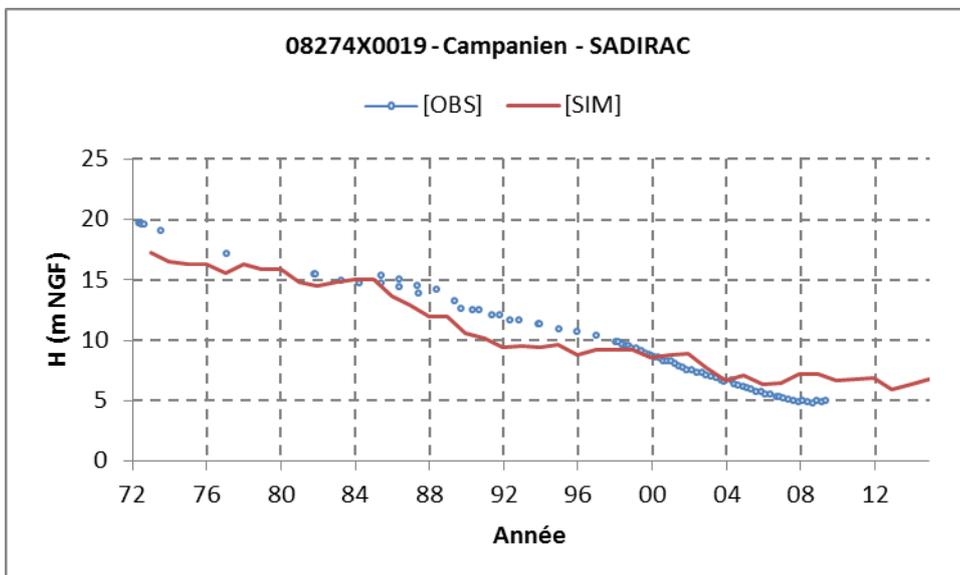
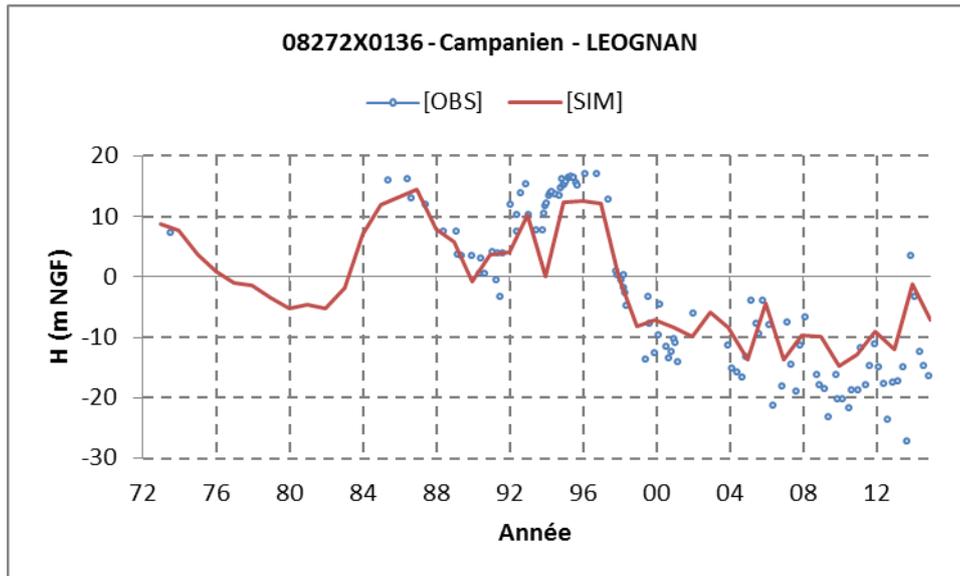


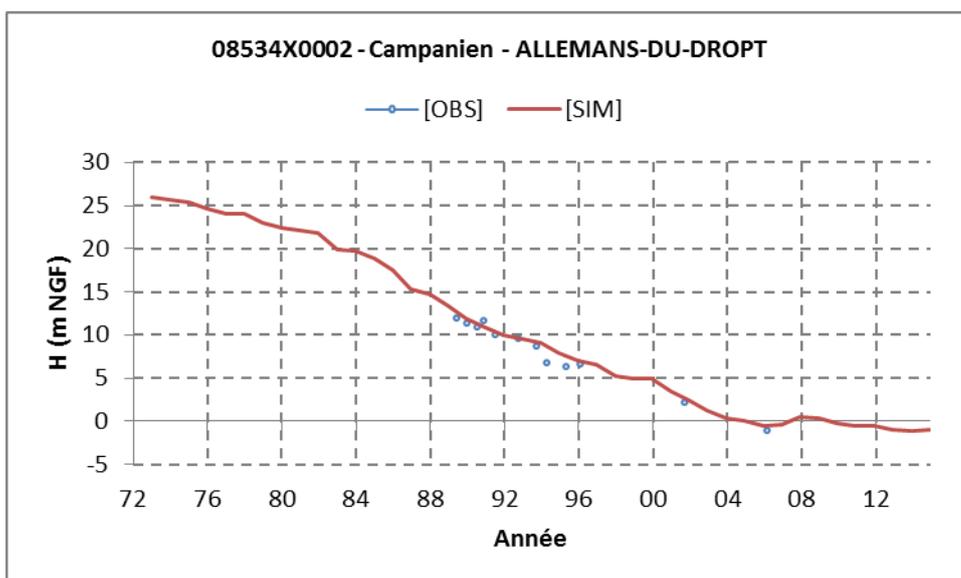
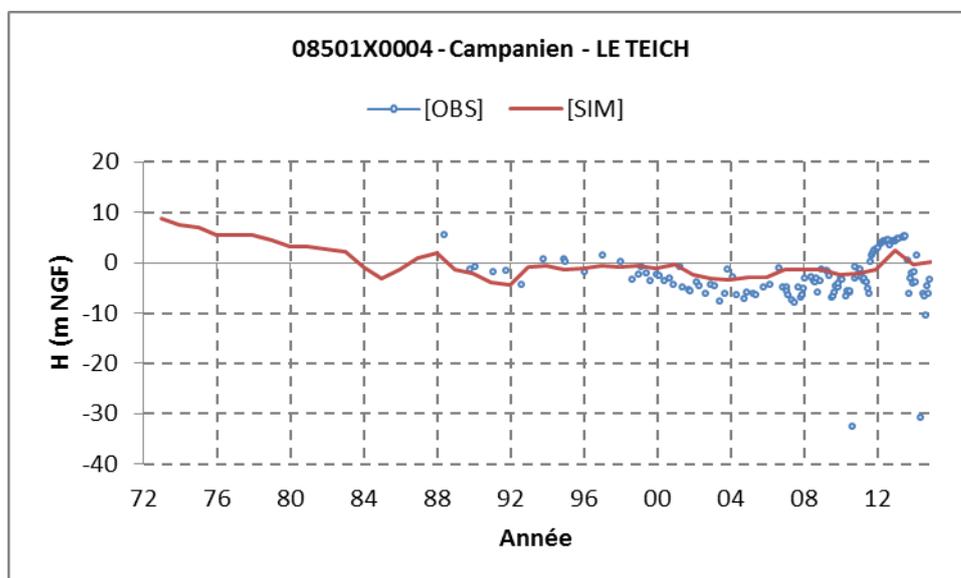
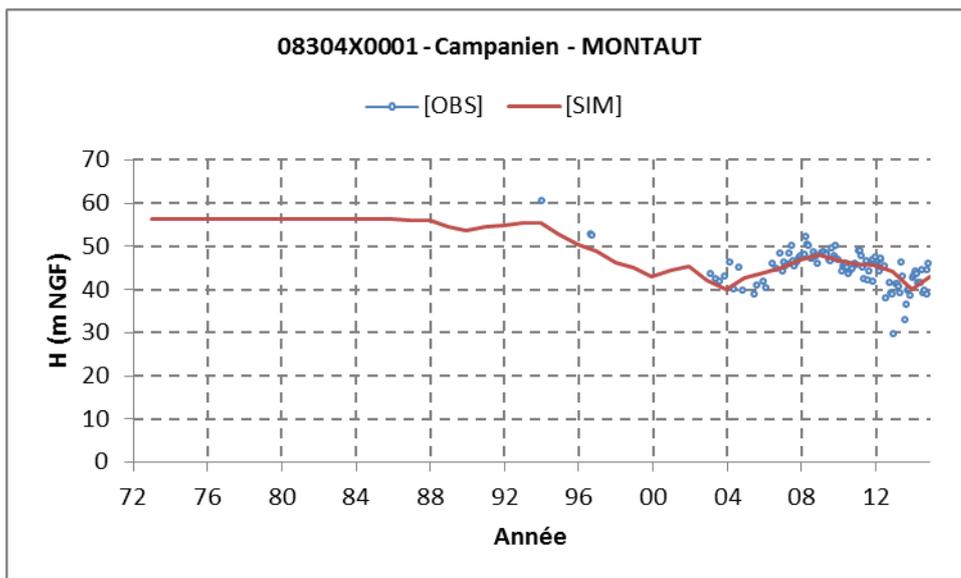


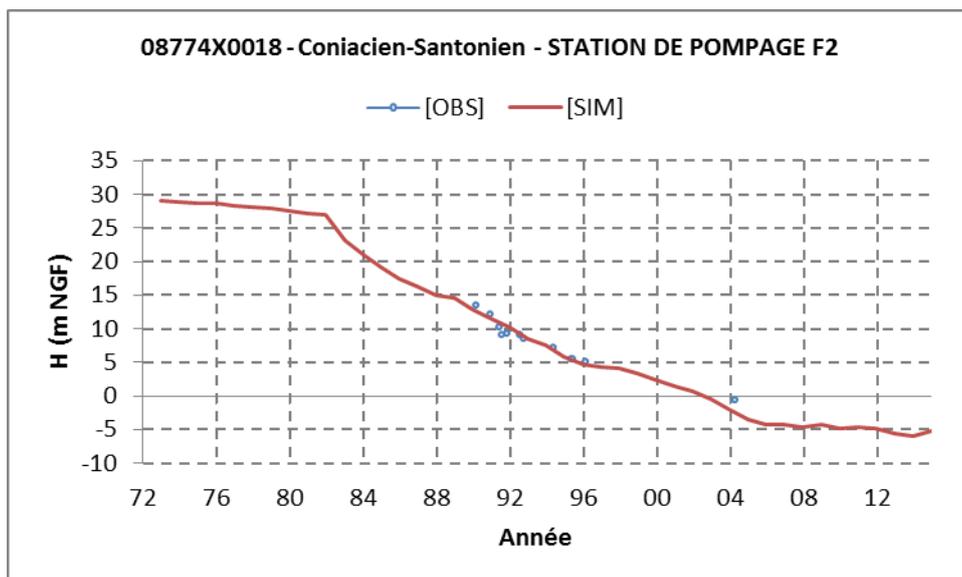
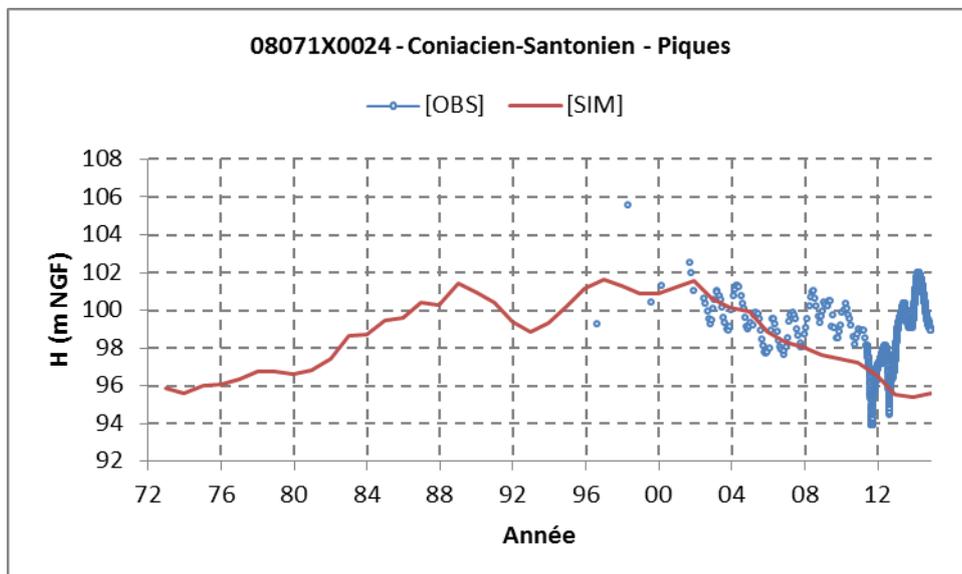
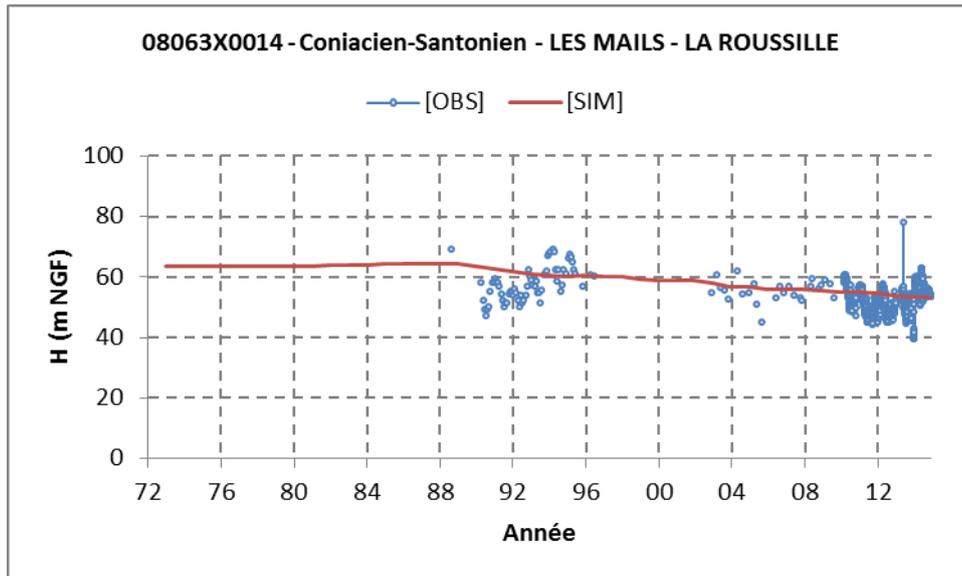


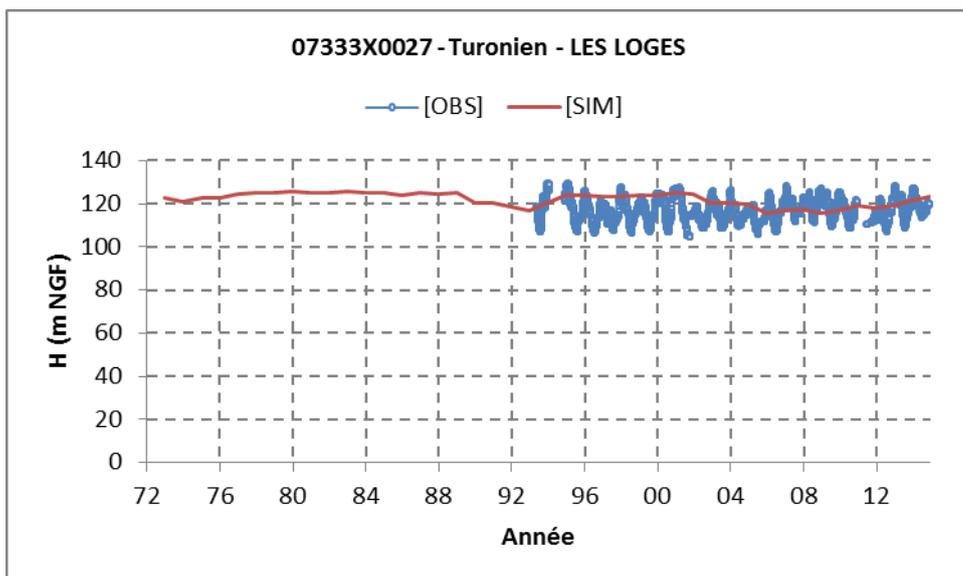
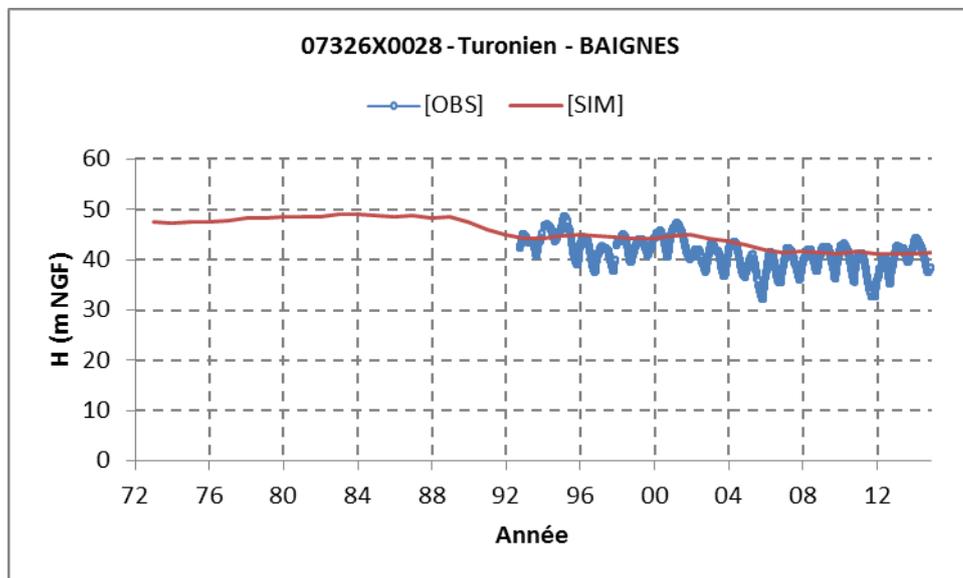
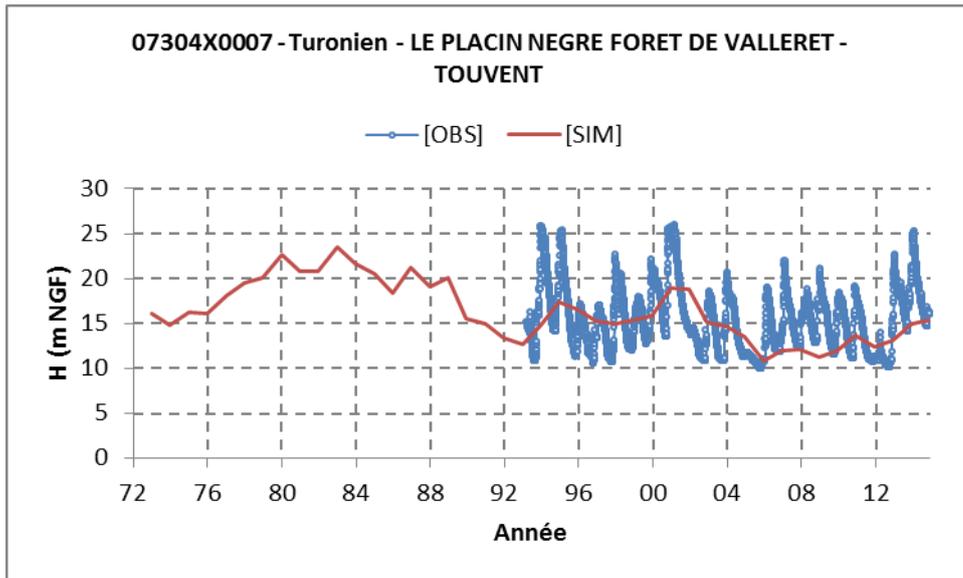


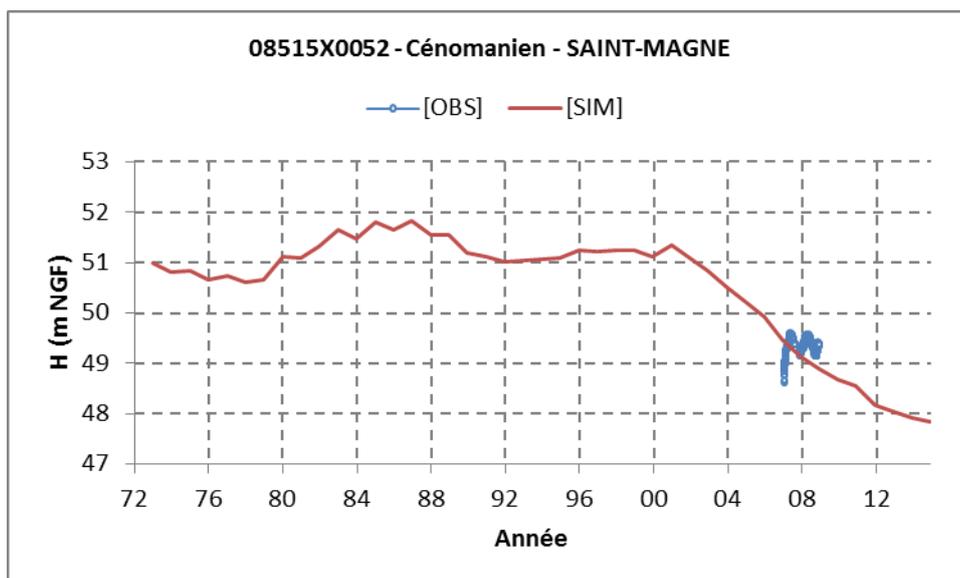
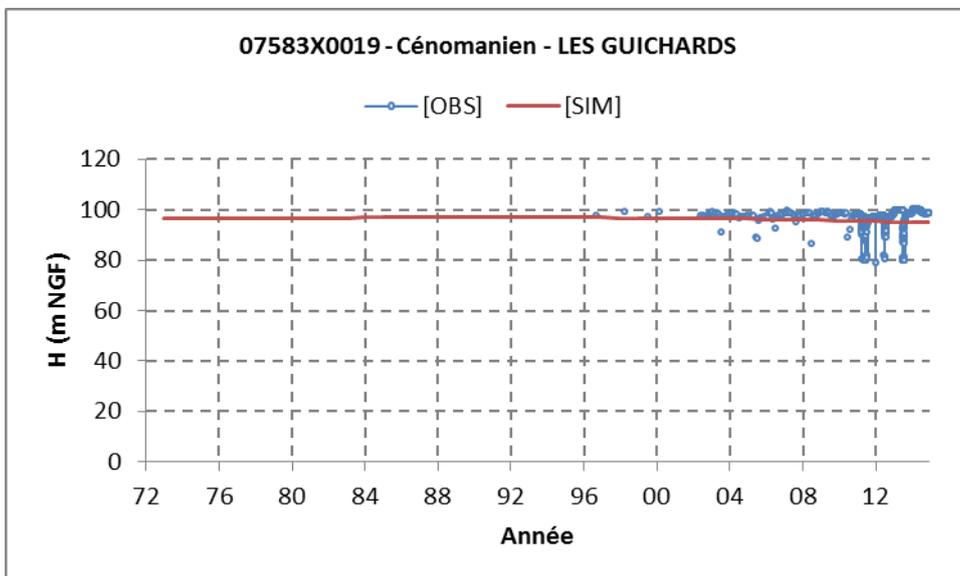
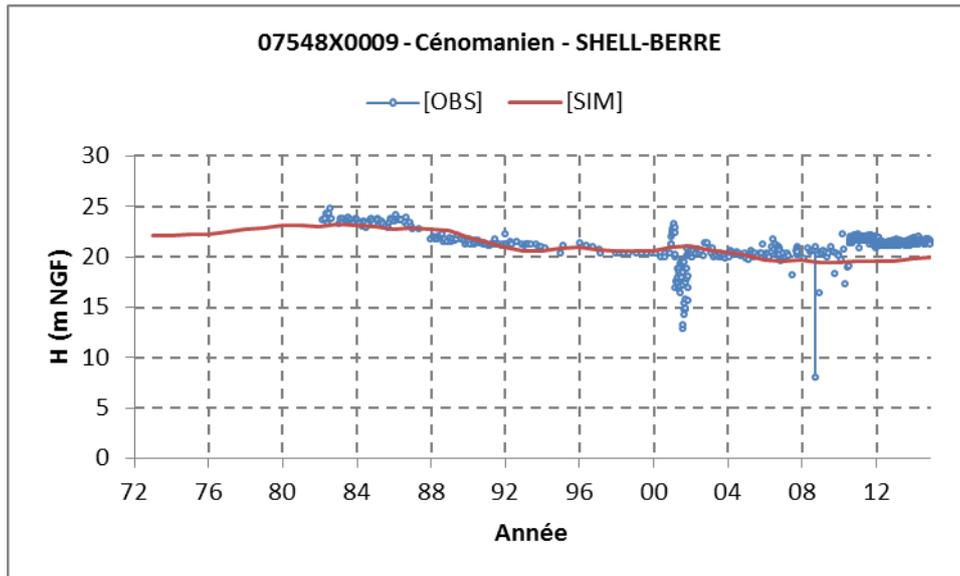


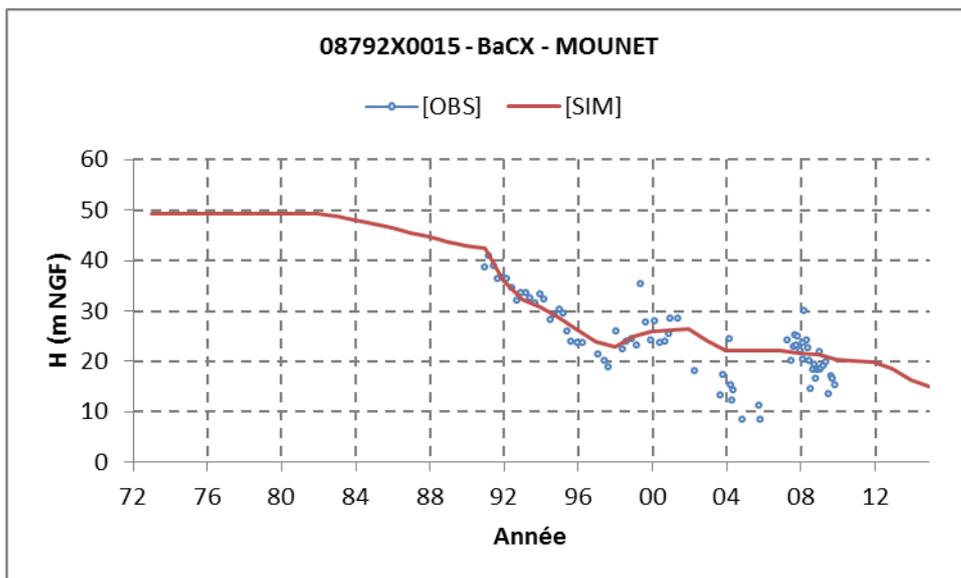
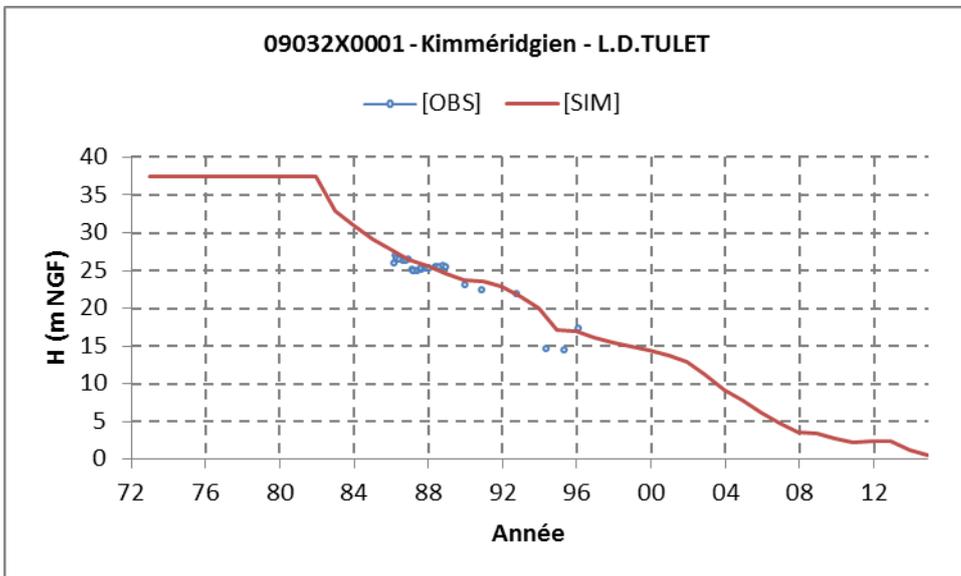
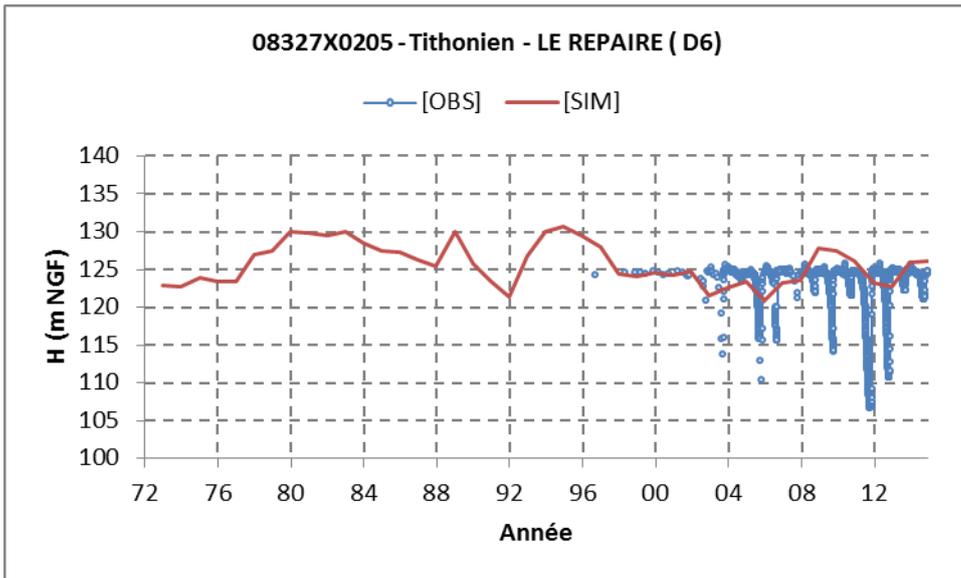


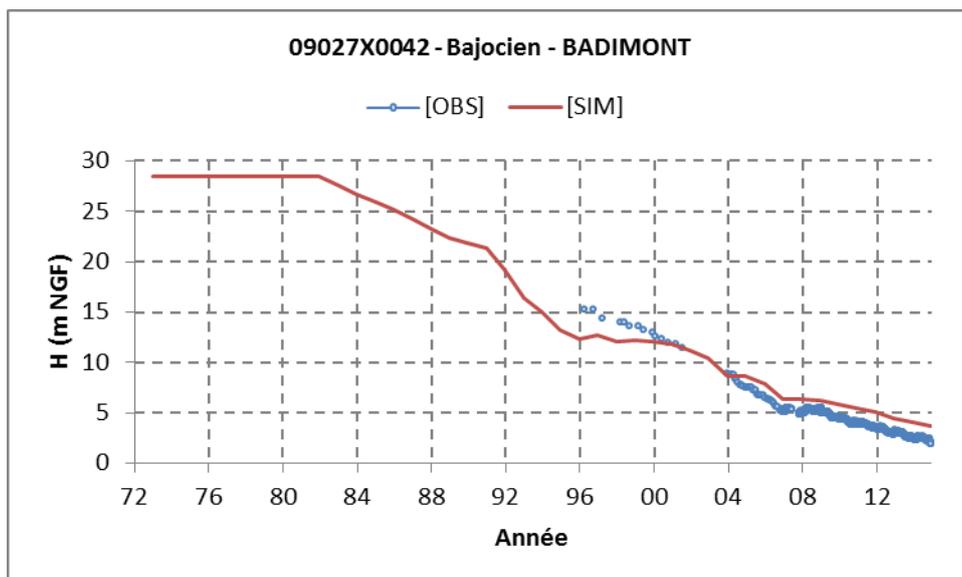
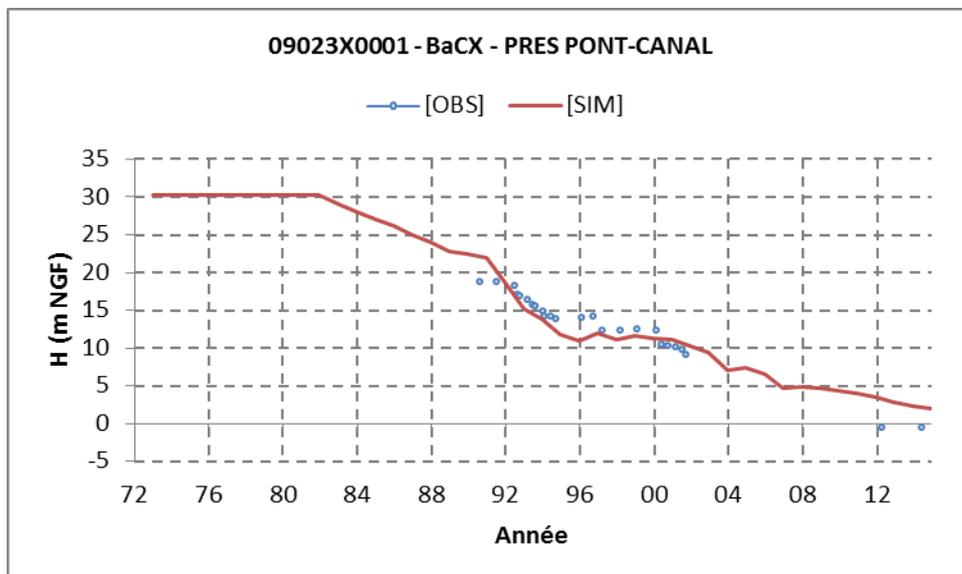
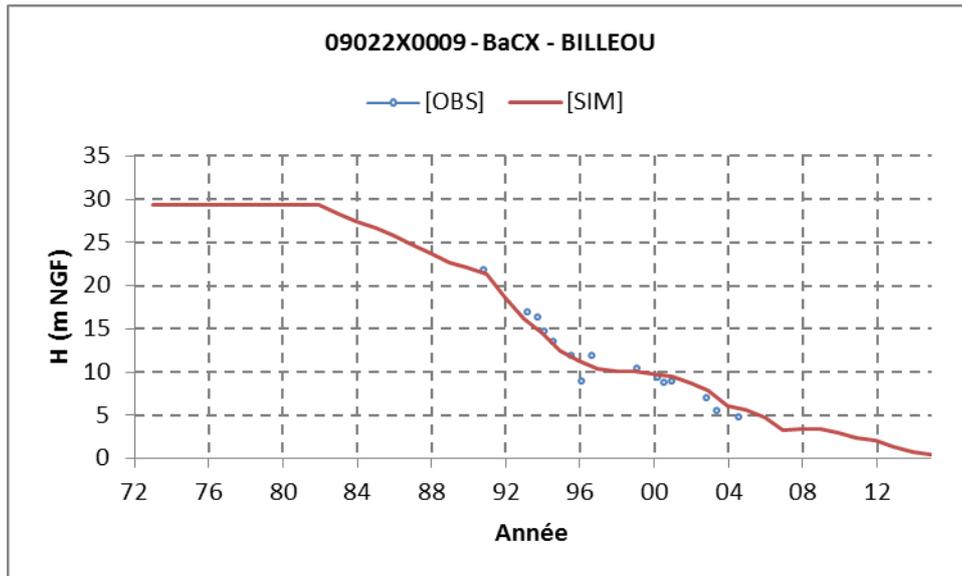














Géosciences pour une Terre durable

brgm

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

Direction régionale Nouvelle-Aquitaine
Parc Technologique Europarc
24 Avenue Lénorad de Vinci
33 600 – Pessac – France
Tél. : 05 57 26 52 70