



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès immédiat


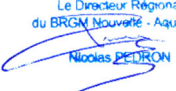
Projet MOHYS - Interprétation des investigations de terrain, construction et calage du modèle hydrogéologique du Bassin d'Arcachon

Rapport final

BRGM/RP-72294-FR

Version 5 du 12 décembre 2022

Étude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM
Cabaret O., Wulleumier A., Barrière J., Lemaitre L., Bourbon P., Ayache B., Douez O.

Vérificateur :	Approbateur :
Nom : Amraoui Nadia	Nom : Pédron Nicolas
Fonction : Hydrogéologue	Fonction : Directeur Régional BRGM Nouvelle-Aquitaine
Date : 07/04/2023	Date : 20/04/2023
Signature : 	Signature :  <small>Le Directeur Régional du BRGM Nouvelle - Aquitaine Nicolas PÉDRON</small>

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

Contact : qualite@brgm.fr



UNION EUROPEENNE
Fonds Européen de
développement Régional



BASSIN
D'ARCACHON
SIBA

Mots clés : Bassin Arcachon, carte piézométrique, pompage d'essai, modèle hydrogéologique

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

Cabaret O., Wulleumier A., Barrière J., Lemaitre L., Bourbon P., Ayache B., Douez O. (2022) - Projet MOHYS - Interprétation des investigations de terrain, construction et calage du modèle hydrogéologique du Bassin d'Arcachon. Rapport final. V 5. BRGM/RP-72294-FR, 117 p., 5 annexes.

© BRGM, 2022, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.
IM003-MT008-P2-20/01/2022

Synthèse

Le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA) exerce ses compétences sur le territoire des 12 communes riveraines du Bassin d'Arcachon, où la nappe dite du "Plio-Quaternaire" se trouve à faible profondeur. Dans ce secteur, et plus globalement dans l'ensemble du "Triangle Landais", cette nappe est en relation étroite avec un réseau hydrographique dense, composé de cours d'eau naturels (ruisseaux et rivières) et d'un réseau de drainage façonné par l'homme (fossés, crastes) permettant l'assainissement des terrains par l'« écrêtage » de la nappe.

En raison de la proximité de la nappe en surface, en particulier au cours de la période de hautes eaux, le SIBA est confronté à différentes problématiques en lien avec ses missions, notamment celles de gestion des eaux usées et pluviales :

- problématique des eaux de remontée de nappe et évacuation des eaux en lien avec le réseau de drainage de surface mis en place ; la problématique pouvant être accentuée lors des inondations, notamment en cas de concomitance (phasage) avec une marée haute de fort coefficient ;
- entrées d'eaux "claires parasites", issues de la nappe, dans le réseau de collecte des eaux usées, lorsque ce dernier est ennoyé ;
- mise en place de solutions d'assainissement autonomes en lien avec le niveau de la nappe.

En parallèle, le SIBA s'interroge sur la qualité des eaux et en particulier sur les flux de micropolluants qui atteignent le Bassin d'Arcachon via la nappe et les cours d'eau.

Le SIBA s'est donc rapproché du BRGM afin de disposer d'éléments de connaissance sur le contexte hydrogéologique de son territoire via, notamment, le développement d'un outil de modélisation hydrogéologique opérationnel lui permettant de l'aider dans ses missions.

Au cours d'une première phase, le travail réalisé dans le cadre du partenariat SIBA-BRGM (Domez, 2018) a permis de proposer un premier cadrage des spécifications techniques de l'outil de modélisation à réaliser et de proposer des acquisitions de données hydrologiques et hydrogéologiques complémentaires, en particulier dans les secteurs à enjeux définis par le SIBA.

La seconde phase du programme de travail, objet de ce rapport, concerne i) l'acquisition et le traitement de nouvelles données (relevés de niveaux piézométriques ponctuels ou continus, pompages d'essai, nivellement de la topographie de cours d'eau) et ii) la construction d'un modèle hydrogéologique et un calage préliminaire.

L'acquisition des données sur le terrain a été opérée dans son intégralité par le SIBA, qui a mobilisé les compétences internes de ses services et sous-traité certaines tâches. A noter qu'il était prévu qu'un certain nombre d'opérations se déroulent pendant la période 2020-2021. Toutefois, au regard notamment des conditions sanitaires qui se sont exercées de mars 2020 à juin 2021, ces investigations ont dû être, pour certaines, réduites et/ou repoussées à 2022. La participation du BRGM à ces actions s'est ici limitée essentiellement à un appui technique, en amont des acquisitions.

Les données suivantes ont ainsi été acquises par le SIBA :

- données piézométriques synchrones en périodes de basses eaux (octobre 2020) et de hautes eaux (février 2022) ;

- données continues de niveaux piézométriques, dans 7 ouvrages, du 15/03/2021 au 07/09/2022 ;
- pompages d'essai : le SIBA a sous-traité la réalisation de 5 essais de pompage autour du Bassin, à la demande du BRGM, afin d'avoir des informations concernant les paramètres hydrodynamiques des formations hydrogéologiques rencontrées.

Le BRGM s'est chargé du traitement de ces données. Deux esquisses piézométriques (février 2022 et octobre 2020) ont été générées et montrent que la surface piézométrique suit les grands traits de la topographie.

Malgré les prescriptions techniques demandées aux prestataires par le SIBA, sur les conseils du BRGM, l'exploitation des données des pompages d'essai a montré qu'une interprétation complète et étayée de celles-ci n'était pas possible, du fait de problèmes techniques, du manque de suivi de certains paramètres et d'erreurs de paramétrages du matériel sur le terrain. Les paramètres hydrodynamiques toutefois déduits de l'interprétation de ces données incomplètes s'échelonnent de $1,7 \cdot 10^{-3}$ à $2,6 \cdot 10^{-2}$ m²/s pour la transmissivité et de $1,5 \cdot 10^{-3}$ à $5,5 \cdot 10^{-2}$ m²/s pour l'emmagasinement. Les valeurs de ces paramètres pouvant être entachées d'une certaine incertitude, du fait que les tests n'ont pas été réalisés dans les règles de l'art, la manipulation de ces paramètres doit donc tenir compte de cette information. Ces valeurs correspondent toutefois à celles couramment mesurées dans ce contexte.

En parallèle, le développement de l'outil de modélisation a été initié. L'extension de modèle proposée (2 373 km²) s'appuie à la fois sur des considérations hydro(géo)logiques (limites du bassin versant) et sur la bonne prise en compte des enjeux définis par le SIBA. Un maillage principal, représenté par des mailles de 250 m de côté, et un maillage plus fin, de 50 m de côté dans les secteurs à enjeux, ont été retenus après concertation avec le SIBA. Cinq couches hydrogéologiques ont été retenues (3 aquifères et 2 épontes) dont les extensions et épaisseurs s'appuient en partie sur le modèle régional du Mio-Plio-Quaternaire (MPQ - Cabaret et al., 2019) retravaillé localement à partir de l'analyse locale de données piézométriques et géologiques.

L'architecture du modèle ayant été définie, les éléments suivants ont été intégrés à l'outil, en vue d'une modélisation, pour la période 2010-2018, au pas de temps mensuel :

- Une limite à potentiel imposé fixe a été disposée au niveau de l'océan, du Bassin d'Arcachon et du lac de Cazaux. Partout ailleurs, une condition de type "flux nul" a été imposée au modèle. À noter que les zones d'intérêts sont éloignées de ces limites.
- Le réseau hydrographique, composé de cours d'eau, ruisseaux, fossés, canalisations et drains (760 kilomètres de linéaire), a été intégré avec une attention particulière dans les zones à enjeux et en concertation avec le SIBA.
- La recharge pluviale et le ruissellement ont été pris en compte à partir des données climatiques spatialisées fournies par Météo-France et du calcul des bilans hydroclimatiques réalisé à l'aide du module GARDÉNIA, intégré à MARTHE (Cabaret, 2019).

Par la suite, un premier jeu de données des propriétés hydrodynamiques (perméabilité, coefficients d'emmagasinement captif) a été intégré dans chaque maille du modèle, à partir des informations issues de la bibliographie. Données qui seront complétées par la suite avec celles issues des interprétations des pompages d'essai sous-traités par le SIBA.

Afin de prendre en compte les prélèvements et les rejets dans les eaux souterraines et superficielles, une collecte d'informations a été opérée auprès des bases nationales (Agence de l'Eau) et départementales (Chambres d'agriculture de Gironde et des Landes), et un important travail de croisement de ces différentes sources de données a été mené afin de disposer de

chroniques annualisées complètes pour des ouvrages géolocalisés. Ensuite, une ventilation au pas de temps mensuel, pour les données annualisées, a été proposée (une attention particulière a été portée pour la période estivale où les usages pour l'irrigation, mais également les usages AEP, dans un territoire très touristique, sont importants).

Pour le calage du modèle, les chroniques piézométriques, les mesures ponctuelles de niveaux dans les nappes, les chroniques de débits de cours d'eau et des jaugeages ponctuels ont été collectés. Pour les nappes, 232 points d'observation disposant a minima d'une mesure ont été répertoriés, tandis que seuls 20 ouvrages disposent d'un suivi continu. Pour les cours d'eau, 42 stations disposent d'une à plusieurs mesures de débits, dont 13 avec des suivis en continu.

A la suite de la construction du modèle hydrodynamique, un premier calage en régime transitoire, au pas de temps mensuel, pour la période 2010-2018, a été initié et montre déjà des résultats intéressants dans certains secteurs. Il convient toutefois de poursuivre ce calage afin que celui soit plus robuste et que l'outil puisse être utilisé par le SIBA pour répondre à ses besoins. Les perspectives d'amélioration concernent principalement le calage des propriétés hydrodynamiques, une révision de certains paramètres qui régissent les échanges nappes-rivières et une densification des données de suivis piézométriques et de cours d'eau.

Afin de montrer le potentiel de ce type de modèle, des exemples d'exploitation sont proposés. A noter que les sorties produites ne doivent être utilisées que dans ce strict objectif.

Sommaire

1. Introduction.....	13
2. Acquisition de données complémentaires.....	15
2.1. Équipement de piézomètres avec des sondes de pression.....	15
2.2. Campagnes piézométriques de basses et hautes eaux.....	18
2.3. Réalisation de pompages d'essai.....	19
2.3.1. <i>Conditions de réalisation</i>	19
2.3.2. <i>Données fournies et interprétations : site de Lège Cap-Ferret</i>	21
2.3.3. <i>Données fournies et interprétations : site d'Andernos-les-Bains</i>	23
2.3.4. <i>Données fournies et interprétations : site de Biganos</i>	25
2.3.5. <i>Données fournies et interprétations : site de La Teste-de-Buch</i>	27
2.3.6. <i>Données fournies et interprétations : site de Gujan-Mestras</i>	28
3. Développement du modèle MOHYS.....	31
3.1. Définition de la géométrie du modèle et maillage.....	31
3.1.1. <i>Définition de l'extension horizontale et verticale du modèle</i>	31
3.1.2. <i>Extension et discrétisation « verticale » de la série hydrogéologique</i>	32
3.1.3. <i>Constitution d'une topographie affinée pour le modèle hydrogéologique</i>	41
3.1.4. <i>Discrétisation spatiale retenue</i>	43
3.2. Paramètres hydrodynamiques initiaux des formations modélisées (perméabilité et coefficients d'emmagasinement libre et captif).....	46
3.3. Recharge pluviale et ruissellement.....	47
3.4. Rivières et canaux.....	49
3.4.1. <i>Linéaire pris en compte</i>	49
3.4.2. <i>Architecture du réseau intégré au modèle</i>	50
3.4.3. <i>Caractéristiques des paramètres à intégrer dans l'outil de modélisation</i>	54
3.4.4. <i>Débits des cours d'eau, fossés et crastes</i>	55
3.5. Lac de Cazaux-Sanguinet.....	61
3.6. Prise en compte du niveau marin.....	64
3.7. Mesures piézométriques.....	66
3.8. Prélèvements et rejets.....	68
3.8.1. <i>Prélèvements en eaux souterraines</i>	68
3.8.2. <i>Prélèvements en eaux de surface</i>	74
3.8.3. <i>Rejets des Stations d'épuration des eaux usées</i>	75
4. Calage du modèle hydrogéologique.....	81
4.1. Résultats du calage.....	81
4.1.1. <i>Les niveaux piézométriques</i>	84
4.1.2. <i>Les débits dans les cours d'eau</i>	87
4.2. Exemples de premières exploitations du modèle.....	89
4.2.1. <i>Cartes piézométriques</i>	89
4.2.2. <i>Échanges nappes-rivières</i>	91
5. Conclusions.....	93
6. Bibliographie.....	95

Liste des illustrations

Illustration 1 - Communes concernées par l'étude	13
Illustration 2 - Localisation des piézomètres du réseau de suivi continu, mis en place par le SIBA.....	15
Illustration 3 - Chroniques piézométriques du réseau de suivi, porté par le SIBA, et précipitations journalières à la station Lagrua de La Teste-de-Buch (données fournies par le SIBA) ...	17
Illustration 4 - Chronique piézométrique de l'ouvrage BSS001ZFHU de Biganos (source : https://ades.eaufrance.fr)	18
Illustration 5 - Carte piézométrique de la nappe du Plio-Quaternaire (octobre 2020 ; basses eaux)	19
Illustration 6 - Coordonnées, en Lambert 93, des forages sélectionnés pour la réalisation des pompages d'essai	20
Illustration 7 - Localisation des forages sélectionnés pour la réalisation des pompages d'essai	20
Illustration 8 - Suivi du pompage d'essai dans le forage de Lège Cap-Ferret (données ECR Environnement).....	22
Illustration 9 - Rabattement en pompage dans le piézomètre de Lège Cap-Ferret et dérivée (lissée) associée	23
Illustration 10 - Suivi du pompage d'essai dans le forage d'Andernos-les-Bains (données ECR Environnement).....	24
Illustration 11 - Rabattement en pompage dans le piézomètre d'Andernos-les-Bains et dérivée (lissée) associée	25
Illustration 12 - Suivi du pompage d'essai dans le forage de Biganos (données ECR Environnement)....	26
Illustration 13 - Rabattement en pompage dans le puits pompé de Biganos et dérivée (lissée) associée	26
Illustration 14 - Suivi du pompage d'essai dans le forage de La Teste-de-Buch (données ECR Environnement).....	27
Illustration 15 - Rabattement en pompage dans le puits pompé de La Teste-de-Buch et dérivée associée	28
Illustration 16 - Suivi du pompage d'essai dans le forage de Gujan-Mestras (données ECR Environnement).....	29
Illustration 17 - Rabattement en pompage dans le piézomètre de Gujan-Mestras et dérivée associée....	29
Illustration 18 - Extension du modèle MOHYS : à gauche, données hydrogéologiques disponibles et zones à enjeux à considérer ; à droite, extension retenue pour le modèle	32
Illustration 19 - Couches géologiques représentées dans les modèles Mio-Plio-Quaternaire (MPQ) et MOHYS	33
Illustration 20 - Localisation des ouvrages 08262X0023 et 08262X0290, situés dans le secteur de Blagon à Lanton (sur fond MNT), et leur chronique piézométrique (données ADES).....	34
Illustration 21 - Localisation des ouvrages 08494X0126 et 08494X0077, situés dans le secteur de l'aérodrome de Villemarie à La Teste-de-Buch (sur fond MNT), et leur chronique piézométrique (données ADES)	34
Illustration 22 - Succession lithostratigraphique synthétique des formations continentales des Landes de Gascogne (Dubreuilh et al., 1995) et carte régionale représentant l'emprise de la formation d'Arengosse avec son toit argileux (extrait du modèle Mio-Plio-Quaternaire, Corbier et Karnay, 2008).....	36
Illustration 23 - Représentation cartographique du secteur de La Teste-de-Buch, où un toit argileux a été identifié au sommet de la formation d'Arengosse, à partir des logs de forages.....	37

Illustration 24 - Représentation cartographique du secteur de Lanton, où un toit argileux a été identifié au sommet de la formation de Belin (formation des Argiles de Brach)	39
Illustration 25 - Intégration d'une épente entre les formations d'Arengosse et d'Onesse générant une différence piézométrique entre les deux aquifères.....	41
Illustration 26 - Modèle numérique de terrain du modèle MOHYS.....	42
Illustration 27 - Sources des données utilisées pour constituer le MNT du modèle MOHYS	42
Illustration 28 - Prise en compte des cours d'eau dans le MNT du modèle MOHYS.....	43
Illustration 29 - Maillage principal du modèle MOHYS (250 m x 250 m) et secteurs affinés (50 m x 50 m)	44
Illustration 30 - Maillages gigognes des secteurs « Sud Bassin » et « Biganos - Lac Vert »	44
Illustration 31 - Architecture 3D du modèle hydrogéologique MOHYS	45
Illustration 32 - Données de perméabilité et d'emmagasinement, issues de la bibliographie, pour les formations plio-quadernaires	46
Illustration 33 - Comparaison des perméabilités des modèles MOHYS et MONA v3.5 avec les données bibliographiques obtenues des pompages d'essai, pour les formations miocènes, dans l'emprise du modèle MOHYS	47
Illustration 34 - Schéma de fonctionnement du calcul de la recharge dans le module GARDENIA, intégré à MARTHE (Thiéry, 2017)	48
Illustration 35 - Grille Safran (de Météo-France) et zones de sol appliquées dans l'emprise du modèle MOHYS.....	48
Illustration 36 - Réseau de drainage général autour du Bassin d'Arcachon (source : SIBA)	49
Illustration 37 - Réseau de drainage représenté dans le modèle et localisation des 42 points d'observation des débits de cours d'eau.....	50
Illustration 38 - Architecture du réseau de drainage dans le secteur de Le Teich et Gujan-Mestras	51
Illustration 39 - Bassin en aval du ruisseau Petioun et batardeau contrôlant le rejet dans le port du Teich (Setec hydratec, 2019a ; orthophotoSIBA 2012).....	52
Illustration 40 - Architecture du réseau de drainage retenu en aval de la Leyre.....	53
Illustration 41 - Secteurs (au nombre de 6) où le réseau de drainage présente une diffuence, avec les pourcentages attribués dans le modèle.....	54
Illustration 42 - Tronçons canalisés du réseau de drainage.....	55
Illustration 43 - Tableau de répartition temporelle des mesures de débit	56
Illustration 44 - Localisation des stations hydrométriques de Pissos, sur la Grande Leyre (S2134010), et de Belhade, sur la Petite Leyre (S2041010), situées en dehors des limites du modèle MOHYS.....	58
Illustration 45 - Schéma de fonctionnement du logiciel GARDENIA (BRGM).....	58
Illustration 46 - Simulation du débit de la Grande Leyre à Pissos (1998-2020).....	59
Illustration 47 - Simulation du débit de la Petite Leyre à Belhade (1998-2020).....	60
Illustration 48 - Chroniques de débits reconstitués de la Grande Leyre, à Pissos (2010-2018 ; en orange : débit hebdomadaire maximal ; en bleu : débit hebdomadaire moyen).....	60
Illustration 49 - Chroniques de débits reconstitués de la Petite Leyre, à Belhade (2010-2018 ; en orange : débit hebdomadaire maximal ; en bleu : débit hebdomadaire moyen).....	61
Illustration 50 - Carte des étangs du SAGE Born-et-Buch et des ouvrages hydrauliques (Géolandes 2006)	62

Illustration 51 - Extension des 941 mailles en potentiel imposé recouvrant le lac de Cazaux-Sanguinet et servant à imposer les variations de niveau du lac dans le temps	63
Illustration 52 - Chronique du relevé du niveau du lac à Sanguinet et niveaux mensuels retenus pour le modèle	64
Illustration 53 - Marégraphe d’Arcachon-Eyrac	64
Illustration 54 - Niveaux moyens et PMVE mesurés avec le marégraphe, au cours de la période 2010-2018 et extensions correspondantes dans le Bassin d’Arcachon	65
Illustration 55 - Contours du potentiel imposé au niveau du Bassin d’Arcachon (en rouge) et niveau PMVE (en marron)	65
Illustration 56 - Répartition spatiale des 232 points d’observation de la nappe, disponibles pour le modèle MOHYS, au cours de la période 2010-2018	67
Illustration 57 - Répartition temporelle des mesures piézométriques disponibles pour le modèle MOHYS, au cours de la période 2010-2018	67
Illustration 58 - Piézométrie de référence du système aquifère libre (127A0) du Mio-Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne (Pédron et al., 2002), à gauche, et carte piézométrique du bassin versant de la Leyre, en hautes eaux 2014 (Corbier et Cabaret, 2015), à droite	68
Illustration 59 - Prélèvements annuels pour l’alimentation en eau potable (AEP) et l’eau collective : chronique des prélèvements et répartitions géographique et par aquifère	70
Illustration 60 - Prélèvements annuels pour l’usage industriel : chronique des prélèvements et répartitions géographique et par aquifère	71
Illustration 61 - Prélèvements annuels pour l’usage agricole : chronique des prélèvements et répartitions géographique et par aquifère	74
Illustration 62 - Prélèvements de surface recensés dans les communes concernées par le modèle (en bleu : prélèvements intégrés au modèle ; en rouge : prélèvements non retenus pour le modèle)	75
Illustration 63 - Point de rejet de la STEP de Hostens, référencée 0533202V0021 (http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/)	77
Illustration 64 - Point de rejet de la STEP de Salles, référencée 0533498V001 (http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/)	77
Illustration 65 - Point de rejet de la STEP de Marchepime, référencée 0533555V003 (http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/)	78
Illustration 66 - Exemple de diagramme de dispersion à 4 périodes et mise en évidence des écarts constatés dans 2 ouvrages (localisés par un point rouge sur la carte)	83
Illustration 67 - Restitution par le modèle de la dynamique de la nappe du Plio-Quaternaire, au nord-est et sud-est du territoire modélisé, en comparaison avec les données de terrain (localisées par un point rouge sur la carte)	84
Illustration 68 - Restitution par le modèle de la dynamique de la nappe du Plio-Quaternaire, dans les secteurs à enjeux définis par le SIBA, en comparaison avec les données de terrain (localisées par un point rouge sur la carte)	85
Illustration 69 - Restitution par le modèle de la dynamique de la nappe du Plio-Quaternaire sur la frange littorale, en comparaison avec les données de terrain (localisées par un point rouge sur la carte)	86
Illustration 70 - Restitution par le modèle de la dynamique de la nappe dans les couches 3 & 5 du modèle, dans les secteurs à enjeux définis par le SIBA, en comparaison avec les données de terrain (localisées par un point rouge sur la carte)	86
Illustration 71 - Restitution par le modèle des débits dans les cours d’eau en comparaison avec les données de terrain (localisées par un point rouge sur la carte)	88

Illustration 72 - Cartes piézométriques de la nappe plio-quadernaire restituées par le modèle en conditions de basses et de hautes eaux.....	90
Illustration 73 - Carte piézométrique en hautes eaux (avril 2018) dans la zone à enjeux du Sud-Bassin.	91
Illustration 74 - Carte des modalités d'échanges nappe-rivière	92
Illustration 75 - Suivis du niveau du Lac Vert (en bleu), de la pluviométrie (en noir), du niveau du Bassin d'Arcachon (en orange) de juin à octobre 2018 (SAFEGE, 2019)	114
Illustration 76 - Suivis du niveau du Lac Vert (en bleu), de la piézométrie de la nappe libre (en vert), de la pluviométrie (en noir) et du niveau du Bassin d'Arcachon (en orange), en octobre et novembre 2018 (SAFEGE, 2019).....	115

Liste des annexes

Annexe 1	Carte piézométrique de la nappe du Plio-Quadernaire - octobre 2020 (basse eaux).....	97
Annexe 2	Extension des 5 couches hydrogéologiques représentées dans le modèle.....	99
Annexe 3	Epaisseurs des 5 couches représentées dans le modèle	101
Annexe 4	Comparaison des volumes annuels (m ³) fournis par l'Agence de l'Eau et la Chambre d'agriculture de Gironde.....	103
Annexe 5	Sollicitation du SIBA à propos des fluctuations observées sur le Lac Vert, à Biganos	111

1. Introduction

Le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA), qui exerce ses compétences sur le territoire des 12 communes autour du Bassin d'Arcachon (Illustration 1), a notamment en charge la gestion des eaux usées et des eaux pluviales. Dans ce cadre, le SIBA souhaite avoir une meilleure connaissance du contexte hydrogéologique local (nappe superficielle du Plio-Quaternaire en particulier) et se doter, à terme, d'un outil de modélisation pour répondre à diverses problématiques de gestion opérationnelle, rencontrées sur son territoire, en lien avec les eaux souterraines. C'est en particulier le cas pour la gestion des eaux pluviales (problématiques de débordement de nappes et drainage des eaux), la gestion des inondations (problématique pouvant être accentuée en cas de concomitance -phasage- avec une marée haute de fort coefficient), l'assainissement collectif (entrées d'eau parasites lors de l'ennoiement des réseaux) ou non collectif (en lien avec les recommandations pour l'implantation de solutions d'assainissement autonome). Enfin, depuis plusieurs années, le SIBA s'intéresse à la qualité des eaux qui atteignent le Bassin d'Arcachon. Une meilleure connaissance du fonctionnement de l'hydrosystème (sens et vitesses d'écoulement des eaux de la nappe du Plio-Quaternaire), confrontée aux données ponctuelles acquises pour contrôler la qualité des eaux, pourrait permettre d'estimer les flux de micropolluants atteignant le Bassin.

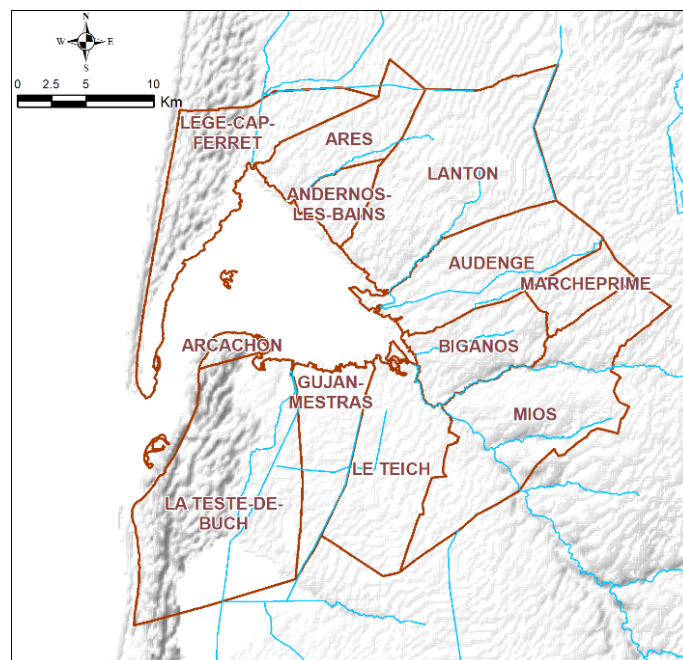


Illustration 1 - Communes concernées par l'étude

Afin de répondre à ce besoin, le SIBA s'est rapproché du BRGM pour qu'il lui fournisse des éléments de connaissance sur le contexte hydrogéologique de son territoire et développe un outil de modélisation hydrodynamique opérationnel permettant de l'appuyer dans ses missions.

Un premier travail de préfiguration (phase 1), réalisé en 2018 (Doez, 2018), a permis i) de préciser les besoins du SIBA, afin de développer un modèle hydrogéologique qui puisse l'aider à répondre à ses missions et ii) de faire le bilan des données existantes et nécessaires à la réalisation du modèle. Il a également permis de proposer des premières spécifications techniques de l'outil à réaliser et de proposer différentes acquisitions de données hydrologiques et hydrogéologiques complémentaires, notamment dans les secteurs à enjeux définis par le SIBA.

Le présent rapport présente la seconde phase de ce travail, qui a consisté pour le BRGM :

- à l'analyse et aux traitements des données acquises par le SIBA (chapitre 2) :
 - données piézométriques synchrones en période de basses eaux (octobre 2020) et de hautes eaux (février 2022) et réalisation de 2 esquisses piézométriques,
 - données continues de niveaux piézométriques,
 - pompages d'essais : analyse et interprétation.
- au développement du modèle hydrodynamique et à son premier calage pour la période 2010-2018. Afin de répondre au besoin du SIBA, l'ensemble du bassin versant amont, du territoire sur lequel il exerce ses compétences, a été pris en compte. Ainsi, en terme de spécifications initiales, le modèle s'étend en-dehors des limites du territoire du SIBA et prend en compte de façon assez précise le réseau de cours d'eau et de drainage dans les zones d'intérêts (en fonction des limites inhérentes à ce type d'outil, lié en particulier au temps de calcul). Il intègre également les données de prélèvements répertoriées pour l'ensemble du territoire modélisé, qui ont nécessité un traitement conséquent au préalable. A noter que la présentation du modèle et de son développement est conforme à ce qui est attendu d'un rapport de modélisation hydrogéologique (Barthelemy et Seguin, 2016) et comporte une partie relative à la construction du modèle (chapitre 3) et une autre à son calage en régime permanent et transitoire (chapitre 4).

2. Acquisition de données complémentaires

L'acquisition des données sur le terrain a été opérée dans son intégralité par le SIBA qui a mobilisé les compétences internes de ses services et sous-traité certaines tâches. Le travail du BRGM a consisté à appuyer le SIBA en amont de ces acquisitions (conseils techniques) et à réaliser le traitement des données.

2.1. ÉQUIPEMENT DE PIEZOMETRES AVEC DES SONDES DE PRESSION

Afin d'appréhender de façon pérenne la dynamique de la nappe du Plio-Quaternaire dans le secteur étudié, le rapport de phase 1 (Domez, 2018) avait établi la nécessité de mettre en place un réseau de suivi continu du niveau piézométrique, dans plusieurs secteurs répartis sur le territoire d'étude. Après des échanges préalables sur les retours d'expérience du BRGM concernant les modalités de mise en œuvre d'équipements de suivi, le SIBA a sélectionné les sondes de mesure automatisées de la hauteur d'eau, de la conductivité et de la température, et les a mises en place dans 7 piézomètres (Illustration 2).

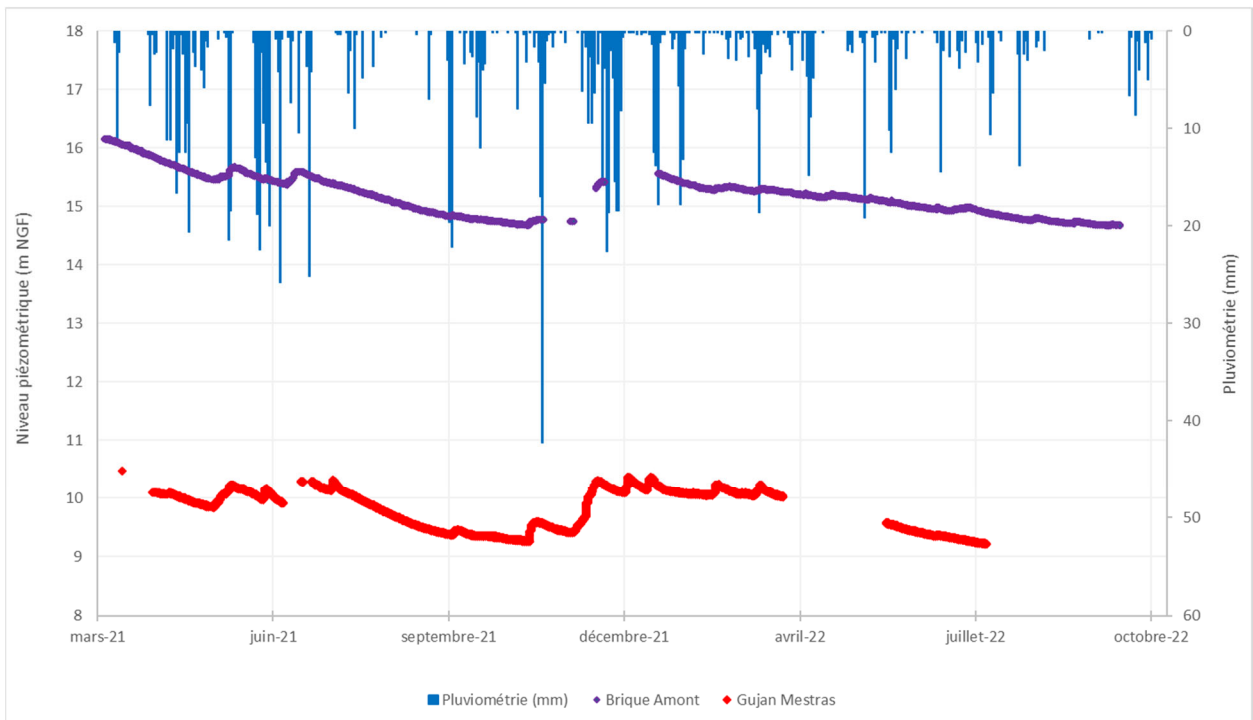
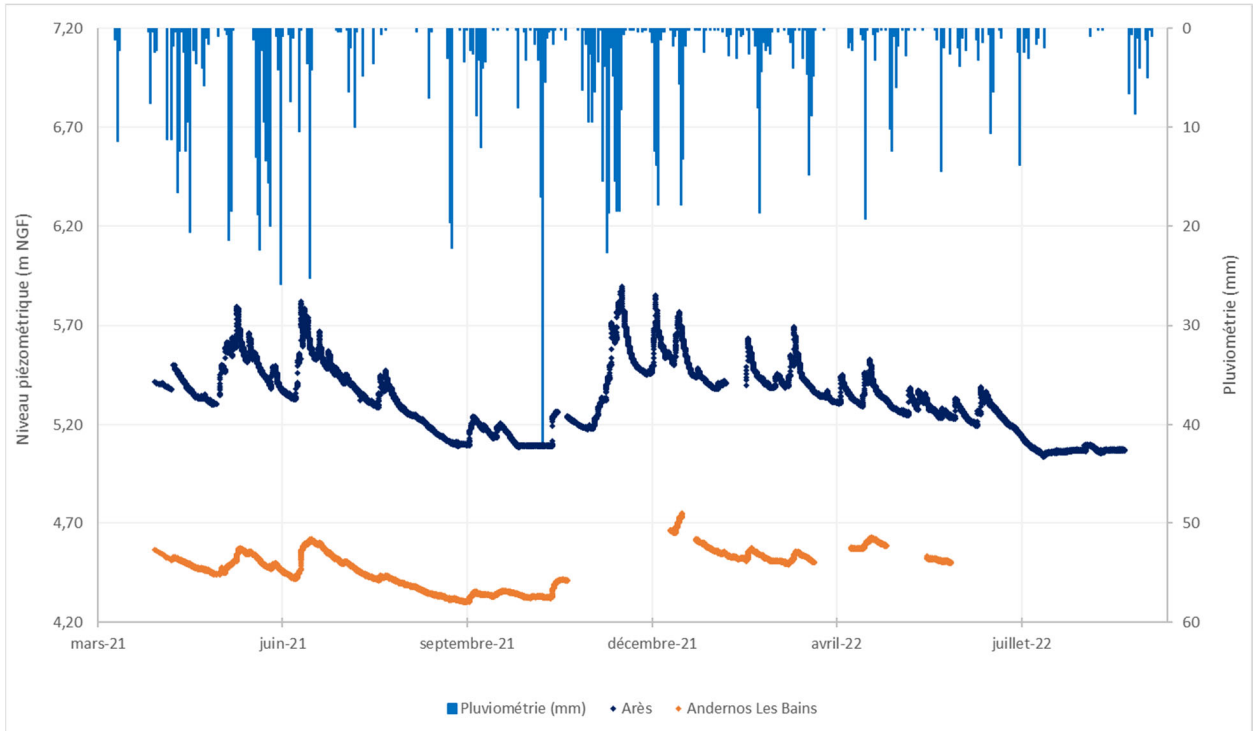


Illustration 2 - Localisation des piézomètres du réseau de suivi continu, mis en place par le SIBA

L'analyse des chroniques piézométriques acquises, fournies par le SIBA (Illustration 3), indique une dynamique de recharge annuelle, corrélée aux précipitations de la station Lagrua, à La Teste-de-Buch. Ainsi, deux périodes de basses eaux (juillet-novembre 2021 et juillet-octobre 2022), séparées par une période de hautes eaux, sont observables sur l'illustration 3.

L'ensemble des ouvrages est caractérisé par un battement de nappe supérieur à 0,5 mètre NGF entre les basses eaux et les hautes eaux.

Les piézomètres d'Arès, Andernos-les-Bains, Jane de Boy, Brique Amont (Audenge), Gujan-Mestras et Cazaux présentent une réponse impulsionnelle rapide aux précipitations (< 5 jours). L'ouvrage du sémaphore semble, quant à lui, avoir une dynamique peu inertielle en comparaison des autres points suivis (environ 30 jours).



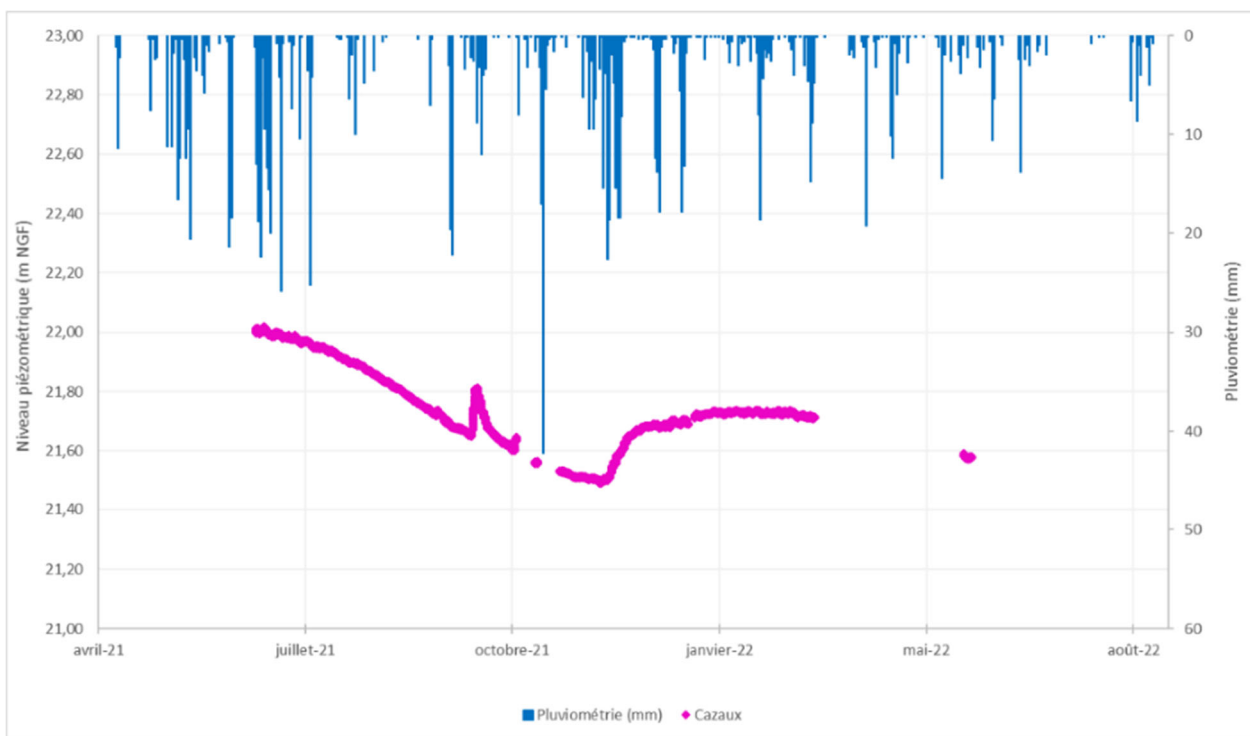
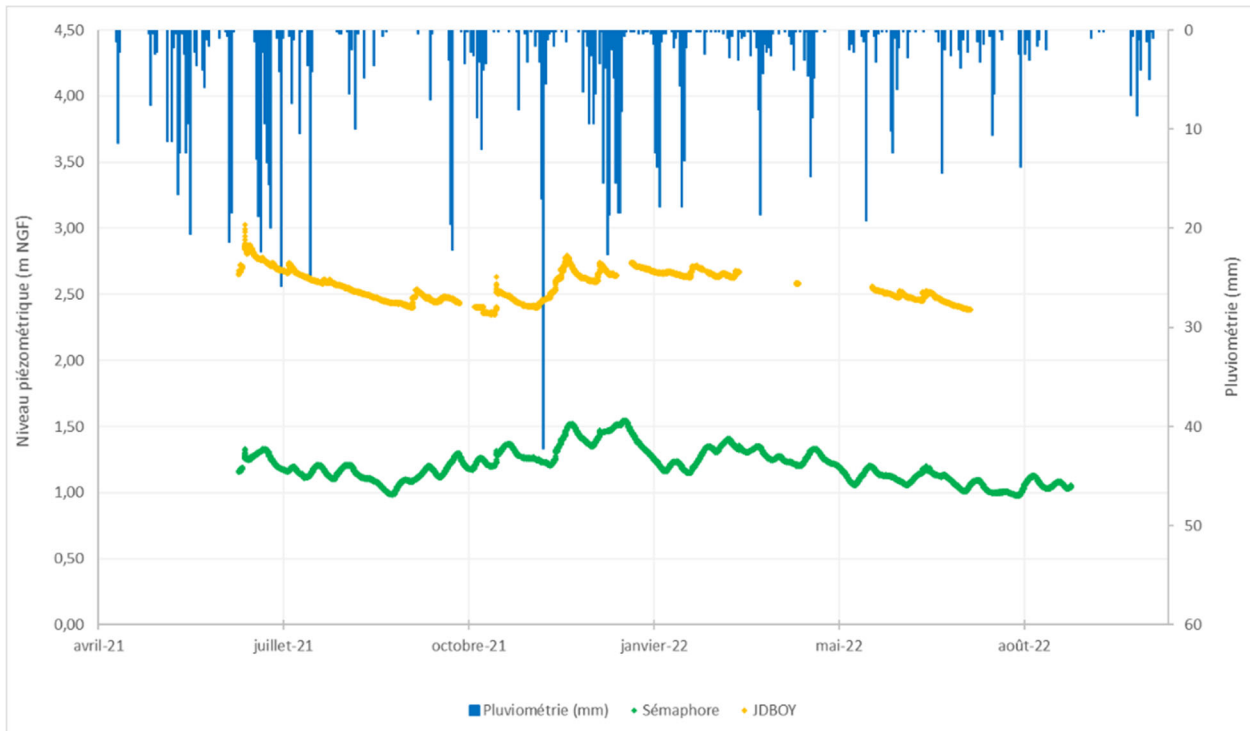


Illustration 3 - Chroniques piézométriques du réseau de suivi, porté par le SIBA, et précipitations journalières à la station Lagrua de La Teste-de-Buch (données fournies par le SIBA)

La poursuite de l'acquisition des données piézométriques permettrait d'établir une analyse fonctionnelle, nécessaire à l'évaluation du temps de réponse impulsionnelle et de l'effet mémoire de la nappe. De plus, un enregistrement continu au pas de temps horaire permettrait l'observation et l'évaluation de l'impact des phénomènes de marées sur les niveaux de nappe. Enfin, il

conviendra d'utiliser les données pluviométriques les plus pertinentes au droit de chacun des piézomètres étant donnée la forte variabilité des pluies autour du Bassin.

2.2. CAMPAGNES PIEZOMETRIQUES DE BASSES ET HAUTES EAUX

Afin d'évaluer la piézométrie de la nappe du Plio-Quaternaire dans la zone d'étude, deux campagnes piézométriques, portées par le SIBA, ont été réalisées dans 91 ouvrages, en période de basses eaux (octobre 2020) et de hautes eaux (février 2022).

Le BRGM fut en charge du traitement de ces données, auxquelles ont été ajoutées celles issues du Réseau national de suivi quantitatif des eaux souterraines, porté par l'OFB, et du Réseau départemental de suivi quantitatif de la Gironde. De plus, les altitudes du fond des cours d'eau ont été considérées afin de mieux contraindre la piézométrie du secteur.

Les cartes piézométriques ont été réalisées à l'aide d'une méthode d'interpolation par « voisin naturel ». Cette dernière s'est avérée la plus adaptée et la plus souple par rapport à d'autres méthodes, notamment celle par « krigeage », du fait de la dispersion des points (zones à faible ou à forte concentration de points) et de la prise en compte de certaines contraintes (cours d'eau et littoral notamment). Le résultat de cette interpolation a ensuite été retravaillé pour corriger les incohérences. Les esquisses proposées, témoignent, lors de ces deux périodes, de charges piézométriques principalement conditionnées par la topographie et sensiblement équivalentes. Ceci s'explique par la réalisation des campagnes piézométriques à des périodes hydrologiquement similaires. En effet, l'analyse de chroniques du piézomètre 08266X0136 (BSS001ZFHU), situé à Biganos et appartenant au Réseau national de suivi quantitatif des eaux souterraines porté par l'OFB, indique des niveaux de nappe très proches en octobre 2020 et février 2022, la recharge hivernale 2021-2022 s'avérant particulièrement faible (Illustration 4).

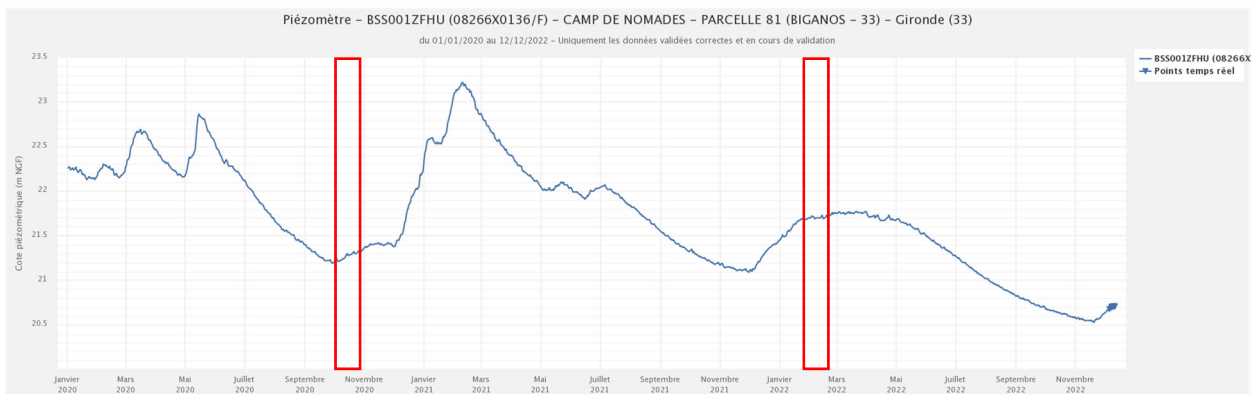


Illustration 4 - Chronique piézométrique de l'ouvrage BSS001ZFHU de Biganos (source : <https://ades.eaufrance.fr>)

Ainsi, seule l'esquisse piézométrique des basses eaux (octobre 2020) est présentée (Illustration 5) ; la cartographie en « hautes eaux » (février 2022) est disponible en Annexe 1.

Le secteur d'étude est caractérisé par un vaste réseau hydrographique dont le Bassin d'Arcachon constitue l'exutoire. L'analyse de la piézométrie met en évidence le drainage de la nappe par :

- le canal des Etangs, au nord ;
- les ruisseaux du Cirès, de Lanton et du Tagon, dans la partie est du secteur ;
- la Leyre et ses affluents, notamment le ruisseau de Lacanau, dans la partie sud-est de la zone d'étude.

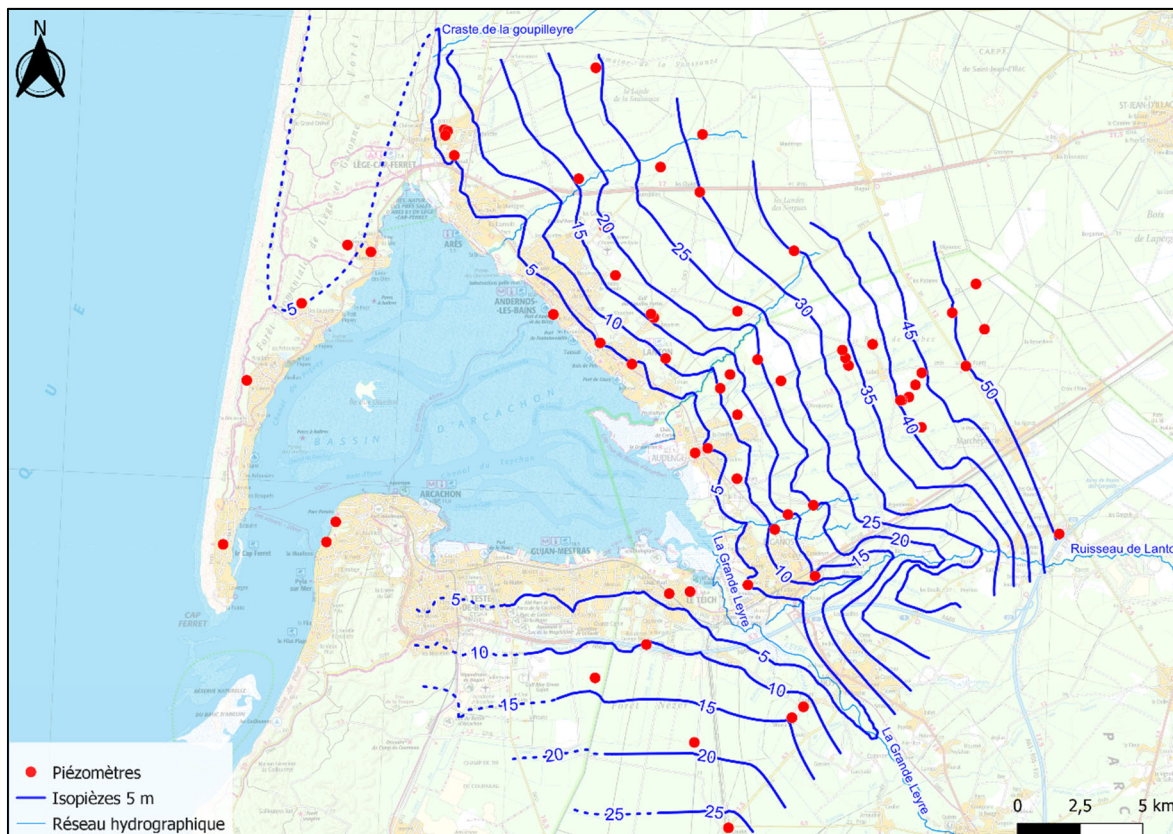


Illustration 5 - Carte piézométrique de la nappe du Plio-Quaternaire (octobre 2020 ; basses eaux)

2.3. REALISATION DE POMPAGES D'ESSAI

2.3.1. Conditions de réalisation

La réalisation des pompages d'essai a été portée par le SIBA, avec l'appui au préalable du BRGM pour :

- la répartition et la détermination des sites d'essai ;
- la définition technique des essais et la formulation de la consultation des prestataires ;
- l'analyse des offres des prestataires.

Au total, 5 forages ont été sélectionnés pour la réalisation des pompages d'essai, répartis sur le territoire d'étude (Illustration 6 et illustration 7) :

Commune	Coordonnées approximatives (Lambert 93)	
	X	Y
Lège Cap-Ferret	368 026	6 414 760
Biganos	388 147	6 405 450
Gujan-Mestras	376 848	6 397 030
La Teste-de-Buch	368 619	6 397 880
Andernos-les-Bains	379 714	6 416 120

Illustration 6 - Coordonnées, en Lambert 93, des forages sélectionnés pour la réalisation des pompages d'essai

Ces ouvrages ne sont pas identifiés en Banque du Sous-Sol à l'heure actuelle.

Ces essais de pompage ont pour objectif d'estimer, notamment, des valeurs de paramètres hydrodynamiques des formations aquifères rencontrées (transmissivité et coefficient d'emmagasinement), informations nécessaires pour contraindre le calage du modèle.

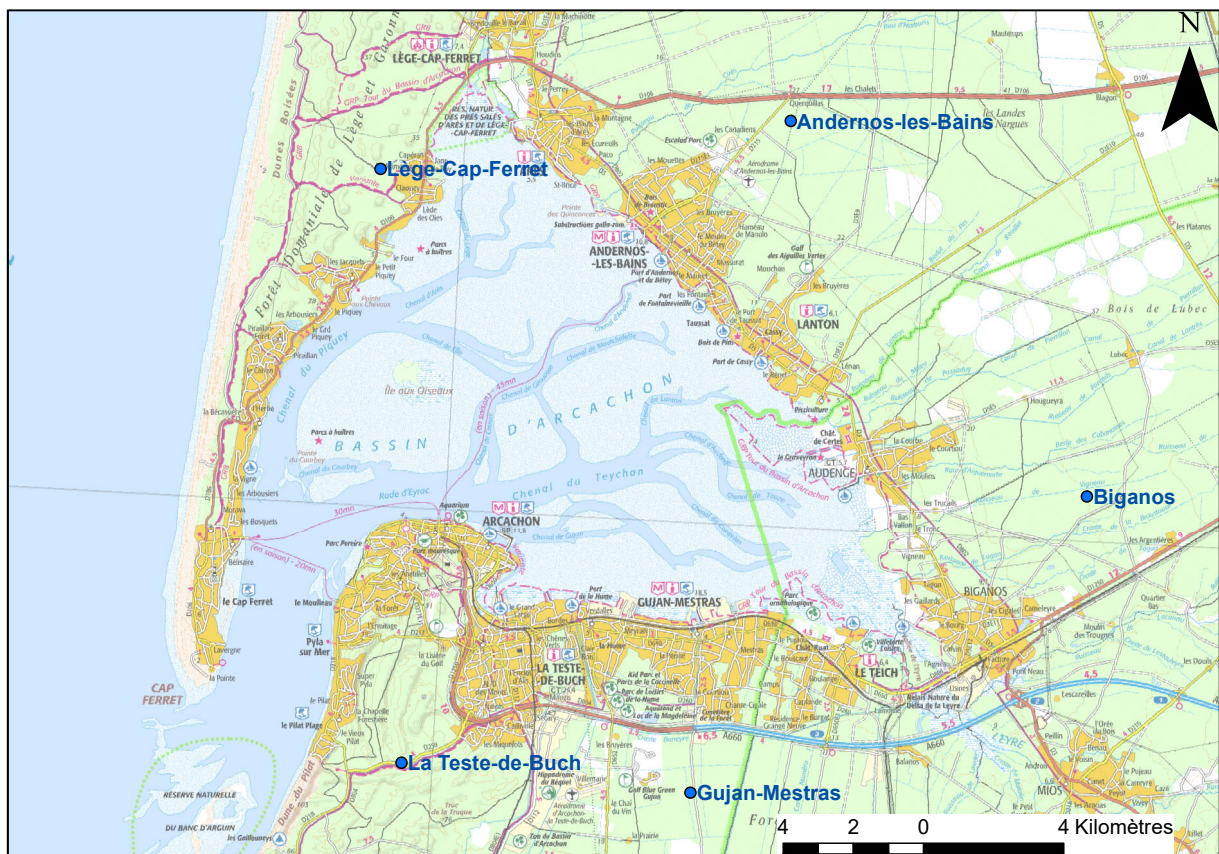


Illustration 7 - Localisation des forages sélectionnés pour la réalisation des pompages d'essai

Tous les ouvrages sélectionnés pour effectuer les pompages étaient des ouvrages de Défense des Forêts Contre les Incendies (DFCI). Sur chacun des sites, la procédure suivante a été demandée au prestataire :

- réalisation préalable d'un piézomètre (5 à 7 mètres de profondeur) à une distance d'une vingtaine de mètres de l'ouvrage sélectionné ;
- respect d'une durée de repos minimale de 2 jours après réalisation du piézomètre ;
- mise en place de suivis piézométriques en continu dans les 2 ouvrages (piézomètre et forage pompé) au minimum 12 heures avant le début des essais, et de suivi de débit en continu ;
- mise en place des rejets à plus de 200 m de distance du forage pompé, dans le réseau de drainage superficiel ;
- pompages d'essai de 48 heures à débit stable, avec contrôle manuel des mesures de niveau ;
- suivi des phases de remontée durant 12 heures minimum.

Le constat initial, pour l'ensemble des données fournies, est que plusieurs facteurs pénalisent les possibilités d'interprétation :

- les débits d'exhaure n'ont pas fait l'objet de suivi continu avec enregistrement : dans les cas où des fluctuations de niveau sont observées, il n'est pas possible de discerner si elles sont liées à des fluctuations du débit d'essai ou à des influences extérieures ;
- les enregistreurs des puits et piézomètres n'étaient pas synchronisés, ce qui induit de fortes incertitudes sur l'estimation des coefficients d'emmagasinement ;
- les données de suivi sont incomplètes dans la majorité des cas, vraisemblablement du fait d'un défaut de paramétrage des systèmes d'acquisition au regard de la gamme des capteurs ;
- pour plusieurs essais, des différences notables sont visibles entre les mesures manuelles et les enregistrements, ce qui pose la question de la fiabilité des données acquises.

Sur la base de ce constat, il est établi qu'une interprétation complète et étayée des données n'est pas possible. L'interprétation a donc principalement consisté à poser un diagnostic sur les courbes de suivi (notamment via les dérivées) pour tenter d'identifier les sections exploitables et en tirer des ordres de grandeur des paramètres hydrodynamiques (§ 2.3.2 à 2.3.5), qui peuvent être entachés d'incertitudes, et non des informations plus précises de ces paramètres si les tests avaient été réalisés dans les règles de l'art.

2.3.2. Données fournies et interprétations : site de Lège Cap-Ferret

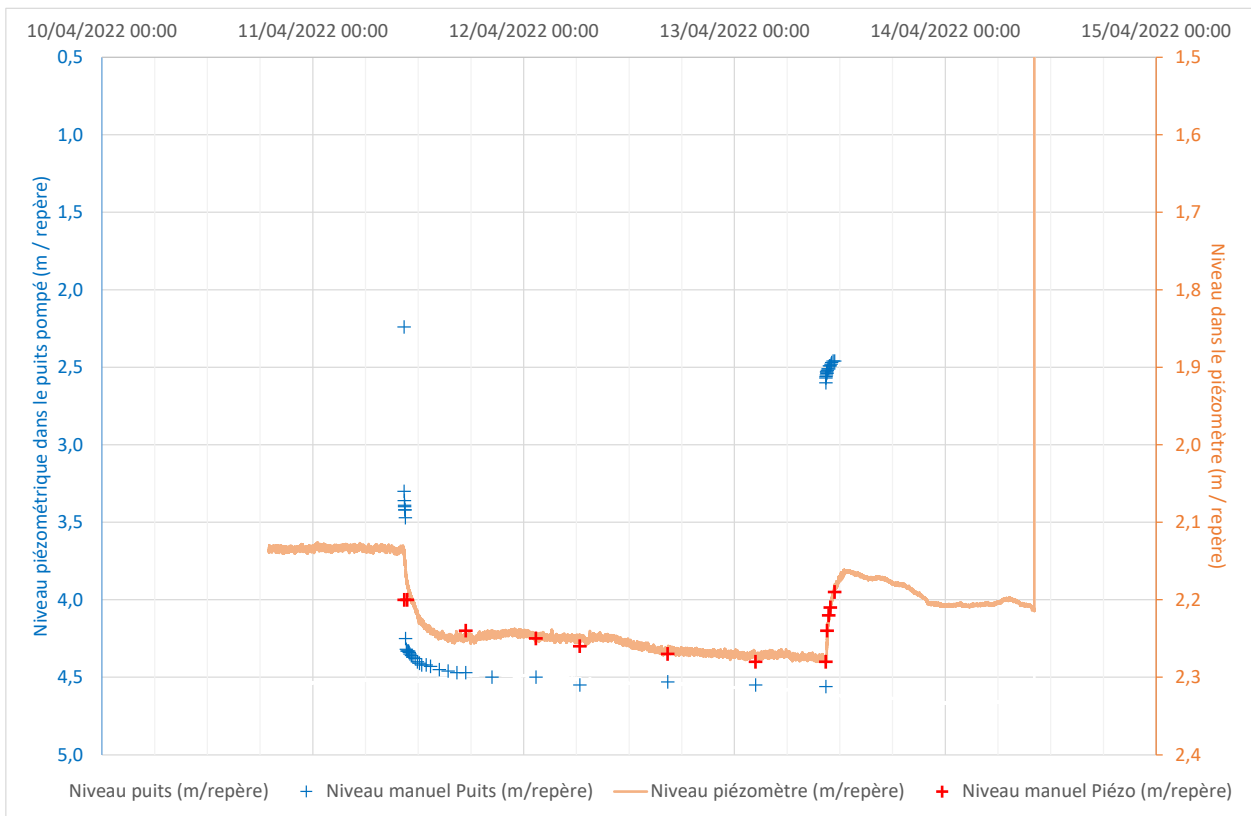
Pour l'essai effectué à Lège Cap-Ferret, les données de suivi en continu dans le puits pompé ne sont pas disponibles, vraisemblablement du fait d'une erreur de paramétrage de la sonde. Les suivis manuels font en outre apparaître un décalage brutal de 80 cm au bout de 8 minutes de pompage, qui pourrait correspondre à un ajustement de débit (Illustration 8). Il existe également un décalage significatif (8 cm) entre le niveau mesuré manuellement dans le piézomètre et le niveau enregistré, ce qui pose la question de la fiabilité des mesures.

Dans le piézomètre situé à une distance 19,3 mètres du puits pompé, le rabattement en fin d'essai serait de l'ordre de 15 cm, d'après l'enregistrement. Des fluctuations de niveau inexplicables sont également visibles dans le piézomètre au bout de quelques heures de pompage et lors de la phase de remontée. Ces données ne sont pas pleinement exploitables pour une interprétation de

pompage d'essai complète ; il s'agit, à ce stade, de déterminer si une portion de la courbe est interprétable pour fournir a minima des ordres de grandeur de paramètres hydrodynamiques.

Le puits a été pompé à 25 m³/h ; le piézomètre est distant de 19,3 mètres. L'analyse du début de la courbe de descente dans le piézomètre par la méthode des dérivées (Illustration 9) montre un accroissement progressif de la pente pendant la première heure de pompage, puis une stabilisation au-delà d'une heure de pompage. Après 2 heures de pompage, le rabattement se stabilise transitoirement (comportement associé usuellement à un phénomène d'égouttement¹) avant de croître à nouveau. Au-delà d'une dizaine d'heures de pompage, les fluctuations observées sont difficilement explicables en l'absence de suivi du débit en continu : variation des conditions d'exploitation ou influence de la géométrie du réservoir ?

C'est pourquoi, seules les 2 premières heures de pompage seront considérées pour évaluer les paramètres hydrodynamiques. Pour cette période, l'ajustement du modèle de Theis fournit une transmissivité de l'ordre de $1,8 \times 10^{-2}$ m²/s, et un coefficient d'emmagasinement de $5,5 \times 10^{-2}$.



¹ Libération progressive de l'eau due au drainage vertical de la hauteur qui a été dénoyée par la chute rapide de pression en début de pompage.

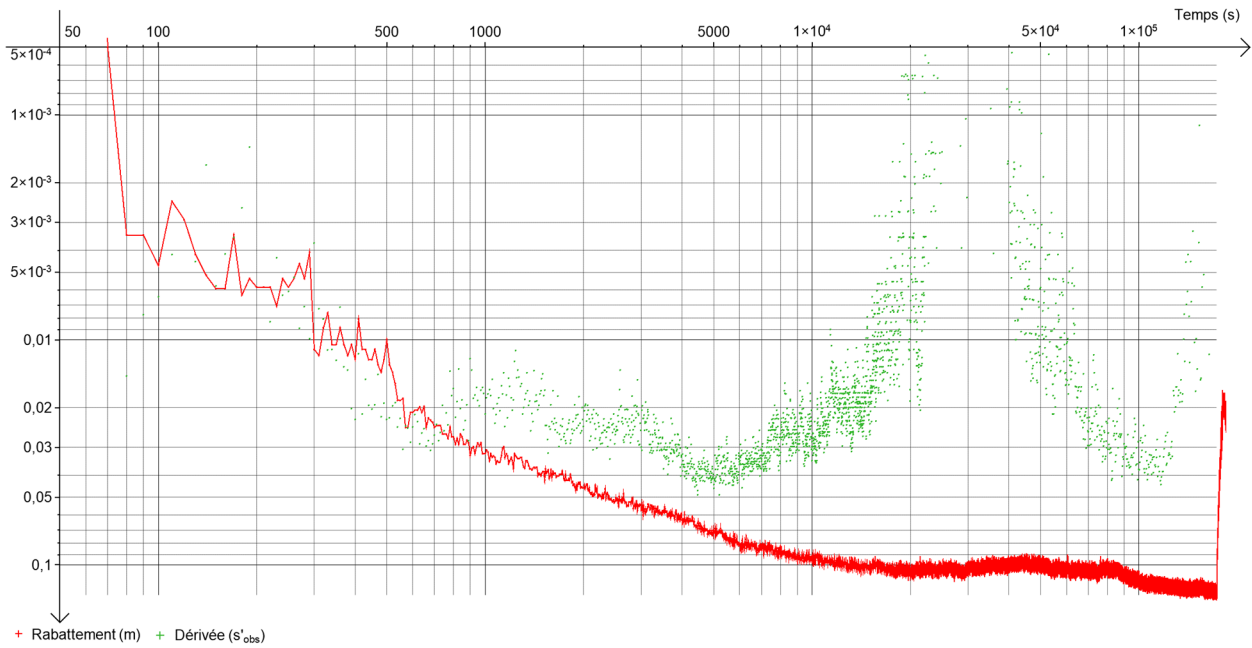


Illustration 9 - Rabattement en pompage dans le piézomètre de Lège Cap-Ferret et dérivée (lissée) associée

2.3.3. Données fournies et interprétations : site d'Andernos-les-Bains

Pour l'essai effectué à Andernos-les-Bains, les données de suivi en continu dans le puits pompé ne sont pas disponibles, vraisemblablement du fait d'une erreur de paramétrage de la sonde. Il existe également des décalages significatifs, irréguliers, entre les niveaux mesurés manuellement et enregistrés dans le piézomètre : il n'est pas possible d'identifier quelles données sont fiables (Illustration 10).

En outre, il apparaît que le pompage s'est interrompu au cours de l'essai, pendant 12 heures.

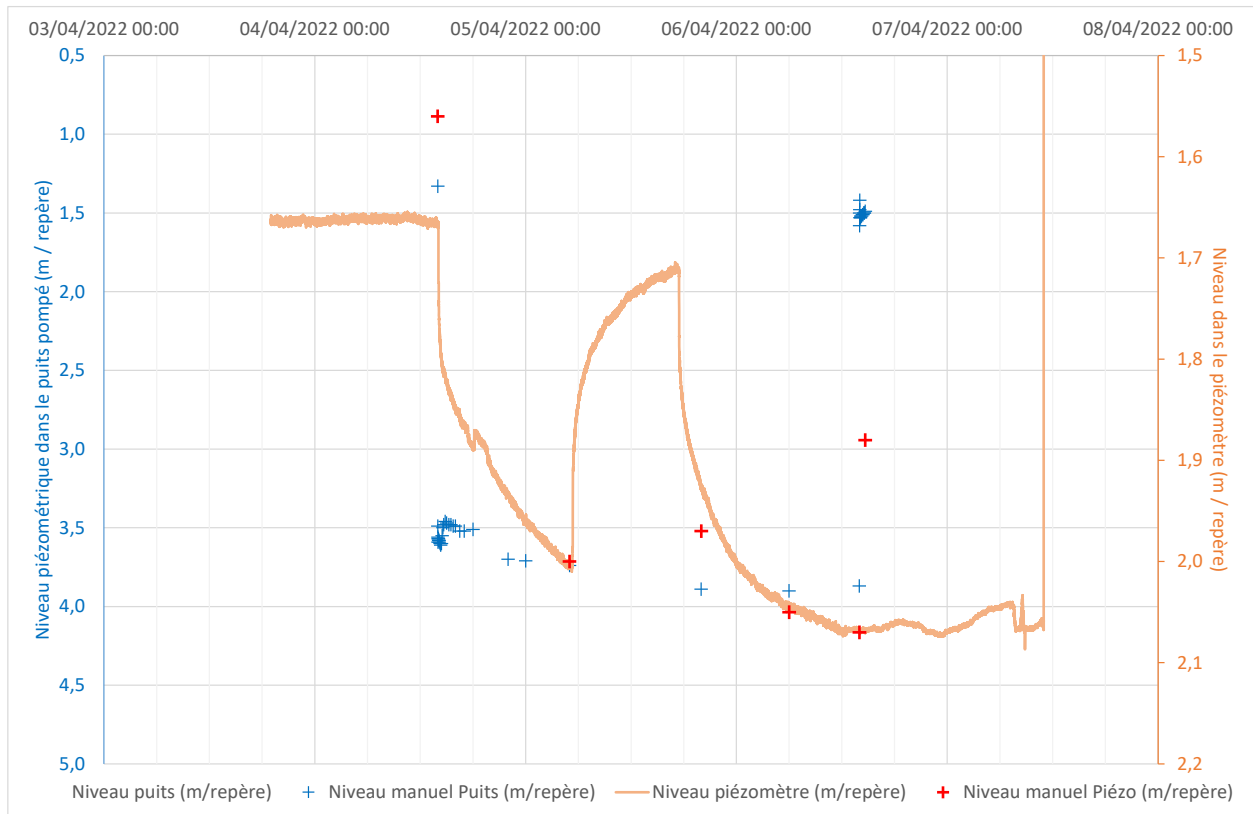


Illustration 10 - Suivi du pompage d'essai dans le forage d'Andernos-les-Bains (données ECR Environnement)

Il n'existe pas de donnée exploitable pour le puits pompé. Concernant le piézomètre, en l'absence de données de suivi de débit, seules les premières heures de pompage ont été considérées.

Le puits a été pompé à $30 \text{ m}^3/\text{h}$; le piézomètre est distant de 16,5 mètres. L'analyse de la courbe de descente dans le piézomètre par la méthode des dérivées (Illustration 11) montre une pente relativement constante pendant la première heure de pompage. L'ajustement sur le modèle de Theis fournit une transmissivité de $2,6 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ et un coefficient d'emmagasinement de $1,5 \times 10^{-3}$.

Au-delà, la pente croît. Le rabattement se stabilise au bout de 5 heures et jusqu'à la fin de l'essai. La valeur associée correspond à une transmissivité de $6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ selon l'approximation de Jacob. Cette observation peut s'expliquer soit par l'existence de limites latérales étanches dans l'aquifère, soit par des variations latérales de faciès, induisant une moindre perméabilité à grande échelle.

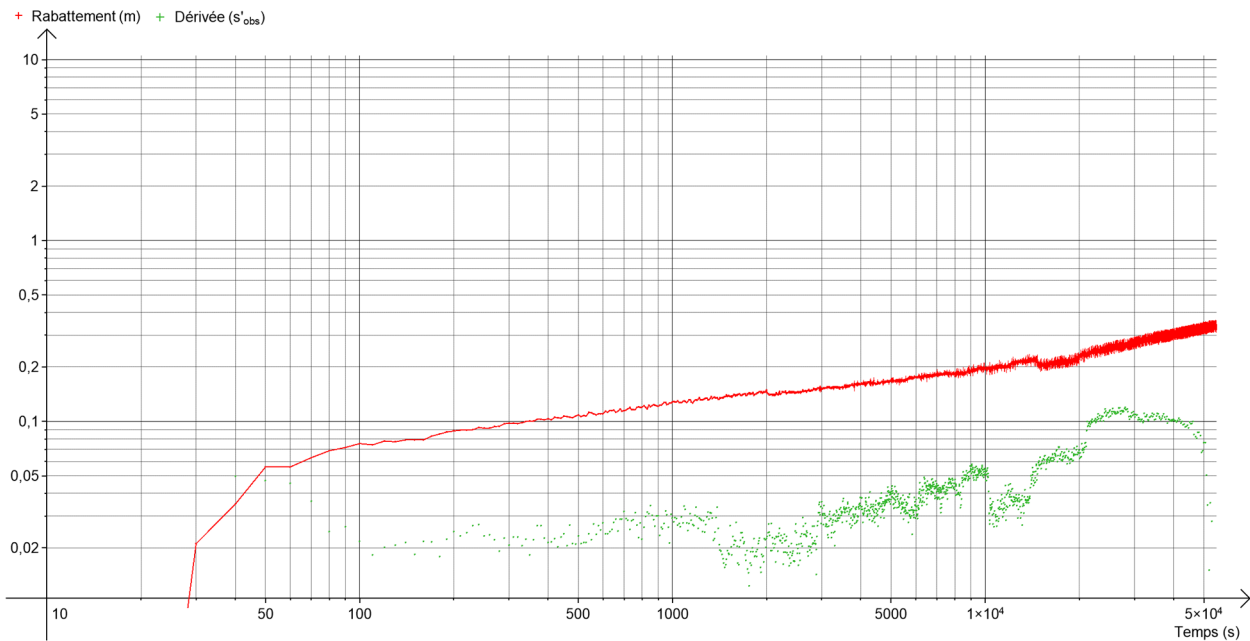


Illustration 11 - Rabattement en pompage dans le piézomètre d'Andernos-les-Bains et dérivée (lissée) associée

2.3.4. Données fournies et interprétations : site de Biganos

Pour l'essai effectué à Biganos, l'ensemble des données de suivi en continu est disponible. Il réside toutefois une incertitude pour le niveau au repos du forage pompé car un décalage significatif est visible entre la mesure manuelle et les données enregistrées : il y a vraisemblablement une erreur de paramétrage de la sonde de ce forage également (Illustration 12).

En outre, le suivi dans le piézomètre est inexploitable. En premier lieu, le niveau piézométrique était en cours de remontée au démarrage de l'essai ; il n'est pas possible de mesurer la seule incidence du pompage. Et d'autre part, il existe des décalages irréguliers entre le niveau mesuré manuellement dans le piézomètre et le niveau enregistré, ajoutant une incertitude sur la fiabilité des données : c'est notamment le cas dans les dernières heures du pompage, le capteur mesure une remontée qui n'est pas confirmée par la mesure manuelle.

Le puits a été pompé à 30 m³/h ; le piézomètre est distant de 18,5 mètres. L'analyse de la courbe de descente dans le puits par la méthode des dérivées (Illustration 13) montre une pente stable lors des douze premières minutes. Au-delà, le reste des deux premières heures de pompage n'est pas interprétable en l'absence de suivi du débit. La poursuite du pompage montre ensuite une baisse progressive de la pente et une stabilisation du rabattement, qui pourrait indiquer une limite alimentée proche ; en l'état, il n'est pas indiqué si le fossé voisin était en eau.

L'ajustement, selon le modèle de Theis, pour la phase initiale de pompage fournit une transmissivité de $2,1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

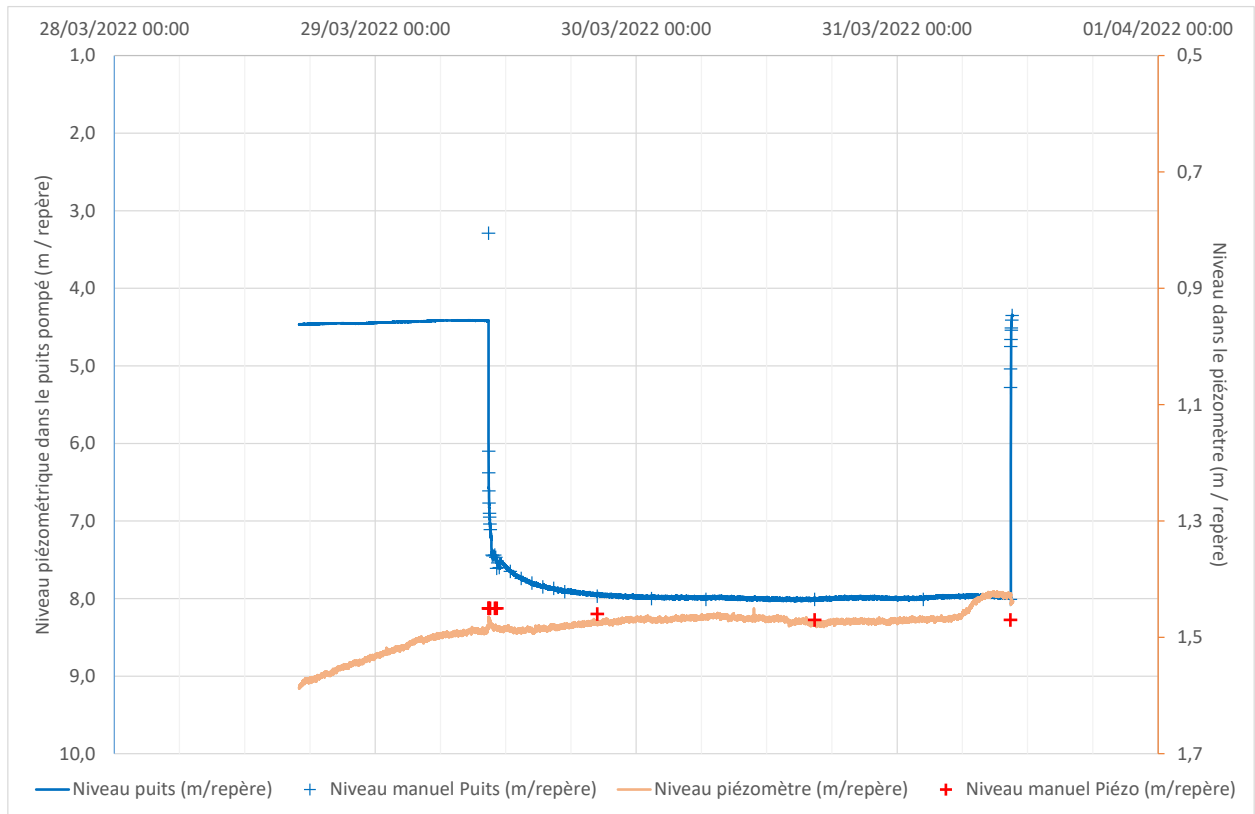


Illustration 12 - Suivi du pompage d'essai dans le forage de Biganos (données ECR Environnement)

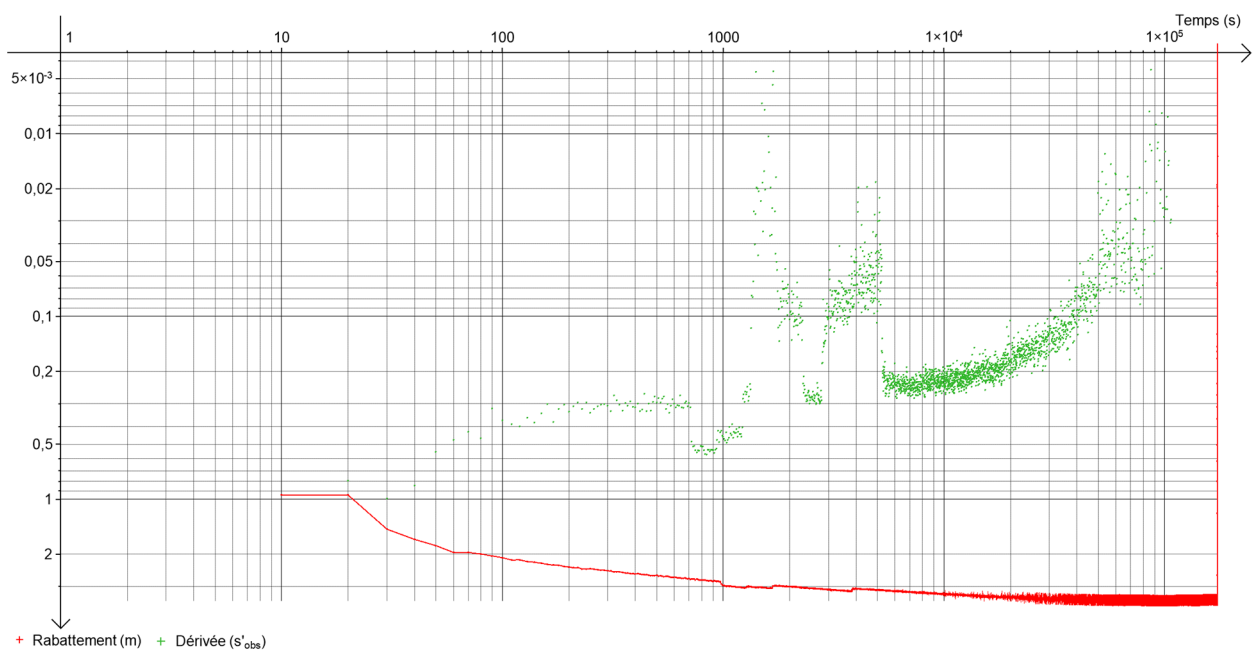


Illustration 13 - Rabattement en pompage dans le puits pompé de Biganos et dérivée (lissée) associée

2.3.5. Données fournies et interprétations : site de La Teste-de-Buch

Pour l'essai effectué à La Teste-de-Buch (Illustration 14), l'ensemble des données de suivi en continu est disponible. La concordance entre ces données et les contrôles manuels est bonne, attestant de leur fiabilité. Seules les données de remontée dans le puits pompé semblent être tronquées, avec un niveau qui se stabilise prématurément en-dessous du niveau d'origine.

Par contre, le suivi dans le piézomètre (distant de 16,5 mètres) ne montre aucune incidence visible en début de pompage, et fait apparaître une remontée qui s'amorce moins de 2 heures après le démarrage du pompage, indiquant une réalimentation par l'exhaure. Une incertitude réside sur le respect de la distance et des modalités d'installation du point de rejet.

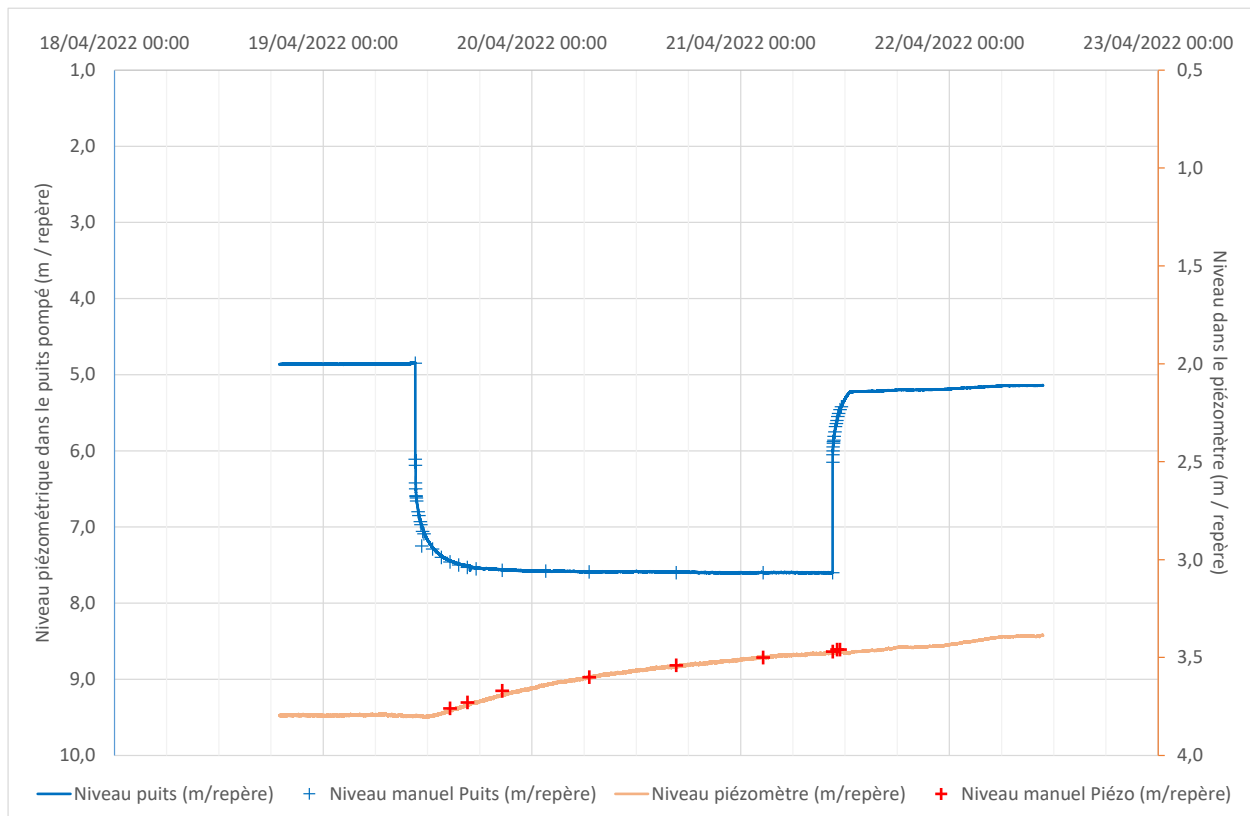


Illustration 14 - Suivi du pompage d'essai dans le forage de La Teste-de-Buch (données ECR Environnement)

L'interprétation ne peut, par conséquent, s'effectuer qu'avec le rabattement dans le puits de pompage, en gardant en mémoire que ce rabattement est certainement minimisé par la réalimentation. Le puits a été pompé à 30 m³/h. Le diagnostic de la courbe (Illustration 15) montre un comportement typique de nappe libre jusqu'à 5 000 s environ, avec une dérivée élevée (0,3 à 0,4) pendant les premières minutes de pompage, puis une baisse transitoire de cette dérivée (associée usuellement à un phénomène d'"égouttement") avant de revenir à des valeurs proches au bout d'une heure de pompage. Au-delà, le rabattement se stabilise progressivement autour de 2,72 mètres, vraisemblablement sous l'effet de la réalimentation.

Dans ce cas de figure, la section de courbe la plus fiable pour évaluer la transmissivité correspond aux premières minutes de pompage (Illustration 15). La pente observée concorde avec une valeur de transmissivité de l'ordre de 1,7 à 2,2 x 10⁻³ m²/s selon le modèle de Theis. Au vu des

rabattements observés, l'application de cette méthode reste acceptable pour fixer les ordres de grandeur.

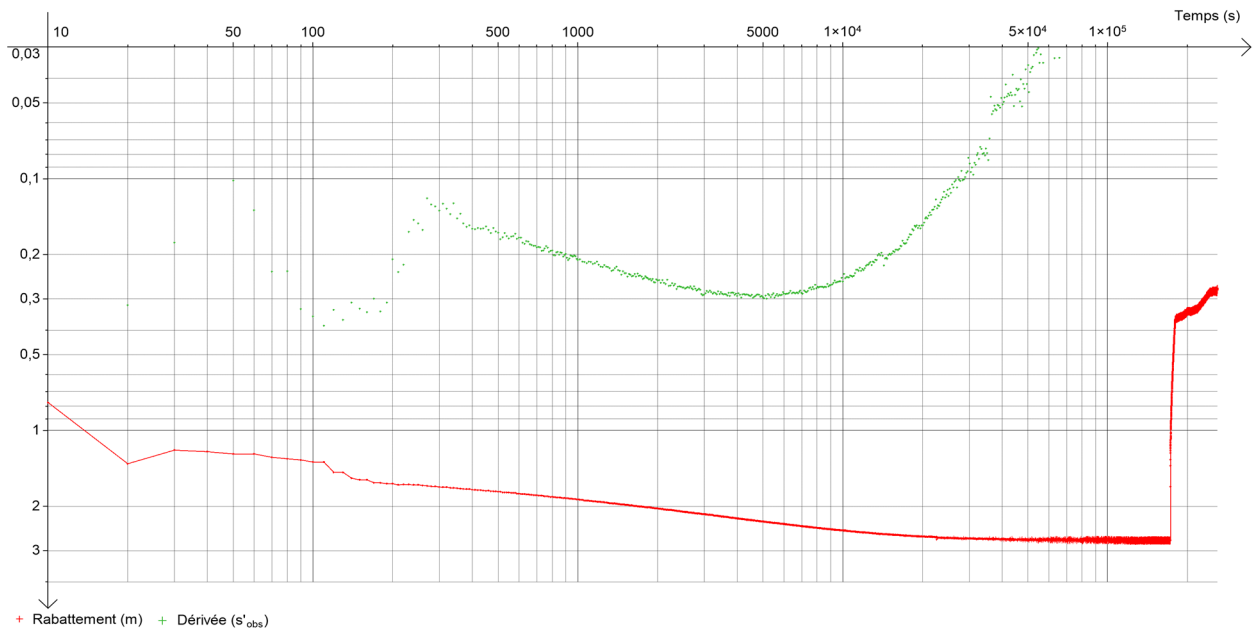


Illustration 15 - Rabattement en pompage dans le puits pompé de La Teste-de-Buch et dérivée associée

2.3.6. Données fournies et interprétations : site de Gujan-Mestras

Pour l'essai effectué à Gujan-Mestras, la concordance entre les données de suivi en continu et les contrôles manuels est satisfaisante (Illustration 16). Les variations brutales visibles en milieu d'essai sont certainement dues à des actions anthropiques. D'autre part, il apparaît une baisse continue des niveaux après la phase de remontée suite à l'arrêt de l'essai, vraisemblablement due à une incidence extérieure (pompage ou conditions hydrologiques).

L'analyse de la courbe de descente dans le piézomètre (situé à 18 mètres du forage pompé) par la méthode des dérivées met en évidence une longue phase initiale d'écoulements radiaux homogènes, jusqu'à 10^4 s (Illustration 17). Au-delà, une inflexion de la courbe de descente est visible avec un accroissement de la pente signalant vraisemblablement des limites étanches, à des distances supérieures à 400 mètres. En toute fin de pompage, une inflexion inverse est visible, qui ne peut s'expliquer que par l'atteinte d'une limite alimentée (typiquement cours d'eau ou fossé/"craste").

Quoi qu'il en soit, les propriétés essentielles du milieu peuvent être tirées de l'interprétation de la phase initiale de la courbe de descente : l'ajustement sur le modèle de Theis fournit une transmissivité de $1,9 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ et un coefficient d'emménagement de $2,0 \times 10^{-3}$. Au vu des rabattements observés et des valeurs, l'application de cette méthode est acceptable.

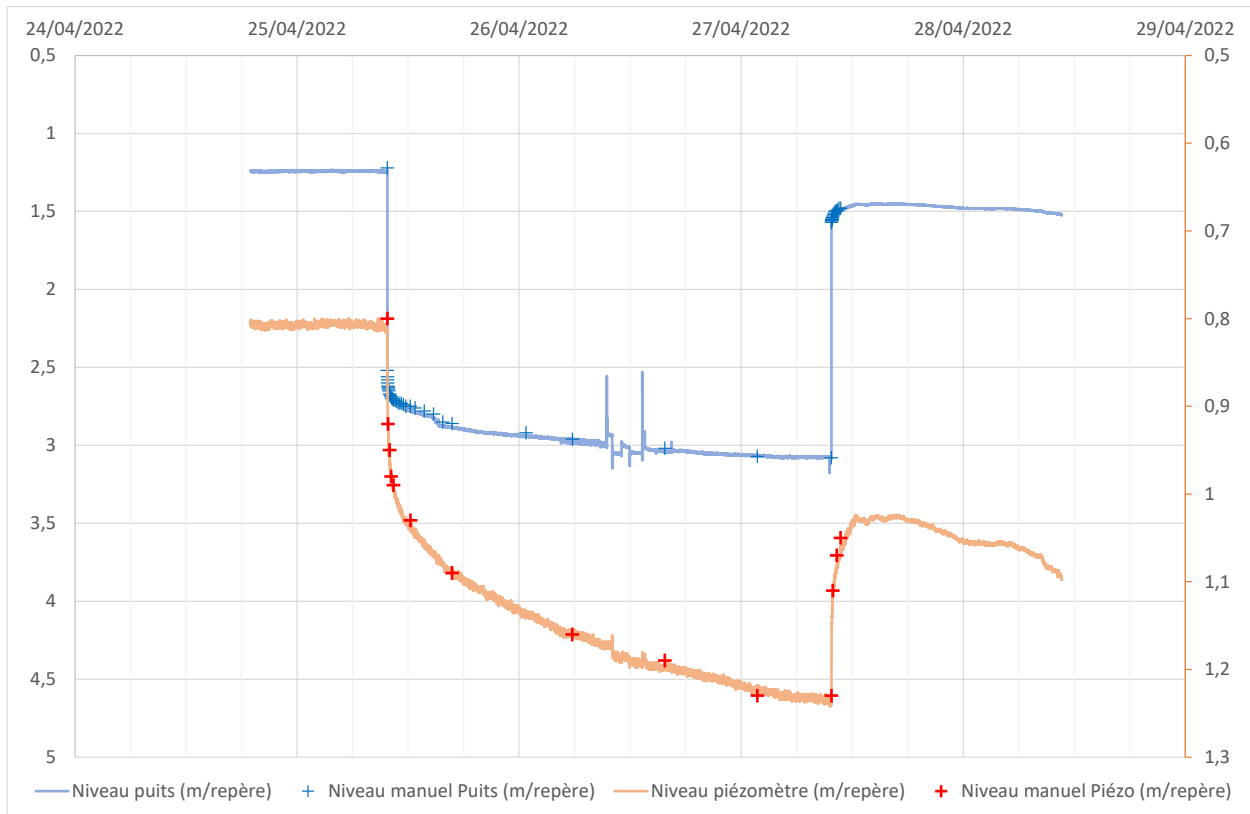


Illustration 16 - Suivi du pompage d'essai dans le forage de Gujan-Mestras (données ECR Environnement)

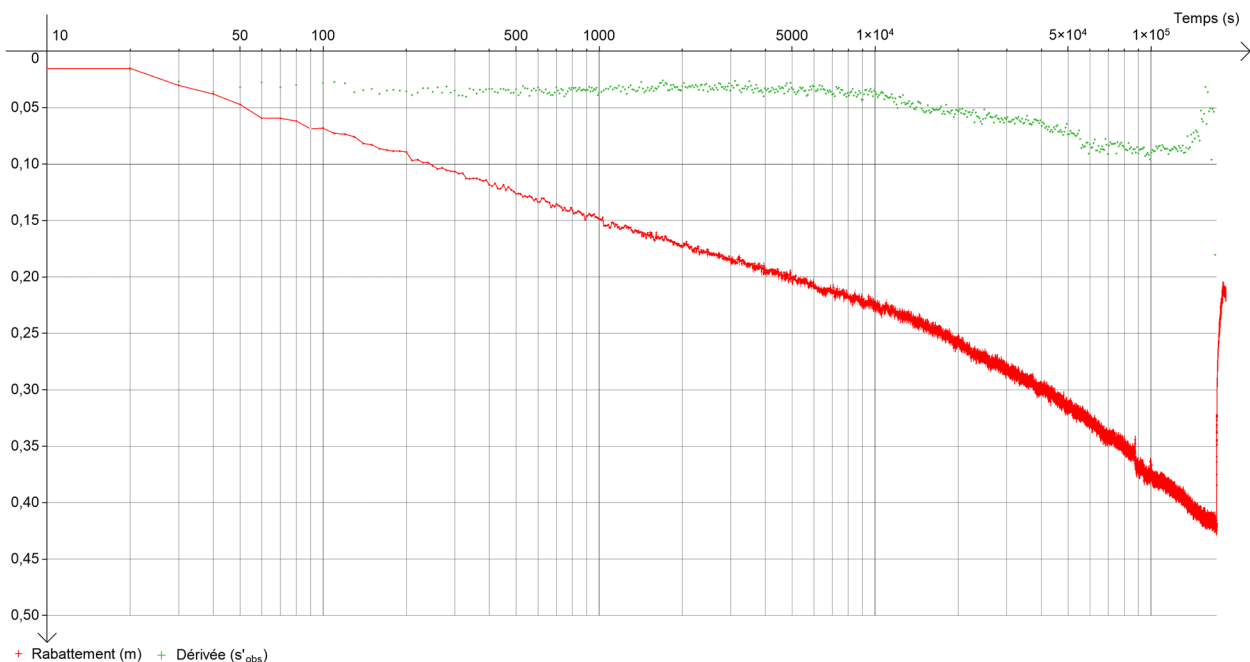


Illustration 17 - Rabattement en pompage dans le piézomètre de Gujan-Mestras et dérivée associée

3. Développement du modèle MOHYS

Le développement du modèle hydrogéologique tel que présenté ici s'attache à reprendre les recommandations du rapport « *Modélisation maillée des écoulements souterrains - Principes, démarche et recommandations* » (Barthelemy et Seguin, 2016). Concernant la démarche, les objectifs de la modélisation ont notamment été définis dans le rapport de phase 1 (Duez et Cagnimel-Fischer, 2018) dans lequel des premières réflexions sur la définition d'un outil de modélisation, adapté au besoin du SIBA, avaient été abordées. En terme de données, ce travail s'appuie également sur la synthèse des données hydrogéologiques réalisée en phase 1 et complétée au cours de la phase 2 (§ 2). Enfin, ce travail de modélisation, comme indiqué dans le rapport de phase 1, bénéficie des travaux menés notamment dans le cadre du « Programme Régional pour la Gestion des Eaux Souterraines en Aquitaine » depuis 2006 et qui a vu, entre autres, le développement du modèle des nappes plio-quaternaires (Cabaret et al., 2019) avec en amont la réalisation d'un modèle géologique (Karnay et al., 2008).

Le modèle MOHYS est développé avec la version 7.8 du code de calcul MARTHE (Modélisation d'Aquifères par maillage Rectangulaire en régime Transitoire pour le calcul Hydrodynamique des Ecoulements), développé par le BRGM (Thiery, 2021). MARTHE permet de modéliser les hydrosystèmes en intégrant, de manière couplée, les écoulements souterrains (aquifères monocouches et multicouches), le bilan hydroclimatique (pluie, neige, évapotranspiration) et les réseaux hydrographiques (rivières, cours d'eau, drains). Il permet également de prendre en compte le transport de masse.

3.1. DEFINITION DE LA GEOMETRIE DU MODELE ET MAILLAGE

3.1.1. Définition de l'extension horizontale et verticale du modèle

L'extension retenue pour le modèle numérique s'appuie à la fois sur des considérations hydrogéologiques et sur la bonne prise en compte des enjeux définis par le SIBA concernant les zones urbaines et les réseaux de drainage des eaux pluviales (Illustration 18). Cette extension se base ainsi sur les limites de bassin versant hydrogéologique (lignes de crête piézométrique) alimentant le Bassin d'Arcachon, définies à l'aide des cartes piézométriques de la nappe du Plio-Quaternaire, établies dans le cadre de projets anciens (Pédron et al., 2002) et actuels (Cabaret et al., 2019 ; Saltel et al., 2018).

La limite ouest du modèle correspond à la façade atlantique. Au nord, la ligne de courant servant de limite entre le Bassin d'Arcachon (au sud) et les lacs médocains (au nord) repose sur la restitution piézométrique fine du modèle Phonème (Saltel et al., 2018). Seule la piézométrie est ici prise en compte puisque le réseau hydrographique, dense, parfois d'origine anthropique, ne reflète pas les conditions hydrologiques naturelles. La limite orientale correspond à la ligne de partage des eaux entre le Bassin d'Arcachon et la Garonne, telle que visible sur la carte piézométrique de référence établie en 2002 (Pédron et al.). Cette limite est précisée par endroits à l'aide de situations piézométriques de hautes eaux et de basses eaux restituées par le modèle Mio-Plio-Quaternaire (Cabaret et al., 2019). De la même manière, la limite d'extension au sud repose sur le partage des écoulements entre les lacs de Cazaux et de Biscarosse.

Enfin, pour ne pas avoir à intégrer l'ensemble du bassin versant de la Leyre, le choix a été fait de ne considérer la Leyre qu'à partir de la confluence, à Moustey, de la Grande Leyre, son cours principal, et de la Petite Leyre, son principal affluent. Ce choix est justifié pour limiter les temps de développement et de calcul du modèle ainsi que par la possibilité, au regard des données

disponibles, de reconstituer les débits de la Leyre au niveau de cette confluence (cf. chapitre 3.4.4). À noter que ce secteur est très éloigné de la zone d'intérêt.

L'extension du modèle couvre ainsi une surface de 2 373 km², s'étendant sur 35 communes et deux départements : la Gironde et les Landes. En surface, l'ensemble des mailles est mis en débordement.

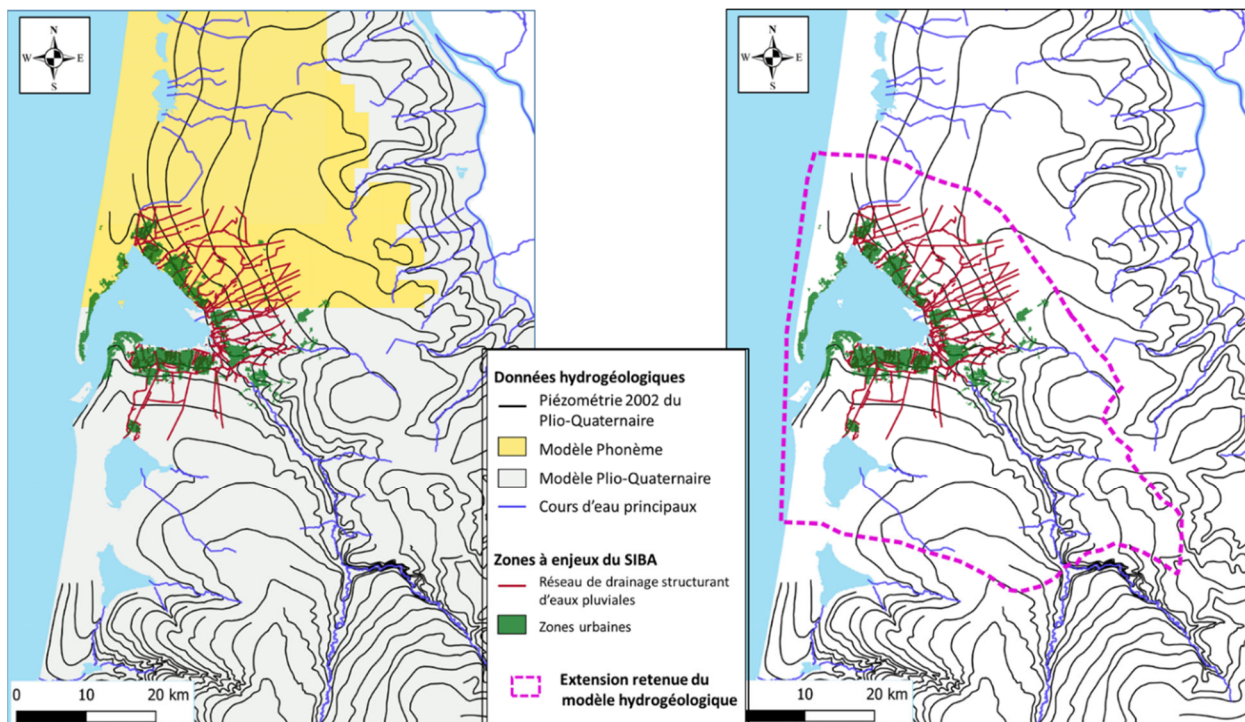


Illustration 18 - Extension du modèle MOHYS : à gauche, données hydrogéologiques disponibles et zones à enjeux à considérer ; à droite, extension retenue pour le modèle

3.1.2. Extension et discrétisation « verticale » de la série hydrogéologique

La géométrie du modèle MOHYS s'appuie sur celle élaborée pour le modèle hydrogéologique du Mio-Plio-Quaternaire (MPQ) développé dans le cadre des Conventions Régionales Eaux Souterraines (Cabaret et al., 2019), en ce qui concerne le substratum des couches qui seront modélisées. Dans sa dernière version, le modèle MPQ compte 8 couches. Plusieurs modifications y ont été apportées au regard des spécificités de la zone d'étude (Illustration 19) :

- les aquifères et épontes superficiels du Quaternaire existants dans le modèle géologique, puis hydrogéologique du MPQ, ne sont pas tous présents ou ne jouent pas un rôle hydrogéologique majeur sur le territoire d'étude. Ainsi, l'ensemble des formations superficielles, depuis les dunes et sables des Landes jusqu'à la formation d'Onesse, a été regroupé pour ne former qu'une seule couche ;
- les glaises bigarrées, présentes seulement à l'extrémité sud de la zone d'étude, ont été regroupées avec la formation des sables fauves ;
- Dans le modèle MPQ, plusieurs aquifères sous-jacents aux aquifères du Quaternaire se retrouvent à l'affleurement, ce qui rend leur prise en compte nécessaire. Sur le territoire d'étude, seul l'Helvétien est présent à l'affleurement, notamment aux abords de la Leyre vers la commune de Salles. Etant par ailleurs présent dans l'ensemble de la zone modélisée, il

constitue une interface avec les niveaux sous-jacents, ce qui permet de s'affranchir de ceux-ci. Ainsi, l'Helvétien constitue la 5^{ème} et dernière couche du modèle MOHYS.

Modèle géologique	Modèle Plio-Quat	MOHYS	Commentaires
Dunes et Sables des Landes	Couche 1	Couche 1	Les toits semi-perméables de Belin et Onesse ne constituent pas des épontes régionales et n'engendrent pas de distinctions de réservoirs
Alluvions récentes			
Nappes alluviales et terrasses anciennes			
Formation de Castets			
TSP Belin (= Argiles de Brach)			
Formation de Belin			
TSP Onesse	Couche 2	Couche 2	Éponte nécessaire car piézométries différentes entre Arengosse et Onesse
Formation d'Onesse	Couche 3		
TSP Arengosse	Couche 4	Couche 3	Pas de glaises bigarrées sur les territoires à enjeu
Formation d'Arengosse	Couche 5		
Glaises bigarrées	Couche 6	Couche 4	Helvétien : premier aquifère sous-jacent présent
Sables Fauves semi-perméables	Couche 7		
Aquifères sous-jacents	Couche 8	Couche 5	

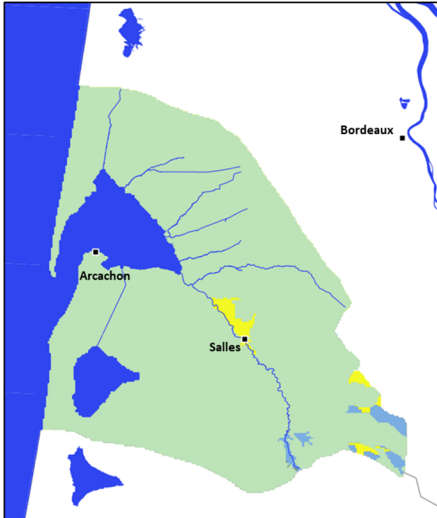


Illustration 19 - Couches géologiques représentées dans les modèles Mio-Plio-Quaternaire (MPQ) et MOHYS

En terme d'extension des couches à intégrer dans l'outil de modélisation, l'analyse de données piézométriques a amené à procéder à quelques modifications concernant l'extension de certaines d'entre elles (paragraphes ci-dessous).

a) Observations piézométriques conduisant à des révisions locales

L'analyse des données piézométriques disponibles sur le pourtour du Bassin d'Arcachon a mis en avant deux zones dans lesquelles des différences de piézométrie importantes ont été relevées entre des piézomètres voisins. Ces deux zones concernent les secteurs de La Teste-de-Buch et de Lanton.

Ainsi, dans le secteur de Blagon, situé au nord-est de la commune de Lanton (Illustration 20), deux piézomètres suivis quotidiennement, et dont les données sont disponibles dans la base ADES (08262X0023/F et 08262X0290/F), présentent des évolutions piézométriques avec en moyenne 7 mètres d'écart pendant la période 2010-2018. Eloignés l'un de l'autre de 610 mètres, ces deux ouvrages présentent donc un gradient apparent supérieur à 1%, ce qui est assez élevé pour le Plio-Quaternaire. Après recherche dans la base *InfoTerre*, il apparaît qu'ils ont été forés à des profondeurs nettement différentes : 9,30 m pour l'ouvrage 08262X0023 et 44,50 m pour l'ouvrage 08262X0290 (crépines situées entre 29 et 44,5 m de profondeur). Par conséquent, ils ne captent pas le même niveau sableux du Plio-Quaternaire (cf. partie b)).

A La Teste-de-Buch, les données disponibles dans deux forages situés au voisinage de l'aérodrome de Villemarie (Illustration 21) présentent de façon similaire des différences de niveau piézométrique importantes. L'écart moyen (et médian) s'établit ainsi à 5,5 mètres au cours de la période 2010-2020.

L'ouvrage 08494X0077 est un forage de 56 mètres de profondeur dont les crépines sont positionnées entre 35,7 et 51,5 mètres de profondeur. L'ouvrage 08494X0126 est quant à lui un piézomètre de 20 mètres de profondeur, dont les crépines se situent entre 15,5 et 19,5 mètres

de profondeur. Comme pour les ouvrages de Lanton, ces différences induisent le fait que les deux forages ne captent pas le même niveau sableux (cf. b)).

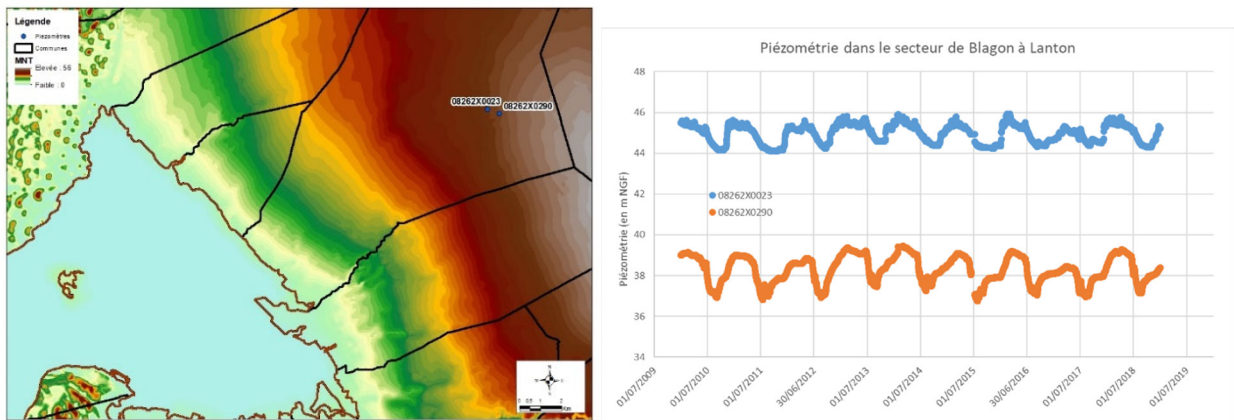


Illustration 20 - Localisation des ouvrages 08262X0023 et 08262X0290, situés dans le secteur de Blagon à Lanton (sur fond MNT), et leur chronique piézométrique (données ADES)

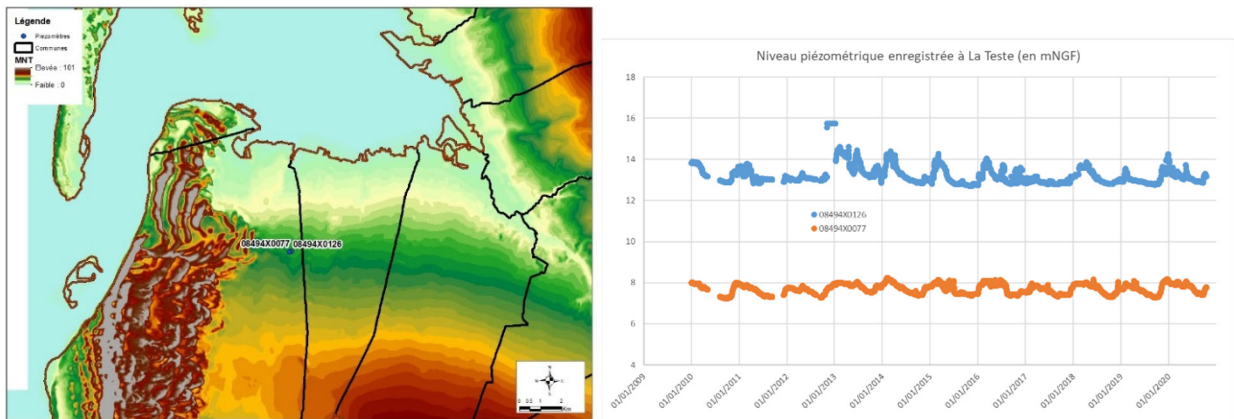


Illustration 21 - Localisation des ouvrages 08494X0126 et 08494X0077, situés dans le secteur de l'aérodrome de Villemarie à La Teste-de-Buch (sur fond MNT), et leur chronique piézométrique (données ADES)

b) Confrontation des observations aux nouvelles données géologiques

La zone d'étude du projet MOHYS se situe dans la partie nord du « Triangle Landais ». Ce territoire correspond à un vaste domaine géologique, situé le long du littoral atlantique depuis la Pointe de Grave jusqu'aux environs de Bayonne, et qui couvre une partie du territoire aquitain jusqu'à Agen. Après la dernière transgression marine du Serravalien (Miocène moyen), ce territoire va demeurer en domaine continental. Les flux détritiques provenant des reliefs pyrénéens et du Massif Central, couplés à une subsidence active, vont entraîner une accumulation de sédiments pouvant aller jusqu'à une centaine de mètres dans certains secteurs au cœur du « Triangle Landais ».

Avec l'aide des levés réalisés dans le cadre du programme de la carte géologique de la France au 1/50 000 du BRGM, un modèle de comblement sédimentaire continental, depuis le Miocène moyen jusqu'au Plio-Quaternaire, a été proposé pour ce territoire (Dubreuilh et al., 1995). Dans ce modèle, une succession de 5 séquences a été identifiée (Illustration 22). Elles sont constituées, à leurs bases, de dépôts grossiers qui évoluent progressivement en s'affinant vers les sommets. Ces derniers sont ainsi le plus souvent marqués par la présence d'argile et parfois

même de lignite (cf. gisement de lignite d'Arjuzanx situé dans la formation des Glaises Bigarrées, en sommet de formation des sables fauves).

Les limites entre chaque séquence sont discordantes, c'est-à-dire qu'un phénomène d'érosion s'est produit entre deux épisodes de dépôts successifs. En effet, après des épisodes plutôt calmes et au cours desquels des sédiments fins se sont déposés, dans un environnement marécageux par exemple, le retour à des conditions hydrosédimentaires plus « agitées », marqué par la présence des dépôts grossiers, peut impliquer une désagrégation ou un décapage mécanique des niveaux inférieurs. Ce transit de matériaux plus grossiers en surface va ainsi « creuser » dans le substrat, la plupart du temps sous la forme d'un réseau de chenaux, et ce sont donc les sommets de séquence qui sont prioritairement érodés. La répartition actuelle de ces niveaux peut ainsi être discontinue avec la présence de lentilles résiduelles et individualisées.

Les discontinuités des niveaux géologiques, présents en fin de séquences, au sein de la série détritico Mio-Plio-Quaternaire, entraînent des difficultés pour l'identification, la cartographie et la modélisation de ces séquences. Ceci est notamment vrai dans le cadre de travaux régionaux comme le modèle géologique Mio-Plio-Quaternaire (Karnay et Corbier, 2008 ; Corbier et Karnay, 2010). Ce modèle, réalisé sous GDM², ne prévoit pas de différencier ces niveaux de fin de séquence, en dehors de la formation des Glaises bigarrées.

Des cartes d'extensions sont toutefois proposées (Annexe 1). Dans un objectif de simplification, justifié à une telle échelle de travail, ces cartes d'extensions considèrent uniquement les emprises d'ampleurs suffisantes pour être représentées régionalement. Les « lentilles » d'envergure plus locale ont été le plus souvent négligées.

Cette absence ne permet pas de représenter les variations piézométriques, telles que celles constatées dans les communes de La Teste-de-Buch et de Lanton (cf. partie a) du présent sous-chapitre). Pour déterminer s'il existe des lentilles susceptibles d'introduire de telles variations de perméabilité dans le système, un examen des données géologiques existantes est nécessaire.

Historiquement, pour construire le modèle Mio-Plio-Quaternaire sur lequel s'appuie le modèle MOHYS, un certain nombre de coupes de forages, issus de la BSS (Banque du Sous-Sol), ont été utilisées. Les différentes passes relevées dans les logs lithostratigraphiques de ces forages ont ainsi été codées sur la base d'une pile stratigraphique cohérente à l'échelle régionale et certains niveaux, isolés ou discontinus dans leur proche environnement, ont fait l'objet de simplifications (notamment concernant les toits plus argileux présents aux sommets des séquences). C'est ainsi que la carte, représentant l'emprise de la formation d'Arengosse et de son toit argileux de fin de séquence (Illustration 22), ne fait vraisemblablement pas apparaître toutes les lentilles, notamment celles d'envergures plus limitées. Néanmoins, si de telles lentilles existent, elles sont susceptibles d'être identifiées et décrites dans les forages qui les traversent. Un réexamen de la base de données des forages, utilisée pour le modèle Mio-Plio-Quaternaire, est, de ce fait, nécessaire ainsi que la revue de forages complémentaires éventuellement présents à proximité. Ce travail intéresse uniquement les deux secteurs concernés par les anomalies hydrogéologiques qui ont été reconnues (cf. partie a)).

² GDM : Geological Data Modeling, logiciel développé par le BRGM pour le traitement des bases de données géologiques permettant de visualiser, modéliser en 3D et réaliser des analyses géostatistiques.

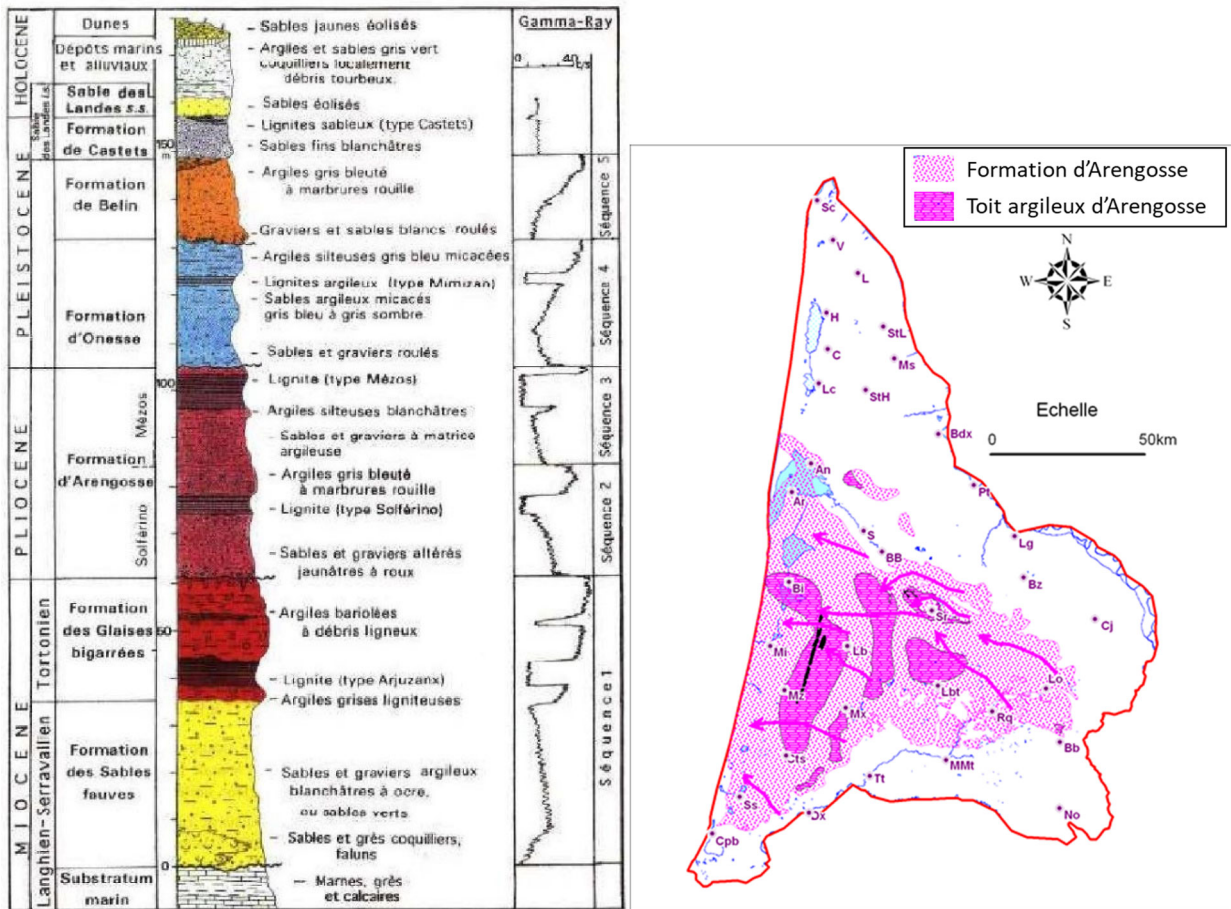


Illustration 22 - Succession lithostratigraphique synthétique des formations continentales des Landes de Gascogne (Dubreuilh et al., 1995) et carte régionale représentant l'emprise de la formation d'Arengosse avec son toit argileux (extrait du modèle Mio-Plio-Quaternaire, Corbier et Karnay, 2008)

Secteur de La Teste-de-Buch

Les piézomètres, pour lesquels des différences notables dans les niveaux d'eau mesurés ont été constatées, sont identifiés par les indices BSS :

- 08494X0126 (BSS002AAFX) = piézomètre de 20 m de profondeur, dont les crépines se situent entre 15,5 et 19,5 m de profondeur ;
- 08494X0077 (BSS002AADW) = forage de 56 m de profondeur dont les crépines sont positionnées entre 35,7 et 51,5 m de profondeur.

Ils sont localisés sur la carte ci-après (Illustration 23). Autour de ces piézomètres, dans un secteur couvrant un rayon d'environ 10 km, 74 forages (dont la localisation n'est pas identifiée sur la carte) ont fait l'objet d'un réexamen géologique à partir des logs.

Pour 20 de ces 74 forages, des niveaux argileux, voire ligniteux, ont été clairement identifiés, entre 18 et 39 mètres de profondeur (ces forages sont représentés par des ronds bleus sur l'illustration 23 et listés dans le tableau 1). Au droit de ces forages, ces profondeurs correspondent à la limite entre la formation d'Arengosse, en partie inférieure, et la formation d'Onesse en partie supérieure : il s'agit donc du **toit de la formation d'Arengosse**. Les épaisseurs reconnues pour ces niveaux varient entre 0,5 et 5 mètres (certains forages ont été arrêtés dans ces niveaux, l'épaisseur totale n'a donc pas pu être déterminée).

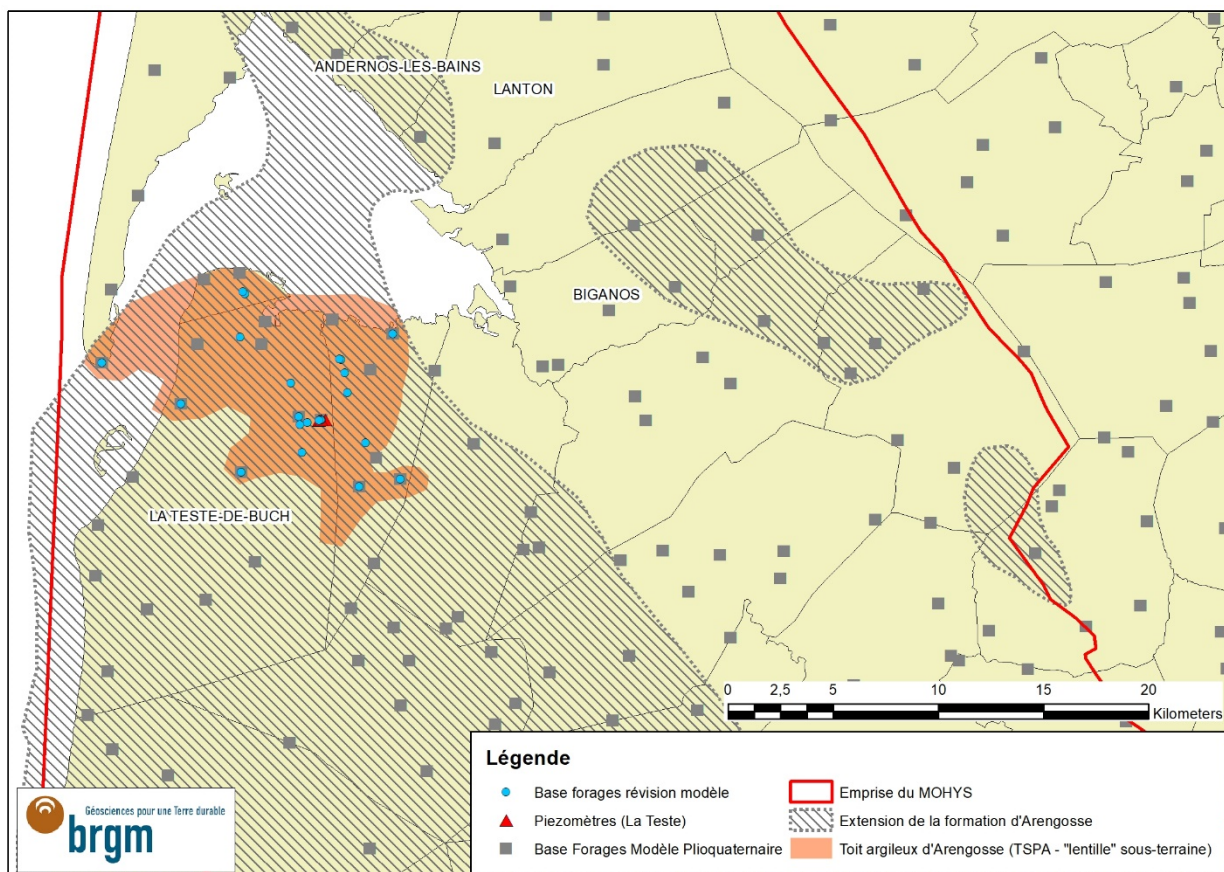


Illustration 23 - Représentation cartographique du secteur de La Teste-de-Buch, où un toit argileux a été identifié au sommet de la formation d'Arengosse, à partir des logs de forages

Dans les 54 forages restants (sur les 74 forages réexaminés), des passées à tendance argileuse ont pu être identifiées (sables argileux, sables fins, etc.). Toutefois, les descriptions ne permettant pas d'identifier clairement un niveau argileux susceptible de jouer un rôle d'éponte, ces forages n'ont pas été inclus dans la liste des 20 forages considérés pour identifier le toit argileux de la formation d'Arengosse.

Enfin, les niveaux géologiques rencontrés au droit des forages ne sont pas nécessairement décrits de manière suffisamment détaillée pour permettre d'identifier des niveaux argileux d'épaisseur métrique à plurimétrique, même si ceux-ci peuvent être présents.

Code BSS	Indice BSS (ancien code)	Profondeur ouvrage (m)	Profondeur lentille argileuse (m)	Epaisseur (m)
BSS001ZDNW	08258X0093	88,0	26,0	5,0
BSS001ZDNX	08258X0094	78,0	29,0	3,0
BSS001ZZPH	08493X0027	60,0	28,7	1,0
BSS002AAAZ	08494X0007	75,0	32,0	3,0
BSS002AABF	08494X0013	37,5	35,0	2,5
BSS002AACZ	08494X0055	96,0	29,0	1,0
BSS002AADA	08494X0056	340,0	23,0	3,0
BSS002AADC	08494X0058	62,0	27,0	1,0
BSS002AADD	08494X0059	41,0	22,0	2,0
BSS002AADE	08494X0060	37,0	20,0	3,0
BSS002AADF	08494X0061	31,0	28,0	2,5
BSS002AADH	08494X0063	41,0	27,0	4,0
BSS002AADR	08494X0072	24,0	21,5	0,5
BSS002AADW	08494X0077	68,0	39,0	2,0
BSS002AADY	08494X0079	100,0	32,0	4,0
BSS002AAFY	08494X0127	70,0	33,0	3,0
BSS002AALB	08494X0226	31,0	28,0	3,0
BSS002AAMV	08494X0268	20,5	20,0	0,5
BSS002ABCW	08501X0005	94,0	25,0	2,0
BSS002ABGD	08501X0084	41,0	18,0	2,0

Tableau 1 - Liste des forages ayant permis d'identifier la lentille argileuse et/ou ligniteuse, en partie supérieure de la formation d'Arengosse, dans le secteur de La Teste-de-Buch (indication des épaisseurs correspondantes identifiées par forage)

Secteur de Lanton

Les piézomètres, pour lesquels des différences notables dans les niveaux d'eau mesurés ont été constatées, sont identifiés par les indices BSS suivants (cf. partie a) :

- 08262X0290 (BSS001ZEFE) = avec des crépines situées entre 29 et 44,5 mètres de profondeur ;
- 08262X0023 (BSS001ZDUB) = forés à la profondeur de 9,3 mètres (pas d'indice sur les crépines).

Ils sont représentés sur la carte ci-après (Illustration 24).

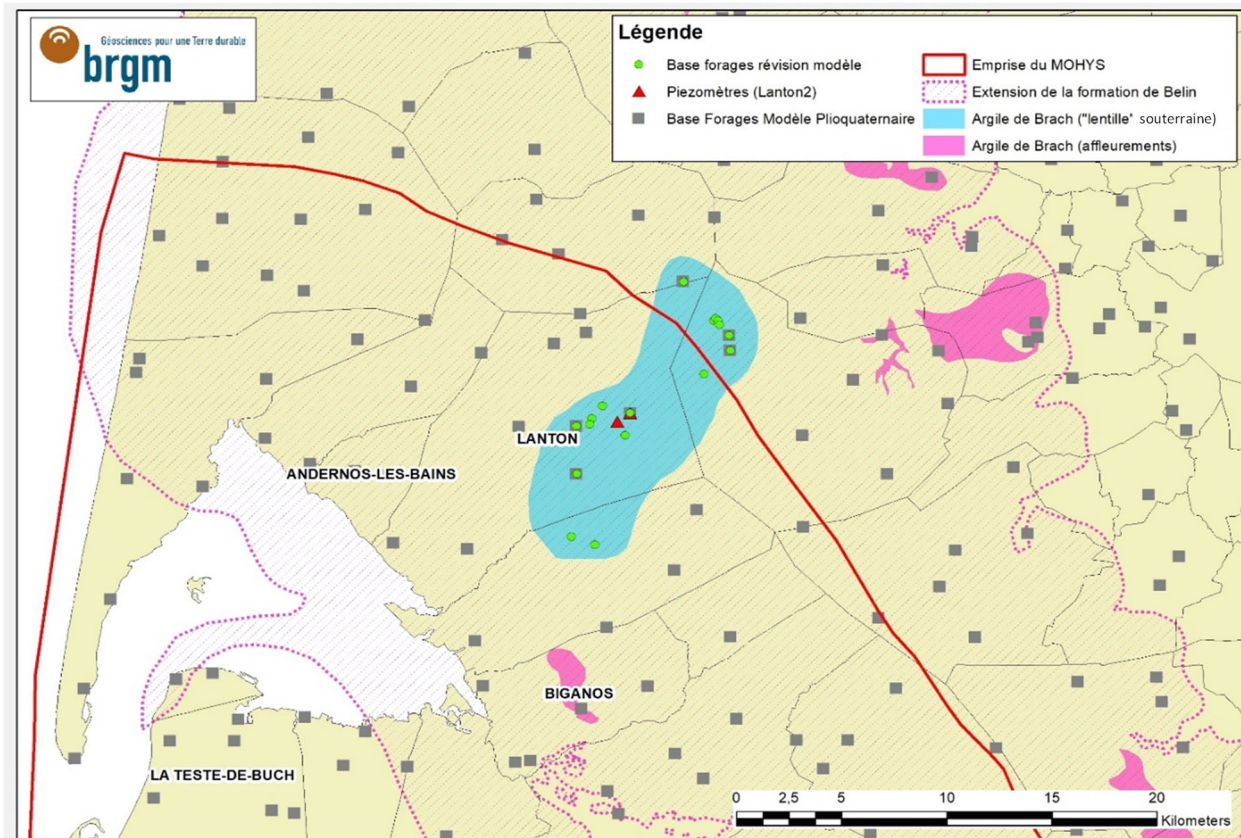


Illustration 24 - Représentation cartographique du secteur de Lanton, où un toit argileux a été identifié au sommet de la formation de Belin (formation des Argiles de Brach)

Autour de ces piézomètres, dans un secteur couvrant un rayon d'environ 8 km, 38 forages ont fait l'objet d'un réexamen géologique à partir des logs (la localisation de ces 38 forages n'est pas identifiée sur la carte).

Pour 17 de ces 38 forages, des niveaux argileux, voire ligniteux, ont été clairement identifiés, entre 14 et 26,2 mètres de profondeur (ces forages sont représentés par des ronds verts sur l'illustration 24 et listés au tableau 2). Au droit de ces forages, ces profondeurs correspondent à la limite entre la formation de Belin, en partie inférieure, et la formation du Sable des Landes, en partie supérieure. Il s'agit donc des niveaux argileux et ou ligniteux identifiés comme appartenant à la formation des **argiles de Brach**. Les épaisseurs reconnues pour ces niveaux oscillent entre 0,5 et 6 mètres (certains forages ont été arrêtés dans ces niveaux, l'épaisseur totale n'a donc pas pu être déterminée).

Dans les 21 forages restants (des 38 forages réexaminés), des passées à tendance argileuse ont pu être identifiées (sable argileux, sables fins, etc.). Toutefois, les descriptions ne permettant pas de clairement identifier un niveau argileux susceptible de jouer un rôle d'éponte, ces forages n'ont pas été utilisés par la suite.

Code BSS	Indice BSS (ancien code)	Profondeur ouvrage (m)	Profondeur lentille argileuse (m)	Epaisseur (m)
BSS001XULH	08027X0036	30,0	25,0	3,0
BSS001XULQ	08027X0043	41,0	17,0	3,0
BSS001XUMD	08027X0062	20,0	19,0	1,0
BSS001XUME	08027X0063	20,0	19,0	1,0
BSS001XUMF	08027X0064	20,0	18,5	1,5
BSS001XUMG	08027X0065	20,0	19,0	1,0
BSS001ZDTD	08262X0001	57,0	24,0	3,0
BSS001ZDWX	08262X0091	23,5	22,5	1,5
BSS001ZDWY	08262X0092	20,0	24,5	0,5
BSS001ZDWZ	08262X0093	23,5	23,5	0,5
BSS001ZDXA	08262X0094	41,0	22,0	4,0
BSS001ZDXC	08262X0096	285,0	14,0	6,0
BSS001ZEFE	08262X0290	44,5	26,2	2,8
BSS001ZEJL	08263X0042	24,0	19,0	4,0
BSS001ZEJP	08263X0045	206,0	20,0	3,0
BSS004AKEJ	BSS004AKEJ	22,0	19,0	3,0
BSS004AKEP	BSS004AKEP	22,0	20,0	2,0

Tableau 2 - Liste des forages ayant permis d'identifier la lentille argileuse et/ou ligniteuse, en partie supérieure de la formation de Belin (formation des argiles de Brach), dans le secteur de Lanton (indication des profondeurs et des épaisseurs correspondantes identifiées par forage)

La revue de cet ensemble de forages, dans les deux secteurs visés, a permis d'identifier la présence de lentilles argileuses de fin de séquence, parfois ligniteuses ou même tourbeuses. Ces lentilles sont représentées par des polygones de taille non négligeable, couvrant une superficie de :

- 112 km² concernant le toit supérieur argileux de la formation d'Arengosse, dans le secteur de La Teste-de-Buch ;
- 81 km² concernant les argiles de Brach, dans le secteur de Lanton.

En l'absence de contrôle par l'intermédiaire de la réalisation de nouveaux forages entre les points où des données sont actuellement disponibles (forages existants), la continuité horizontale de ces lentilles ne peut être vérifiée.

c) Modifications géométriques du modèle MOHYS

Dans le cadre du projet MOHYS, l'intégration de la lentille identifiée dans le secteur de Lanton n'a pas été réalisée. Cette lentille fait partie de la couche des argiles de Brach, séparant les formations de Belin et du Sable des Landes, laquelle n'est plus représentée dans le modèle hydrogéologique MPQ, car aucune différence de piézométrie générée par la couche des argiles de Brach n'avait été observée jusqu'alors. Son intégration dans le présent modèle nécessiterait donc de créer deux nouvelles couches (la lentille argileuse et l'aquifère sous-jacent) en subdivisant la couche n°1 en trois couches. Ceci implique un réajustement très conséquent du modèle en termes de géométrie et d'ajustement des paramètres d'entrée et de sortie du modèle.

Concernant le secteur de La Teste-de-Buch (Illustration 25), au droit des zones à enjeux, la lentille argileuse identifiée est déjà intégrée dans la géométrie du modèle. En effet, la lentille appartient à la couche n°2 du modèle, correspondant au toit semi-perméable de la formation d'Arengosse, qui fait déjà l'objet d'une couche spécifique dans le modèle hydrogéologique MOHYS.

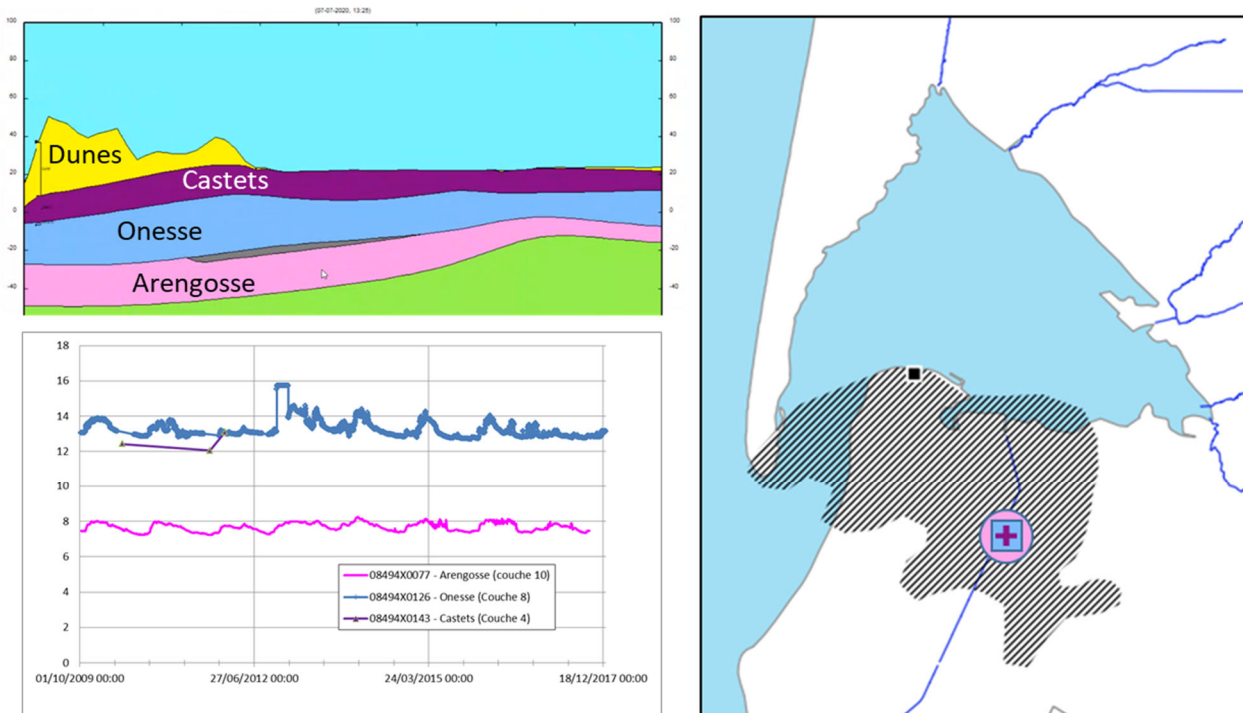


Illustration 25 - Intégration d'une épente entre les formations d'Arengosse et d'Onesse générant une différence piézométrique entre les deux aquifères

Notons pour conclure que ce travail n'a pas fait l'objet d'une révision du modèle Mio-Plio-Quaternaire, que ce soit vis-à-vis de la géométrie des interfaces entre chaque séquence ou de l'ajout de ces lentilles argileuses.

3.1.3. Constitution d'une topographie affinée pour le modèle hydrogéologique

Concernant les couches à l'affleurement, le « toit » des formations de ces dernières s'appuie sur un modèle numérique de terrain (MNT), réalisé pour le modèle hydrogéologique, avec une taille de maille correspondant à la résolution minimale du modèle, soit des mailles de 50 mètres de côté (cf. Illustration 26).

Pour ce faire, plusieurs sources de données ont été utilisées (Illustration 27) : le RGE Alti V2 de l'IGN, la bathymétrie du SIBA pour l'intérieur du Bassin et la bathymétrie HOMONIM du SHOM, pour la façade océanique.

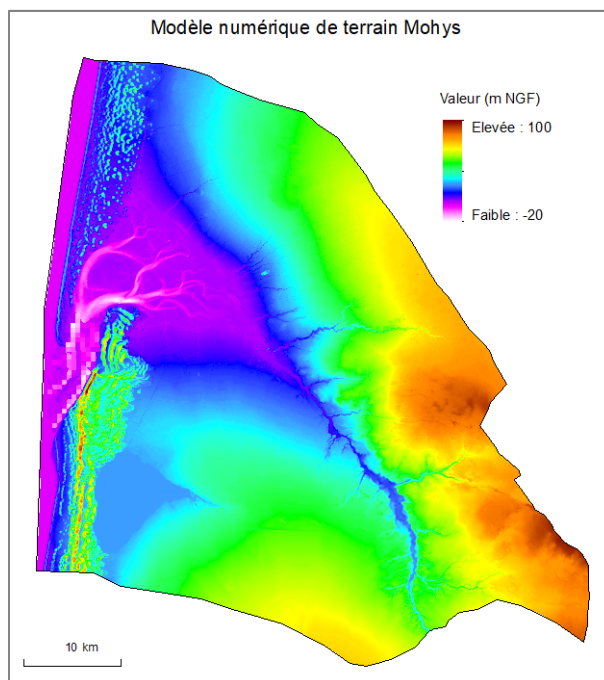


Illustration 26 - Modèle numérique de terrain du modèle MOHYS

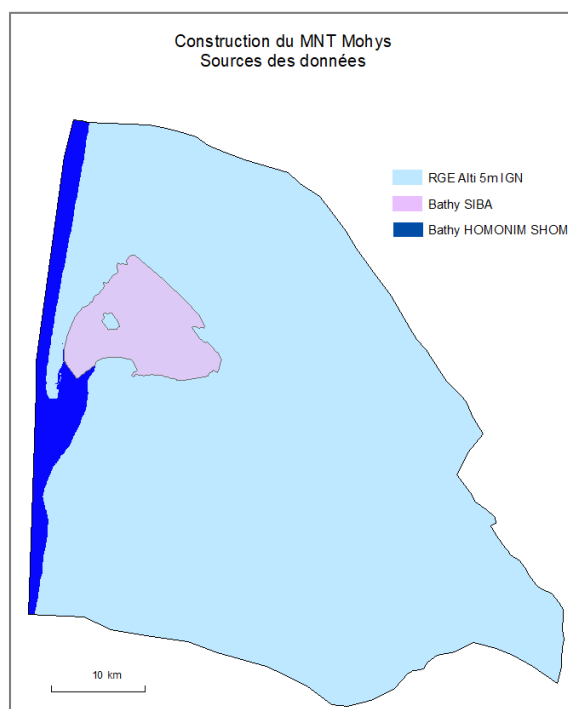


Illustration 27 - Sources des données utilisées pour constituer le MNT du modèle MOHYS

Les données ont été rééchantillonnées avec un facteur d'agrégation permettant de fournir une valeur altimétrique moyennée pour chaque maille de 50 mètres de côté.

Les mailles aux droits des cours d'eau représentés dans le modèle (cf. partie 3.4) ont fait l'objet d'un traitement spécifique afin de retenir l'altitude minimale (et non moyennée), permettant de marquer le lit du cours d'eau et de mieux prendre en compte le drainage de la nappe par les cours d'eau (Illustration 28).

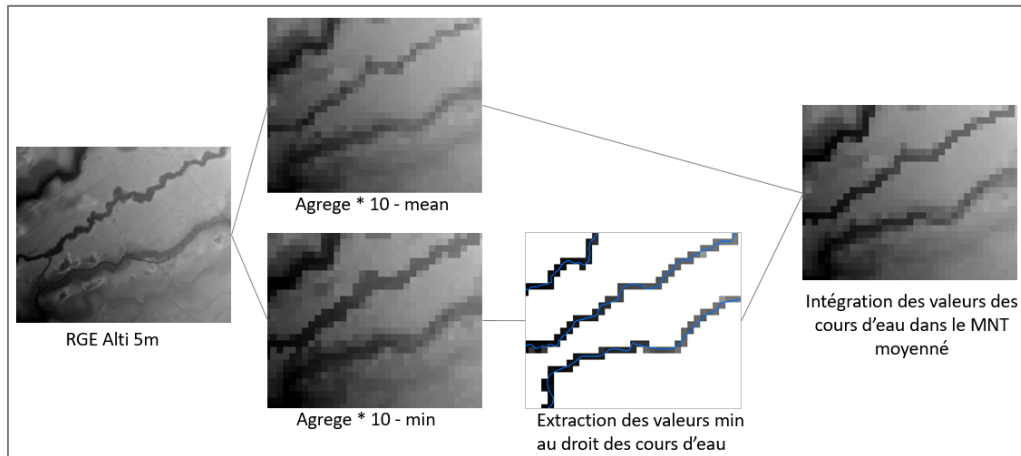


Illustration 28 - Prise en compte des cours d'eau dans le MNT du modèle MOHYS

3.1.4. Discrétisation spatiale retenue

Le maillage retenu s'appuie sur celui du modèle MPQ (Cabaret et al., 2019) pour lequel les mailles sont de dimension 500 m x 500 m. Cependant, au regard des objectifs du modèle MOHYS (représentation fine des échanges "nappe-rivière" et du niveau de la nappe notamment dans les zones à enjeux), du nombre de singularités (cours d'eau, points de prélèvements, piézomètres, ...), il a été décidé d'affiner le maillage. Une représentation affinée est limitée par l'augmentation du temps de calcul qu'induit l'augmentation du nombre de mailles actives. En conséquence, un compromis a été recherché entre une représentation détaillée des écoulements et le maintien d'un temps de calcul limité (inférieur à l'heure en l'occurrence) permettant de faciliter l'usage du modèle, que ce soit durant le calage ou par la suite.

Un maillage principal avec une taille de maille de 250 m x 250 m a été retenu (Illustration 29). Par ailleurs, après concertation avec le SIBA, 6 secteurs à enjeux plus spécifiques ont été affinés localement pour pouvoir rendre compte plus finement des écoulements (mailles de 50 m x 50 m) (Illustration 30). Ces secteurs sont intégrés dans le modèle au travers de sous-maillages gigognes. Au total, pour l'ensemble du modèle, le nombre de mailles actives s'élève à 228 130.

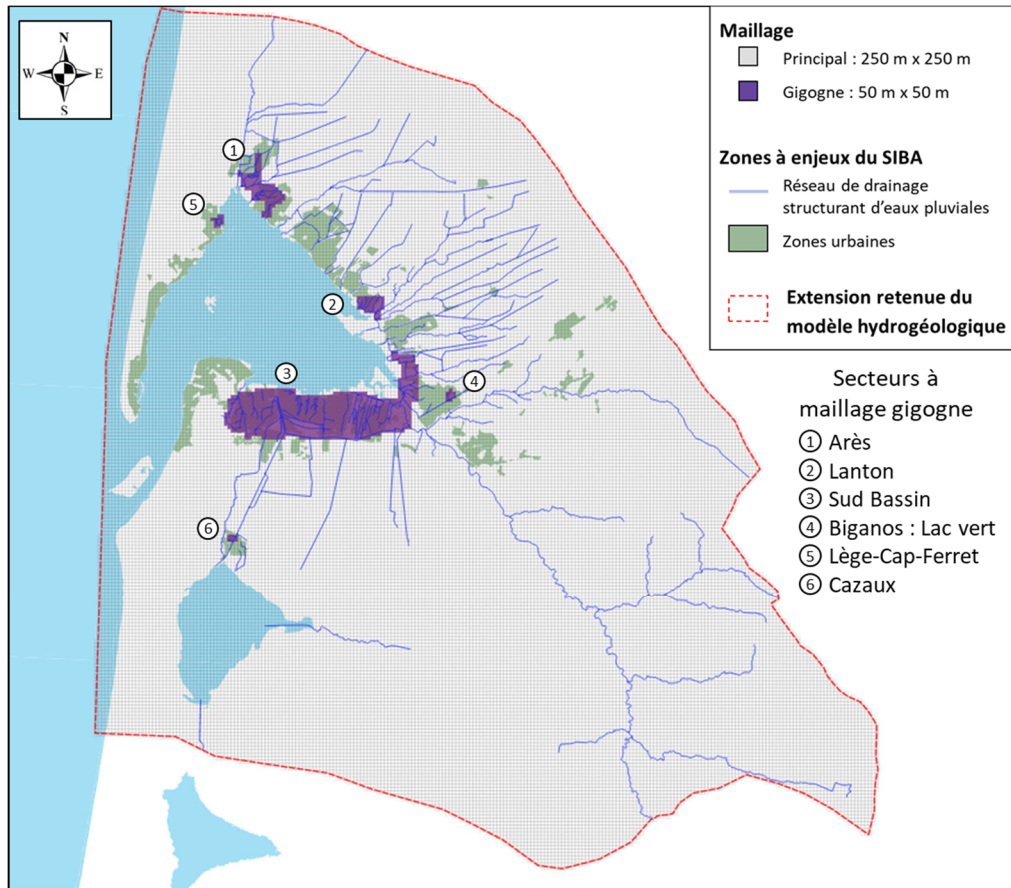


Illustration 29 - Maillage principal du modèle MOHYS (250 m x 250 m) et secteurs affinés (50 m x 50 m)

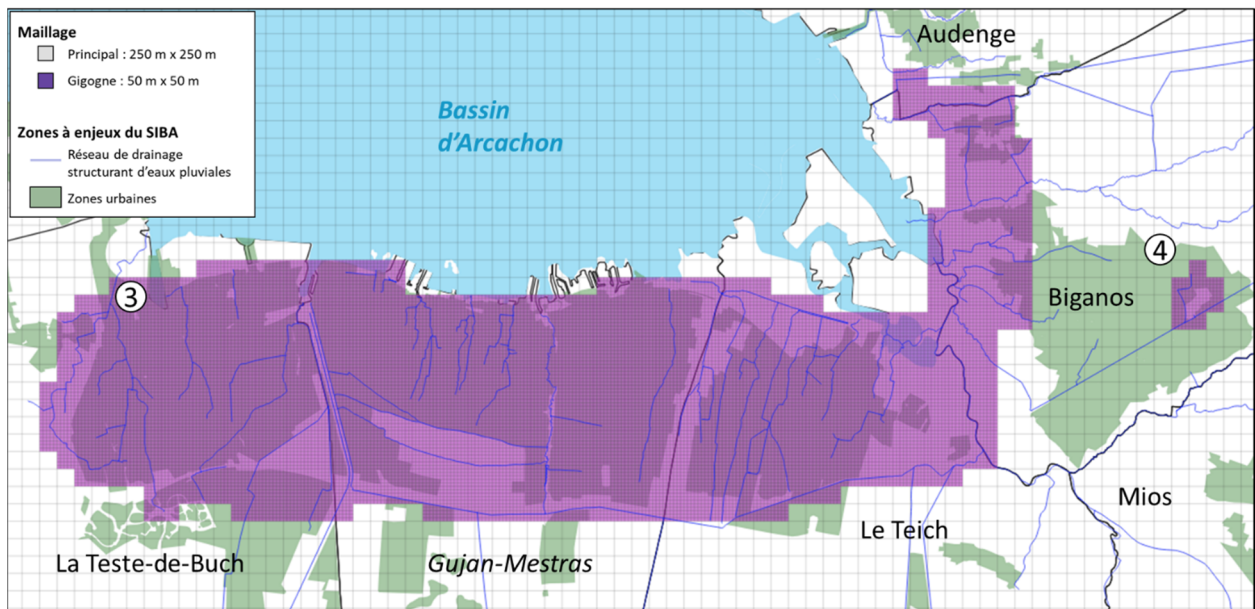


Illustration 30 - Maillages gigognes des secteurs « Sud Bassin » et « Biganos - Lac Vert »

L'architecture 3D du modèle hydrogéologique étant établie (Illustration 31), les paramètres hydrogéologiques initiaux et les données d'entrée sont intégrés dans le modèle. Pour mémoire, la période de calage retenue est 2010-2018 et a guidé la collecte des données qui servent à l'élaboration et au calage du modèle.

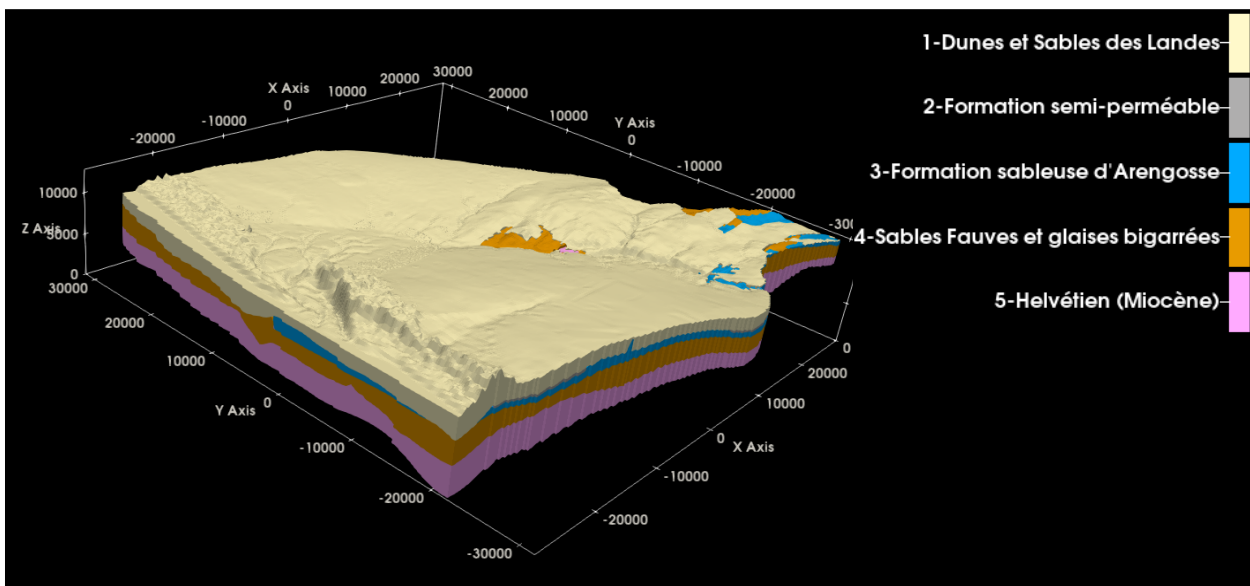
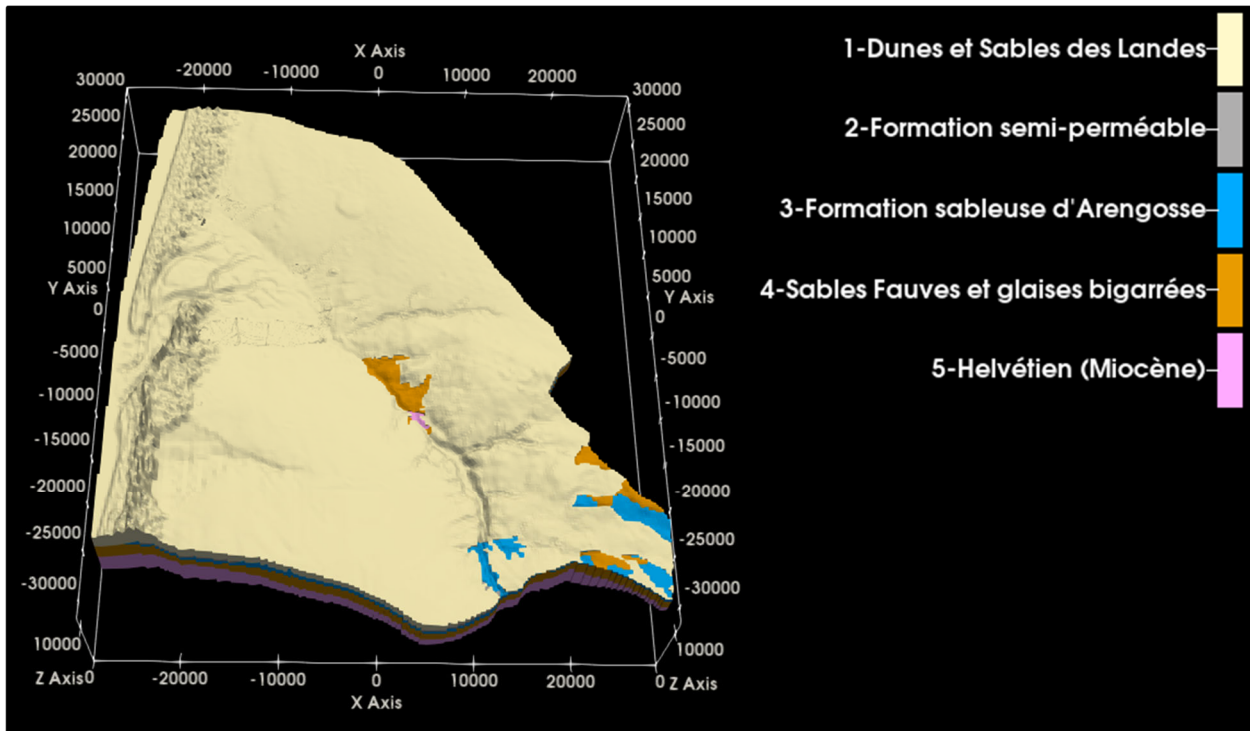


Illustration 31 - Architecture 3D du modèle hydrogéologique MOHYS

3.2. PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES INITIAUX DES FORMATIONS MODELISEES (PERMEABILITE ET COEFFICIENTS D'EMMAGASINEMENT LIBRE ET CAPTIF)

Les propriétés hydrodynamiques (perméabilité (K) et emmagasinement (S)) intégrées au modèle s'appuient, dans un premier temps, sur les travaux du modèle MPQ pour les couches 1 à 4 et du modèle Nord-Aquitain (MONA v3.5) pour la couche relative à l'Helvétien. Les valeurs bibliographiques obtenues de pompages d'essai et synthétisées en phase 1 (Douez, 2018) sont exploitées ensuite pour caler le modèle (Illustration 32). Elles servent en effet à cerner les gammes de perméabilité et d'emmagasinement qui seront appliquées au modèle. Ces valeurs, pour les différentes nappes plio-quadernaires, s'étendent entre 1.10^{-6} et 1.10^{-3} m/s pour la perméabilité avec un mode de 5.10^{-4} m/s et entre 3.10^{-5} et 0.3, avec un mode à 0.01, pour l'emmagasinement. A noter que les valeurs présentées au chapitre 2.3 ne sont pas présentées ici ; l'interprétation de ces dernières ayant eu lieu très récemment par rapport à la rédaction de ce sous-chapitre.

Les perméabilités intégrées au modèle pour l'Helvétien, sur la base des valeurs obtenues du MONA v3.5, ont été ajustées avant tout calage aux valeurs obtenues de la bibliographie. En effet, dans l'emprise du modèle MOHYS, les valeurs de perméabilité, même si elles s'avèrent peu nombreuses, s'étendent entre 8.10^{-6} et $1.5.10^{-5}$ m/s dans le secteur d'étude, des valeurs cinq fois inférieures à celles intégrées au MONA v3.5, non encore calé (Illustration 33). Dès lors, les valeurs intégrées au modèle MOHYS ont été divisées par 5, pour mieux rendre compte de cette spécificité locale.

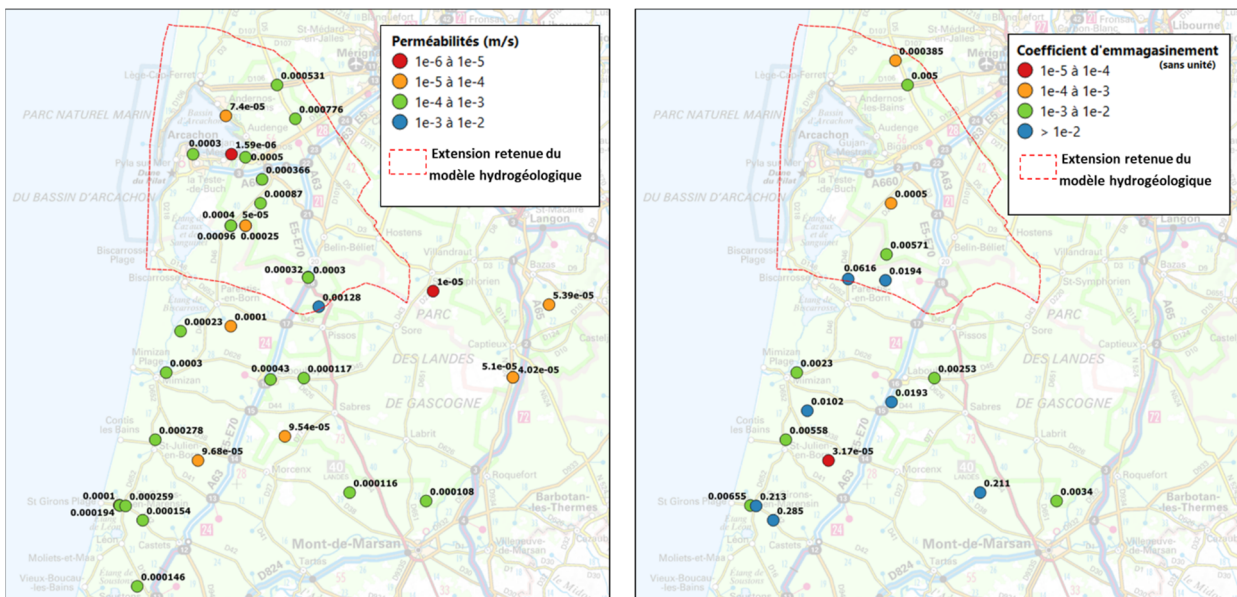


Illustration 32 - Données de perméabilité et d'emmagasinement, issues de la bibliographie, pour les formations plio-quadernaires

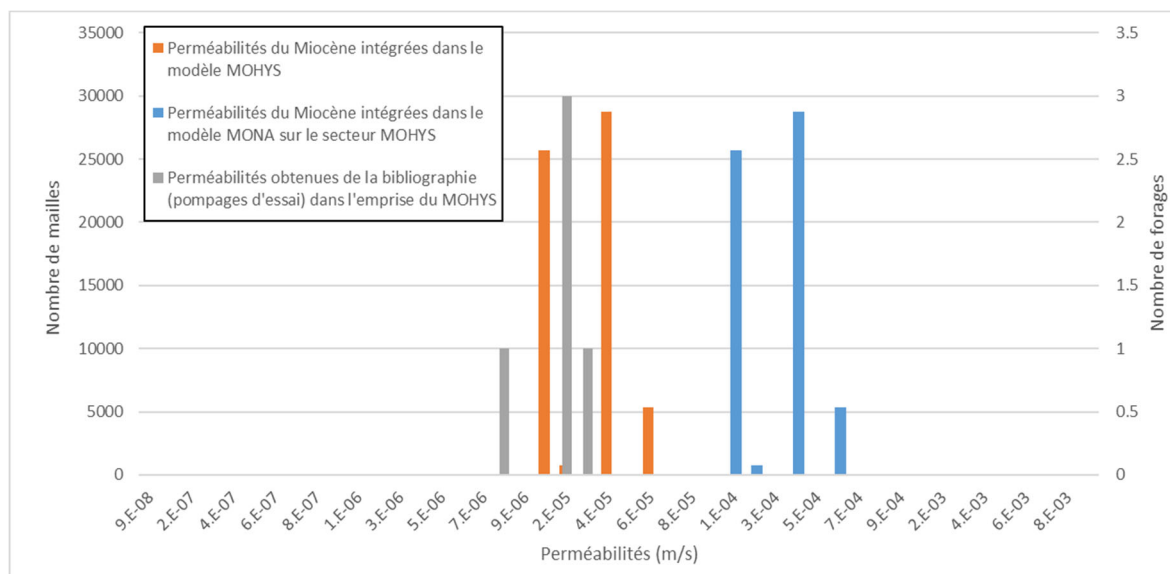


Illustration 33 - Comparaison des perméabilités des modèles MOHYS et MONA v3.5 avec les données bibliographiques obtenues des pompages d'essai, pour les formations miocènes, dans l'emprise du modèle MOHYS

3.3. RECHARGE PLUVIALE ET RUISSELLEMENT

Le calcul de la recharge pluviale et du ruissellement reprend la méthodologie mise en œuvre pour le modèle Mio-Plio-Quaternaire, à savoir le calcul des bilans hydroclimatiques à partir du module GARDÉNIA (Thiéry, 2017), intégré à MARTHE (Cabaret, 2019). Cette méthode vise à calculer, pour chaque maille du modèle, les pluies efficaces et leur partition entre ruissellement et infiltration.

Une telle approche nécessite d'intégrer au modèle :

- des **zones météorologiques** associées à des chroniques de pluie et d'ETP (évapotranspiration) journalières, issues de la grille nationale Safran développée par Météo-France (mailles de 8 km x 8 km) ;
- des **zones de sol** pour lesquelles sont définis la Réserve Disponible pour l'Évapotranspiration (RDE) pour les premiers mètres du sol (autrement appelée Réserve Utile) et des paramètres, au nombre de 2, qui permettent la répartition des pluies efficaces entre écoulement rapide (ruissellement) et écoulement lent (infiltration) :
 - le temps de demi-percolation du réservoir représentant la zone non saturée (TPERC),
 - la hauteur d'équi-répartition entre écoulement rapide et percolation (NRUIP).

Le module GARDÉNIA utilise le principe des modèles réservoirs (Illustration 34) :

- Un premier réservoir U (capacité de rétention du sol) modélise la partie supérieure du sol ; sa hauteur maximale est fixée par la RDE. Il se vidange ou se remplit suivant la pluie et l'ETP. L'alimentation du réservoir H sous-jacent est possible lorsque la capacité de rétention en eau du sol est atteinte.
- Le second réservoir H modélise la zone non saturée au-dessus du niveau de nappe. Il est alimenté par le réservoir U et est vidangé simultanément par percolation dans la nappe sous-jacente suivant une loi exponentielle de constante de temps TPERC (ALIM aquifère = $H \cdot dt / TPERC$) et par écoulement superficiel. La répartition entre ces deux composantes est contrôlée par le paramètre NRUIP.

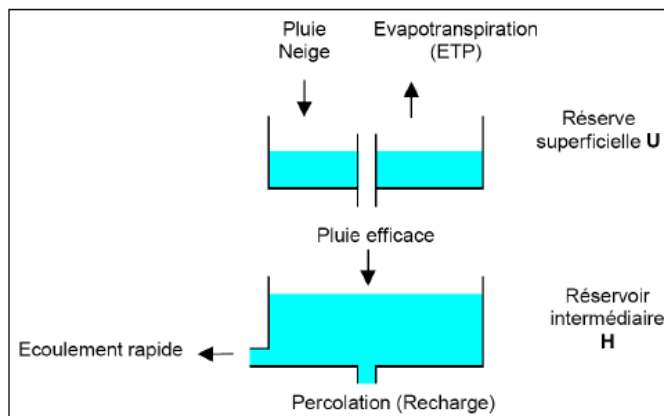


Illustration 34 - Schéma de fonctionnement du calcul de la recharge dans le module GARDENIA, intégré à MARTHE (Thiéry, 2017)

L'infiltration dépend donc de trois paramètres : RDE, TPERC et NRUIP, lesquels devront donc être ajustés lors du calage du modèle maillé en régime transitoire. Un premier jeu de données est cependant introduit à partir de modélisations globales "pluie-niveau-débit" et "pluie-débit" réalisées de façon préliminaire avec le code de calcul GARDENIA.

Concernant les zones météorologiques, le modèle est couvert par 53 mailles Safran (Illustration 35). Dans une zone météorologique, toutes les mailles du modèle reçoivent les mêmes précipitations et les mêmes ETP : 53 chroniques journalières de pluie et d'ETP sont ainsi lues en entrée du modèle.

Concernant les zones de sol, 2 zones ont été retenues. Elles ont été définies à l'issue du travail effectué dans le cadre du développement du modèle MPQ (Cabaret et al, 2019). Ces deux zones mettent en avant la distinction possible entre la zone des sables dunaires (zone n°1), qui facilite davantage l'infiltration et la zone n°2, correspondant schématiquement au sable des Landes.

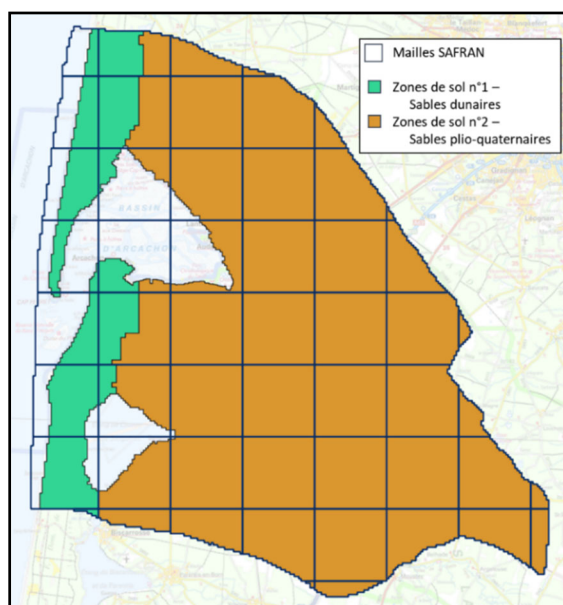


Illustration 35 - Grille Safran (de Météo-France) et zones de sol appliquées dans l'emprise du modèle MOHYS

3.4. RIVIERES ET CANAUX

Le modèle hydrodynamique proposé ici est couplé à un réseau hydrographique principal. Les modalités de couplage, de données nécessaires et de calcul sont explicités dans la note technique NT EAU 2004/19 (Thiery, 2012). A noter que le modèle reste toutefois un modèle à visée hydrogéologique et que, de ce fait, il ne peut se substituer totalement à un modèle hydraulique de surface pour représenter la complexité des écoulements à surface libre. Il représente ainsi les écoulements de surface de « façon simplifiée » pour prendre en compte les échanges "eaux souterraines / eaux de surface".

3.4.1. Linéaire pris en compte

Le réseau de drainage présent dans la zone d'étude est constitué par de nombreux cours d'eau naturels qui trouvent leur exutoire dans le Bassin d'Arcachon ou, dans une moindre mesure, dans les lacs ou l'océan (Illustration 36). Il est complété par un ensemble de crastes, fossés ou canalisations façonnés par l'homme pour favoriser l'évacuation des eaux (de ruissellement ou de débordement) et ainsi protéger les zones habitées. Cet ensemble joue un rôle prépondérant dans l'hydrodynamisme du territoire et sa restitution dans le modèle doit donc faire l'objet d'une attention particulière.

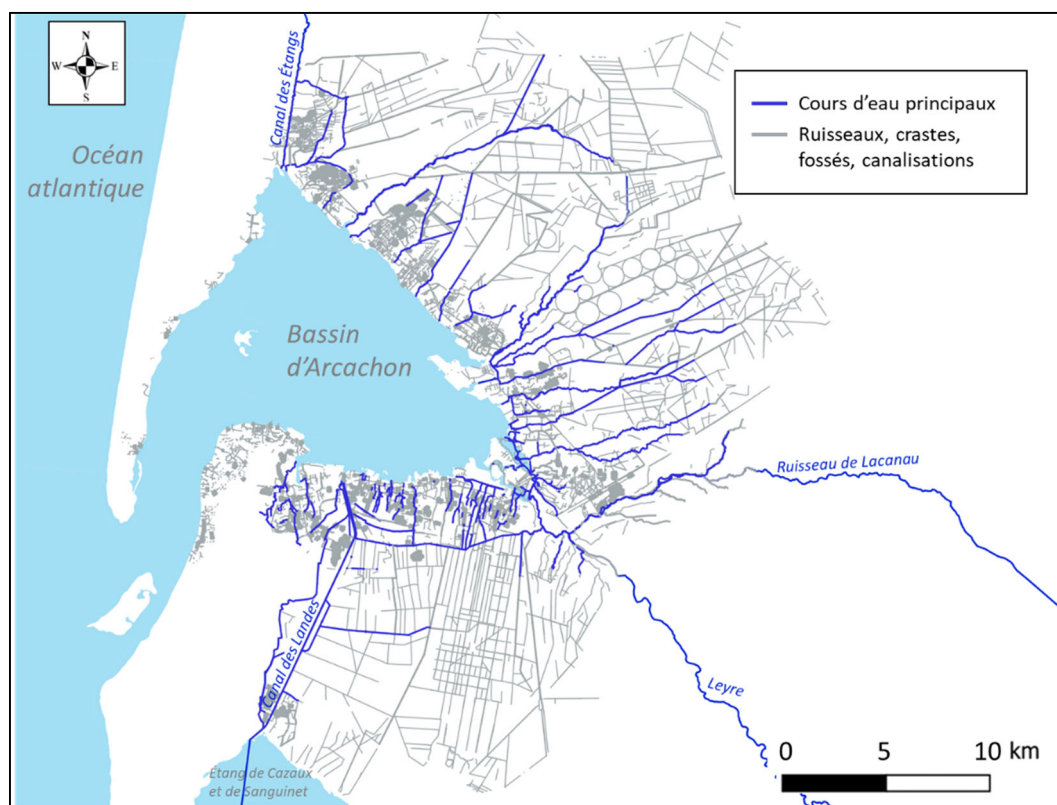


Illustration 36 - Réseau de drainage général autour du Bassin d'Arcachon (source : SIBA)

Dans un premier temps, au sein de cet ensemble, le SIBA a identifié les cours d'eau, ruisseaux, fossés, canalisations et drains structurants qui concentrent, dans les zones à enjeux, l'essentiel des écoulements. Dans un second temps, pour compléter ce réseau, les cours d'eau disposant de mesures de débit, qu'elles soient ponctuelles ou continues (Illustration 37), ont été intégrés afin de permettre de confronter les débits restitués par le modèle à des mesures réelles (cf. chapitre 3.4.4). Au total, un linéaire de plus de 700 km a été retenu.

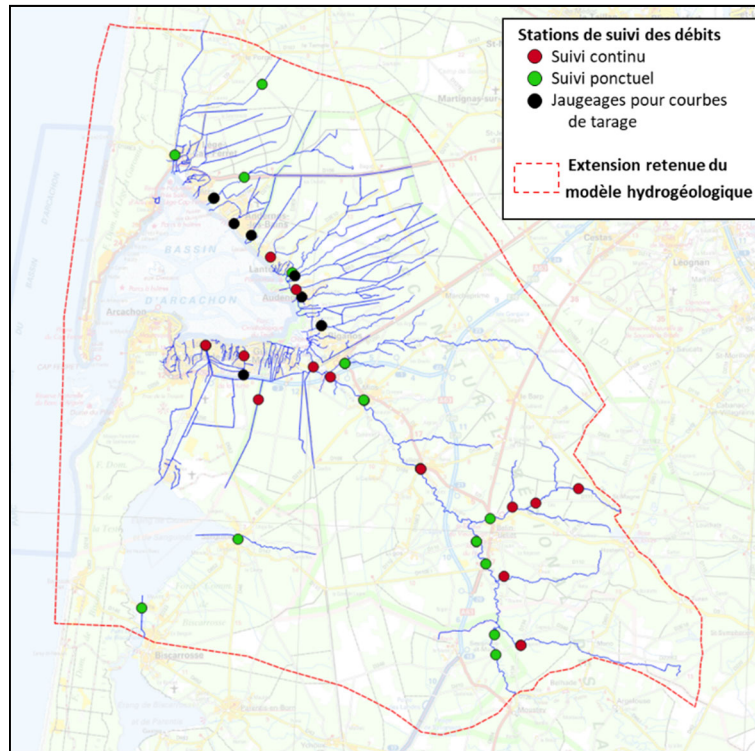


Illustration 37 - Réseau de drainage représenté dans le modèle et localisation des 42 points d'observation des débits de cours d'eau

3.4.2. Architecture du réseau intégré au modèle

L'architecture complexe a fait l'objet d'une attention particulière. En effet, si la plupart des modalités d'écoulement s'apparente à des écoulements simples de domaine fluvial, certaines spécificités du territoire sont à préciser car elles ont des impacts dans les choix de représentation des écoulements dans le modèle et donc dans les résultats qui en découleront. Ces choix sont réalisés notamment en lien avec les modalités du couplage dans l'outil qui, comme indiqué précédemment, reste un outil à visée hydrogéologique. Ainsi, par exemple, un seul sens d'écoulement « amont-aval » n'est autorisé alors que dans certaines configurations de canaux très localisés des manœuvres locales permettent l'écoulement dans les 2 sens en fonction de conditions spécifiques (niveaux d'eau dans les canaux, crues, marée). Dans ce cas, il est alors nécessaire de faire un choix pour représenter l'écoulement dans un seul sens.

a) Secteur de Le Teich et Gujan-Mestras

Le fonctionnement spécifique du nord des communes de Le Teich et de Gujan-Mestras, en bordure de Bassin, est abordé dans le cadre de la révision du Schéma directeur d'assainissement des eaux pluviales de Le Teich (Setec hydratec, 2019a et b ; Setec hydratec, 2020). Dans ce secteur, très urbanisé, le réseau pluvial est constitué de fossés à ciel ouvert et de canalisations enterrées.

En basses eaux (Illustration 38), le ruisseau d'Aoubas et le craste de Canteranne rejoignent le port de la Molle à Gujan-Mestras. En parallèle, les ruisseaux et crastes situés à l'est rejoignent tous le port du Teich (Illustration 39) : à l'aval du Petioun, un bassin de stockage est présent et les eaux provenant des autres affluents (depuis le craste des camps à l'ouest jusqu'au Petioun à l'est) se déversent dans ce bassin. Les eaux de ce bassin rejoignent ensuite le port du Teich au

travers d'un batardeau. En période de hautes eaux, l'ensemble des eaux des ruisseaux de Cantelaude, de Bouscaut et Petiou se déverse dans le bassin de stockage puis reprend le canal des marais pour rejoindre le port de la Molle en collectant au passage les eaux du craste de Camps. L'évacuation vers le port de la Molle est conditionnée par le niveau d'eau dans le port du Teich, construit sur le bras de la Leyre, niveau qui dépend de la marée et de la crue de la Leyre.

Dans le modèle, l'approche retenue en concertation avec le SIBA a été de rendre compte du fonctionnement en basses eaux, car ce mode de fonctionnement avait cours la majeure partie de l'année. Le canal des marais entre le craste de Camps et le craste d'Aoubas n'est par conséquent pas représenté.

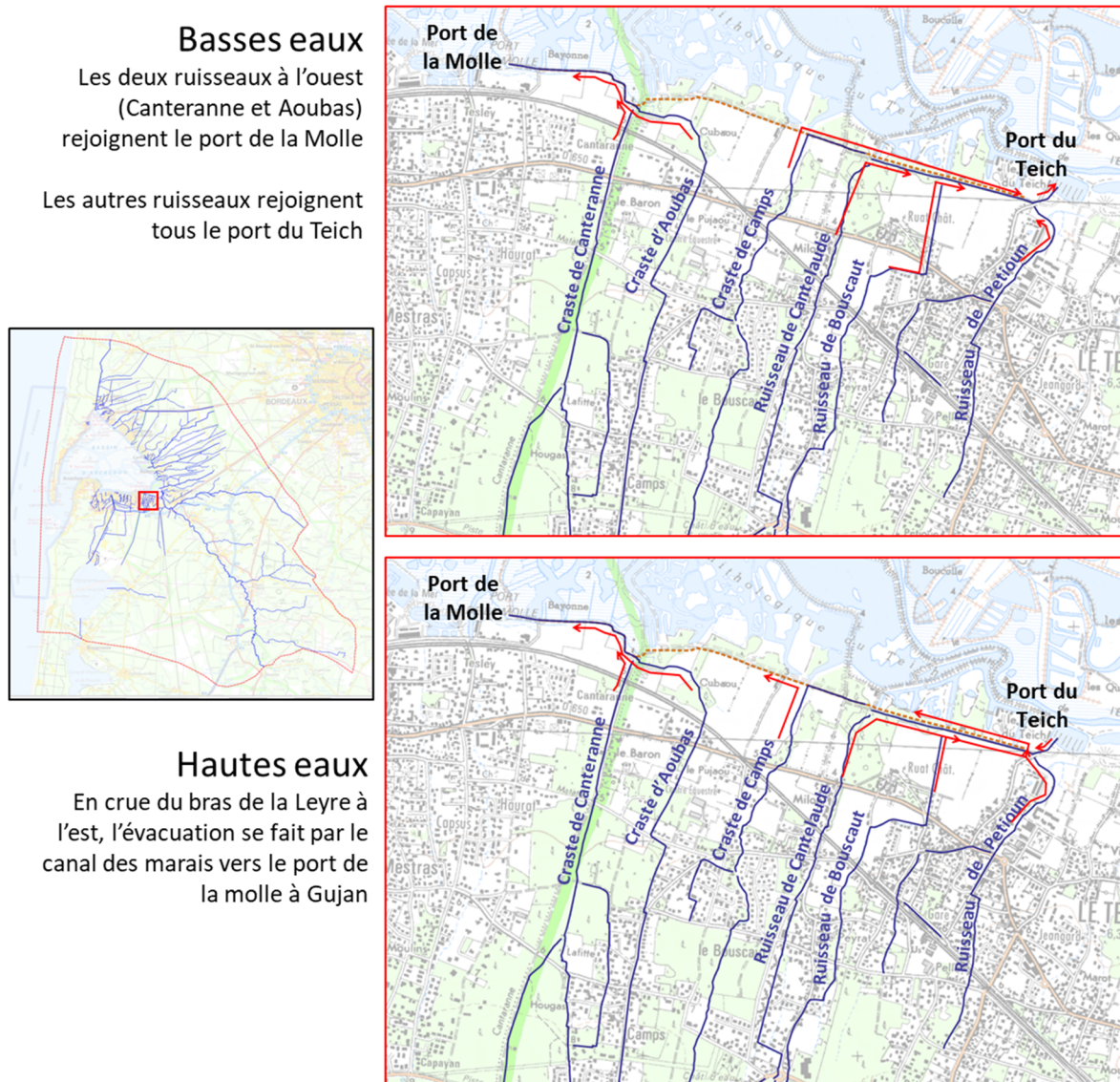


Illustration 38 - Architecture du réseau de drainage dans le secteur de Le Teich et Gujan-Mestras

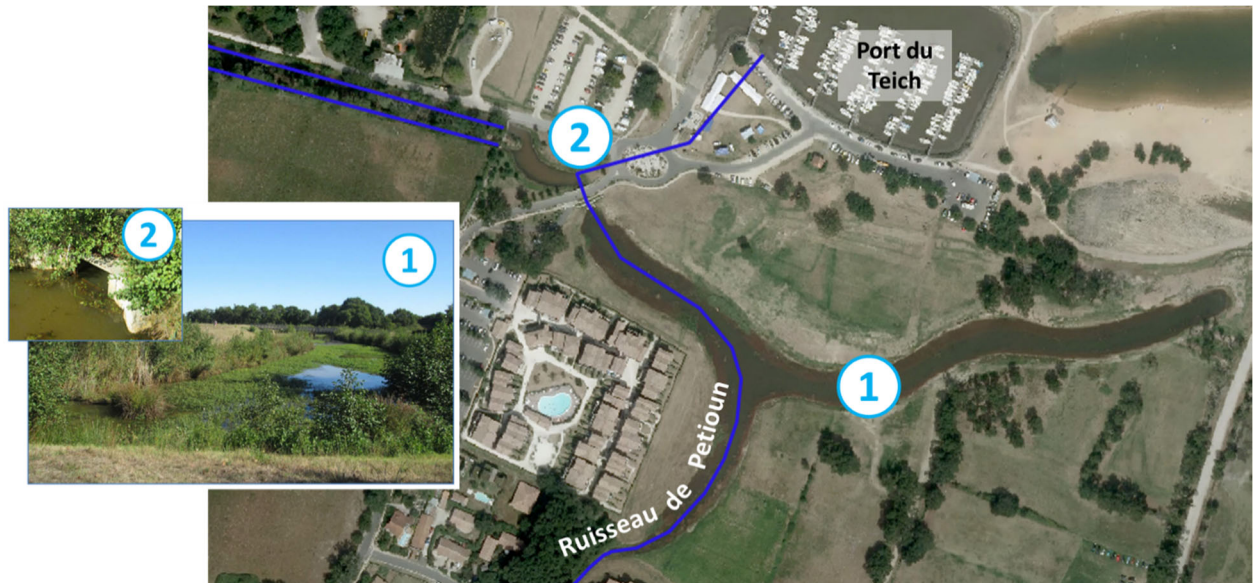


Illustration 39 - Bassin en aval du ruisseau Petioun et batardeau contrôlant le rejet dans le port du Teich (Setec hydratec, 2019a ; orthophotoSIBA 2012)

b) Aval de la Leyre

En aval de la Leyre, à la limite de Le Teich et de Biganos, la confluence en rive gauche d'un bras dans lequel se déverse les ruisseaux de Marot et de Couye avec la Leyre aurait un fonctionnement hydrogéologique différent en hautes eaux et basses eaux (Illustration 40). Le SIBA indique en effet qu'en basses eaux, la Leyre emprunte le tronçon qui va le plus au nord, tandis qu'en hautes eaux, toute la plaine est inondée et l'évacuation se fait vers l'ouest et le nord. Pour les besoins de la modélisation, en première approche, l'affluent rive gauche, représenté en pointillées orange, n'est pas pris en compte.

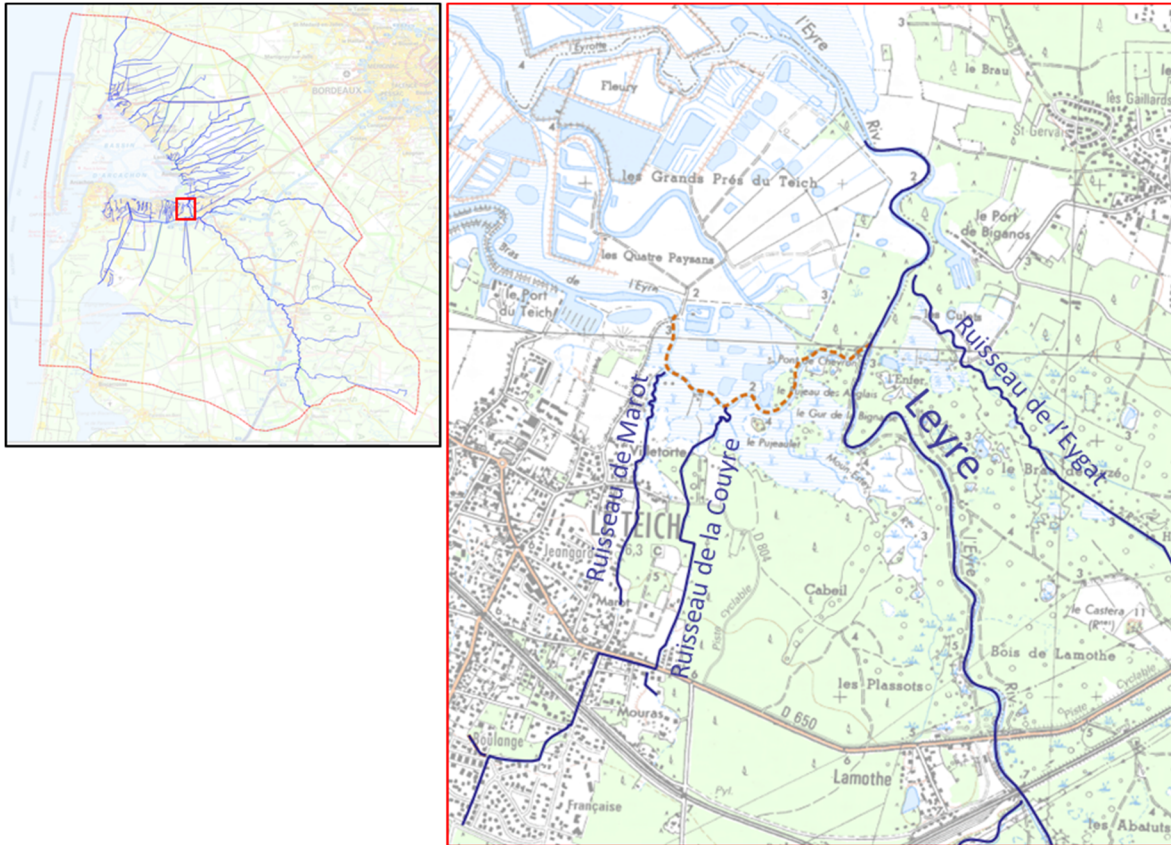


Illustration 40 - Architecture du réseau de drainage retenu en aval de la Leyre

c) Canal des Landes

Le Canal des Landes, qui relie le lac de Cazaux-Sanguinet au Bassin d'Arcachon sur 14 km de long, est un ouvrage artificiel le long duquel sont disposés 9 seuils et 2 déversoirs dont la présence influence les niveaux piézométriques dans la nappe (Baudon et al., 2018). En l'absence de suivi des niveaux de part et d'autre des seuils pour lesquels des chutes de 3 m peuvent être observés, une représentation simplifiée du canal est actuellement faite. À terme, une estimation du niveau, dans chaque seuil et déversoir, pourra être proposée par le SIBA à partir des niveaux mesurés dans le lac de Cazaux-Sanguinet. Ces niveaux seront alors repris pour être intégrés dans le modèle, sous forme de potentiels imposés variables dans le temps.

d) Cours d'eau alimentant deux bassins versants

Dans plusieurs secteurs du territoire, les cours d'eau ou fossés se divisent pour alimenter deux bras qui ne se rejoignent pas à l'aval. Cette diffluence est intégrée dans le modèle sous forme de « dérivation de débit » qui consiste à dériver depuis un tronçon de cours d'eau (le tronçon « source ») le débit vers un autre tronçon (appelé « cible ») situé dans le même affluent ou bien dans un autre affluent. Le débit de chaque tronçon aval est défini par un pourcentage du débit du tronçon « source ».

Dans l'emprise du modèle, six dérivations sont représentées (Illustration 41). Les pourcentages de débit du tronçon « source » vers les tronçons « cibles » ont été fournis par le SIBA.

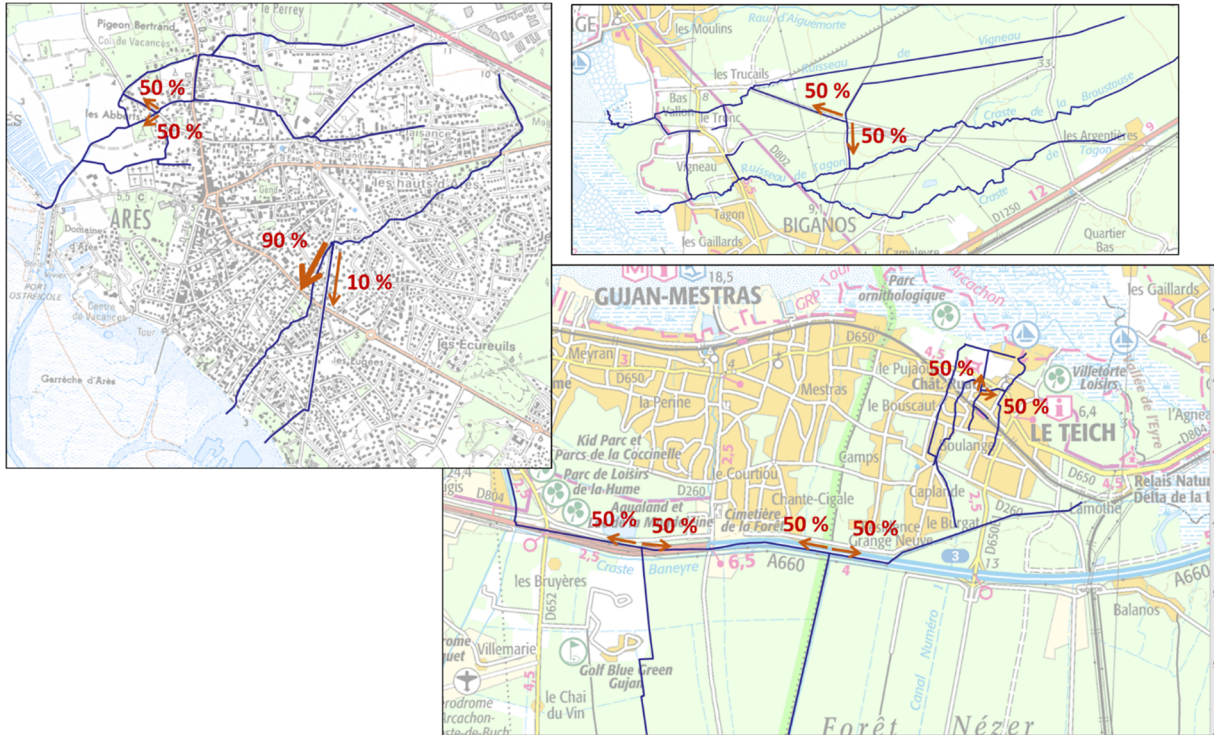


Illustration 41 - Secteurs (au nombre de 6) où le réseau de drainage présente une diffluence, avec les pourcentages attribués dans le modèle

3.4.3. Caractéristiques des paramètres à intégrer dans l'outil de modélisation

Le réseau de drainage est intégré au modèle en identifiant, pour chaque maille, les informations suivantes :

- longueur du tronçon de rivière,
- largeur du tronçon,
- cote du fond de lit de rivière,
- épaisseur du lit de rivière,
- perméabilité du lit de rivière,
- hauteur d'eau.

A noter qu'un seul cours d'eau/fossé/craste peut être représenté dans une maille. Les informations sur les largeurs, cotes du fond du lit de la rivière et hauteurs d'eau ont été renseignées avec l'appui du SIBA, à partir des données disponibles par traitement des données Lidar de 2016, des analyses des photos satellites et des caractéristiques connues au niveau des stations hydrométriques.

Concernant les paramètres d'épaisseurs de lit de rivière et de leur perméabilité, l'absence de données conduit à les définir arbitrairement : généralement l'épaisseur est très faible et la perméabilité est reprise de la formation hydrogéologique affleurante, en cohérence avec le modèle régional du Mio-Plio-Quaternaire. Ils sont considérés ensuite comme paramètres de calage.

Le réseau de drainage présente de nombreux tronçons qui sont canalisés empêchant tout échange avec la nappe. Ces secteurs, identifiés par le SIBA (Illustration 42), sont intégrés au

modèle de la même manière que le reste du réseau de drainage, à l'exception d'une perméabilité de berge qui est fixée à 1.10^{-9} m/s, limitant ainsi tout échange avec la nappe. Cette simplification de représentation devra faire l'objet d'une vérification particulière lors du calage afin de s'assurer que les processus d'écoulement (absence d'échanges "nappes-rivières" et de reprise des eaux de ruissellement/débordement) sont correctement retranscrits.

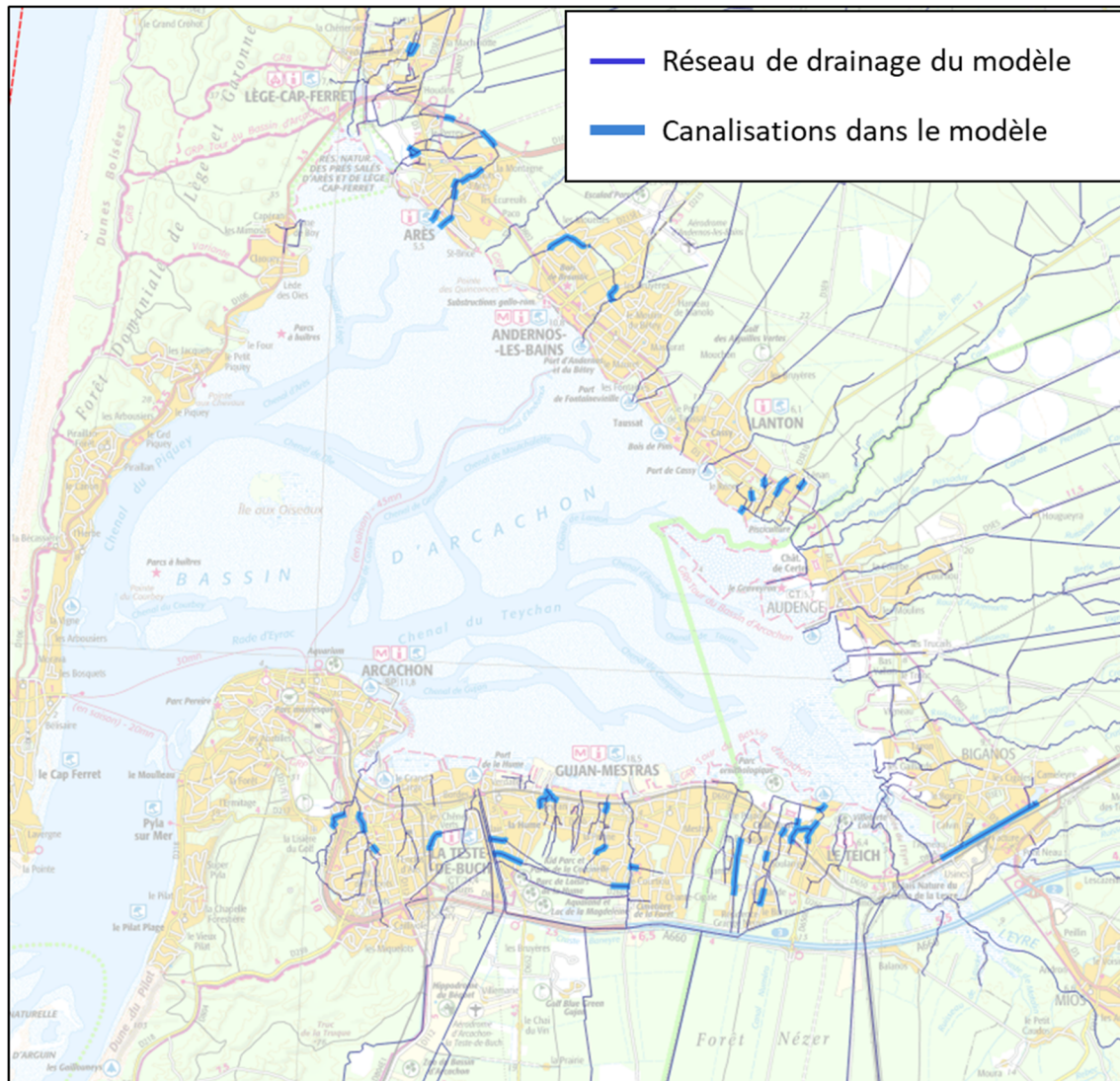


Illustration 42 - Tronçons canalisés du réseau de drainage

3.4.4. Débits des cours d'eau, fossés et crastes

a) Réseaux de suivi des débits

Pour chaque cours d'eau, fossé et craste représenté dans le modèle, il est possible de calculer un débit en tout point (= maille) de son linéaire que l'on peut comparer avec ceux mesurés au niveau des stations hydrométriques. Cette comparaison sert ainsi de calage au modèle puisqu'une bonne adéquation entre débits mesurés sur le terrain et débits modélisés permet d'assurer une bonne représentativité des processus hydrogéologiques en jeu. Le territoire d'étude du MOHYS dispose d'un réseau de suivi des débits relativement bien réparti géographiquement puisque de nombreux cours d'eau bénéficient de mesures dans leur partie

Les mesures disponibles sont les suivantes :

- 13 stations de suivi continu :
 - 3 stations issues de la Banque nationale de données pour l'hydrométrie et l'hydrologie (<https://www.hydroportail.developpement-durable.gouv.fr/>),
 - 6 stations suivies par le SIBA,
 - 1 station réalisée pour l'étude de connaissance des relations entre les nappes du Plio-Quaternaire et les eaux superficielles (ANTEAGroup, 2019),
 - 3 stations obtenues de travaux de recherche (Labat, 2021),
- 7 stations disposant d'une courbe de tarage, sans chronique continue associée. Elles ont été réalisées pour le compte du SIBA et offrent 11 à 20 mesures, tout au long de la période modélisée ;
- 22 stations de débits ponctuels (1 à 6 mesures) :
 - 12 stations disposant de jaugeages réalisés entre 2008 et 2012, dans le cadre de travaux du BRGM, en relation avec les SAGE Born-et-Buch, Leyre et Lacs Médocains (Corbier et al., 2011 ; Corbier, 2012 ; Barrière et Saltel 2017). En complément, des jaugeages ont été réalisés au cours de deux campagnes ponctuelles effectuées par la DIREN Aquitaine (maintenant DREAL Nouvelle-Aquitaine) en Gironde et dans les Landes (DIREN, 2009a et 2009b). Bien qu'en dehors de la période modélisée, ces débits mesurés avant 2010 peuvent être utilisés afin de vérifier l'ordre de grandeur des débits restitués par le modèle,
 - 10 stations dont les mesures ont été réalisées pour les SAGE Leyre et Ciron, lors d'une étude de connaissance des relations entre les nappes du Plio-Quaternaire et les eaux superficielles (ANTEAGroup, 2019).

b) Débits imposés sur la Grande et sur la Petite Leyre

La limite retenue pour l'extension du modèle hydrogéologique passe juste à l'aval de la confluence entre le Grande Leyre et la Petite Leyre (cf. partie 3.1.1). Or, il n'existe pas, à cette confluence, de station hydrométrique présentant un historique de données pour la période 2010-2018 ; les stations d'acquisition de débit en continu situées au voisinage immédiat de cette confluence ont été mises en place dans le courant de 2018. En conséquence, ce sont les données acquises plus à l'amont, sur la Grande Leyre et la Petite Leyre, qui sont utilisées. Ces stations, situées respectivement à Pissos et Belhade, disposent d'un historique de données quotidiennes comprenant les périodes :

- 1995-2020 pour la station de Belhade, sur la Petite Leyre, avec une lacune de trois mois, s'étendant du 11/09/2017 au 08/12/2017 ;
- 2015-2020 pour la station de Pissos, sur la Grande Leyre (démarrage de la chronique le 02/01/2015), avec une lacune du 10/05/2017 au 31/07/2018.

Les lacunes et surtout l'absence de données lors de la période 2010-2014, pour la station de Pissos, ont nécessité une reconstitution des données pour les périodes correspondantes. Cette approche, toujours délicate, a été effectuée de façon classique, en s'appuyant sur une modélisation des débits écoulés utilisant en entrée des chroniques quotidiennes de pluie et d'ETP. Les données utilisées sont celles produites par Météo-France dans la grille de données Safran, au pas de 8 km, et couvrant l'ensemble du territoire métropolitain. Le logiciel de modélisation utilisé est GARDENIA (Thiéry, 2017). Ce logiciel de modélisation globale simule un niveau piézométrique et/ou un débit de cours d'eau ou de source à l'aide de différents

paramètres, régissant une représentation simplifiée de l'hydrosystème, représentation dite en réservoirs successifs (Illustration 45).

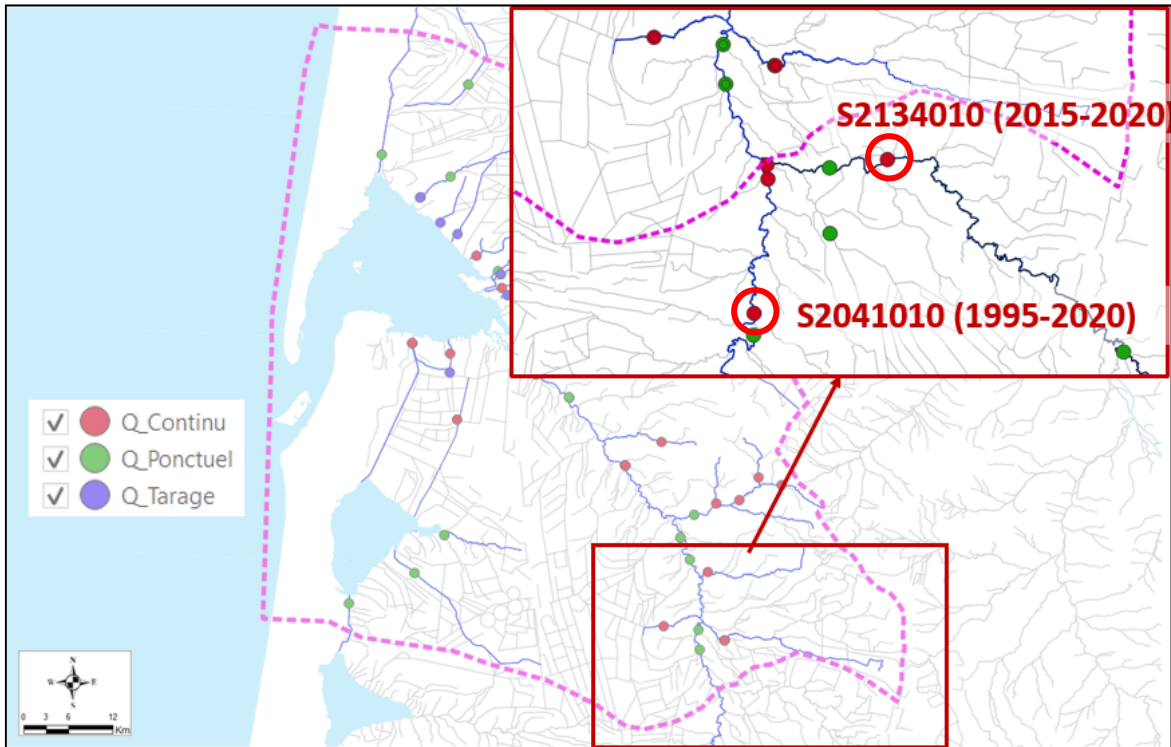


Illustration 44 - Localisation des stations hydrométriques de Pissos, sur la Grande Leyre (S2134010), et de Belhade, sur la Petite Leyre (S2041010), situées en dehors des limites du modèle MOHYS

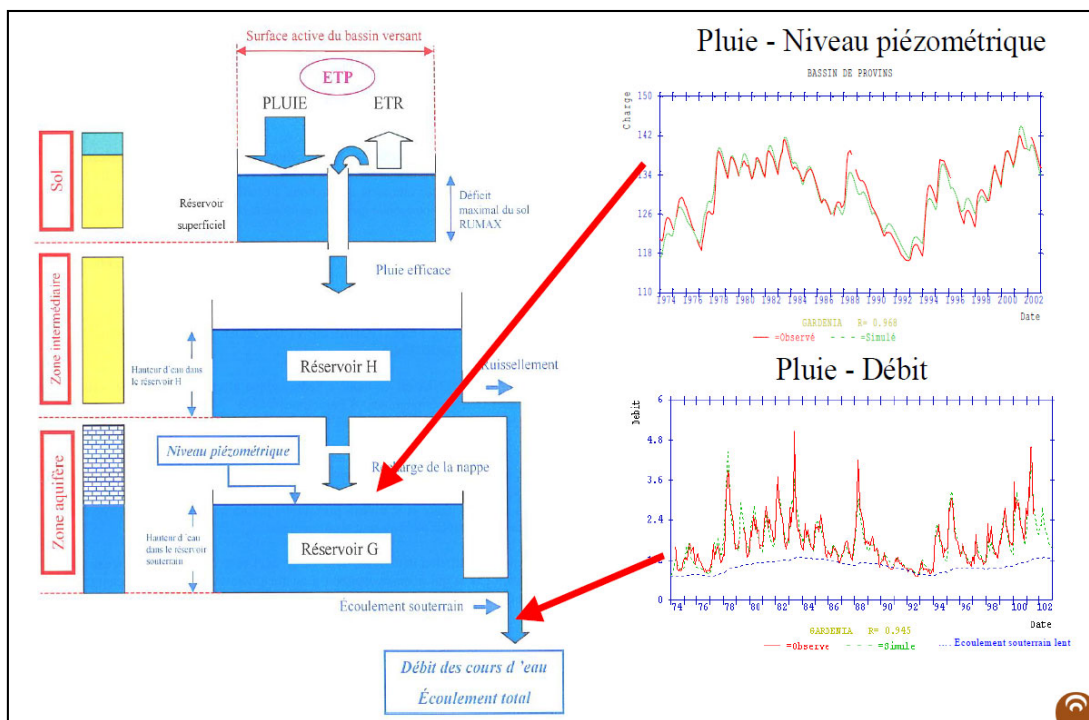


Illustration 45 - Schéma de fonctionnement du logiciel GARDENIA (BRGM)

Les simulations effectuées sur la Grande Leyre et sur la Petite Leyre ont été effectuées pendant la période 1995-2020, en utilisant trois années de données pour l'initialisation du modèle. Les calages obtenus sont restitués en Illustration 46 et Illustration 47 au travers de la représentation superposée des courbes de débit simulées (en vert) et observées (en rouge). Sur ces graphiques sont également représentés les écoulements lents (composantes souterraines), en bleu pour le premier réservoir et en violet pour le second réservoir, qui sont pris en compte dans l'outil pour restituer au mieux les débits du cours d'eau. Les calages sont obtenus avec un coefficient de Nash de 0,89 pour la Petite Leyre et de 0,64 pour la Grande Leyre. Concernant cette dernière, c'est notamment la partie finale de la simulation qui dégrade le résultat d'ensemble, le modèle ne reproduisant pas le pic de débit observé durant la première quinzaine de mai 2020. Ce pic atteint un débit instantané de 62 444 l/s, le 13/05/2020, et est qualifié de douteux sur le site HydroPortail. Aussi, un calage plus fin de cette chronique n'apparaît pas pertinent.

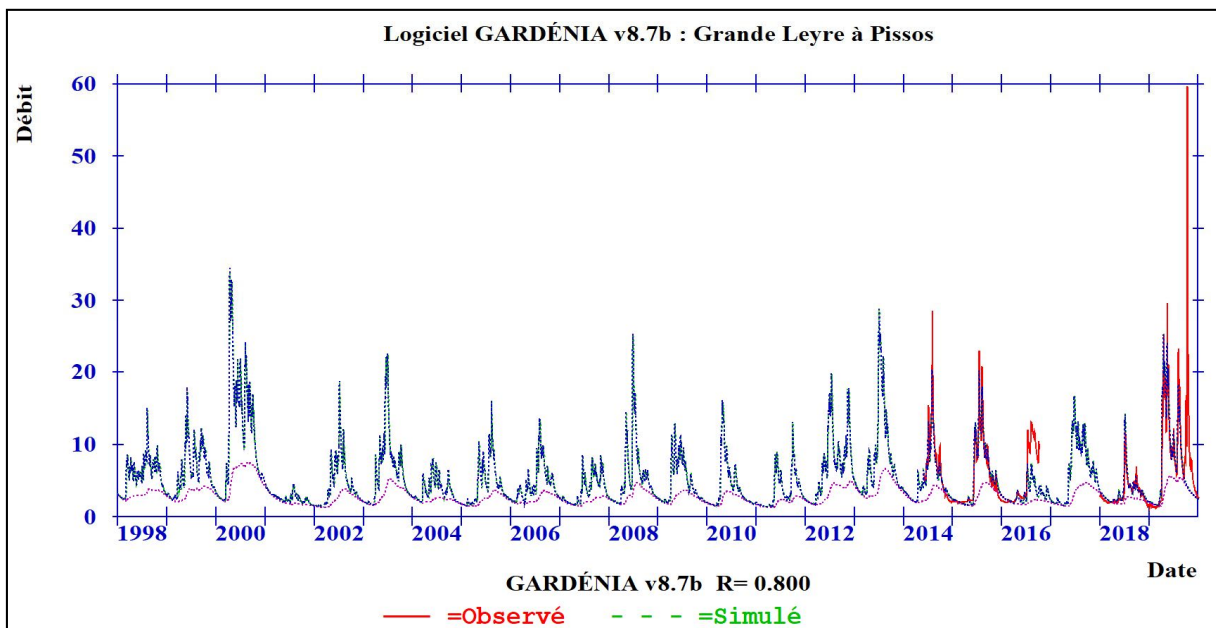


Illustration 46 - Simulation du débit de la Grande Leyre à Pissos (1998-2020)

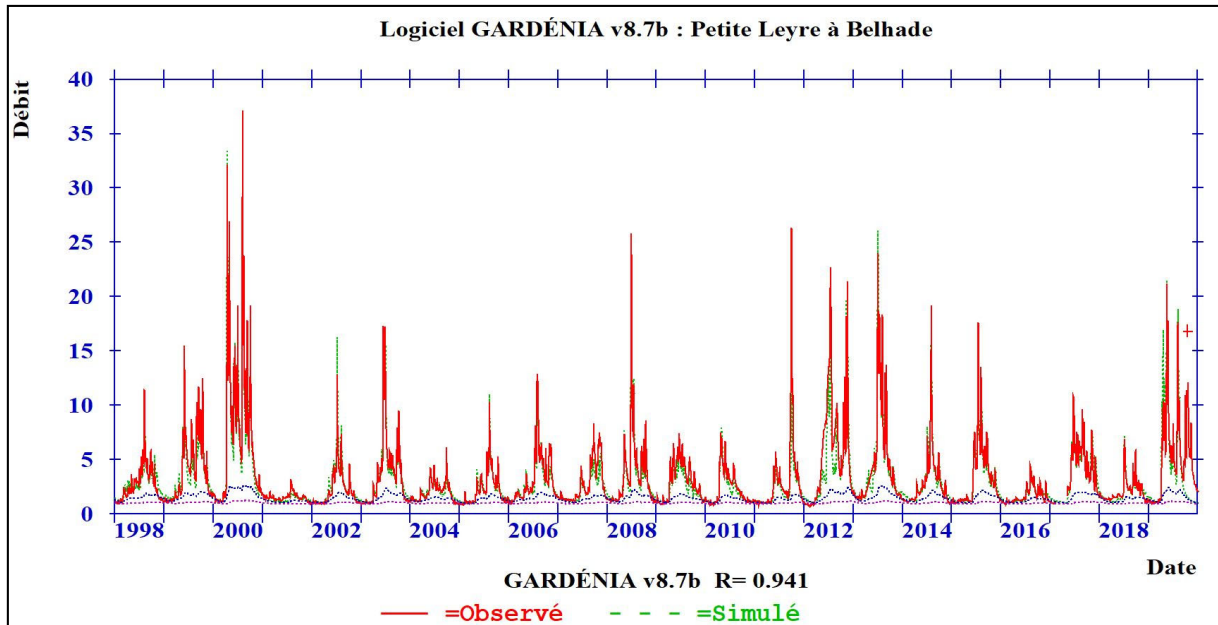


Illustration 47 - Simulation du débit de la Petite Leyre à Belhade (1998-2020)

Au regard de la qualité des calages obtenus, les chroniques de débit simulées sont utilisées pour compléter les chroniques de débit existantes sur les stations de Pissos et de Belhade. Ces nouvelles chroniques sont établies au pas de temps hebdomadaire sur la période 2010-2018 pour pouvoir être intégrées dans le modèle hydrogéologique (Illustration 48 et Illustration 49). Pour chaque station, une chronique du débit moyen hebdomadaire a été reconstituée pour être intégrée au modèle.

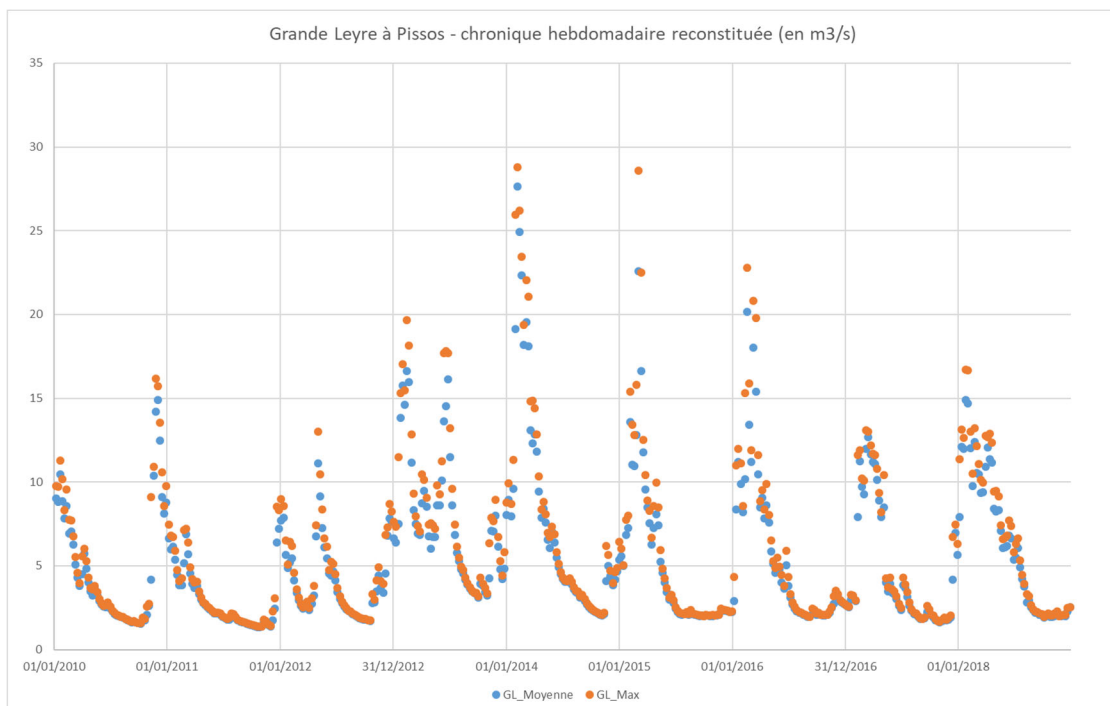


Illustration 48 - Chroniques de débits reconstitués de la Grande Leyre, à Pissos (2010-2018 ; en orange : débit hebdomadaire maximal ; en bleu : débit hebdomadaire moyen)

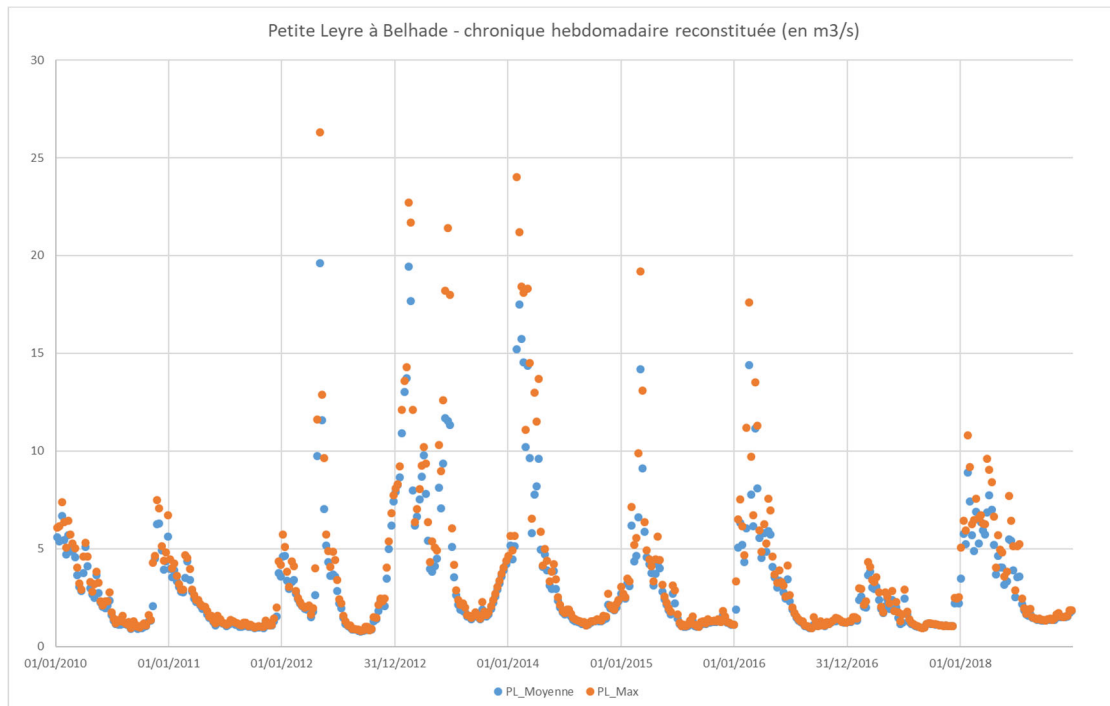


Illustration 49 - Chroniques de débits reconstitués de la Petite Leyre, à Belhade (2010-2018 ; en orange : débit hebdomadaire maximal ; en bleu : débit hebdomadaire moyen)

On gardera à l'esprit que les simulations menées avec GARDENIA ont été établies dans l'optique de la meilleure reconstitution possible des débits manquants et qu'il serait ainsi malvenu de tenter d'interpréter physiquement les paramètres de calage des modèles correspondants.

3.5. LAC DE CAZAUX-SANGUINET

Le seul lac présent sur le territoire d'étude est celui de Cazaux-Sanguinet, situé au sud du Bassin d'Arcachon, à la limite entre les départements de Gironde et des Landes. Il fait partie d'un ensemble cohérent de 4 plans d'eau (illustration 50) dont l'interdépendance existe au travers d'ouvrages de régulation. Le lac de Cazaux-Sanguinet constitue une zone de partage des eaux puisque les eaux s'écoulent vers le nord, jusqu'au Bassin d'Arcachon, par l'intermédiaire du canal des Landes, et vers le sud, par un déversement en cascade suivant l'étagement topographique des plans d'eau, jusqu'à l'océan Atlantique (Géolandes, 2006).

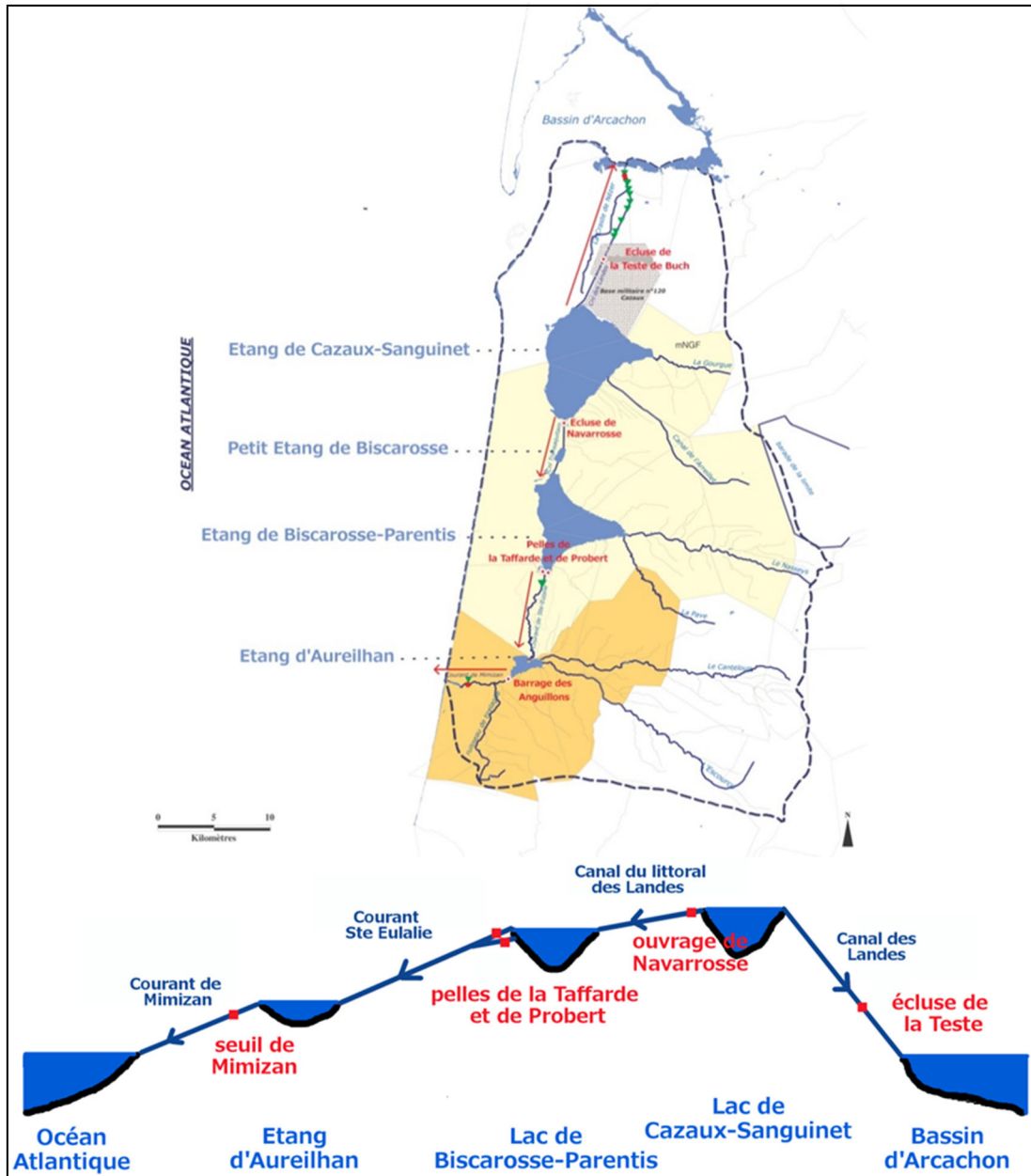


Illustration 50 - Carte des étangs du SAGE Born-et-Buch et des ouvrages hydrauliques (Géolandes 2006)

La gestion des ouvrages de régulation du lac est opérée soit par la Base Aérienne de Cazaux (écluse de la Teste), soit par la Communauté de Communes des Grands Lacs (écluse de Navarrosse). Depuis 2010, le Système d'Information et de Régulation InterLacs (SIRIL) a été mis en place, par la Communauté de Communes des Grands Lacs, afin de connaître en temps réel les niveaux des plans d'eau, la position des barrages et les débits transitant vers les cours d'eau.

Le lac de Cazaux-Sanguinet est représenté dans le modèle au travers d'un potentiel imposé qui est variable mensuellement. Ce potentiel imposé correspond à une charge hydraulique, considérée homogène sur l'ensemble du lac, qui est fixée dans chaque maille pour le pas de temps de calcul considéré et qui est imposé sur la première couche (Illustration 51).

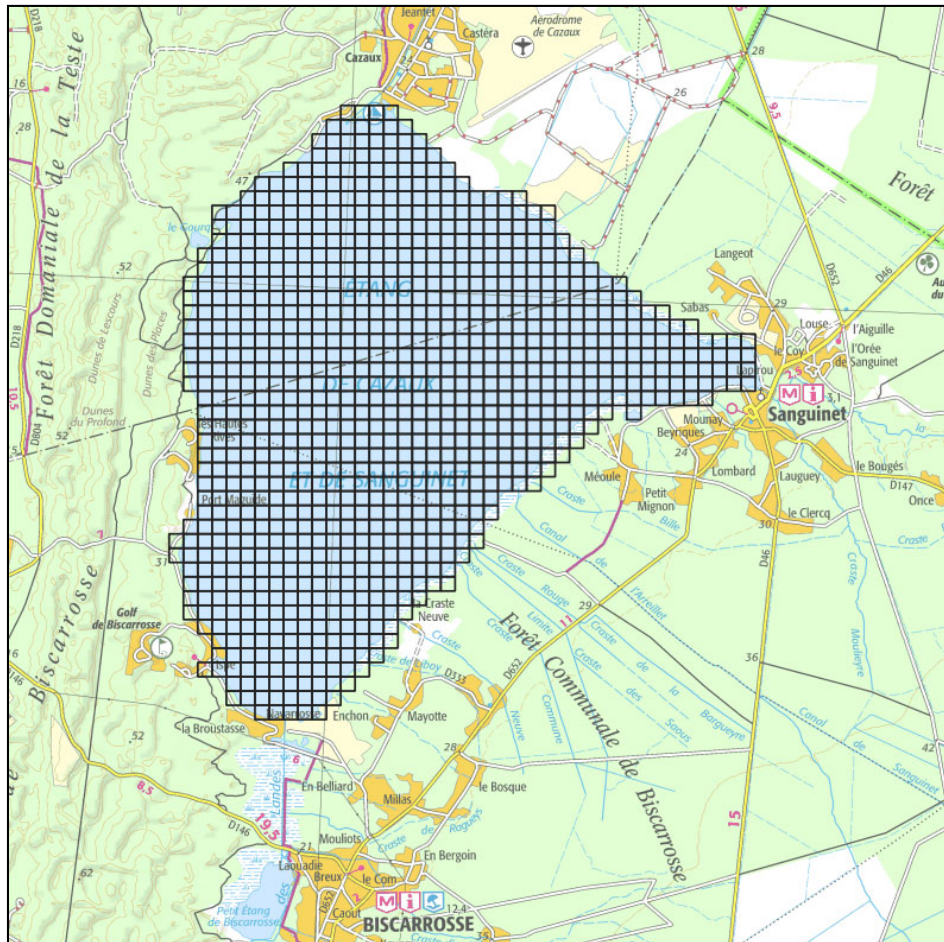


Illustration 51 - Extension des 941 mailles en potentiel imposé recouvrant le lac de Cazaux-Sanguinet et servant à imposer les variations de niveau du lac dans le temps

Parmi les points de suivi du niveau d'eau du lac existants, celui nommé Sanguinet a été retenu comme le plus représentatif (Communauté de Communes des Grands Lacs, 2020). La chronique du niveau d'eau quotidien enregistré dans le lac à Sanguinet est complète (Illustration 52). Pour chaque pas de temps, le niveau moyen mensuel a été retenu.

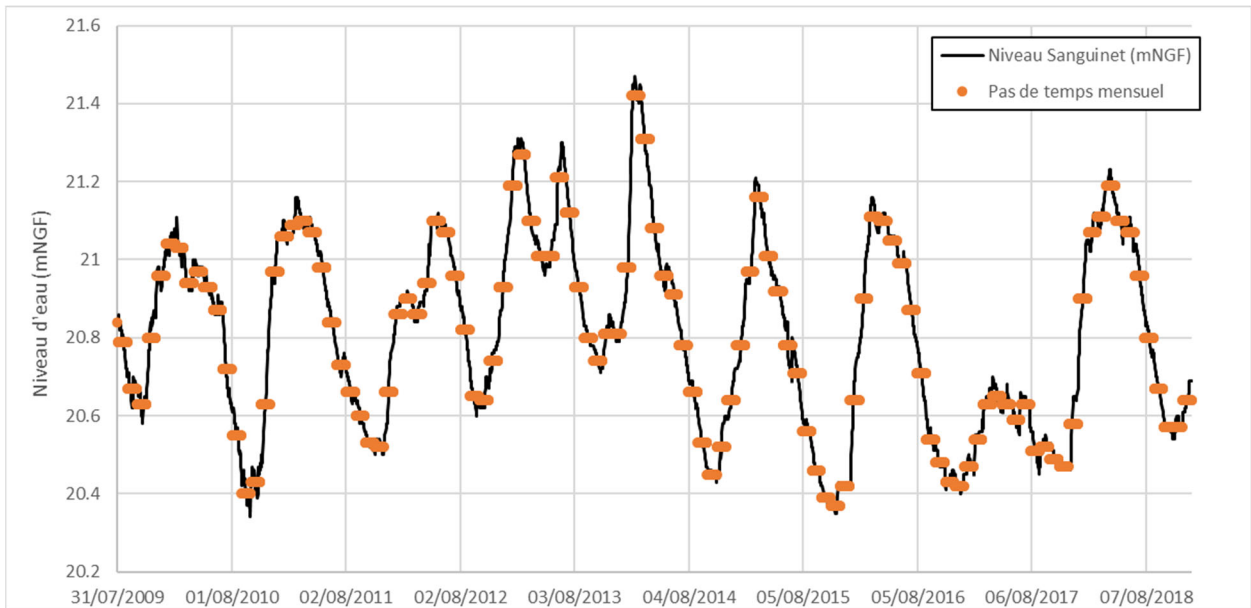


Illustration 52 - Chronique du relevé du niveau du lac à Sanguinet et niveaux mensuels retenus pour le modèle

3.6. PRISE EN COMPTE DU NIVEAU MARIN

Le niveau de la mer est obtenu à partir des observations enregistrées au marégraphe d'Arcachon-Eyrac (données du SHOM - Illustration 53).



Illustration 53 - Marégraphe d'Arcachon-Eyrac

L'analyse des enregistrements fait apparaître un niveau moyen, calculé pour la période 2010-2018, à 0,5 mètre NGF (Illustration 54), tandis que le niveau PMVE (niveau de Pleine mer Moyenne de Vive-Eau (coef. 95), correspondant au niveau moyen atteint à marée haute, est de 2,37 mètres NGF. Ces élévations se traduisent dans le Bassin d'Arcachon par des extensions de zones sous l'eau bien plus importantes. Ainsi, quand le niveau moyen est atteint, ce sont principalement les chenaux et rades qui sont submergés. À marée haute, quasiment l'ensemble du Bassin d'Arcachon est submergé. Seules les zones correspondantes à l'Île aux oiseaux, à la réserve naturelle des prés salés d'Arès et de Lège Cap-Ferret, les domaines de Certes et Graveyron à Audenge et le delta de la Leyre se retrouvent peu submergés.

Le Bassin d'Arcachon est représenté sous forme de potentiel imposé fixé à 0,5 mètre NGF et stable dans le temps. Cette simplification pour la modélisation est nécessaire étant donné que le pas de temps du modèle, à savoir mensuel pour cette première version, ne permet pas de retranscrire les variations de hauteurs d'eau dues aux marées deux fois par jour. L'extension de ce potentiel imposé correspond cependant à celle de la PMVE (extension noire sur l'illustration 54) afin soit de simplifier le modèle (limiter les calculs dans des secteurs sans enjeu), soit de rendre compte de certains fonctionnements spécifiques (Illustration 55).

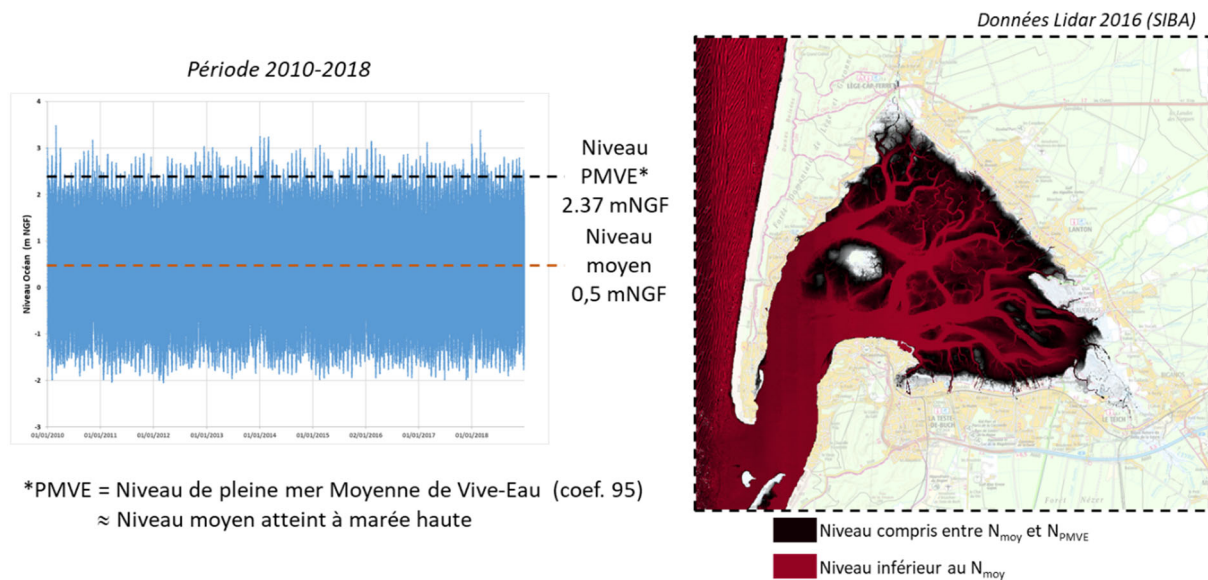


Illustration 54 - Niveaux moyens et PMVE mesurés avec le marégraphe, au cours de la période 2010-2018 et extensions correspondantes dans le Bassin d'Arcachon

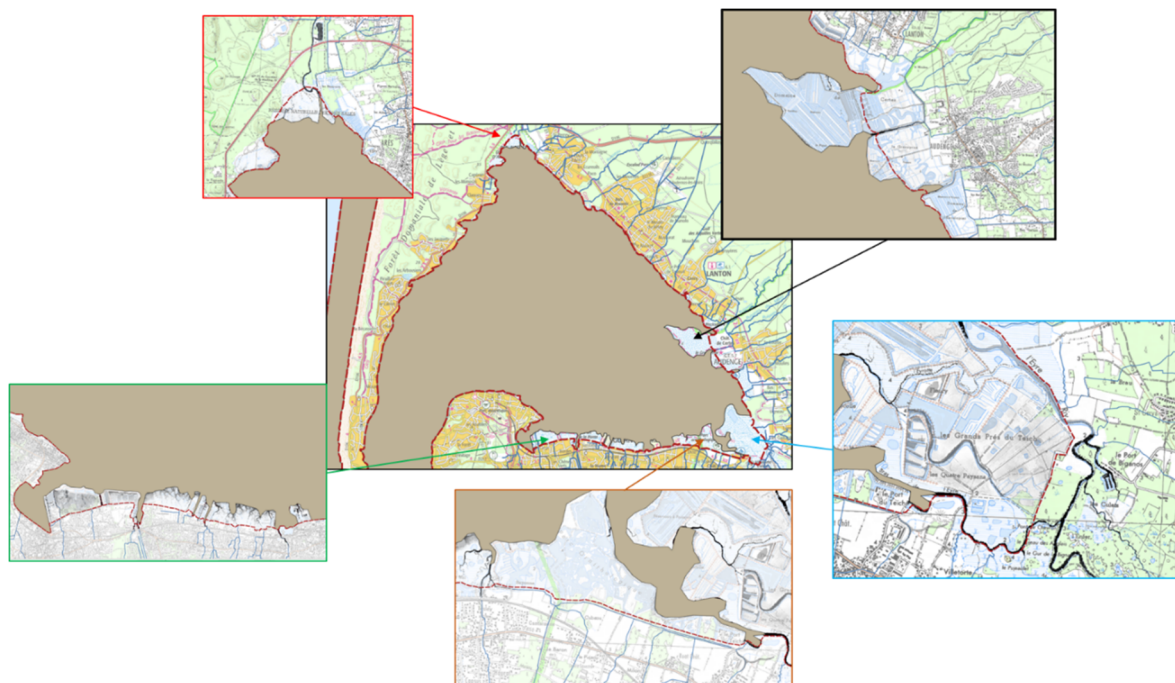


Illustration 55 - Contours du potentiel imposé au niveau du Bassin d'Arcachon (en rouge) et niveau PMVE (en marron)

3.7. MESURES PIEZOMETRIQUES

Les données piézométriques, qu'elles soient sous forme de chroniques au niveau de points d'observation ou de cartes à l'échelle de la zone d'étude, servent au calage et à la validation du modèle ; celui-ci devant restituer au mieux les niveaux observés, la phase, la pente 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). A l'échelle du modèle, peu de chroniques piézométriques sont disponibles. Aussi, afin de disposer d'un nombre de mesure plus conséquent et réparti sur l'ensemble du domaine modélisé, des mesures ponctuelles ont été rajoutées. Au final, 232 ouvrages ont été retenus comme points d'observation pour la période 2010-2018 (illustration 56 et illustration 57) :

- 14 chroniques piézométriques proviennent de la base ADES. À l'exception d'une seule qui s'arrête en juin 2010, les chroniques sont complètes au cours de la période 2010-2018 ;
- 1 chronique piézométrique supplémentaire provenant de la BSS-EAU a également été retenue. Le suivi s'est arrêté en décembre 2009, mais en raison de la position de l'ouvrage dans les zones à enjeux identifiées par le SIBA, il est apparu pertinent de le conserver pour s'assurer d'une reproduction, par le modèle, des ordres de grandeur de la piézométrie observée dans l'ouvrage ;
- 5 ouvrages disposent de suivis continus pendant la période de janvier à septembre 2017, acquis dans le cadre d'une étude du bassin de rétention de la commune de Gujan-Mestras ;
- 212 ouvrages disposent de mesures ponctuelles (de 1 à 5 mesures) acquises lors de campagnes de terrain réalisées dans le cadre de travaux de la Convention Régionale Eaux Souterraines, portant sur les territoires de Born-et-Buch, de la Leyre et des Lacs Médocains.

L'ensemble de ces données permet de disposer d'informations bien réparties géographiquement. Toutefois la répartition temporelle de ces mesures est inhomogène. La moitié est du territoire dispose, dans sa grande majorité, d'une seule mesure réalisée en 2014 ou 2015-2016. L'absence de mesures complémentaires pour une situation hydrologique plus contrastée pénalise de ce fait la possibilité d'un calage fin du modèle. Dans la partie ouest, plusieurs campagnes de mesures piézométriques ont été réalisées pour des situations hydrologiques contrastées entre 2010 et 2012. Cela offre la possibilité d'une meilleure pertinence des résultats du modèle. La poursuite d'acquisition de données piézométriques doit être menée pour compléter cet ensemble et mieux contraindre les résultats du modèle dans le futur. Dans le cadre d'une mise à jour du modèle, les données acquises en 2020 et 2022 pourront de ce fait s'avérer utiles (cf chapitre 2.2).

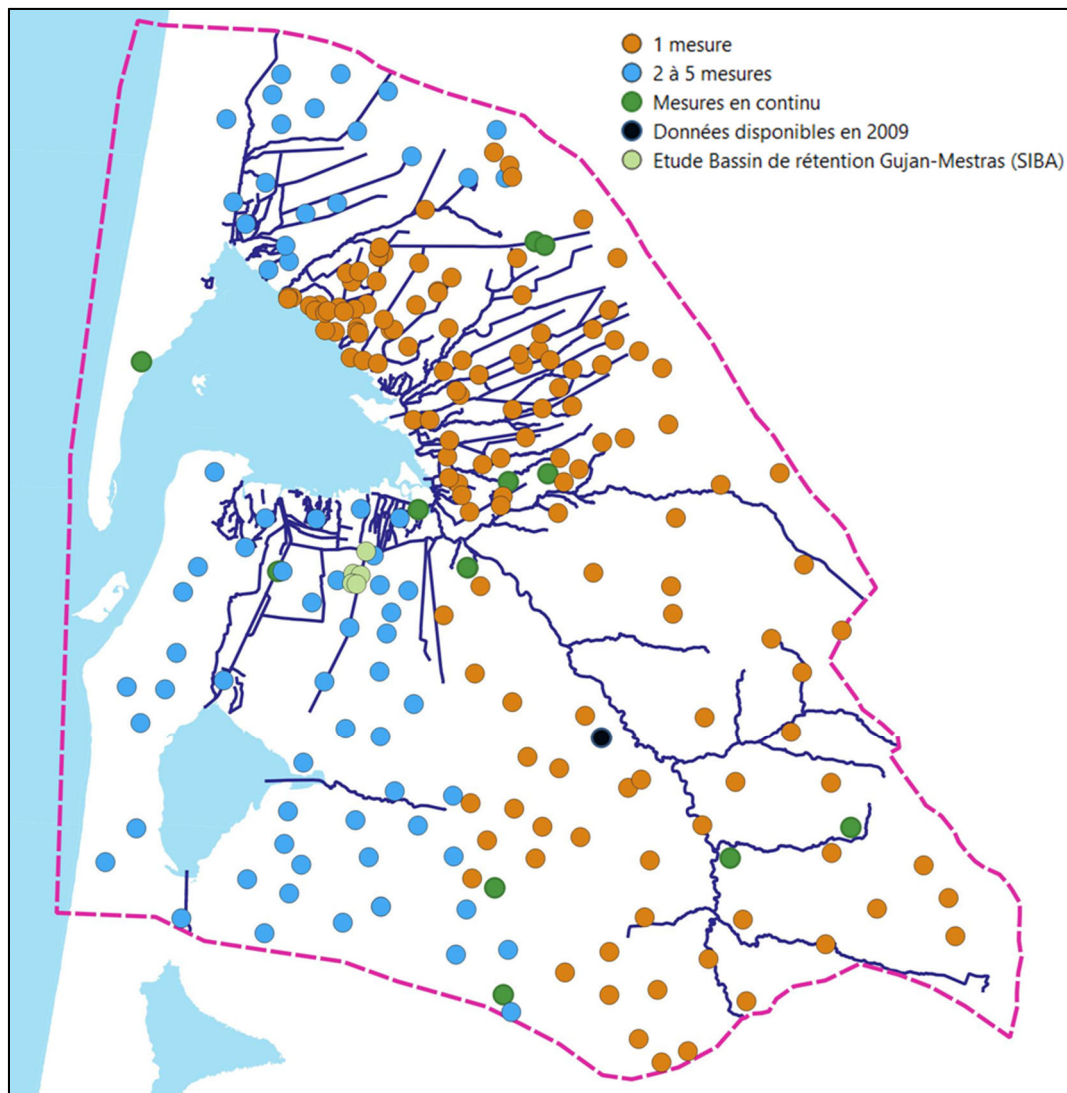


Illustration 56 - Répartition spatiale des 232 points d'observation de la nappe, disponibles pour le modèle MOHYS, au cours de la période 2010-2018

Nb mesures	2009												2010												2011												2012												2013											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1 mesure																																																												
2 à 5 mesures																																																												
Étude bassin de rétention Gujan-Mestras	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																																																	
ADES	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Nb mesures	2014												2015												2016												2017												2018											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1 mesure																																																												
2 à 5 mesures																																																												
Étude bassin de rétention Gujan-Mestras																																																												
ADES	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Illustration 57 - Répartition temporelle des mesures piézométriques disponibles pour le modèle MOHYS, au cours de la période 2010-2018

Les cartes piézométriques disponibles sur le territoire ne sont pas utilisées explicitement pour le calage du modèle. Elles ont été établies, à différentes périodes de l'année, avec des nombres de points variables (Illustration 58). Elles concernent soit l'extension régionale soit des bassins versants plus restreints tels que ceux des lacs de Born-et-Buch ou de la Leyre. Elles renseignent sur les directions d'écoulement dans les nappes en mettant bien en évidence la relation étroite qui existe entre la nappe et le réseau hydrographique. Outre le réseau dense de fossés, le drainage de la nappe est en effet assuré par les cours d'eau et les étangs côtiers. Ainsi, la Leyre constitue un axe principal de drainage de la nappe. Le calage du modèle devra permettre d'assurer que ce drainage est correctement représenté par l'outil.

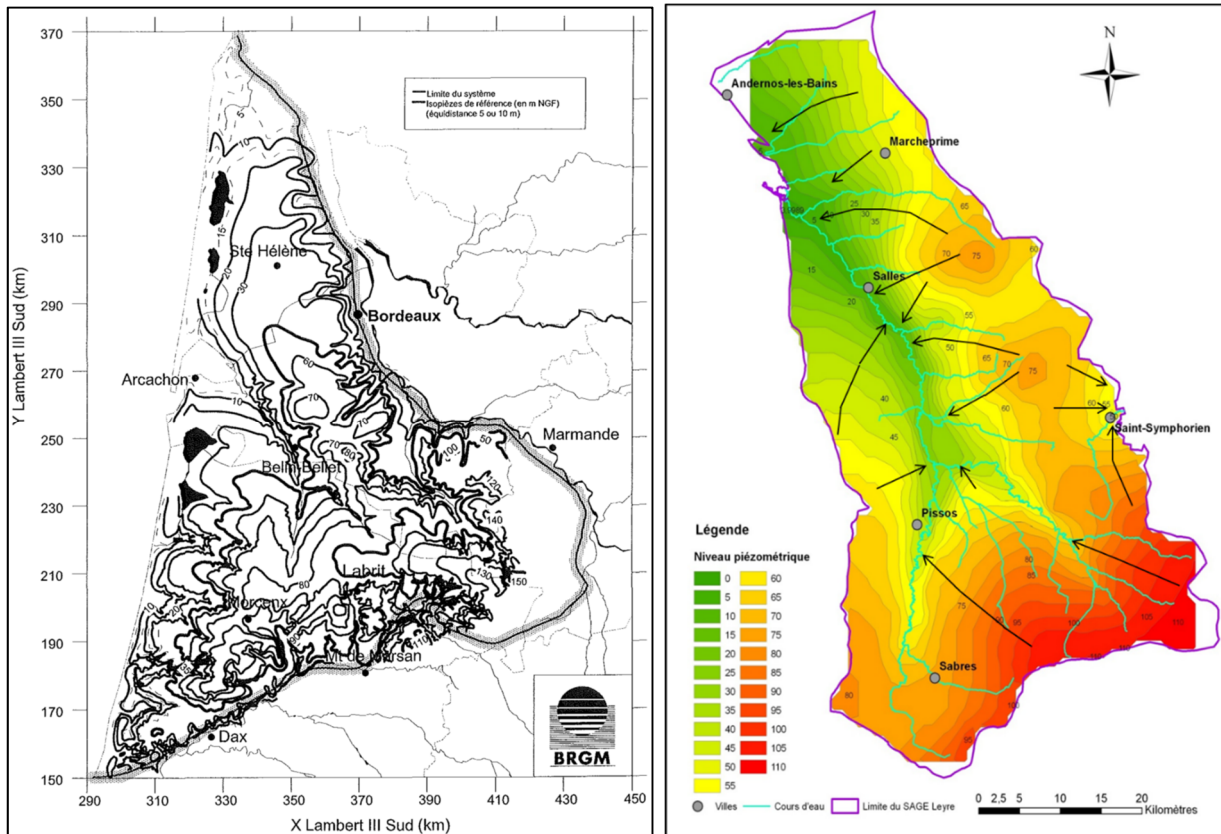


Illustration 58 - Piézométrie de référence du système aquifère libre (127A0) du Mio-Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne (Pédron et al., 2002), à gauche, et carte piézométrique du bassin versant de la Leyre, en hautes eaux 2014 (Corbier et Cabaret, 2015), à droite

3.8. PRELEVEMENTS ET REJETS

3.8.1. Prélèvements en eaux souterraines

L'inventaire des prélèvements en eaux souterraines a été réalisé pour les nappes du Plio-Quaternaire et de l'Helvétien, dans l'ensemble des communes concernées par le modèle (soit 24 en Gironde et 11 dans les Landes), au cours de la période 2010-2018.

a) Origine des données

Les volumes d'eau prélevés, pour l'alimentation en eau potable (AEP), pour un usage industriel ou un usage agricole, sont disponibles via le Portail des données sur l'eau du Bassin Adour-

Garonne : SIE Adour-Garonne (Site d'Information de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne - <http://adour-garonne.eaufrance.fr/>), qui les rend accessibles en téléchargement direct jusqu'aux volumes de l'année 2003. Ces données sont collectées au titre de la redevance, par l'Agence de l'Eau Adour Garonne (AEAG) et sont les seules permettant de disposer, en grand nombre et sur plusieurs années, d'une information relativement homogène pour l'ensemble du territoire. Les déclarations s'opèrent par point de comptage (ou « compteur »), lequel est rattaché à un point de prélèvement, avec une codification propre à l'AEAG. Pour certains ouvrages AEP et industriels, les correspondances avec l'indice national unique de référence (numéro BSS de la Banque du Sous-Sol) sont disponibles et permettent donc de faciliter le travail d'affectation des volumes AEAG à un ouvrage physique reconnu en BSS. On gardera à l'esprit :

- qu'il s'agit de données déclaratives qui, indépendamment des contrôles effectués sur le terrain, peuvent présenter des inexactitudes ou des incohérences entre les volumes déclarés et les volumes réellement prélevés,
- que le recouvrement des redevances se faisant à partir d'un seuil minimal (7 000 m³/an), la liste des points de prélèvements n'est par conséquent pas exhaustive,
- qu'un régime forfaitaire est appliqué lorsque la mesure des prélèvements ne peut pas être effectuée.

En complément, des informations sur les volumes prélevés dans les ouvrages sont également collectées, par le BRGM, dans le cadre de projets de modélisation (modèle Nord-Aquitain, modèle Plio-Quaternaire, ...) ou de connaissance générale (gestion du Réseau départemental de suivi des nappes de Gironde, par exemple), auprès des exploitants directement, des Chambres d'agriculture, dans les rapports de bureau d'étude ou dans des manuscrits de thèses. Ces données sont, depuis 2014, compilées au sein d'une base de données, développée par le BRGM. Cette base permet d'assurer une gestion cohérente et homogène des ouvrages exploités (validation géologique, historique des modifications, typologie de la source d'information...) et des volumes prélevés associés (volume réel ou estimé, source d'information). Cette base est utilisée pour reconstituer les chroniques annuelles de prélèvements qui seront intégrées au modèle MOHYS.

Par ailleurs, des données de prélèvements, à un pas de temps infra-annuels, ont déjà été collectées par le BRGM dans le cadre des projets énoncés ci-avant. Pour les chroniques manquantes, des compléments de données ont été sollicités directement auprès des exploitants.

b) Prélèvements pour l'alimentation en eau potable (AEP) et l'eau collective

Prélèvements annuels

On différencie, par la suite, les volumes prélevés pour les besoins d'alimentation en eau potable, qui sont généralement bien connus, de ceux de l'eau collective qui concernent des arrosages d'espaces verts (individuels ou collectifs), de stades et bien d'autres. La distinction entre ces besoins est faite en raison des difficultés à raccorder les prélèvements pour l'eau collective à un ouvrage spécifique. En effet, même s'ils font l'objet de déclarations par l'utilisateur, les informations disponibles dans les données de l'Agence de l'Eau ne permettent pas forcément de retrouver le forage utilisé et donc sa géolocalisation. Des incertitudes peuvent donc concerner les prélèvements pour cet usage.

Les données déjà disponibles dans la base interne du BRGM ont fait l'objet d'un croisement avec les données de l'AEAG, afin de vérifier la cohérence d'ensemble et contrôler la mise à jour des volumes les plus récents. Il n'y a pas eu de difficulté particulière dans la consolidation de ces données. L'inventaire réalisé montre (Illustration 59) le faible nombre de points de prélèvements

en eau souterraine pour l'AEP et l'eau collective. Les volumes associés restent faibles en comparaison des autres usages, les prélèvements se concentrant sur des nappes plus profondes ou sur d'autres ressources superficielles.

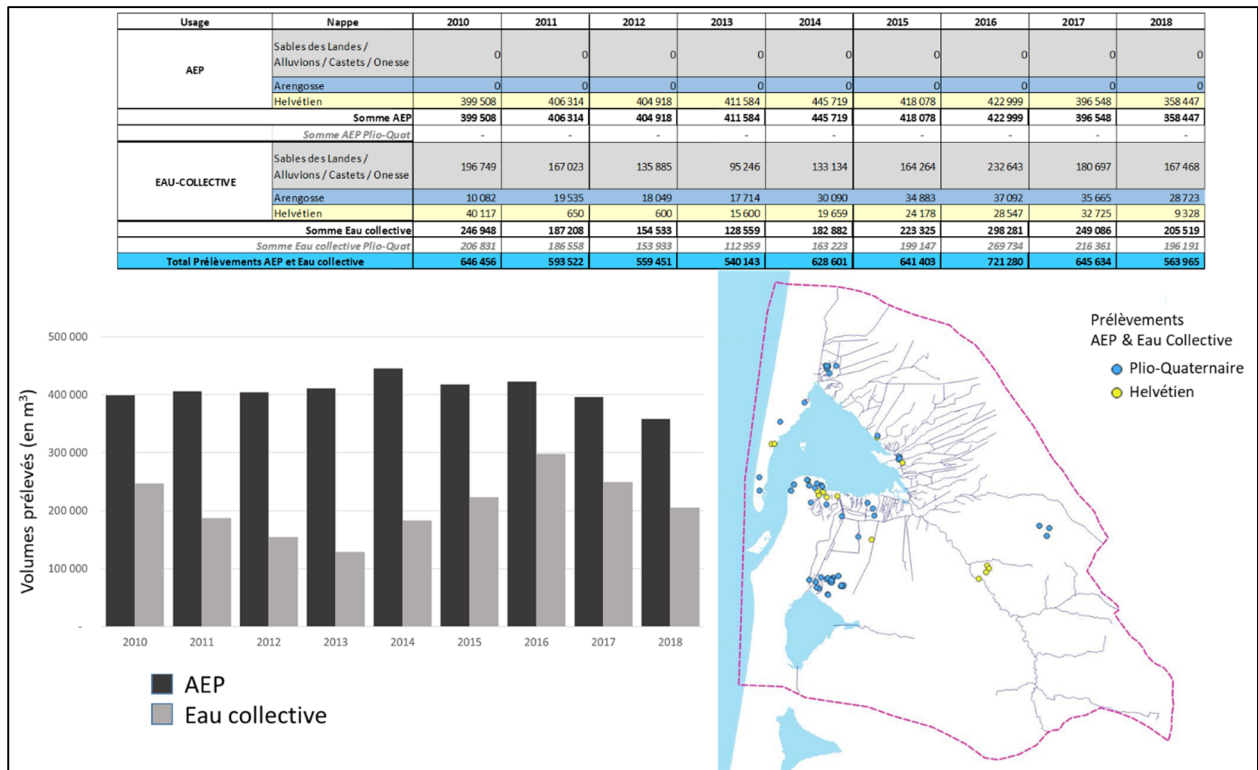


Illustration 59 - Prélèvements annuels pour l'alimentation en eau potable (AEP) et l'eau collective : chronique des prélèvements et répartitions géographiques et par aquifère

Prélèvements infra-annuels

À l'exception de certains exploitants, ayant transmis des données de prélèvements mensuels, les volumes annuels connus ont été divisés par 12, afin de pouvoir les intégrer aux pas de temps mensuel du modèle.

c) Prélèvements industriels

Prélèvements annuels

Les prélèvements industriels sont plus importants que ceux pour l'AEP et l'eau collective et se concentrent davantage dans les nappes superficielles. Ils concernent notamment les besoins pour la pisciculture, le zoo ou encore le golf (Illustration 60). La chronique des prélèvements annuels montre une diminution constante depuis 2010. Elle est en réalité nettement influencée par l'impact de la tempête Klaus, survenue fin janvier 2009, déjà évoquée dans le cadre du modèle Plio-Quaternaire (Cabaret et Vergnes, 2017) (Illustration 60). Cette tempête a dévasté la forêt aquitaine de pins maritimes. Pour faire face à la situation, le bois a été coupé, puis stocké, afin de limiter les risques d'incendie, éviter les attaques d'insectes, le dégagement de CO₂ lié à la putréfaction ou encore libérer l'espace pour pouvoir reboiser. Le stockage s'est effectué dans des aires soit déjà existantes, soit spécialement aménagées afin, entre autres, d'assurer une pérennité économique à la filière du bois. Parmi les méthodes de conservation, celle par saturation en eau a été largement utilisée : elle consiste à arroser constamment le bois afin de

lutter contre les champignons aérobies et les insectes xylophages. Trois aires de stockage de bois sont présentes dans l'emprise du modèle MOHYS (Illustration 60) : les aires d'Audenge, de Salles et de Le Teich. Elles ont consommé à elles seules près de 3,3 Mm³ en 2010 et 2011, soit 55% des volumes industriels. Les prélèvements ont par la suite diminué pour cesser définitivement en 2017. En l'absence de ces prélèvements exceptionnels, les prélèvements dans le Plio-Quaternaire (et l'Helvétien) pour l'industrie sont de l'ordre de 2 à 3 Mm³.

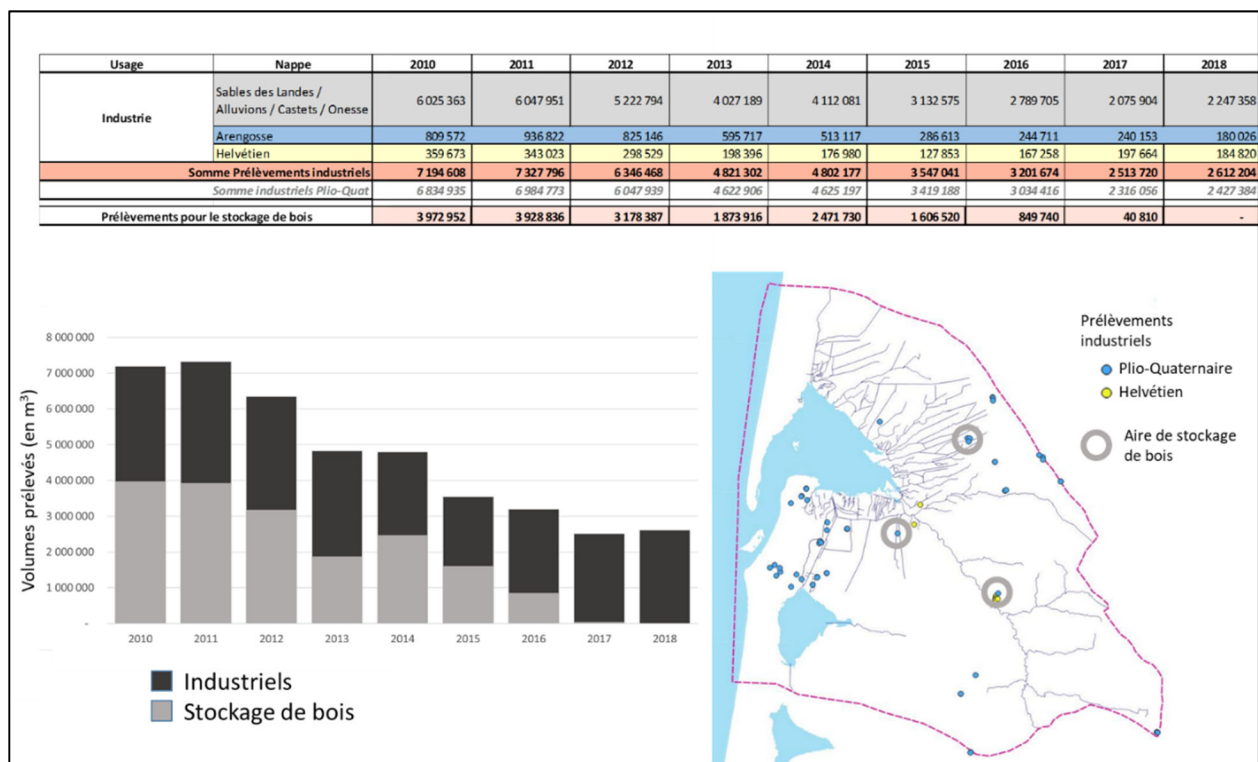


Illustration 60 - Prélèvements annuels pour l'usage industriel : chronique des prélèvements et répartitions géographique et par aquifère

Prélèvements infra-annuels

À l'instar des prélèvements pour l'AEP et l'eau collective, les volumes annuels pour l'usage industriel ont été divisés par 12, afin de les intégrer à une fréquence mensuelle dans le modèle.

d) Prélèvements agricoles

Prélèvements annuels

La reconstitution des chroniques de prélèvements dans les forages agricoles a été abordée différemment selon les départements. Elle a été réalisée pour les 35 communes que couvre, même partiellement, le modèle hydrogéologique.

Les prélèvements agricoles en Gironde

En Gironde, deux sources de données sont disponibles :

- Les données de l'**Agence de l'Eau** (AEAG) ont l'avantage de proposer des prélèvements déclarés annuellement, pour la période 2010-2018. Néanmoins, la correspondance du code du compteur de l'Agence, auquel est rattaché le volume, avec un indice BSS est rare. Il est

donc impératif d'établir un rapprochement entre ces codes afin d'affecter un volume, déclaré à l'AEAG, à un ouvrage physique connu du BRGM. Ce travail de rapprochement est fastidieux, notamment du fait que les compteurs ne sont pas géolocalisés et que les informations en commun dans les deux bases de données (principalement l'exploitant et la profondeur de l'ouvrage) ne sont pas complètes ou insuffisantes pour établir une correspondance certaine.

- Les données de la **Chambre d'agriculture de Gironde (CA33)** sont plus fiables, mais que pour certaines années. Des travaux d'inventaire, conduits en 2008 et 2015, ont permis d'identifier les prélèvements dans de nombreux ouvrages tous géolocalisés et qui ont été affectés à un indice BSS. L'inconvénient des données disponibles réside dans le fait que seuls les volumes des années 2004, 2005 et 2006 (1^{er} inventaire), ainsi que des années 2012 et 2013 (2^{ème} inventaire) sont consolidés.

Un premier travail a consisté à vérifier la cohérence entre les volumes annuels déclarés à l'AEAG et ceux collectés, pour certaines années, par la Chambre d'agriculture de Gironde. Les données de l'Agence de l'Eau comportent deux fichiers relatifs aux données de prélèvements : un fichier « compteur », qui contient les volumes prélevés pour chaque compteur, et un fichier « point », qui contient les volumes prélevés estimés à chaque point de prélèvement. En effet, les volumes AEAG sont déclarés au compteur, puis rattachés ensuite sur la base de connexions à un ou plusieurs points de prélèvements ; l'inverse (plusieurs compteurs rattachés à un point de prélèvement) étant également possible. Il a été envisagé, dans un premier temps, d'utiliser les volumes rattachés à un point de prélèvement, qui serait ensuite retrouvé dans la Banque du Sous-Sol. Toutefois, en comparant, par commune, des volumes agricoles déclarés au compteur, ceux estimés au point de prélèvement et ceux issus de l'inventaire de la Chambre d'agriculture, il apparaît de nettes différences. L'ensemble des graphiques de comparaisons des volumes pour les communes de Gironde, incluses dans l'extension du modèle MOHYS, est disponible en Annexe 4. Cette comparaison fait ressortir que les volumes de la Chambre d'agriculture sont, dans la très grande majorité des cas, cohérents avec les volumes déclarés aux compteurs. Une seule exception est celle de la commune de Mios, où les volumes des points de prélèvements sont cohérents avec ceux de la Chambre d'agriculture tandis que les volumes aux compteurs apparaissent surestimés.

Fort de ce constat, la méthodologie retenue afin de reconstituer les chroniques de prélèvements a été d'établir, autant que possible, la correspondance entre l'ouvrage reconnu par la CA33 et le compteur de l'AEAG, en s'appuyant sur la cohérence des informations disponibles dans les deux bases de données, à savoir les volumes 2012 et 2013 (voire 2004 à 2006) et l'exploitant (Annexe 4).

En cas de correspondance, les volumes 2010 à 2011, puis 2014 à 2018 de l'AEAG, sont affectés aux ouvrages pour reconstituer la chronique.

En l'absence de correspondance, les volumes de la Chambre d'agriculture de Gironde sont considérés comme justes. Il s'agit donc ensuite de reconstituer les volumes manquants (2010 à 2011 et 2014 à 2018), selon deux possibilités :

1. On raisonne en priorité à l'échelle d'un exploitant : l'Agence de l'Eau Adour-Garonne dispose de chroniques annuelles dont les variations d'une année sur l'autre sont considérées correctes. Il s'agit alors de considérer, pour chaque forage, les volumes de 2012 de cet exploitant, connus par la Chambre d'agriculture, et de reconstituer, à partir des variations interannuelles fournies par l'Agence de l'Eau, les volumes des années manquantes.

2. En l'absence de cohérence entre les volumes d'un même exploitant dans les deux bases de données, on s'appuie alors, à partir du volume de l'année 2012 d'un forage, sur la variabilité interannuelle observée à l'échelle de la commune, pour reconstituer les années manquantes.

À l'exception de quelques cas, cette méthodologie a permis de consolider la base de données, pour l'ensemble des ouvrages, et d'assurer une bonne restitution des volumes globaux dans le modèle.

Les prélèvements agricoles dans les Landes

Dans les Landes, en plus des données disponibles auprès de l'Agence de l'Eau, la base des prélèvements de l'Association de gestion de l'irrigation landaise (AGIL), qui regroupe en 2018 84% des préleveurs-irrigants du département des Landes, avait été récupérée dans le cadre d'autres projets BRGM. Les volumes récupérés concernaient les années 2011 à 2014. Contrairement à la base de données de la Chambre d'agriculture de Gironde, la base AGIL ne dispose pas systématiquement des volumes prélevés. Par contre, les ouvrages exploités sont géolocalisés et leur propriétaire est indiqué.

La méthodologie retenue est donc la suivante :

1. rapprocher le code AGIL de l'ouvrage exploité de celui de la Banque du Sous-Sol, en se basant sur les géolocalisations et noms d'exploitant. Cette étape apparaît longue car les géolocalisations indiquées dans la base AGIL ne correspondent pas systématiquement à un ouvrage en BSS : il pourrait ici s'agir d'erreur de localisation dans la BSS. Pour simplifier cette tâche, des indices fictifs ont été créés pour l'occasion ;
2. affecter les volumes prélevés par un exploitant, tels que déclarés à l'Agence de l'Eau, et le répartir dans les ouvrages reconnus exploités par l'AGIL.

Au terme de ce travail, il apparaît que les volumes agricoles sont répartis davantage en périphérie de la zone d'étude, assez éloignés des zones à enjeux. Les ouvrages d'exploitation sont généralement peu profonds. Ainsi les aquifères prélevés restent superficiels. Quelques points de prélèvements dans l'Helvétien sont présents dans les Landes, au sud-est du territoire modélisé. Les volumes sont importants pour la période considérée : compris entre 47 et 60 Mm³. A minima, 95% des volumes à usage agricole sont prélevés dans le Plio-Quaternaire, chaque année.

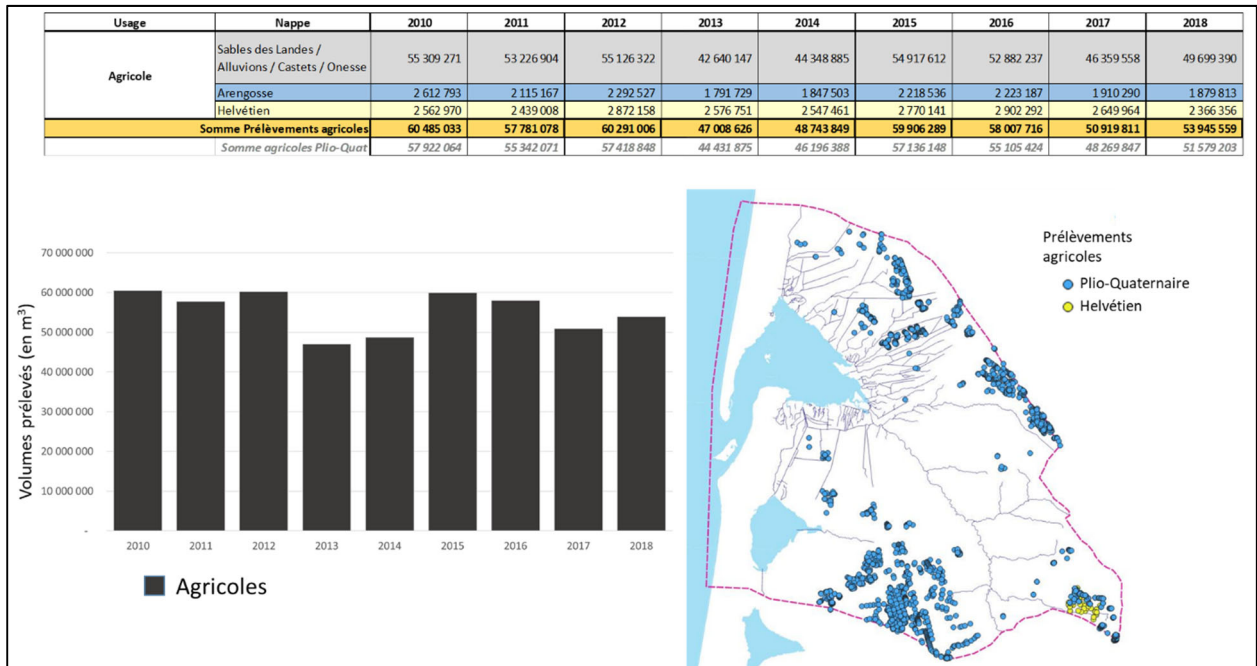


Illustration 61 - Prélèvements annuels pour l'usage agricole : chronique des prélèvements et répartitions géographiques et par aquifère

Prélèvements infra-annuels

Contrairement aux précédents usages, il a été considéré que les prélèvements devaient se concentrer sur la période d'irrigation et non de manière homogène toute l'année. Sur la base des observations faites dans d'autres secteurs (André et al., 2019), il a été décidé de répartir les volumes agricoles comme suit :

- 10% des prélèvements annuels répartis en juin (5%) et septembre (5%),
- 90% des prélèvements annuels répartis en juillet (45%) et août (45%).

3.8.2. Prélèvements en eaux de surface

Les prélèvements en eau de surface (cours d'eau, lacs et retenues artificielles) doivent être intégrés dans le modèle hydrogéologique, au même titre que les prélèvements en eau souterraine, afin de mieux restituer les débits dans les cours d'eau et les niveaux dans les lacs.

Cet inventaire a été réalisé à partir des données disponibles dans le SIE Adour-Garonne (<http://adour-garonne.eaufrance.fr/>), qui référence seulement sept points de prélèvements en eau de surface, pour la période 2010-2018, dans les 35 communes que couvre, au moins en partie, la zone modélisée (Illustration 62). Parmi ces sept points d'eau, cinq ont été retirés :

- les deux prélèvements à Biscarosse et La Teste-de-Buch, sur le lac de Cazaux, étant donné que le lac est représenté sous forme de potentiel imposé,
- les deux prélèvements à Biscarosse concernant des points d'arrosage, étant donné que ces ouvrages ne sont pas géolocalisés et sont potentiellement en dehors du domaine modélisé. Par ailleurs, les volumes cumulés de 35 000 m³/an ne sont pas conséquent et ont peu d'intérêt au regard des objectifs du modèle,
- le prélèvement dans le ruisseau de la Petite Leyre, au sud, qui n'est pas représenté dans le modèle.

Au final, seuls deux points de prélèvements de surface sont intégrés au modèle (en bleu sur l'illustration 62) :

- le prélèvement d'un exploitant agricole à Mios, dans le ruisseau de Lacanau, dont les volumes sont de l'ordre de 100 000 m³/an. Dans l'impossibilité de localiser précisément le point de prélèvement, celui-ci a été affecté au mieux, à un lieu-dit,
- le prélèvement de SMURFIT Kappa, dans le ruisseau de Lacanau, avant la confluence avec la Leyre. L'exploitant a transmis les données mensuelles qui ont été intégrées au modèle.

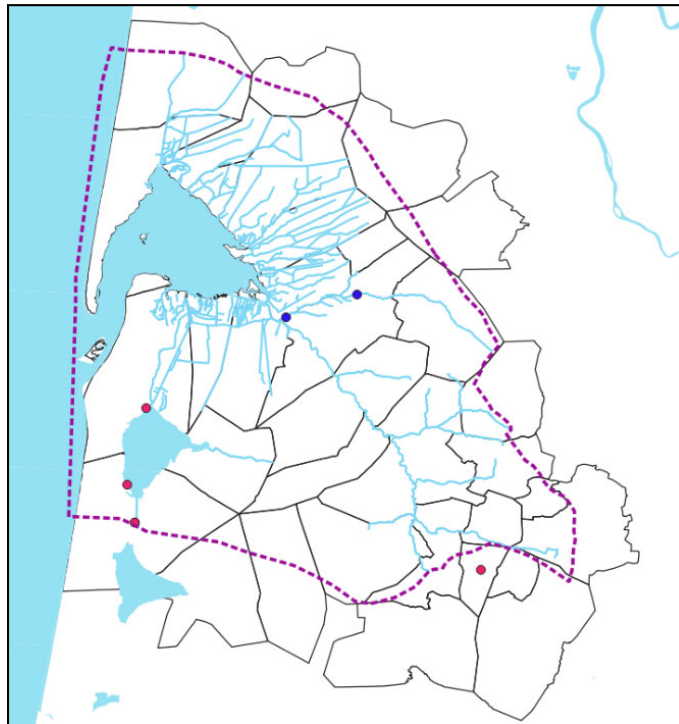


Illustration 62 - Prélèvements de surface recensés dans les communes concernées par le modèle (en bleu : prélèvements intégrés au modèle ; en rouge : prélèvements non retenus pour le modèle)

3.8.3. Rejets des Stations d'épuration des eaux usées

a) Stations d'épuration des eaux usées (STEP) - Eaux domestiques et urbaines

Les stations d'épuration des eaux domestiques et urbaines ont été recensées à partir des données disponibles dans le SIE Adour-Garonne. 23 STEP ont été identifiées dans et au voisinage immédiat de la zone modélisée (Tableau 3).

Parmi ce type de STEP, 4 (en rose dans le tableau) rejettent directement en domaine maritime et 3 se situent à l'extérieur de la zone modélisée (en jaune) : les rejets de ces 7 STEP ne sont donc pas intégrés dans le modèle.

Pour les stations ayant un milieu de rejet de type « infiltration », il a été considéré que la totalité du débit rejeté s'infiltrait (et donc que la part de l'évapotranspiration était négligeable). Pour les STEP rejetant les eaux traitées en cours d'eau (en vert dans le Tableau 3), les débits associés sont injectés dans les cours d'eau modélisés correspondants.

Code du point de rejet	Libellé	Date de mise en service	Date de mise hors service	Type de milieu récepteur	Capacité nominale du système de traitement en E.H	Débit moyen mensuel (2017, en m3/jr)
0533029V0051	LE BARP (Brique en Bruc)	25/10/2009		Infiltration	12 000	589
0533042V0011	BELIN BELIET (bourg de Belin)	01/12/1977		Infiltration	2 700	327
0533042V0021	BELIN BELIET (bourg de Beliet)	14/09/2010		Infiltration	2 000	216
0533284V0022	MIOS zone libellule	01/06/1977		Infiltration	10 000	1 156
0533333V0031	LE PORGE	01/02/1992		Infiltration	6 000	434
0533498V0031	SALLES (Le Martinet)	01/04/2012		Infiltration	3 000	326
0540046V0031	REJET STATION (CITE HAUTES RIVES)	01/01/1974		Infiltration	1 500	58
0540287V0031	SANGUINET	01/01/1997	30/06/2014	Infiltration	8 000	-
0540287V0041	SANGUINET	30/06/2014		Infiltration	16 000	838
0540295V0011	SAUGNACQ ET MURET	01/07/2014		Infiltration	1 000	29
0533202V0011	HOSTENS	01/11/1980	30/06/2010	Rejet dans une entité hydrographique	1 500	-
0533202V0021	HOSTENS 2	01/07/2010		Rejet dans une entité hydrographique	2 000	141
0533498V0011	SALLES	01/01/1971		Rejet dans une entité hydrographique	3 000	372
0533555V0021	MARCHEPRIME	01/07/1978	06/09/2015	Rejet dans une entité hydrographique	5 000	-
0533555V0031	MARCHEPRIME	06/09/2015		Rejet dans une entité hydrographique	8 000	558
0533051V0021	BIGANOS 2	01/06/2007		Rejet en milieu marin	135 000	11 423
0533529V0171	LA TESTE (S.I.B.A. TESTE CAZAUX)	01/01/1988		Rejet en milieu marin	5 000	530
0533529V0181	LA TESTE DE BUCH 2	25/04/2007		Rejet en milieu marin	150 000	14 936
0540046V0121	REJET STATION (LA PLAGE)	01/01/2006		Rejet en milieu marin	30 000	975
0533436V0041	ST MAGNE 2	01/09/2011		Rejet dans une entité hydrographique	1 200	73
0533436V0031	ST MAGNE	01/01/1981	31/08/2011	Rejet dans une entité hydrographique	400	-
0540200V0021	MOUSTEY	01/01/2000		Rejet dans une entité hydrographique	600	35
0533260V0011	LUGOS	01/10/2013		Infiltration	160	-

Tableau 3 - Stations d'épuration des eaux domestiques, dans et au voisinage immédiat de la zone modélisée (source : SIE Adour-Garonne)

Les rejets en eau de surface des STEP concernées sont identifiés ainsi :

- Hostens : dans un fossé alimentant le ruisseau de Bertet, lui-même rejoignant le craste de la Mounarde (illustration 63) ;
- Salles : la STEP est située sur le cours d'eau de la Planquette, affluent en rive droite de la Leyre, mais son rejet se fait directement dans la Leyre (illustration 64) ;
- Marcheprime : dans un affluent en rive droite du ruisseau du Biard (anciennement appelé Béhar), dénommé le ruisseau de Biach (illustration 65).

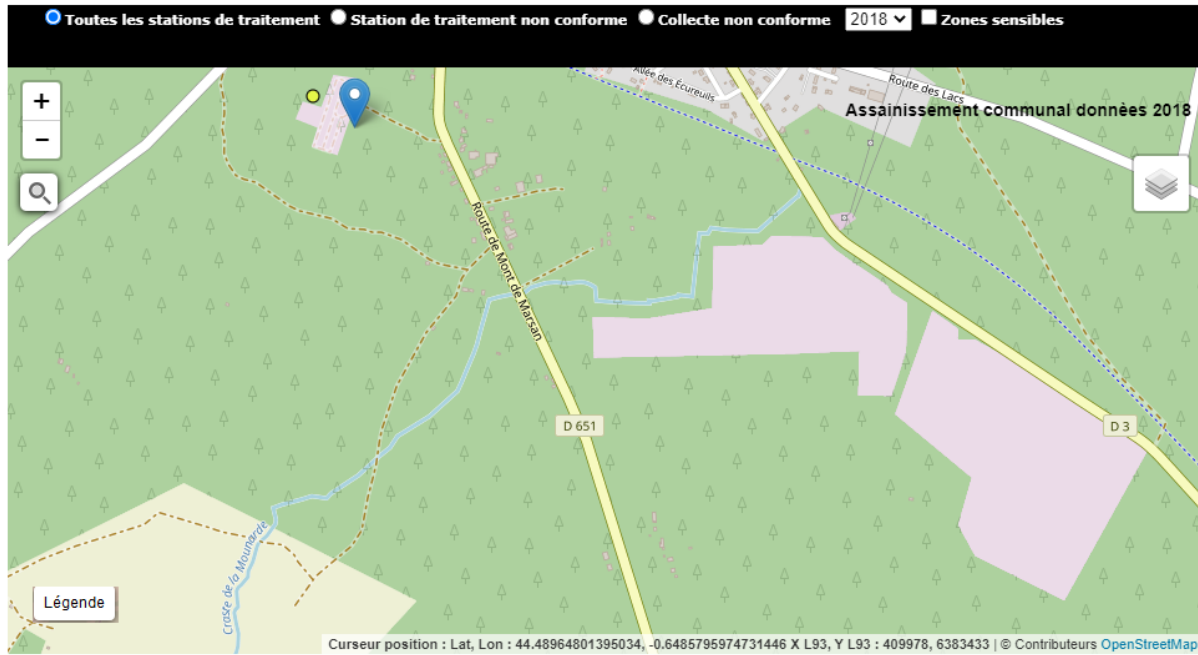


Illustration 63 - Point de rejet de la STEP de Hostens, référencée 0533202V0021 (<http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/>)



Illustration 64 - Point de rejet de la STEP de Salles, référencée 0533498V001 (<http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/>)



Illustration 65 - Point de rejet de la STEP de Marcheprime, référencée 0533555V003 (<http://assainissement.developpement-durable.gouv.fr/>)

Des points particuliers ont par ailleurs été abordés concernant des données non présentes dans le SIE (informations fournies par le SIBA) :

- STEP de Belin-Beliet (bourg de Beliet) : en l'absence de données, il a été considéré que la station n'était pas en service entre sa date officielle de mise en service (14/09/2010) et la fin de l'année 2010. Les premiers débits rejetés sont connus en janvier 2011 ;
- STEP de Saugnacq-et-Muret : en l'absence de données, il a été considéré que la station n'était pas en service entre sa date officielle de mise en service (01/07/2014) et la fin de l'année 2015. Les premiers débits rejetés sont connus en janvier 2016 ;
- STEP de Hostens : en l'absence de données, il a été considéré que la station était effectivement en service entre sa date officielle de mise en service (01/07/2010) et la fin de l'année 2010. Les rejets pris en compte dans le modèle correspondent à la valeur moyenne des rejets pour l'année 2011, à savoir 155,97 m³/jr ;
- STEP de Lugos : en l'absence de données, et compte tenu des très faibles débits concernés (la STEP recueille les eaux d'une école, présentant une capacité nominale de traitement de 160 équivalent-habitants), cette STEP mise en service le 01/10/2013 n'est pas prise en compte dans le modèle. Elle figure en gris dans le Tableau 3.

Enfin, les débits mensuels de rejet n'étaient pas disponibles pour l'année 2018, lors de la construction du modèle hydrogéologique en octobre 2020, il a été pris pour hypothèse que les rejets 2018 étaient identiques aux rejets 2017. Les débits réels seront intégrés au modèle ultérieurement.

Au final, on retiendra que les rejets de 15 STEP sont pris en compte dans le modèle, 5 en eaux de surface et 10 en eaux souterraines. Leurs rejets sont modulés de façon mensuelle sur la base des informations disponibles dans le SIE et des hypothèses complémentaires précisées ci-avant.

b) Stations d'épuration des eaux usées industrielles (STEI)

Le SIE Adour-Garonne permet d'identifier 9 stations d'épuration à usage industriel (tableau 4) au voisinage de la zone modélisée, dont deux (en jaune) sont à l'extérieur de celle-ci.

Le rejet le plus important (40 000 m³/jr) est celui de SMURFIT Kappa, à Biganos. Il se fait directement en mer, via le réseau d'assainissement urbain (après traitement) et n'est donc pas à prendre en compte pour la modélisation quantitative des écoulements souterrains dans leur interaction avec les écoulements de surface continentaux.

Au vu de leur faible importance et de l'absence de données détaillées disponibles, les autres rejets industriels ne sont pas pris en compte dans le modèle.

Code du système de traitement (STEI)	Libellé	Etat	Date de mise en service	Commune
33029013	CAT LE BARBAREAU	EXPL	01/07/2010	Le Barp
33029100	COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE	EXPL	01/01/2002	Le Barp
33051100	SMURFIT - CELLULOSE DU PIN	EXPL	16/12/1964	Biganos
33042001	FERME DE L'EYRE	EXPL	05/07/2012	Belin-Béliet
33527102	L'ESTURGEONNIERE	EXPL	01/01/2006	Le Teich
33422002	G.I.E. DE L'OMBRIERE	EXPL	05/07/2012	Saint-Jean-d'Illac
40307002	S.C.E.A. DE LA MADROUQUES	EXPL	05/07/2012	Sore
33122001	LE POT AU PIN	EXPL	01/09/2000	Cestas
40156001	S.C.E.A. CANTEGRIT	EXPL	05/07/2012	Liposthey

Tableau 4 - Stations d'épuration à usage industriel, dans et au voisinage immédiat de la zone modélisée (source : SIE Adour-Garonne)

4. Calage du modèle hydrogéologique

Le modèle numérique a pour objectif de retranscrire les niveaux piézométriques et débits dans les cours d'eau, à un pas de temps mensuel, pour la période 2010-2018. Pour ce faire, l'extension du modèle s'appuie sur les limites de bassin versant hydrogéologique (ligne de crête piézométrique) alimentant le Bassin d'Arcachon. La taille des mailles est de 250 m x 250 m, affinée à 50 m x 50 m au droit des zones à enjeux définies par le SIBA. Cinq formations (3 aquifères et 2 épontes) sont intégrées. Puis, dans chaque maille :

- Un premier jeu de données hydrodynamiques (perméabilité et emmagasinement) est intégré,
- La recharge est calculée à partir de paramètres d'écoulement (infiltration / ruissellement / zones de sol...), obtenues de modèles-réservoirs qui s'appuient sur les données de Météo-France, spatialisées à des mailles de 8 km x 8 km,
- La façade océanique, le Bassin d'Arcachon et le lac de Cazaux-Sanguinet ont des niveaux fixes,
- Les rivières intégrées au modèle ont été sélectionnées par le SIBA et les caractéristiques d'échange avec les nappes (perméabilité, encaissement, hauteurs d'eau maximales dans les cours d'eau) ont été définies sur la base des données bibliographiques,
- Les prélèvements en nappes et cours d'eau et rejets ont été concaténés à partir de bases nationales (Agence de l'Eau) et départementales (Chambres d'agriculture de Gironde et des Landes),
- Les mesures piézométriques et de débits dans les cours d'eau sont récupérés à partir des données nationales disponibles dans ADES et HydroPortail, puis complétées de données bibliographiques obtenues de travaux du BRGM et de suivis réalisés par le SIBA.

4.1. RESULTATS DU CALAGE

Dans un premier temps, un calage en régime permanent a été réalisé. Toutefois, dans ce type de nappes, le régime permanent est peu réaliste puisqu'il s'apparente à un régime « pseudo-permanent », qui correspond ici à un état pseudo-stationnaire ou « virtuel » de la nappe (régime moyen). Ce modèle pseudo-permanent permet d'établir une première ébauche de la distribution des perméabilités des différentes couches du modèle, afin de reconstituer notamment des niveaux de nappes moyens, les axes de drainages préférentiels et les grandes directions d'écoulements.

Ensuite, un premier calage en régime transitoire a été effectué. Ce calage consiste à assurer une bonne adéquation entre les niveaux piézométriques et débits dans les cours d'eau, calculés par le modèle, et ceux observés en faisant varier les paramètres hydrodynamiques (perméabilités et coefficients d'emmagasinement). Lorsque des difficultés d'ajustement se présentent, il peut être nécessaire de vérifier la cohérence des données d'entrée du modèle. Par exemple, dans le cas d'un mauvais calage dans un secteur du modèle, des investigations spécifiques supplémentaires peuvent être conduites (ouvrage hydraulique non pris en compte, consignes de gestion hydrauliques non connues, apports non référencés, etc.).

Tout au long de ce travail, plusieurs outils permettent de rendre compte de la qualité du calage, et ce à différentes périodes du cycle hydrologique.

Les diagrammes de dispersion permettent de rendre compte, pour une période définie, de la cohérence globale entre les niveaux moyens simulés et ceux observés sur le terrain pour la totalité des ouvrages disposant d'une mesure (un point correspond à une mesure dans un ouvrage). Afin d'être le plus représentatif possible, les périodes retenues correspondent à celles où le maximum de données de terrain est disponible. Pour ces raisons, les 4 périodes présentées ci-dessous (Illustration 66) correspondent à des périodes où des campagnes de terrain spécifiques ont été menées (Illustration 57). L'objectif est d'essayer d'aligner le nuage de points, avec la droite de correspondance, entre les valeurs mesurées et celles simulées (Illustration 66). Les écarts avec cette droite permettent de mettre en évidence les ouvrages ou les secteurs dans lesquels des efforts de calage doivent être apportés. Selon un exemple présenté ensuite (encadré bleu - ouvrage 08494X0077 de l'illustration 66), le modèle surestime le niveau piézométrique moyen de l'ordre de 5 mètres, mais avec une amplitude de variation des niveaux simulés cohérente avec les observations. Dans l'autre exemple (encadré rouge - ouvrage 08742X0063 de l'illustration 66), le niveau global restitué par le modèle correspond à celui obtenu sur le terrain, mais les amplitudes de variations ne sont pas respectées tout au long du cycle.

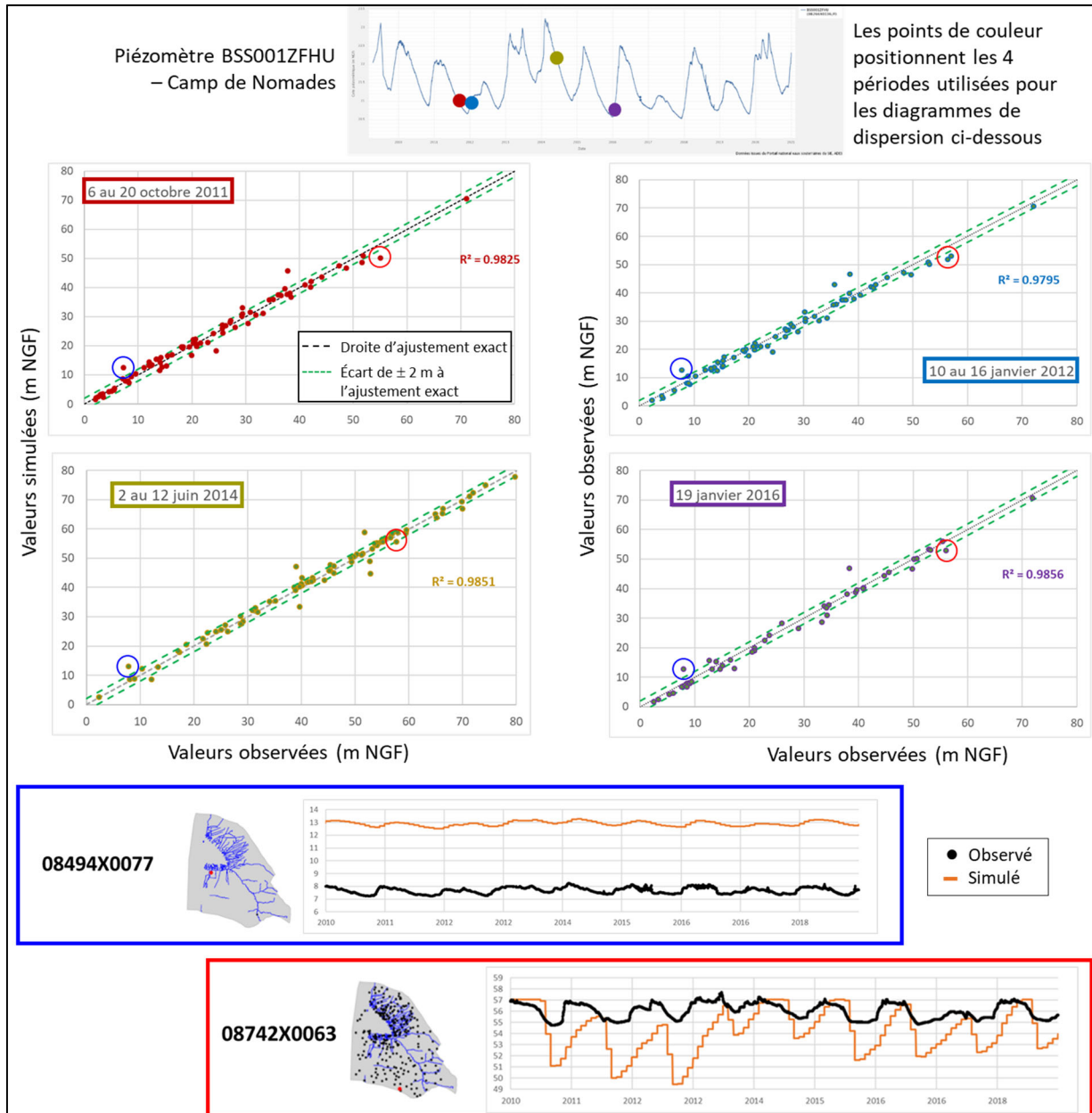


Illustration 66 - Exemple de diagramme de dispersion à 4 périodes et mise en évidence des écarts constatés dans 2 ouvrages (localisés par un point rouge sur la carte)

La cohérence des chroniques, en termes de niveaux et d'amplitude de variation, permet de mesurer la restitution par le modèle des niveaux piézométriques dans un ouvrage, mais aussi des gammes et variations de débits dans les cours d'eau. Le calage est effectué, en premier lieu, avec les ouvrages disposant de suivis continus, sur l'ensemble des nappes représentées dans le modèle. Les chroniques courtes (1 à 5 mesures) sont exploitées, mais la comparaison avec les sorties du modèle reste assez limitée : il est en effet possible de juger d'un décalage absolu (détection d'un biais) mais il est difficile de juger si la dynamique souterraine est bien retranscrite par le modèle. Plusieurs critères sont utilisés pour qualifier le calage du modèle :

- Le **biais** caractérise l'écart entre observation et mesure : c'est-à-dire si le modèle surestime ou sous-estime systématiquement les valeurs de niveaux d'eau ou de débit. Il doit se rapprocher le plus possible de zéro. Toutefois, ce critère ne donne pas d'information sur l'amplitude de ces écarts.

- Le **RMSE** (*Root Mean Square Error*) permet de rendre compte des variations d'amplitudes entre les mesures simulées et celles observées. La valeur est toujours positive donc comprise dans l'intervalle $[0; +\infty]$. Plus la valeur du critère RMSE est proche de zéro, meilleur est le modèle évalué en terme d'exactitude.
- Le **Nash** permet d'estimer la capacité d'un modèle à reproduire un comportement observé. Plus la valeur obtenue pour ce critère est proche de 1, meilleure est l'adéquation du modèle aux valeurs observées.

4.1.1. Les niveaux piézométriques

Dans les secteurs nord-est et sud-est du Bassin d'Arcachon (Illustration 67), les niveaux sont globalement correctement restitués pour ce premier calage. Les amplitudes de variations sont cohérentes et la dynamique de la nappe est, dans certains cas, bien représentée (08744X0005 et 08515X0031) à l'échelle du pas de temps mensuel considéré. En effet, il est important de rappeler que sont comparées des valeurs moyennes mensuelles, calculées par le modèle, avec des valeurs journalières, observées sur le terrain. L'ouvrage 08515X0031, en raison des niveaux piézométriques mesurés qui restent très stables dans le temps (variations interannuelles semblables), pose toutefois la question d'un possible impact plus important, que celui actuellement représenté dans le modèle, du cours d'eau à proximité. Des vérifications et révisions sur les paramètres intrinsèques qui régissent les écoulements dans ce cours d'eau devront être apportées (encaissement, perméabilité et épaisseur du lit de la rivière). Dans d'autres cas, des ajustements sont à prévoir, comme par exemple l'ouvrage 08262X0023 pour lequel l'inertie de la nappe semble trop forte (les variations de niveaux apparaissent plus lentes en réponse au signal climatique (recharge) qu'elles ne le sont en réalité (nappe plus réactive)). Dès lors, les variations de niveaux ne semblent générées que par les prélèvements alentours, plus que par la vidange naturelle de la nappe. Cette inertie pourrait être surestimée du fait de la non-prise en compte, dans le modèle, de certains cours d'eau à proximité, diminuant de facto la densité de drainage, voire du fait d'une hétérogénéité verticale qui n'est pas entièrement prise en compte par le modèle.

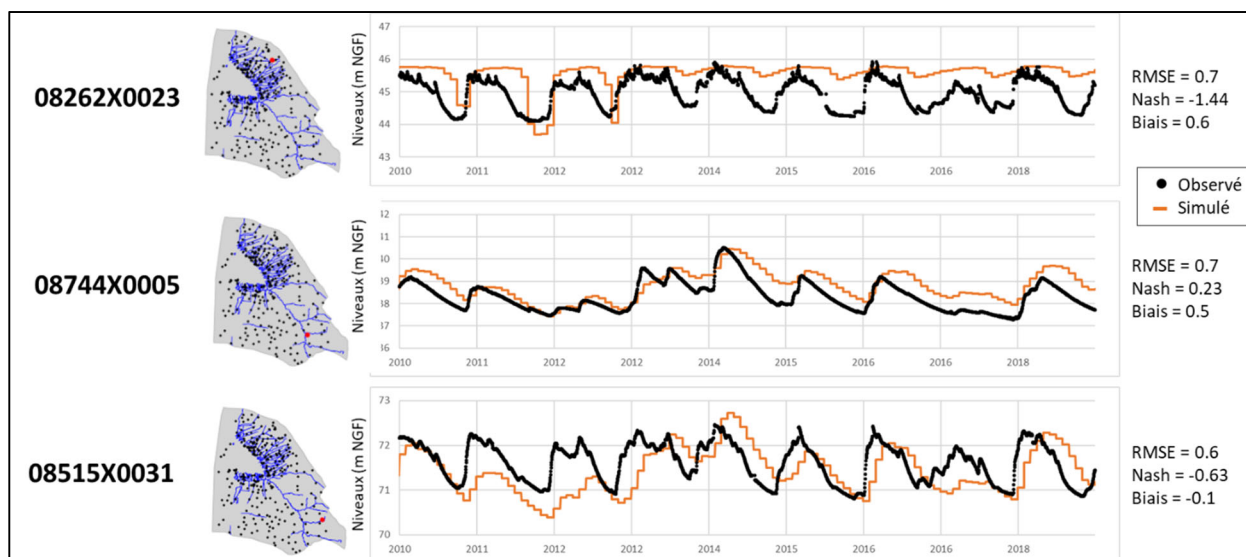


Illustration 67 - Restitution par le modèle de la dynamique de la nappe du Plio-Quaternaire, au nord-est et sud-est du territoire modélisé, en comparaison avec les données de terrain (localisées par un point rouge sur la carte)

Dans les secteurs à enjeux définies par le SIBA (Illustration 68), les dynamiques de nappes restituées par le modèle semblent globalement cohérentes, pour les quelques chroniques de suivis continus. Il se détache toutefois certains secteurs pour lesquels le niveau moyen n'est pas correctement représenté par le modèle (08266X0136). De même pour les ouvrages ne disposant que de données ponctuelles, qui sont nombreux dans les secteurs à enjeux, l'appréciation de la qualité du calage est difficile à réaliser et des écarts importants tout comme de bonnes correspondances peuvent apparaître (à l'image du 08501X0140). Des efforts de calage supplémentaires devront donc être apportés, mais devront rester raisonnables au regard des incertitudes portant sur ces données.

Le point de suivi 08494X0126 n'est actuellement pas restitué car contrôlé totalement par le niveau du cours d'eau. Il est nécessaire de revoir certains paramètres intégrés à l'outil afin de voir si une amélioration peut ici être apportée.

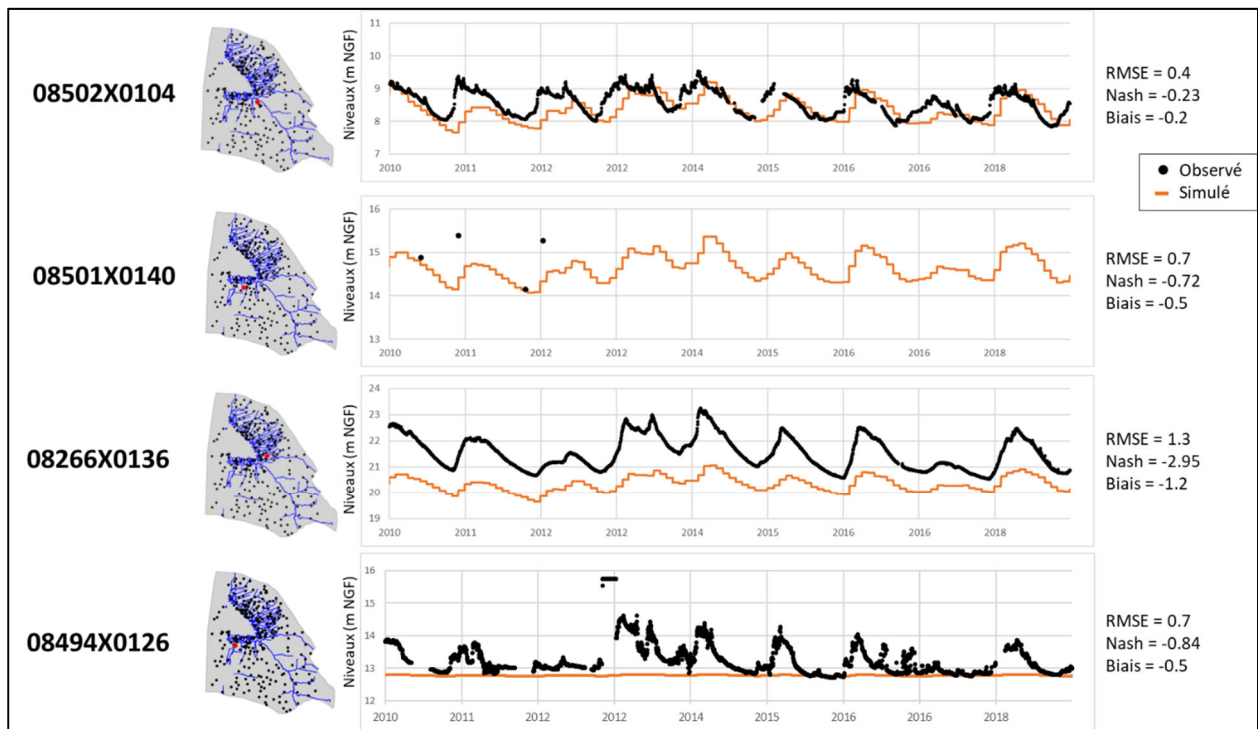


Illustration 68 - Restitution par le modèle de la dynamique de la nappe du Plio-Quaternaire, dans les secteurs à enjeux définis par le SIBA, en comparaison avec les données de terrain (localisées par un point rouge sur la carte)

Sur la frange littorale (Illustration 69), seule une chronique continue pendant la période simulée est disponible (08257X0086). Le niveau moyen est restitué par le modèle mais les amplitudes de variation restent un peu trop importantes. Le modèle restitue une nappe bien plus inertielle qui nécessitera d'être corrigée par la suite. Sur les autres chroniques, pour lesquelles le nombre de mesures reste faible (inférieur à 5), la restitution par le modèle apparaît correcte dans la limite des biais que peut comporter cette comparaison.

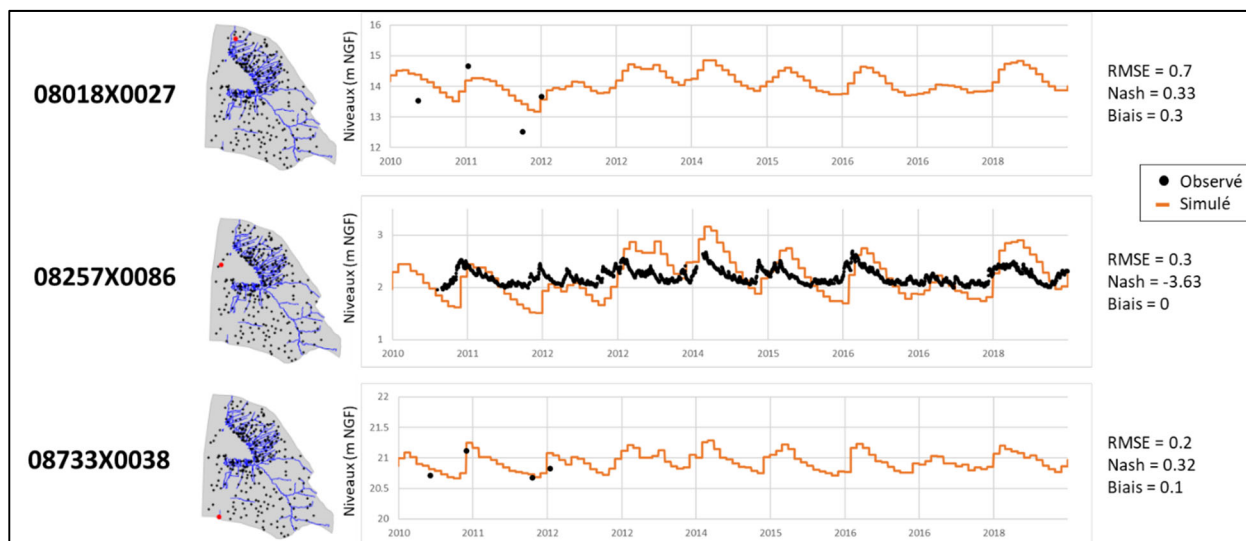


Illustration 69 - Restitution par le modèle de la dynamique de la nappe du Plio-Quaternaire sur la frange littorale, en comparaison avec les données de terrain (localisées par un point rouge sur la carte)

Concernant les nappes sous-jacentes (Illustration 70), les ouvrages avec des suivis continus sont encore moins nombreux. Aucun ajustement de calage n'a été opéré avec ces couches, dans l'immédiat. Il conviendra de les ajuster mais aussi d'identifier les points pour lesquels des différences majeures apparaissent (cas du 08494X0077), afin de valider, dans un premier temps, les données brutes qui y sont associées (affectation de l'aquifère, nivellement des données, paramètres des couches encadrantes, ...).

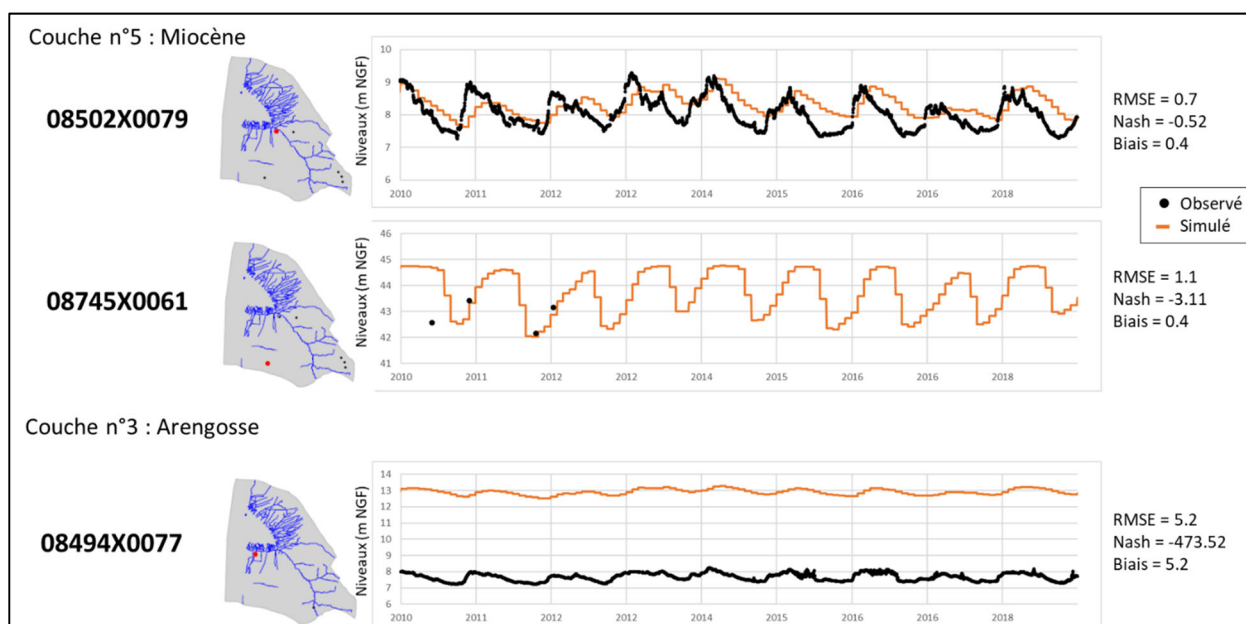


Illustration 70 - Restitution par le modèle de la dynamique de la nappe dans les couches 3 & 5 du modèle, dans les secteurs à enjeux définis par le SIBA, en comparaison avec les données de terrain (localisées par un point rouge sur la carte)

4.1.2. Les débits dans les cours d'eau

Les premières restitutions par le modèle des débits dans les cours d'eau ont été relativement correctes, d'autant plus que la comparaison s'effectue entre un débit moyen mensuel, calculé par le modèle, et des mesures faites à un pas plus fin (Illustration 71). Au-delà des amplitudes retranscrites, la cohérence des niveaux de base doit être assurée. Dans certains cas, les débits semblent légèrement surestimés par le modèle, ce qui pourrait s'expliquer par la non-prise en compte de cours d'eau proches pour lesquels les débits seraient affectés par défaut au cours d'eau explicitement pris en compte dans le modèle. Ces cas de figures sont à craindre en raison d'un réseau de drainage, aussi bien naturel qu'anthropique, relativement dense qui ne peut totalement être pris en compte et qui peut interférer dans la définition des bassins versants naturels des cours d'eau qui s'appuie sur le MNT. Les réaffectations des débits de débordements au cours d'eau le plus proche peuvent de ce fait être sous ou surévaluées. Des validations et corrections devront donc être apportées pour un calage plus pertinent.

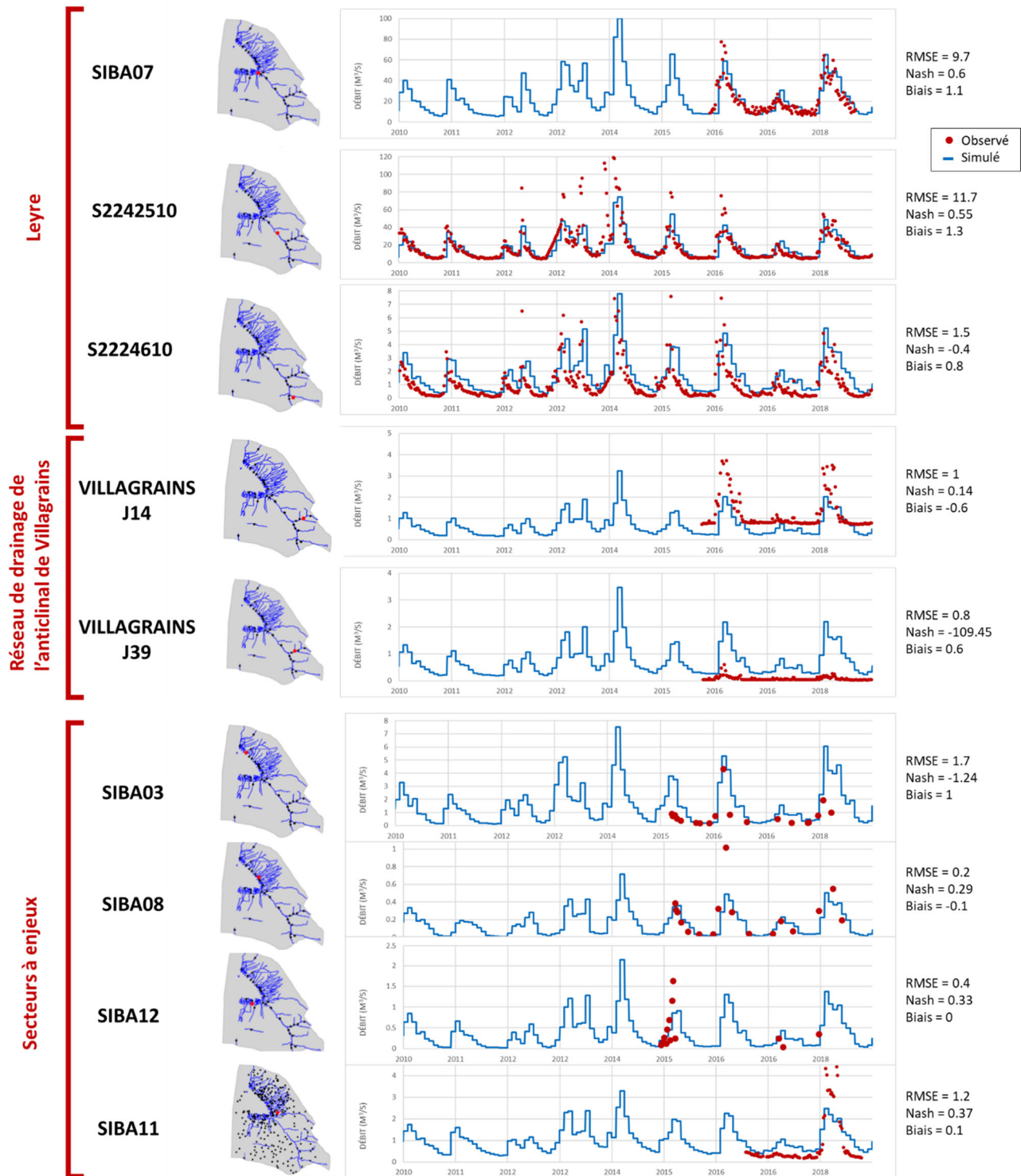


Illustration 71 - Restitution par le modèle des débits dans les cours d'eau en comparaison avec les données de terrain (localisées par un point rouge sur la carte)

4.2. EXEMPLES DE PREMIERES EXPLOITATIONS DU MODELE

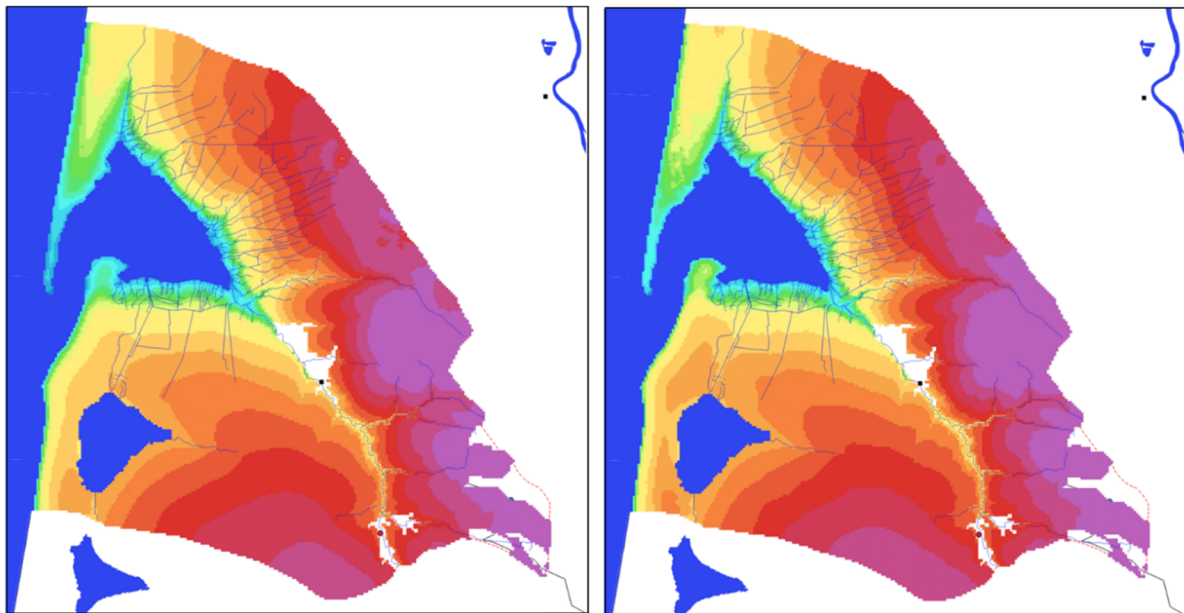
Il convient de préciser que les sorties du modèle présentées dans ce sous-chapitre ne sont fournies qu'à titre d'exemple et permettent de montrer quelques exploitations pratiques de l'outil. Ces éléments ne doivent donc être réutilisés que dans ce strict objectif. Le modèle actuel n'étant, comme précisé dans le chapitre précédent, que dans une première phase de calage qu'il convient de poursuivre.

4.2.1. Cartes piézométriques

Des cartes piézométriques peuvent être produites tous les mois, afin de rendre compte des conditions d'écoulements à différentes périodes du cycle hydrologique, depuis les basses eaux jusqu'aux hautes eaux. On rappellera que le pas de temps mensuel du modèle permet de rendre compte des écoulements moyens mensuels et ne peut restituer des variations plus rapides, en lien avec les marées, des pluies intenses et courtes ou encore des crues « éclairs ».

Les cartes piézométriques du Plio-Quaternaire restituées par le modèle en conditions de basses eaux (novembre 2017) et de hautes eaux (avril 2018) montrent des modalités d'écoulements sensiblement équivalentes (Illustration 72). Les observations qui peuvent en être faites sont cohérentes avec celles obtenues de la bibliographie et les cartes esquissées dans le cadre de ce travail (chapitre 2.2). Ainsi, le modèle restitue bien les principaux secteurs qui peuvent être schématiquement considérés pour les écoulements :

- la Leyre et ses affluents, notamment les ruisseaux de Lacanau à l'aval et de la Houtine dans sa partie médiane. Ce réseau de drainage majeur constitue un exutoire important des eaux souterraines dans la partie sud-est du territoire modélisé.
- Le Bassin d'Arcachon conditionne les écoulements de la nappe du Plio-Quaternaire à son abord, facilité par un réseau de drainage très dense qui se déverse dedans.
- Le lac de Cazaux conditionne également, dans une moindre mesure, les écoulements et intercepte, dans la partie sud, une partie des flux qui s'effectueraient au profit du littoral.



Novembre 2017 : Basses eaux

Avril 2018 : Hautes eaux

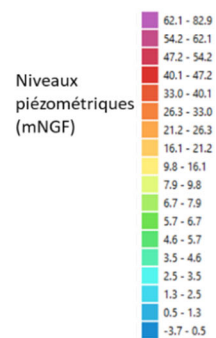


Illustration 72 - Cartes piézométriques de la nappe plio-quaternaire restituées par le modèle en conditions de basses et de hautes eaux

Dans les secteurs à enjeux, le drainage de la nappe, encore plus important en hautes eaux, apparaît également (Illustration 73). Le maillage plus resserré (maille de 50 m x 50 m) permet de mieux restituer les isopièzes aux abords des cours d'eau et drains. La poursuite du calage du modèle dans ces secteurs permettra de mieux évaluer les niveaux piézométriques par rapport au sol, mais aussi les zones de débordement en hautes eaux.

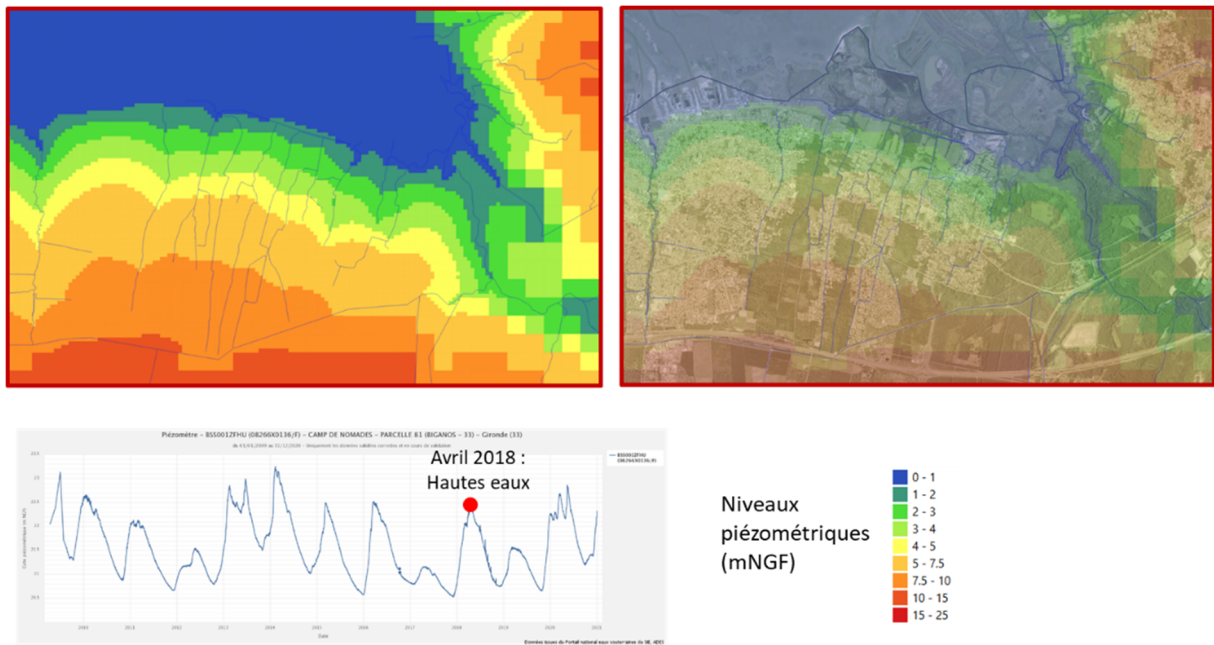


Illustration 73 - Carte piézométrique en hautes eaux (avril 2018) dans la zone à enjeux du Sud-Bassin

4.2.2. Échanges nappes-rivières

Le modèle, une fois calé, permet de rendre compte des modalités d'échanges entre les nappes et le réseau hydrographique à chaque pas de temps. Les flux sont alors représentés à l'échelle de la maille (Illustration 74) mais peuvent être également rapportés au linéaire de cours d'eau. Ils permettent ainsi d'identifier les secteurs où un drainage de la nappe par le cours d'eau est effectué et, à l'inverse, ceux où des pertes de cours d'eau se font au profit de la nappe et donc participent à la recharge de celle-ci. Au-delà d'un calage plus fin, lié aux cours d'eau équipés de suivis de débit, les enjeux, à terme, seront de valider les modalités d'écoulement dans les cours d'eau sur des linéaires dépourvus de points de suivi.

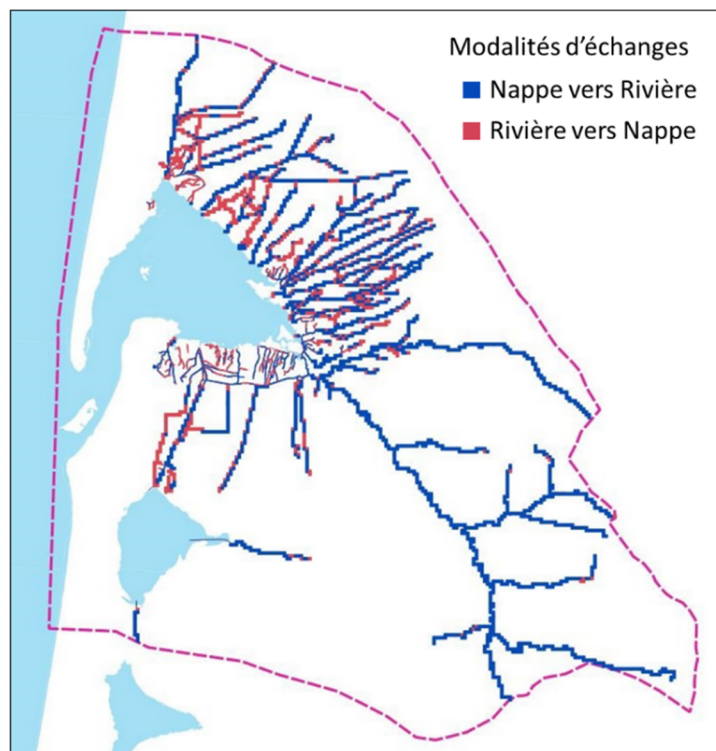


Illustration 74 - Carte des modalités d'échanges nappe-rivière

Une fois le modèle calé, un bilan général des entrées et sorties des nappes sera établi, mettant en regard les quantités d'eau infiltrées et celles transférées aux cours d'eau, au littoral et lac, aux autres nappes ou encore extraites par prélèvements. D'autres valorisations du modèle pourront être faites telles qu'une carte des débordements de nappe ou celles des battements de nappes.

Enfin, cet outil pourrait être également utilisé dans le futur pour le transfert de masse (infiltration d'un polluant en zone non saturée, percolation jusqu'à la nappe, migration souterraine, etc.), mais nécessite toutefois de nombreuses informations supplémentaires.

Tous ces éléments pourront être explorés à l'échelle du modèle ou déclinés pour certains secteurs. Un travail supplémentaire de calage doit être toutefois réalisé pour rendre plus exhaustifs et donc exploitables ces résultats.

5. Conclusions

Le travail présenté dans le cadre de ce rapport fait suite à une première phase de préfiguration (Doez, 2018). Cette première phase avait consisté à préciser les besoins du SIBA pour le développement d'un modèle hydrogéologique qui puisse l'aider à répondre à ses missions et à faire un bilan des données existantes nécessaires à la réalisation de ce type d'outil. Par ailleurs, des premières spécifications techniques de l'outil à réaliser avaient été proposées, ainsi que le besoin d'acquisitions de données hydrologiques et hydrogéologiques complémentaires, notamment dans les secteurs à enjeux définis par le SIBA.

La seconde phase (présentée dans ce rapport) a consisté d'une part, au traitement des données acquises par le SIBA et d'autre part, au développement du modèle et à son premier calage.

Deux campagnes piézométriques synchrones ont été réalisées dans leur intégralité par le SIBA (basses eaux - octobre 2020 et hautes eaux - février 2022), à partir desquelles le BRGM a établi deux esquisses piézométriques. Dans ce type de contexte et classiquement, la nappe libre présente une surface piézométrique qui suit globalement les grands traits topographiques.

En parallèle, au printemps 2021, le SIBA a équipé 7 ouvrages de sondes de mesure automatisées de la hauteur d'eau, de la conductivité et de la température.

Cinq pompages d'essai autour du Bassin, et à la demande du BRGM, ont été sous-traités par le SIBA. L'exploitation des données s'est toutefois révélée problématique puisqu'une interprétation complète et étayée des données n'a pas été possible du fait de problèmes techniques, du manque de suivi de certains paramètres et d'erreurs de paramétrages du matériel sur le terrain et ce malgré les prescriptions techniques demandées aux prestataires par le SIBA, sur les conseils du BRGM. Les paramètres hydrodynamiques toutefois déduits de l'interprétation de ces données incomplètes s'étendent de $1,7 \cdot 10^{-3}$ à $2,6 \cdot 10^{-2}$ m²/s pour la transmissivité et de $1,5 \cdot 10^{-3}$ à $5,5 \cdot 10^{-2}$ pour l'emmagasinement. Les valeurs de ces paramètres peuvent être entachées d'une certaine incertitude du fait que les tests n'ont pas été réalisés dans les règles de l'art. La manipulation de ces paramètres doit donc être faite en tenant compte de cette information. A noter que les valeurs de ces paramètres sont dans les gammes de celles qui sont régulièrement retrouvées dans ce contexte.

En parallèle, le développement de l'outil de modélisation a été initié. L'extension de modèle proposée (2 373 km²) s'appuie à la fois sur des considérations hydro(géo)logiques (limites du bassin versant) et sur la bonne prise en compte des enjeux définis par le SIBA. Un maillage principal, représenté par des mailles de 250 m de côté, et un maillage plus fin de 50 m de côté, dans les secteurs à enjeux, ont été retenus après concertation avec le SIBA. Cinq couches hydrogéologiques ont été retenues (3 aquifères et 2 épontes) dont les extensions et épaisseurs s'appuient en partie sur le modèle régional du Mio-Plio-Quaternaire (MPQ - Cabaret et al., 2019) retravaillé localement à partir de l'analyse locale de données piézométriques et géologiques.

L'architecture du modèle ayant été définie, les éléments suivants ont été intégrés à l'outil en vue d'une modélisation, pour la période 2010-2018, au pas de temps mensuel :

- Une limite à potentiel imposé fixe a été disposée au niveau de l'océan, le Bassin d'Arcachon et pour le lac de Cazaux. Partout ailleurs, une condition de type "flux nul" a été imposée au modèle. À noter que les zones d'intérêts sont éloignées de ces limites.
- Le réseau hydrographique, composé de cours d'eau, ruisseaux, fossés, canalisations et drains (760 kilomètres de linéaire) a été intégré avec une attention particulière pour les zones à enjeux et en concertation avec le SIBA.

- La recharge pluviale et le ruissellement ont été pris en compte à partir des données climatiques spatialisées, fournies Météo-France et du calcul des bilans hydroclimatiques, réalisé à l'aide du module GARDÉNIA, intégré à MARTHE (Cabaret, 2019).

Par la suite, un premier jeu de données des propriétés hydrodynamiques (perméabilité, coefficients d'emmagasinement captif) a été intégré dans chaque maille du modèle, à partir des informations issues de la bibliographie. Ces données seront complétées par la suite avec celles issues des interprétations des pompages d'essai, sous-traités par le SIBA.

Afin de prendre en compte les prélèvements et les rejets dans les eaux souterraines et superficielles, une collecte d'informations a été opérée auprès des bases nationales (Agence de l'Eau) et départementales (Chambres d'agriculture de Gironde et des Landes), et un important travail de croisement de ces différentes sources de données a été mené afin de disposer de chroniques annualisées complètes, rattachées à des ouvrages géolocalisés. Ensuite, une ventilation au pas de temps mensuel, pour les données annualisées, a été proposée (une attention particulière a été portée sur la période estivale où les usages pour l'irrigation mais également les usages AEP, dans un territoire très touristique, sont importants).

Pour le calage du modèle, les chroniques piézométriques, les mesures ponctuelles de niveaux dans les nappes, les chroniques de débits de cours d'eau et des jaugeages ponctuels ont été collectés. Pour les nappes, 232 points d'observation disposant a minima d'une mesure ont été répertoriés, tandis que seuls 20 ouvrages disposent d'un suivi continu. Pour les cours d'eau, 42 stations disposent d'une à plusieurs mesures de débits, dont 13 avec des suivis en continu.

Un premier calage en régime transitoire, au pas de temps mensuel, pour la période 2010-2018, a été initié. Celui-ci montre déjà des résultats intéressants dans certains secteurs. Enfin, afin de montrer le potentiel de ce type de modèle, des premières exploitations ont été proposées à titre d'exemple. Ces dernières ne doivent être utilisées que dans ce strict objectif. Il convient donc de poursuivre le calage du modèle afin que celui-ci soit plus robuste et que l'outil puisse être pleinement utilisé par le SIBA, afin de l'aider à répondre à certaines de ses missions. Plusieurs axes d'amélioration ont déjà été évoqués, ils concernent :

- le calage des propriétés hydrodynamiques (perméabilité et coefficients d'emmagasinement), avec des efforts prioritaires à porter sur la nappe du Plio-Quaternaire, dans les zones à enjeux. À ce titre, les résultats des interprétations des pompages d'essai pourront contrairement davantage le calage du modèle,
- une révision pour certains cours d'eau des paramètres qui régissent les échanges "nappes-rivières", mais aussi, pour le canal des Landes, une prise en compte des écluses suite aux échanges ayant eu lieu avec le SIBA,
- une densification des données de suivis piézométriques et de cours d'eau. Celle-ci passe par une mise à jour des données actuelles pouvant permettre de disposer d'au moins trois ans de données supplémentaires. Il s'agira également d'intégrer les données collectées depuis 2018, par le SIBA, soit dans le cadre de campagnes piézométriques, permettant de disposer de données d'observation du niveau piézométrique sur un maillage plus important du territoire, soit de l'acquisition continue de données d'ouvrages permettant de densifier le réseau de chroniques d'ouvrages.

Ces améliorations ne seront pertinentes que si elles sont accompagnées d'une vérification des données d'entrée et de sortie du modèle (celles déjà intégrées ou à venir), portant principalement sur la validation des nivellements des niveaux piézométriques d'ouvrages et de l'affectation au bon aquifère des données d'observation.

6. Bibliographie

Alios Ingénierie (2018) - Etude hydrogéologique du Lac Vert à Biganos - SIBA.

André L., Cabaret O., Douez O., Saplaïroles M. et Wulleumier A. (2019) - Projet GAIA. Année 4. Avancement des volets hydrogéologique et hydrogéochimique. Rapport d'étape. BRGM/RP-69126-FR, 121 p., 82 ill., 12 ann.

AnteaGroup (2019) - Contribution à la connaissance des relations nappes du Plio-Quaternaire / Eaux superficielles - Rapport d'avancement fin août 2019 - A 100176/A. Volet 1 - Phases 2 & 3

Barrière J. et Saltel M. (2017) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Plio-Quaternaire - Relations nappes / rivières / étangs. Convention Régionale Eaux Souterraines 2015-2020. Module 3.2 - Année 1. Rapport final.

Barthelemy Y. et Seguin J.-J. (2016) - Modélisation maillée des écoulements souterrains - Principes, démarche et recommandations. Rapport final. BRGM/RP-62549-FR, 140 p., 50 ill., 2 tabl. et 3 ann.

Baudon C., Dion A. et Dubois D. (2018) - Etat des lieux hydrogéologique sur le canal des landes. Rapport d'étude ENSEGID, 41p.

Corbier P. (2012) - Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine - Reconnaissance des potentialités aquifères du Mio-Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne et du Médoc en relation avec les SAGE - Module 6 - Année 3 - BRGM/RP-61303-FR, 112 pages, 59 figures, 5 annexes

Cabaret O., Arnaud L. et Crastes de Paulet F. (2019) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Développement du Modèle Mio-Plio-Quaternaire - Module 1.3 - Année 2. Rapport final. BRGM/RP-68674-FR, 43 p., 29 ill.

Corbier P. et Cabaret O. (2015) - Gestion des Eaux Souterraines en Aquitaine - Reconnaissance des potentialités aquifères du Mio-Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne et du Médoc en relation avec les SAGE - Module 6 - Année 5. Rapport final. BRGM/RP-64983-FR, 79 p., 46 ill., 5 ann.

Corbier P. et Karnay G., avec la collaboration de Bourguin, B. et Saltel, M. (2010) - Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine. Reconnaissance des potentialités aquifères du Mio-Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne et du Médoc en relation avec les SAGE - Module 7 – Année 1. Convention 2008-2013. Rapport final. BRGM/RP-57813-FR, 187 p., 6 ann.

Corbier, P. and Saltel, M. and David, A. (2011) - Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine - Reconnaissance des potentialités aquifères du Mio-Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne et du Médoc en relation avec les SAGE - Module 6 - Année 2. BRGM/RP-60259-FR, 63 pages, 26 figures, 10 annexes

Cabaret O. et Vergnes J.P. (2017) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Développement du Modèle Mio-Plio-Quaternaire - Module 1.3 - Année 1. Rapport final. BRGM/RP- 66846-FR, 33 p., 17 ill.

DIREN (2009a) - Campagnes de jaugeages isolées menées en 2009 en Gironde et Landes en relation avec les affleurements du Plio-Quaternaire et de l'Oligocène - (GI 815), 11 p.

DIREN (2009b) - Campagnes de jaugeages isolés 2008 en Gironde en relation avec les affleurements du Plio-Quaternaire et de l'Oligocène - (GI 815), 8 p.

Douez O., avec la collaboration de Cagnimel-Fischer M. (2018) - MOHYS - Modèle Hydrogéologique du Bassin d'Arcachon. BRGM/RP-67851-FR, 90 p., 68 ill., 2 ann.

Dubreuilh J., Capdeville J.P., Farjanel G., Karnay G. et Platel J.P. (1995) - Dynamique d'un comblement continental néogène et quaternaire : l'exemple du bassin d'Aquitaine. Géologie de la France n°4, pp. 3-26.

GEOLANDES Syndicat Mixte (2006) - Projet de SAGE Etang Littoraux Born et Buch - Dossier de consultation. 80 p., 384 p.

Karnay G. et Corbier P., avec la collaboration de Blanchin R., Jaouën T., Porquet M. et Peter M. (2008) - Reconnaissance des potentialités aquifères du Mio-Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne et du Médoc en relation avec les SAGE. Module 7, année 1. Rapport BRGM/RP-56475-FR, 74 p.

Labat C. (2021) - Fonctionnement hydrogéologique d'un système aquifère multicouche aux abords d'une structure anticlinale : le cas de l'anticlinal de Villagrains-Landiras en Gironde. Thèse de l'Université Bordeaux Montaigne, 250 p.

Pédron N., Platel J.P., Dubreuilh J. et Mauroux B (2002) - Aspects géologiques et hydrogéologiques des connaissances sur les systèmes aquifères mio-plio-quaternaires des Landes de Gascogne - Note BRGM 02 AQI 17, 24 p., 7 fig

SAFEGE, Valorisation du Lac Vert à Biganos en bassin de rétention des eaux pluviales - Avant-projet. 2019

Saltel M., Dewandel B. et Bourbon P. (2018) - Modèle PHONEME : Apport des investigations de terrain - Évaluation de l'impact du champ captant des Landes du Médoc. Rapport final. BRGM/RP-68406-FR, 80 p., 59 fig., 5 ann.

Setec Hydratec (2019a) - révision du Schéma directeur d'assainissement des Eaux Pluviales du Teich - Phase 1a.

Setec Hydratec (2019b) - révision du Schéma directeur d'assainissement des Eaux Pluviales du Teich - Phase 1b.

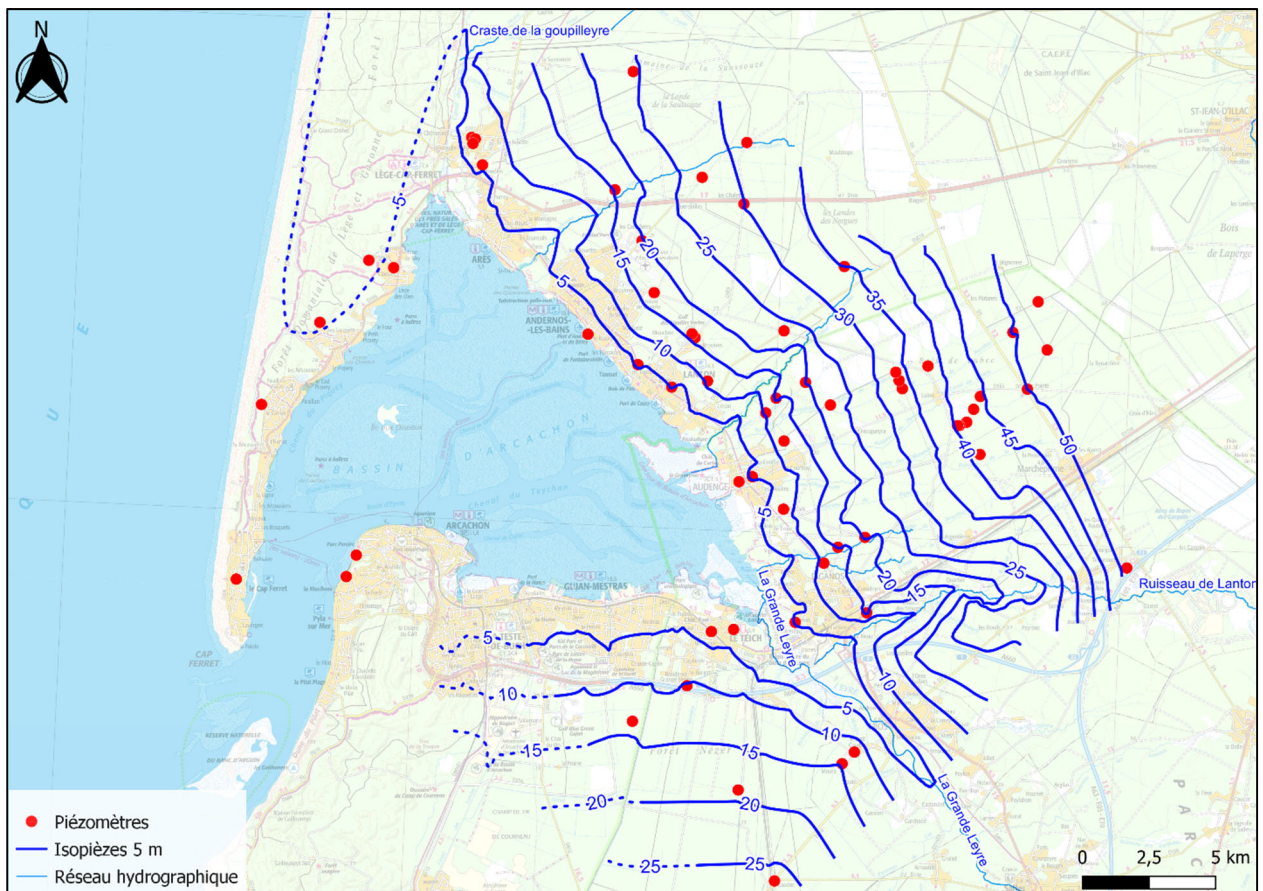
Setec Hydratec (2020) - révision du Schéma directeur d'assainissement des Eaux Pluviales du Teich - Phase 2.

Thiéry D. (2012) - Code MARTHE 7.4 : Couplage Nappe-Rivières et Nappe-Drains. Bilans Hydroclimatiques. Note technique NT EAU 2004/19, 3^{ème} édition, 19 p.

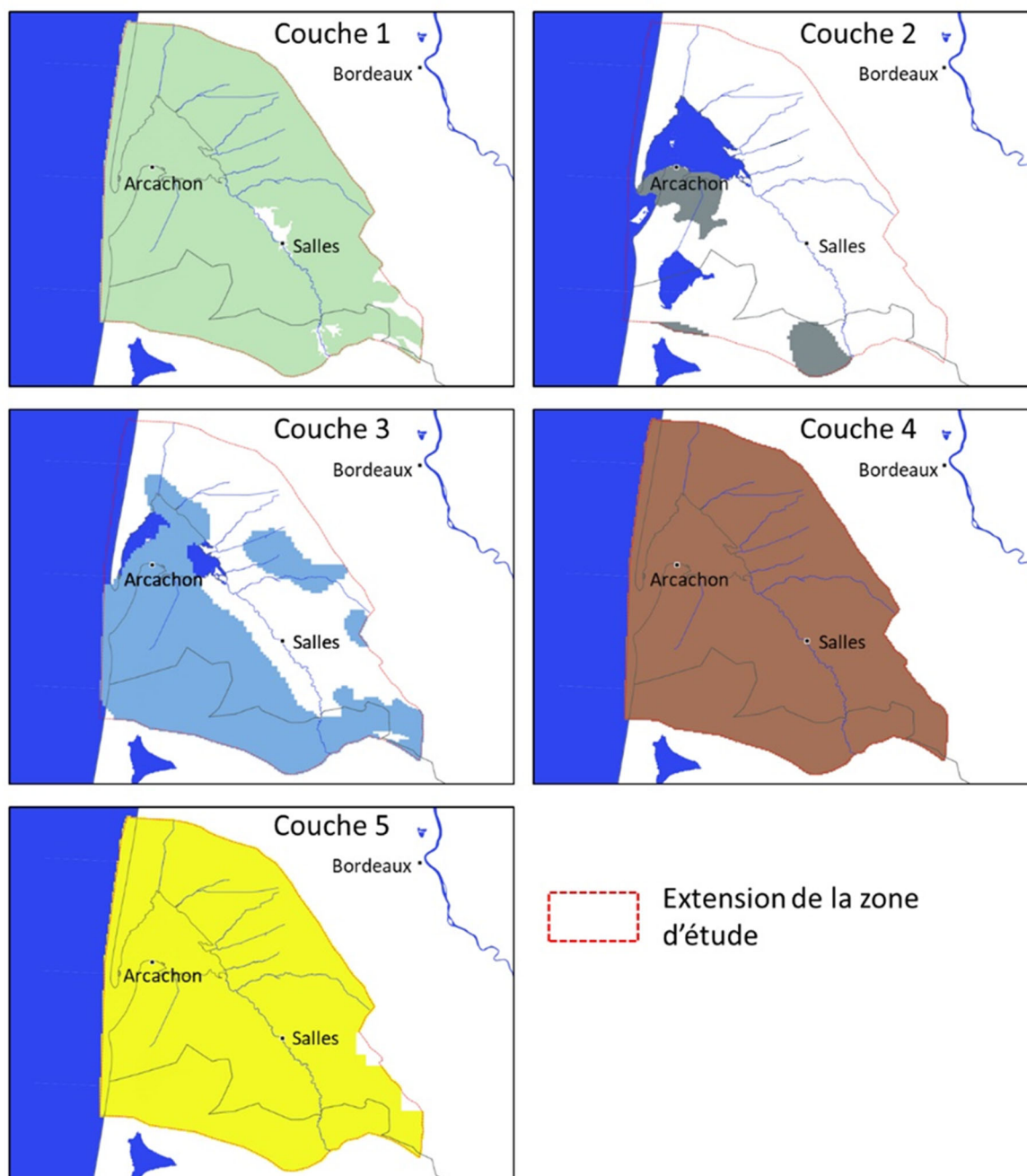
Thiéry D. (2017) - Logiciel GARDÉNIA, version 8.2. Guide d'utilisation. Rapport final BRGM/RP-62797-FR, 116 p., 2 ann.

Thiéry D. (2021) - Code de calcul MARTHE version 7.8 - Modélisation 3D des écoulements et des transferts dans les hydrosystèmes - Notice d'utilisation. Rapport BRGM/RP-69541-FR, 359 p., 166 fig.

Annexe 1 Carte piézométrique de la nappe du Plio-Quaternaire - octobre 2020 (basse eaux)

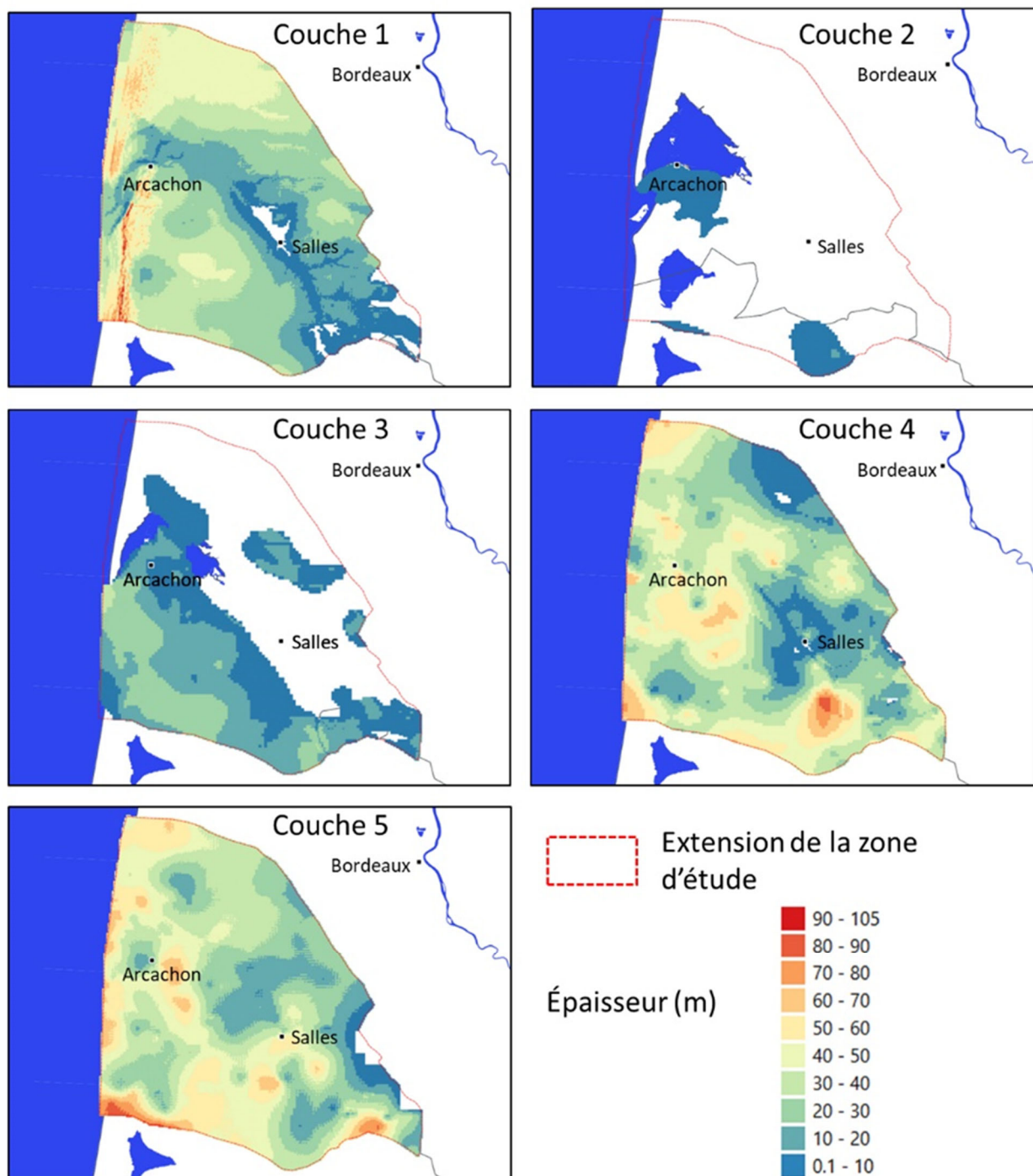


Annexe 2 Extension des 5 couches hydrogéologiques représentées dans le modèle

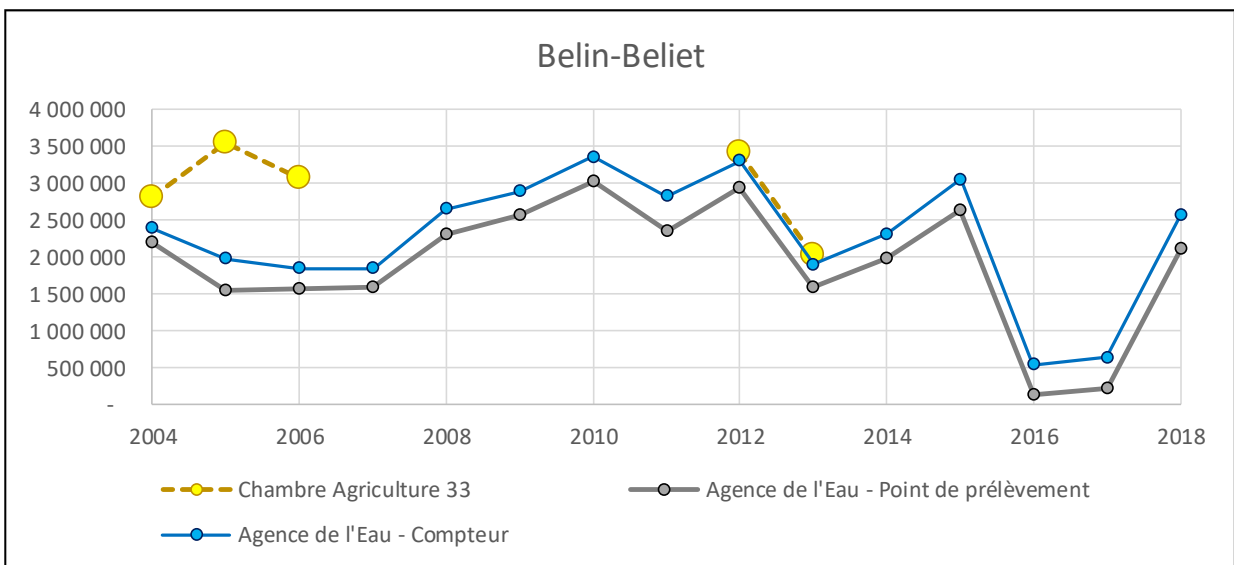
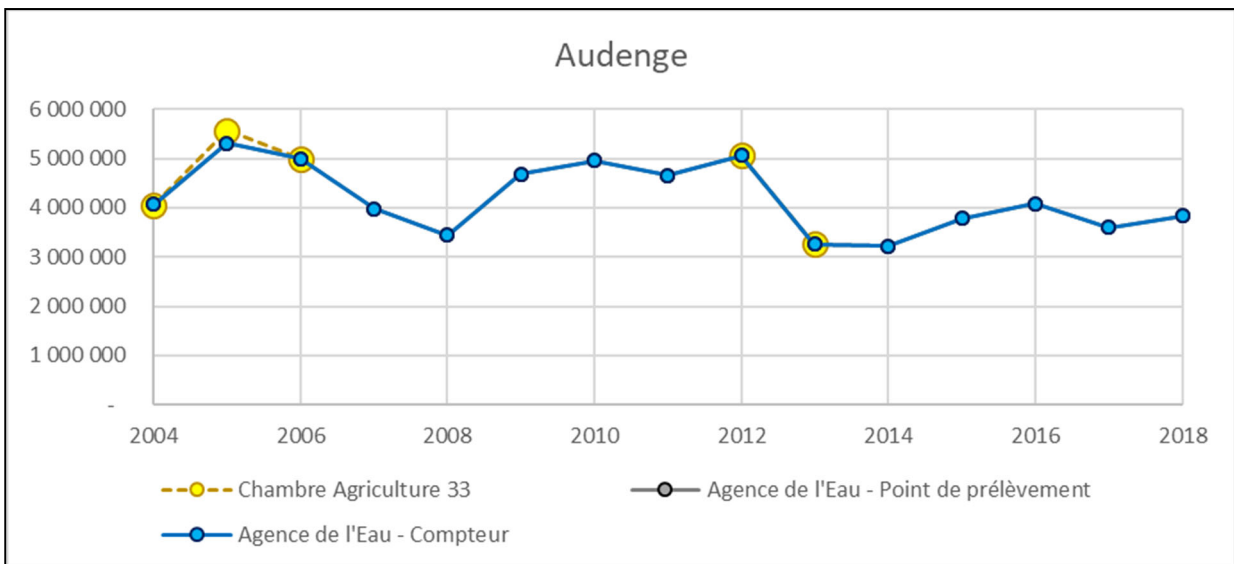
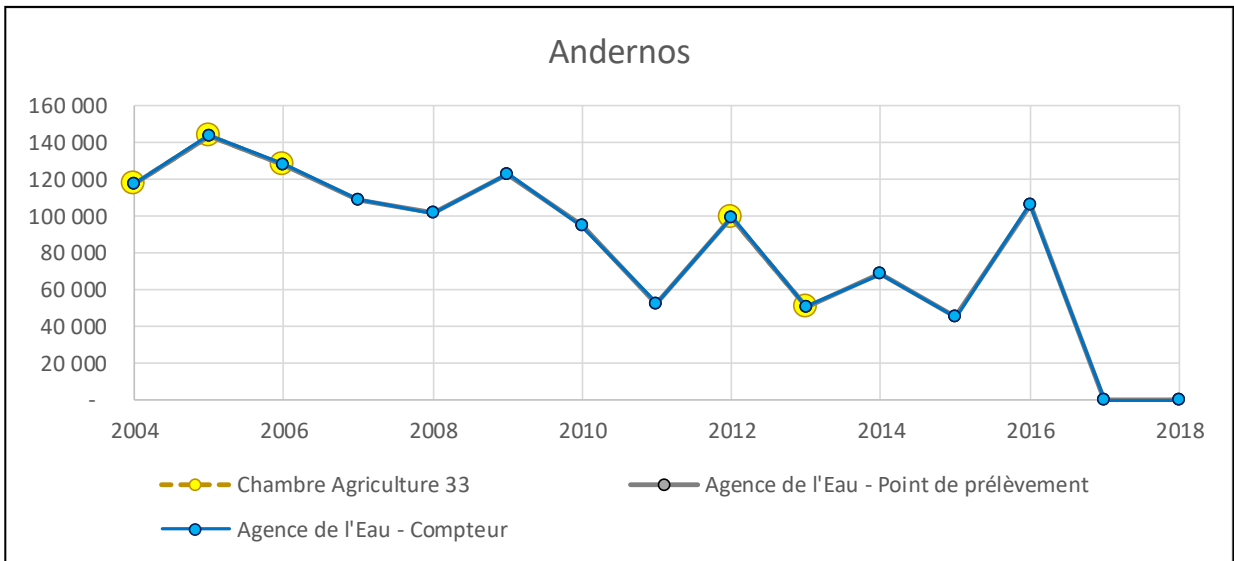


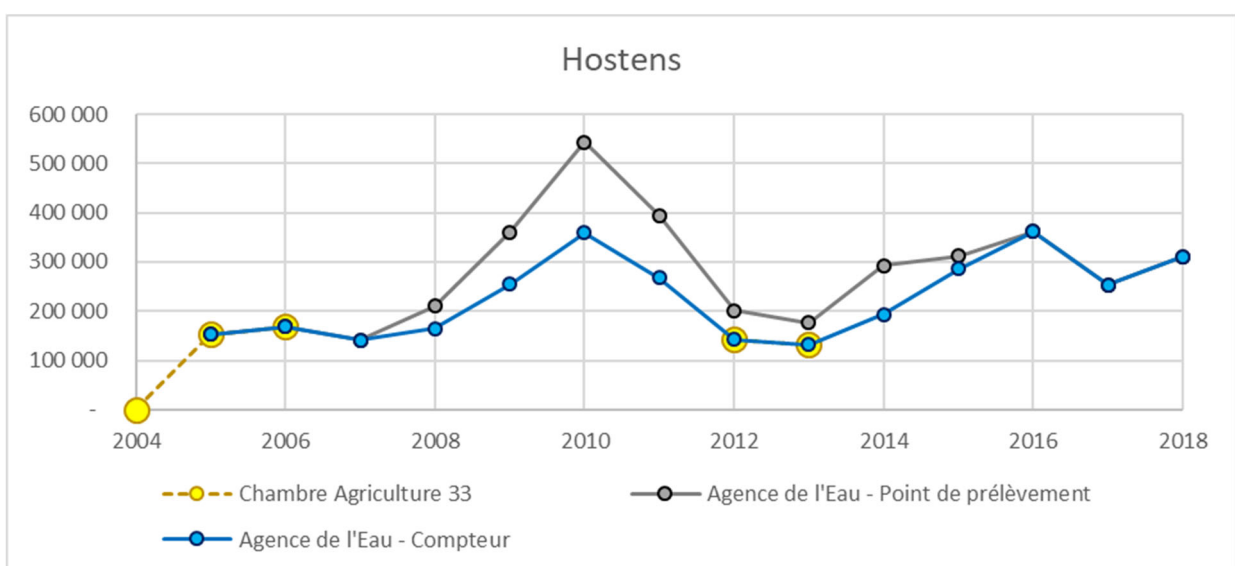
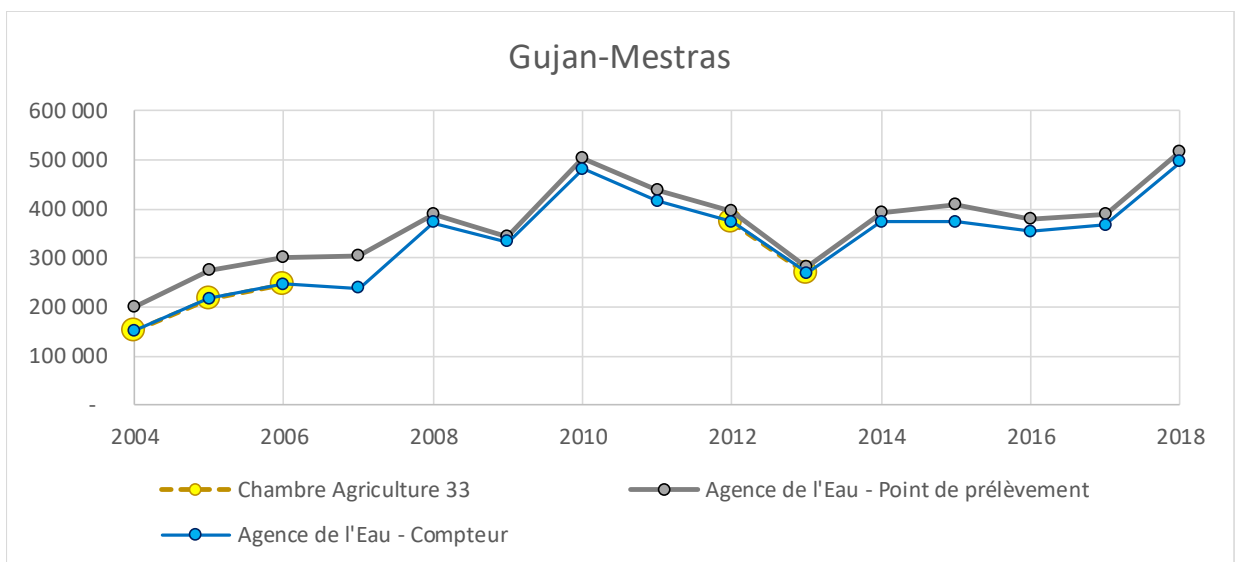
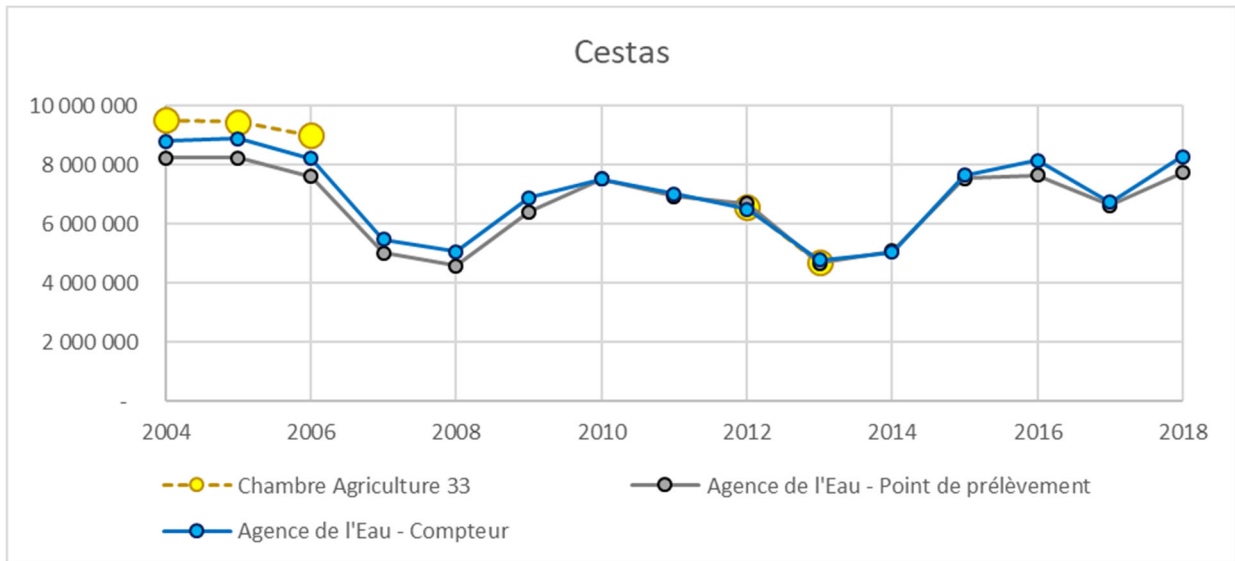
Couche 1 = Aquifères du Plio-quaternaire
Couche 2 = Toit semi-perméable d'Arengosse
Couche 3 = Aquifère d'Arengosse
Couche 4 = Toit semi-perméable (Gliases bigarrées et Sables fauves semi-perméables)
Couche 5 = Aquifères sous-jacents

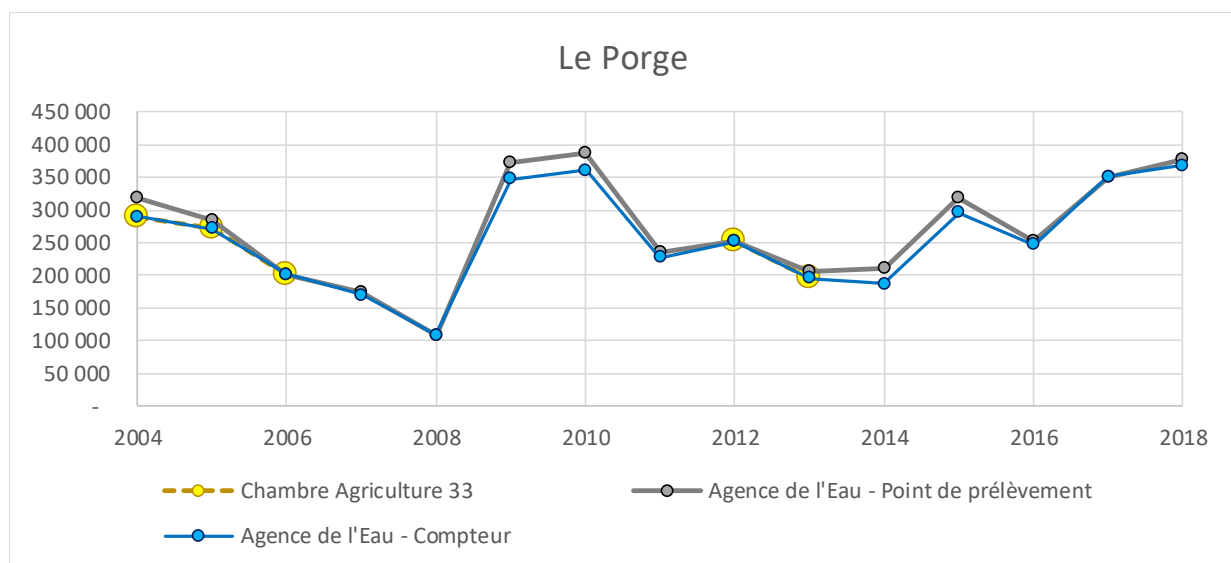
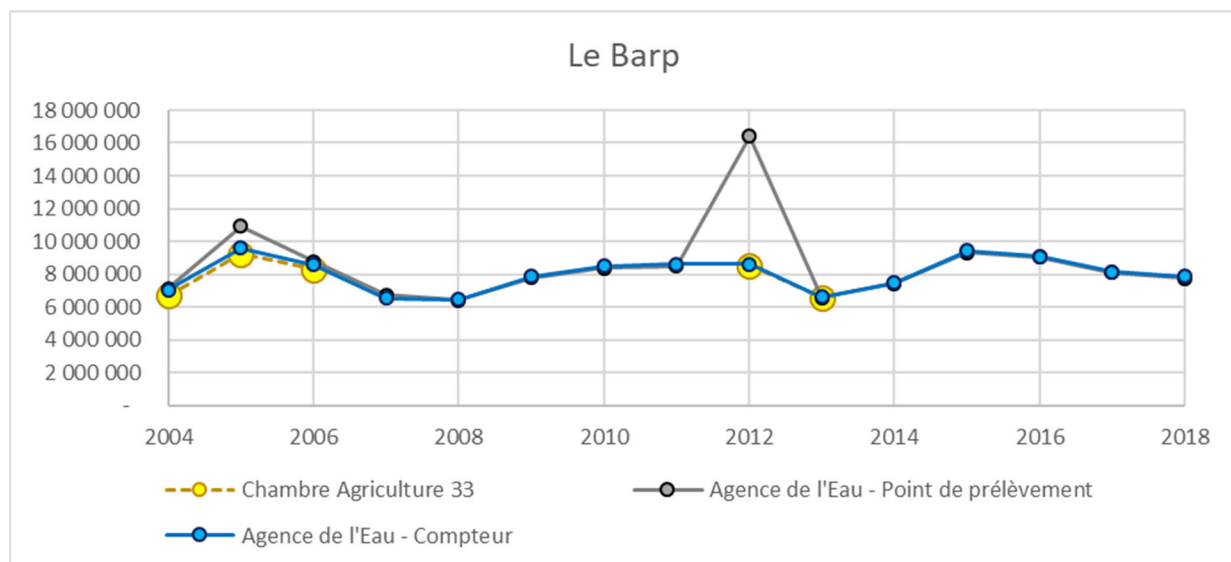
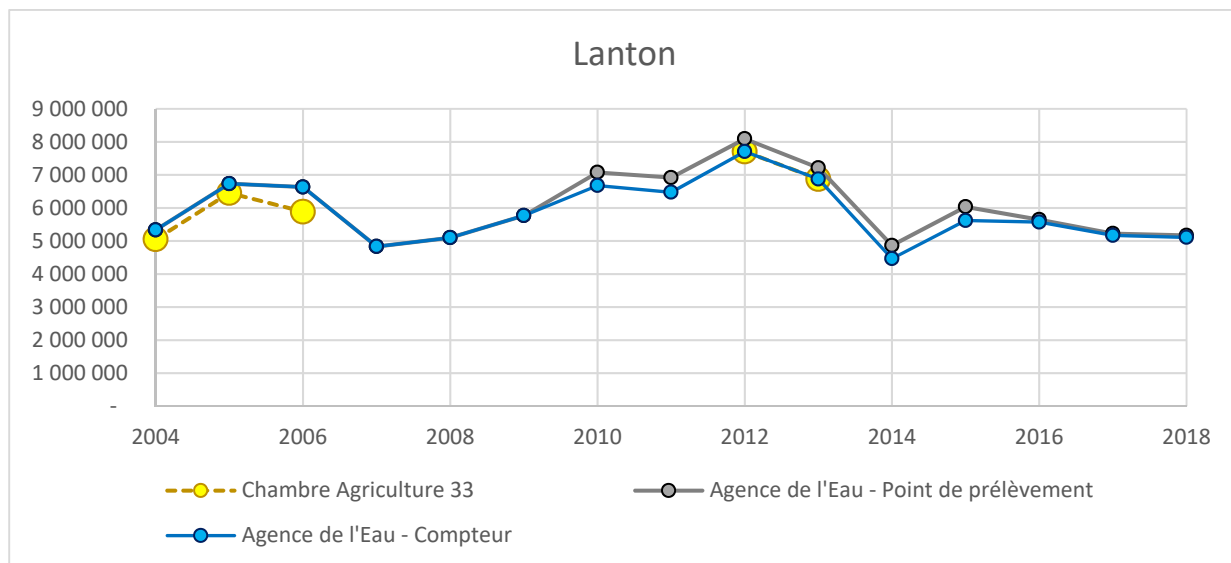
Annexe 3 Épaisseurs des 5 couches représentées dans le modèle

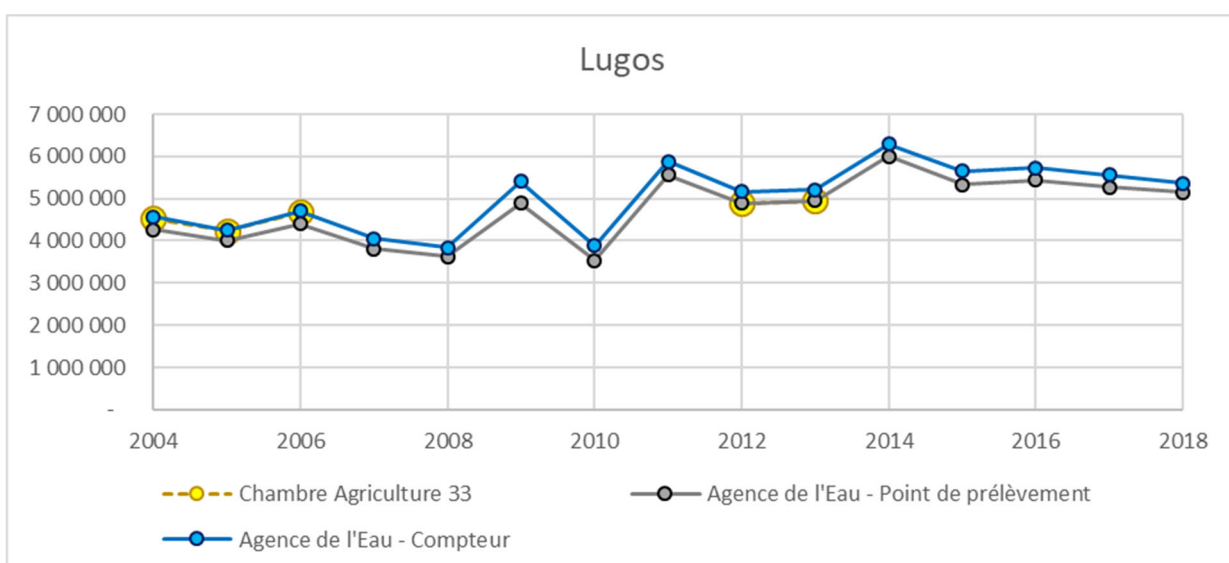
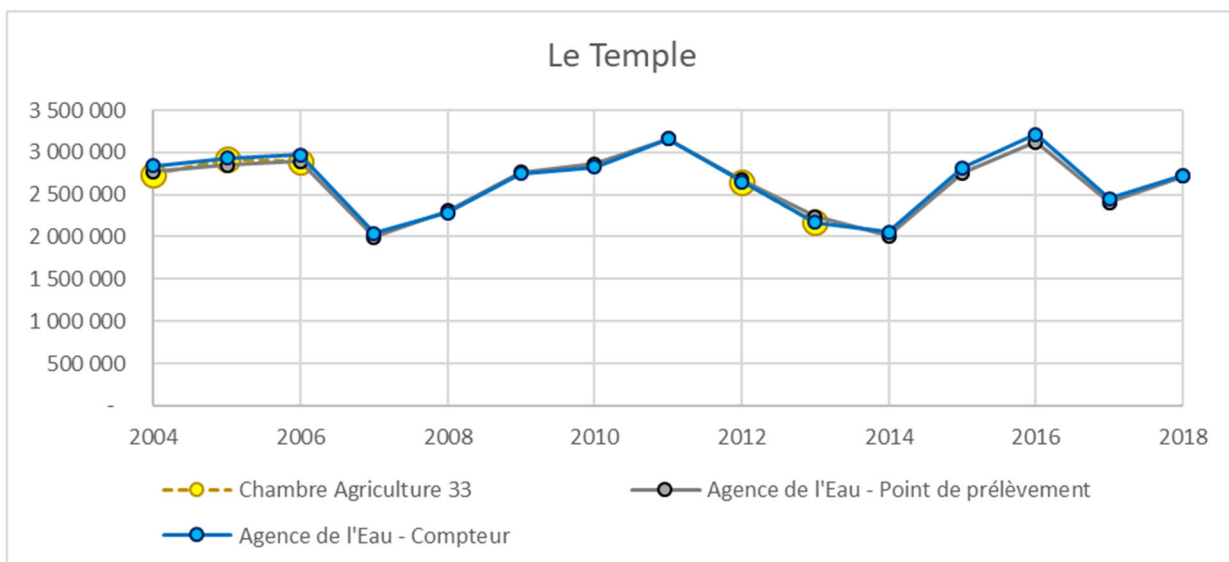
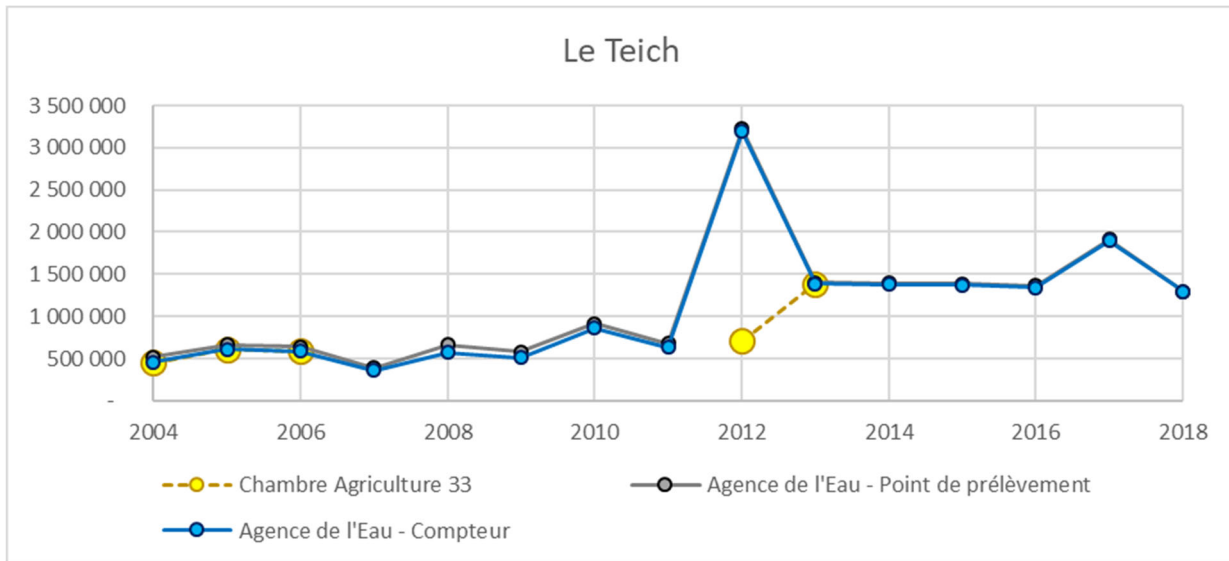


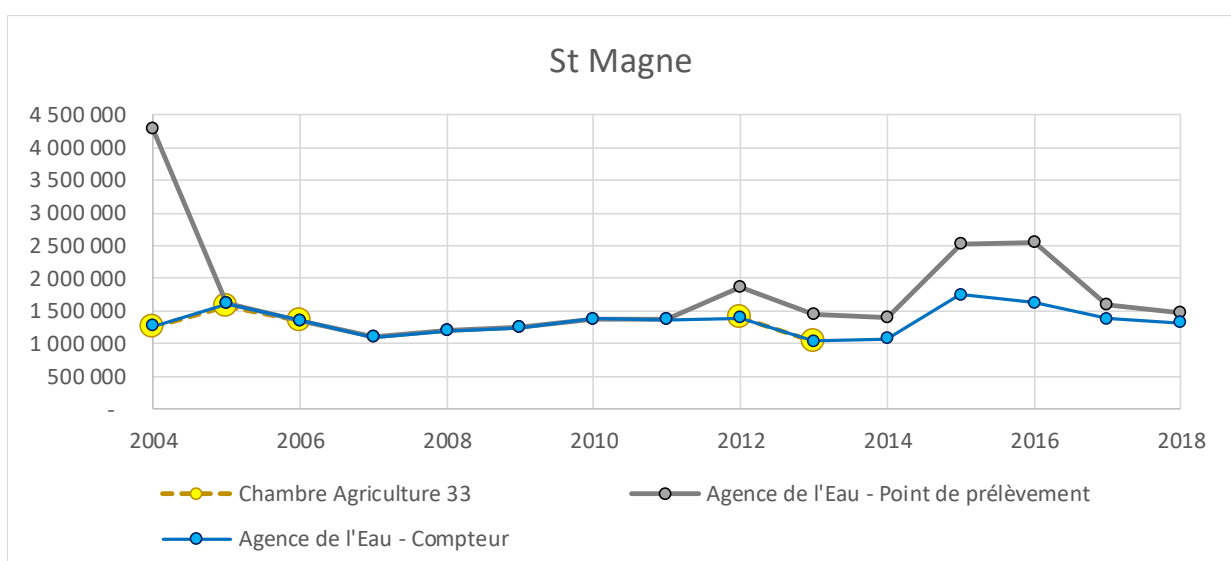
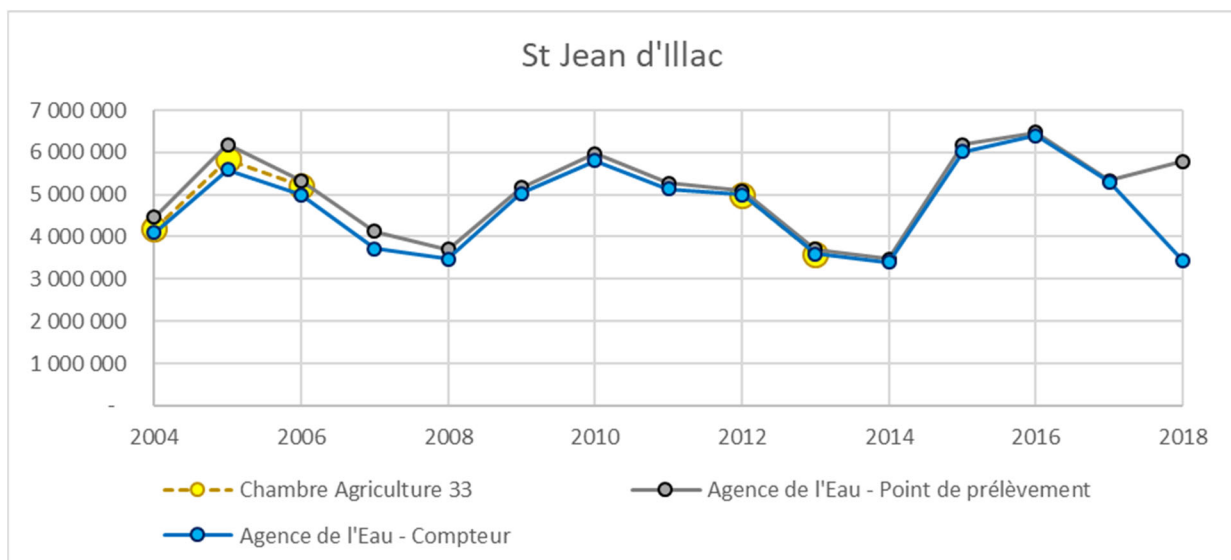
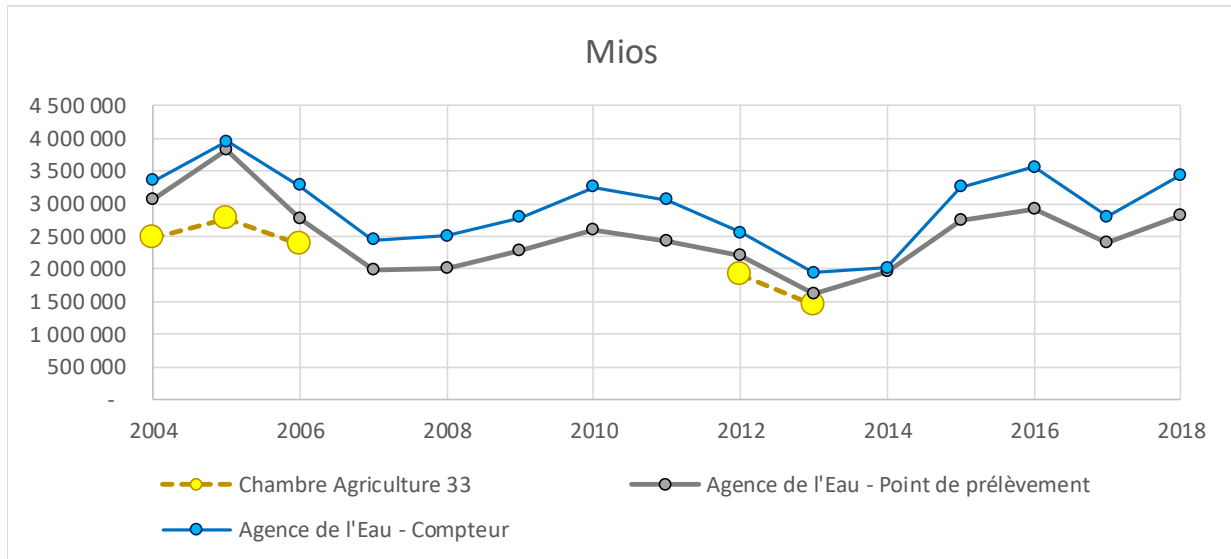
Annexe 4 Comparaison des volumes annuels (m³) fournis par l'Agence de l'Eau et la Chambre d'agriculture de Gironde

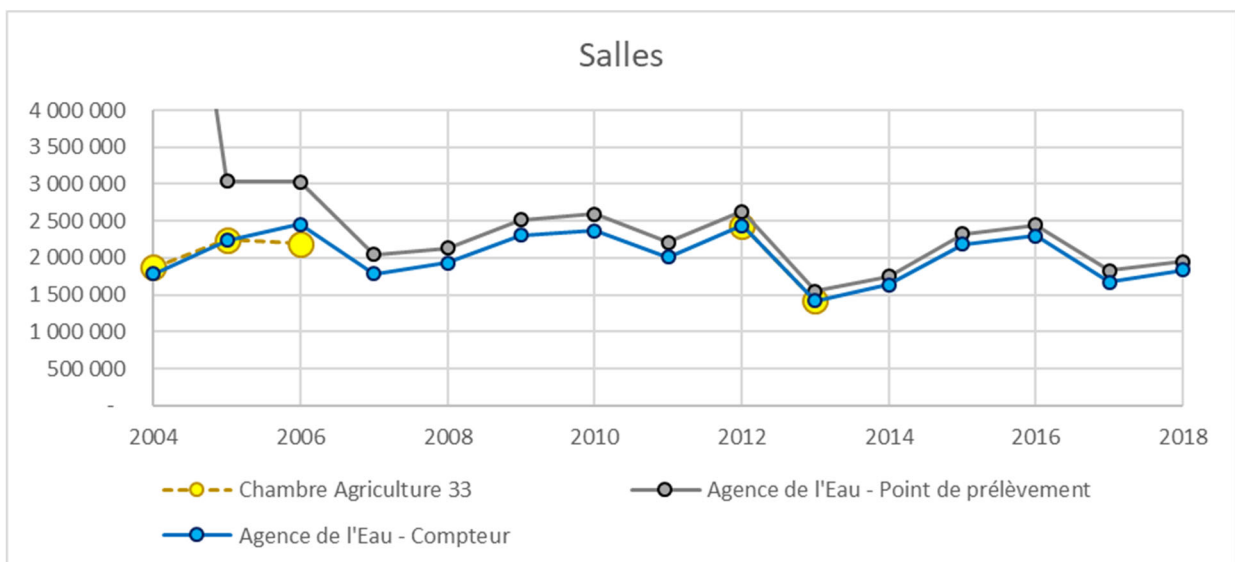
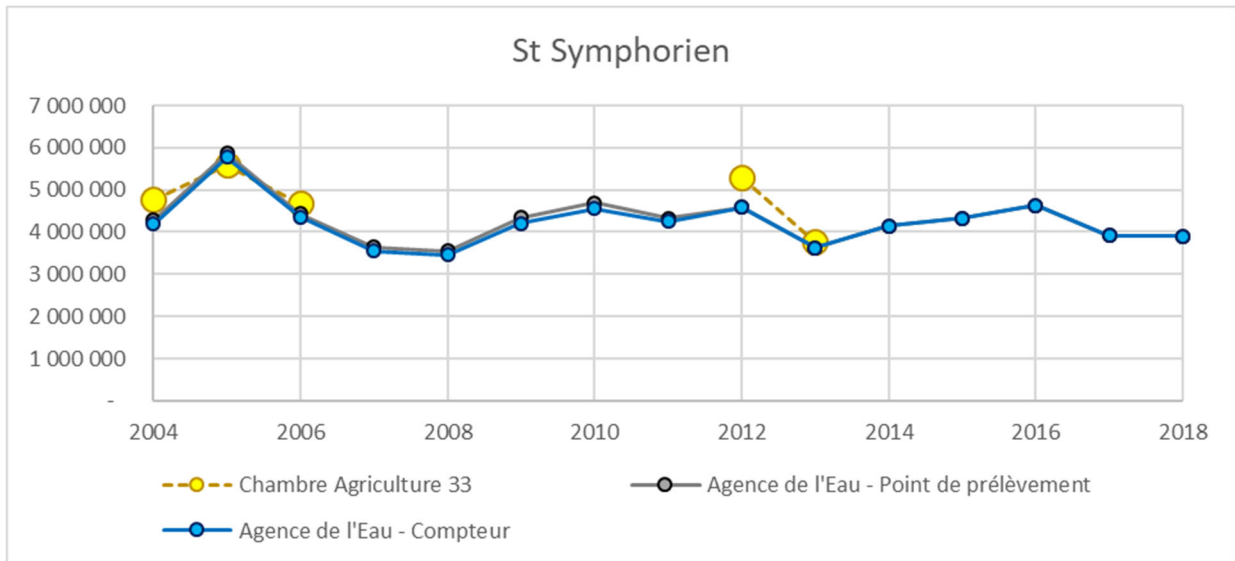












Annexe 5 Sollicitation du SIBA à propos des fluctuations observées sur le Lac Vert, à Biganos

Lors des phases d'acquisitions de données, le SIBA a sollicité le BRGM pour examiner les données de suivi sur le site du Lac Vert, à Biganos. Sur ce site, le SIBA observe en effet des fluctuations de niveau singulières et dispose de données de suivi consistantes, susceptibles d'apporter des informations complémentaires sur la compréhension hydrogéologique du secteur.

Selon les rapports fournis, les investigations conduites dans le secteur du Lac Vert sont les suivantes :

- Alios Ingénierie (2018) :

- réalisation d'un forage de 7,1 mètres de profondeur (08 mars 2018), en bordure nord-ouest du Lac Vert,
- essais hydrauliques : pompage par paliers (13 mars 2018) et pompage longue durée (14 mars 2018) ;

- SAFEGE (2018) :

- sondage à la tarière (15 octobre 2018) à 1,2 mètre de la bordure ouest du Lac Vert,
- mise en place du dispositif de "suivi piézométrique" du Lac Vert ; les modalités de suivi ne sont pas détaillées,
- suivi des niveaux du lac (pas de temps 30 minutes) et de la nappe (pas de temps de 12 heures) du 5 juin au 4 octobre 2018,
- suivi des niveaux du lac et de la nappe (pas de temps de 30 minutes pour les deux) du 15 octobre au novembre 2014.

D'autre part, certaines données de suivi ont été mises à disposition par le SIBA :

- suivi de la hauteur d'eau du Lac Vert du 8 mars au 22 mars 2018, par sonde à ultrasons ;
- suivi de la hauteur d'eau du Lac Vert du 5 juin au 4 octobre 2018, par capteur de pression ;
- suivi du niveau piézométrique du 4 avril au 20 novembre 2018, par capteur de pression absolue (+ suivi barométrique) ; le point de suivi n'est pas précisé.

Durant les essais conduits en mars 2018, les mesures dans le Lac Vert sont bruitées, du fait vraisemblablement du clapot (sonde de mesure à ultrasons). D'autre part, une première valeur de transmissivité à $3,3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ est fournie, mais l'interprétation est peu calée en début de pompage et début de remontée.

Les suivis de niveau, effectués à partir de juin 2018, dans le Lac Vert montrent, outre les tendances liées au climat, des fluctuations quotidiennes de 2-3 cm (Illustration 75). Les suivis de niveaux piézométriques s'effectuant à pas de temps plus lâche (2 mesures quotidiennes), ils ne permettaient pas de vérifier si la nappe était également affectée par ces fluctuations.

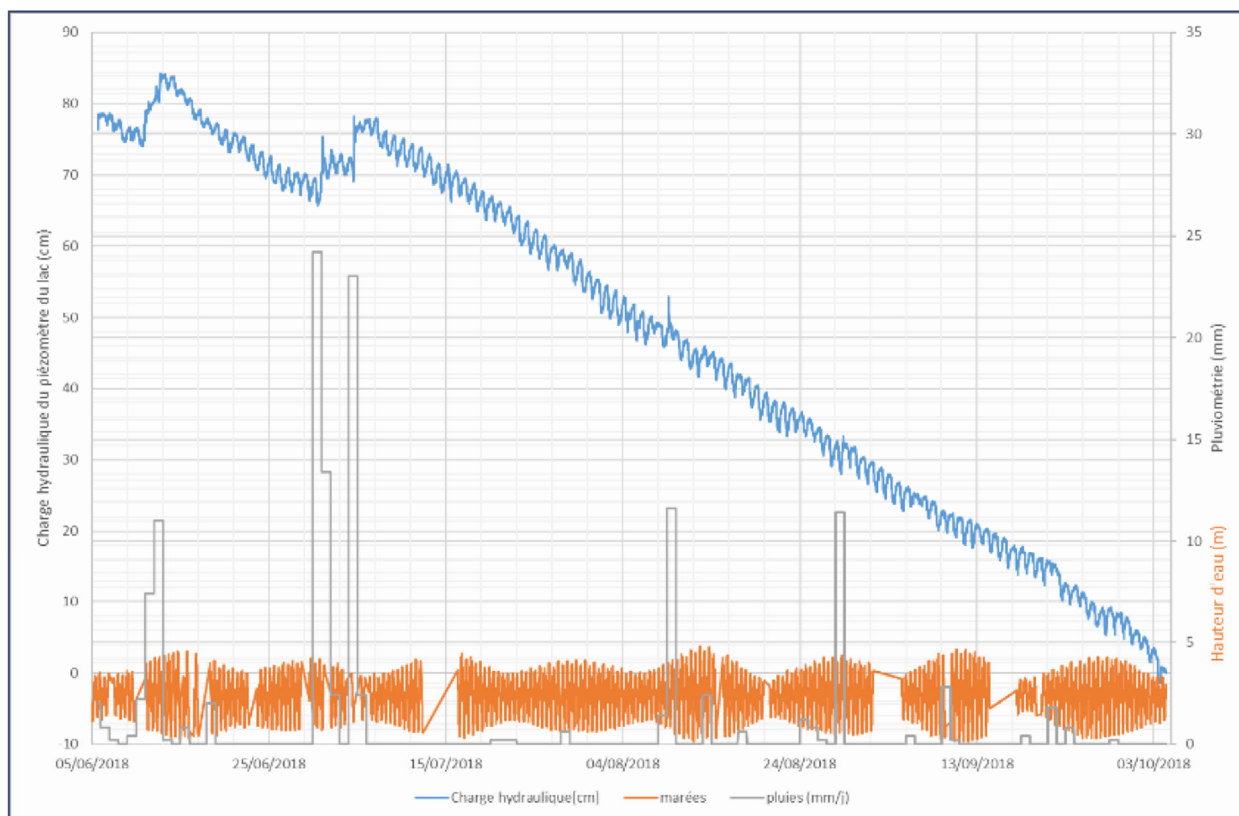


Illustration 75 - Suivis du niveau du Lac Vert (en bleu), de la pluviométrie (en noir), du niveau du Bassin d'Arcachon (en orange) de juin à octobre 2018 (SAFEGE, 2019)

Face à ce constat, un suivi plus « resserré » a été effectué en octobre et novembre 2018, dans le lac et un piézomètre voisin, avec un pas de temps de 30 minutes. Le piézomètre utilisé n'est pas précisé dans le rapport, il peut seulement être supposé qu'il s'agit du piézomètre situé à 18 mètres du plan d'eau, à l'aval hydraulique (ouest).

Les deux suivis montrent également ces fluctuations quotidiennes, de l'ordre de 2 cm (Illustration 76).

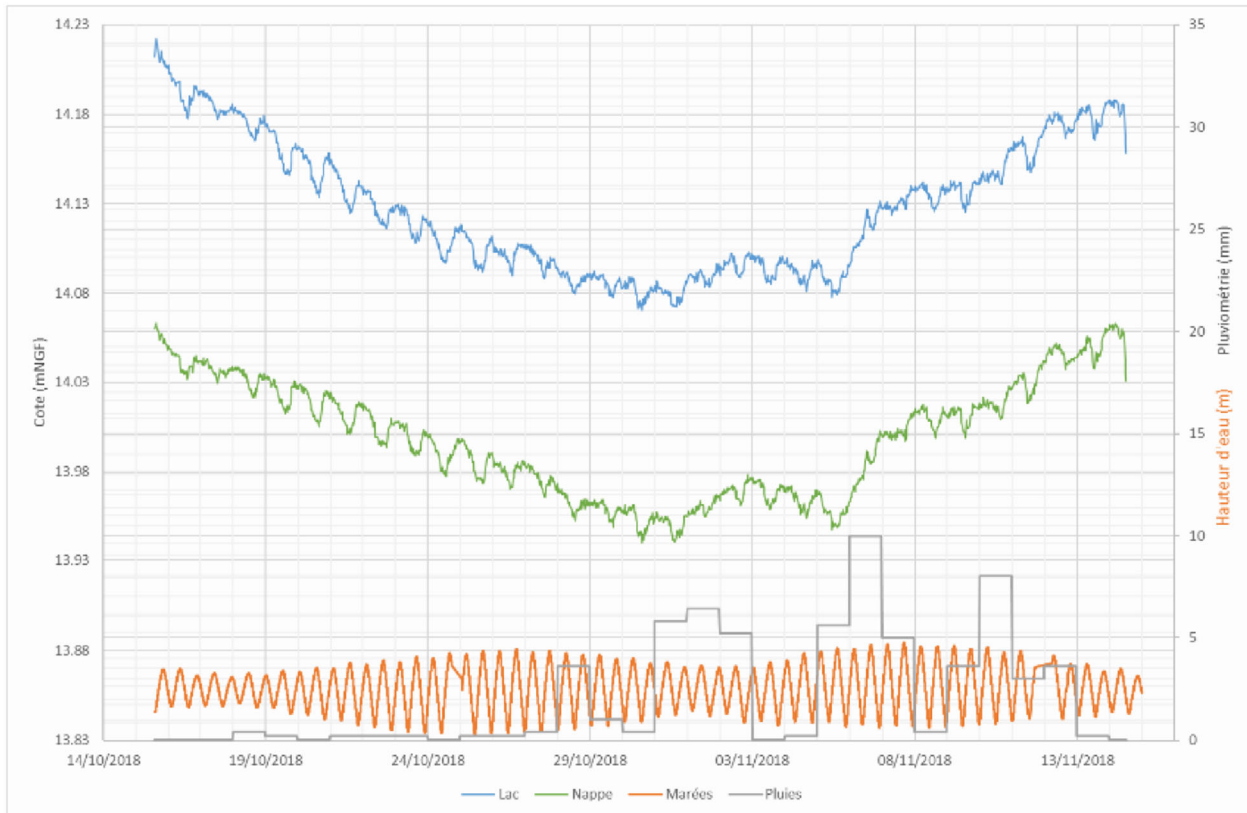


Illustration 76 - Suivis du niveau du Lac Vert (en bleu), de la piézométrie de la nappe libre (en vert), de la pluviosité (en noir) et du niveau du Bassin d'Arcachon (en orange), en octobre et novembre 2018 (SAFEGE, 2019)

Sur la base des observations fournies dans les rapports, les constats suivants peuvent être établis :

- la fréquence est établie à une seule fluctuation par jour : le phénomène n'est pas lié à la marée ;
- l'aspect des variations suggère une influence anthropique :
 - o valeurs hautes la nuit, valeurs basses le jour,
 - o la courbe n'a pas l'aspect d'une sinusoïde, les paliers jour / nuit sont plutôt francs,
- toutefois aucune différence n'est discernable entre les jours de semaine et les week-ends ;
- si c'est une influence de pompage, elle implique une diffusivité élevée de l'aquifère, et un prélèvement très proche :
 - o les variations sont brutales et ne s'étalent pas sur des courbes de descente / remontée de plusieurs heures à chaque cycle,
 - o les variations seraient quasi-synchrones entre le piézomètre et le plan d'eau, avec des amplitudes visiblement similaires.

Il faut garder en mémoire que la superficie du bassin est de 60 000 m² : 2 cm de hauteur d'eau représentent une capacité de 1 200 m³ ; si on envisage un artefact lié au matériel :

- un défaut de compensation barométrique est à exclure, car le suivi sur plusieurs semaines ne montre pas de grande fluctuation liée à la météo,

- des effets liés à la température extérieure seraient également à exclure, car il n'est pas observé de différence pour les amplitudes de variation entre les mesures estivales et les mesures par temps pluvieux (couvert nuageux supposé).

A ce stade, il n'a pas été possible d'identifier l'origine des fluctuations observées. Il est également apparu que les variations observées n'ont pas fait l'objet de confirmation par des mesures manuelles : la priorité serait par conséquent de pouvoir confirmer ces observations de façon manuelle. Si des mesures manuelles viennent étayer le constat, une instrumentation du niveau du lac sera à effectuer. Il pourra être envisagé, par le SIBA, de suivre en parallèle le niveau de la nappe au voisinage du lac pour préciser les influences réciproques entre ces deux milieux.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 - Orléans Cedex 2 - France

Tél. : 02 38 64 34 34

Direction régionale Nouvelle-Aquitaine -site de Bordeaux

Parc Technologique Europarc

24, Avenue Léonard de Vinci 33600 - Pessac - France

Tél. : 05 57 26 52 70

www.brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm