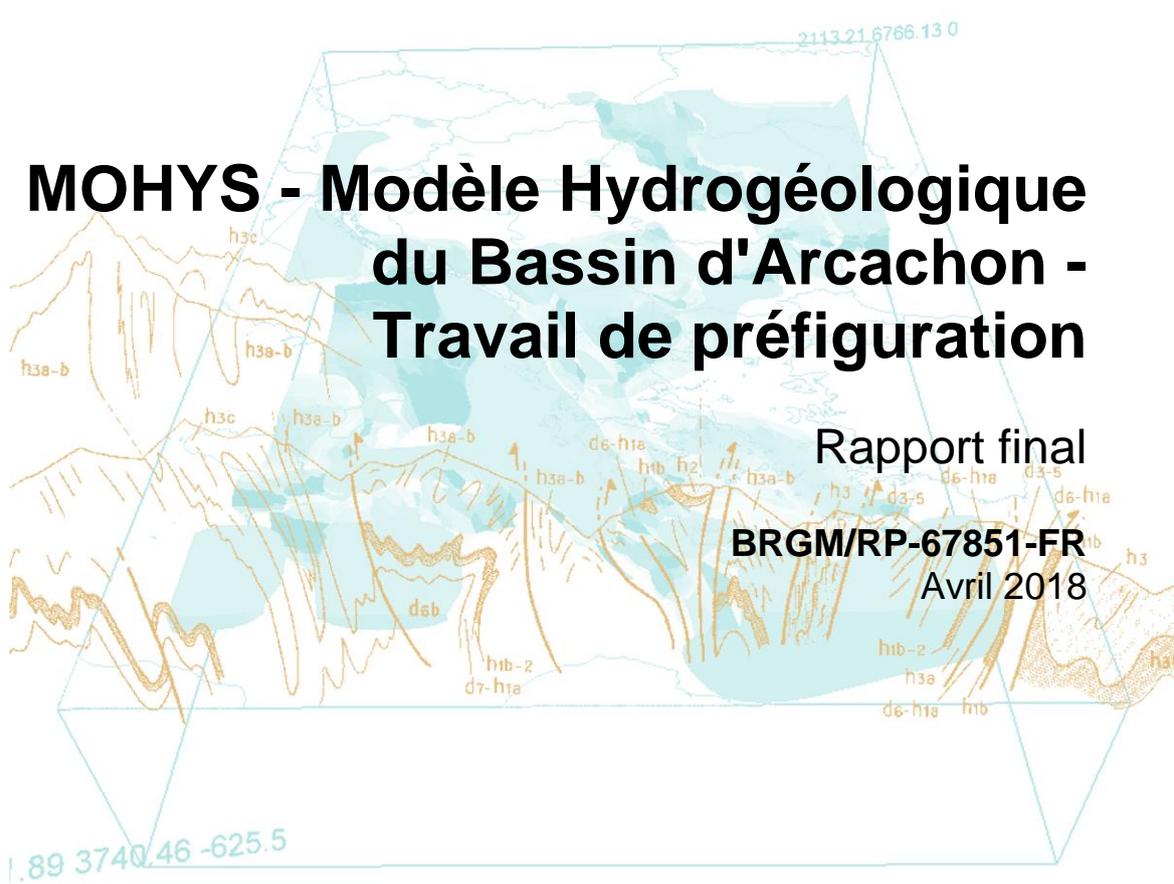


Document public



MOHYS - Modèle Hydrogéologique du Bassin d'Arcachon - Travail de préfiguration

Rapport final
BRGM/RP-67851-FR
Avril 2018

MOHYS - Modèle Hydrogéologique du Bassin d'Arcachon - Travail de préfiguration

Rapport final

BRGM/RP-67851-FR
Avril 2018

Étude réalisée dans le cadre du projet
de Service public du BRGM AP17BDX046

O. Douez
avec la collaboration de
M. Cagnimel-Fischer

Vérificateur :

Nom : Jérôme BARRIERE

Fonction : Ingénieur hydrogéologue

Date : 17/04/2018

Signature :



Approbateur :

Nom : Nicolas PEDRON

Fonction : Directeur BRGM Nouvelle-
Aquitaine

Date : 09/07/2018

Signature :



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

Contact : qualite@brgm.fr

Mots-clés : Arcachon, aquifères superficiels, cours d'eau, drainage, quantité, qualité, données, modélisation

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

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

© BRGM, 2018, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA) qui exerce ses compétences sur les communes riveraines du Bassin d'Arcachon a notamment en charge la gestion des eaux usées et des eaux pluviales. Le SIBA souhaite avoir une meilleure connaissance du contexte hydrogéologique local en particulier des nappes superficielles (Plio-Quaternaire) et leurs relations avec le réseau de drainage. Cela constitue un enjeu important pour répondre aux différentes problématiques suivantes :

- gestion des eaux de surface (drainage, infiltration etc.),
- gestion des entrées d'eaux parasites sur le système séparatif d'assainissement des eaux usées,
- aptitude des sols à l'assainissement autonome.

Pour aider à répondre à ces problématiques, le SIBA souhaite se doter à terme d'un outil de modélisation hydrogéologique prenant en compte le réseau de drainage.

Afin d'amorcer ce travail de modélisation, une première étude (qui fait l'objet d'une partie de ce rapport) a été initiée afin de synthétiser l'ensemble des données, existantes sur le secteur, nécessaires à la réalisation d'un modèle hydrodynamique avec prise en compte des cours d'eau.

Une synthèse bibliographique de différents rapports (BRGM, SIBA, bureau d'études) et de bases de données (locales, régionales et nationales) a permis de récupérer l'ensemble des informations connues sur les thématiques suivantes :

- géologie : géométrie des formations et faciès,
- hydrogéologie : piézométrie des nappes, chroniques piézométriques, paramètres hydrodynamiques, qualité,
- hydrologie : réseau hydrographique (caractérisé par sa géométrie - largeur, longueur et profondeur - débits, niveaux...), qualité,
- topographie : hauteur du sol,
- climatologie : pluviométrie et évapotranspiration,
- pédologie : carte des sols et réserve utile,
- prélèvements sur les nappes et les eaux de surface : pour l'alimentation en eau potable (AEP), l'irrigation et autres (industrie, particuliers...),
- rejets : station d'épuration, etc,

Sur la base des données récoltées, des investigations ciblées sont donc proposées car nécessaires pour le développement d'un futur outil de modélisation fiable :

- cartographies piézométriques synchrones, *a minima* en basses et hautes eaux et détaillées sur les secteurs à enjeux,
- acquisition de données continues des niveaux piézométriques (8 ouvrages sur les secteurs à disposer sur les zones à enjeux),
- acquisition de données piézométriques continues sur différents transects perpendiculaires au littoral, sur une durée de quelques mois, afin de mettre en évidence l'amortissement du signal de marée sur le niveau de nappe,

- mesures de paramètres hydrodynamiques (perméabilité et/ou transmissivité et emmagasinement) par essais de pompage sur les secteurs à enjeux,
- nivellements ponctuels sur les cours d'eau (cote de fond de rivière et hauteur d'eau) nécessaires à la prise en compte fine des échanges nappes rivières dans le modèle.

En parallèle, le modèle régional plio-quadernaire existant dans sa configuration actuelle (calé en régime permanent) a été exploité, afin de fournir des premiers éléments à l'échelle macroscopique sur les niveaux de nappes : hauteur en m NGF et profondeur. Les données ont ensuite été retraitées à la maille de 25 mètres, tout en énonçant les limites de l'exercice (descente d'échelle de données à la maille de 500 mètres à 25 mètres).

Ces cartographies, qui présentent un premier aperçu des secteurs où le niveau de nappe est sub-affleurant et les zones où celui-ci est plus profond, indiquent que les communes de Gujan-Mestras, Le Teich, Audenge (partie ouest à proximité du bassin), Biganos (ouest) et Lège-Cap-Ferret (nord Bassin d'Arcachon) sont celles qui présentent les plus grandes surfaces avec un niveau de nappe sub-affleurant.

Afin d'avoir plus de précision, un travail a été amorcé à partir du LIDAR fourni par le SIBA. Malheureusement des différences notables (quelques dizaines de centimètres à plusieurs mètres) entre les données du MNT utilisées, dans le cadre du modèle, et le LIDAR ont été constatées, ne permettant pas au final de produire des cartographies satisfaisantes.

Sur cette base, un début de réflexion a été initié concernant le modèle et ses futures caractéristiques :

- extension : l'extension du modèle correspondra aux limites du bassin versant alimentant le Bassin d'Arcachon, éloigné de quelques kilomètres, afin de maximiser la distance des conditions aux limites. L'ensemble des bassins versants des petits cours d'eau sera ainsi pris en compte. Pour le bassin de la Leyre, la prise en compte du débit en limite du modèle sera fonction des débits mesurés sur la Grande Leyre et la Petite Leyre ;
- nombre de couches : basé sur une simplification du modèle géologique du secteur, le modèle devrait comporter au maximum 5 couches ;
- maillage : le réseau de drainage structurant devant être pris d'une façon assez exhaustive sur les zones à enjeux dans le modèle, le maillage sera plus fin (maille de 50 mètres et de 100 mètres entre différents secteurs) que sur le reste du modèle qui sera basé sur le maillage actuel du modèle plio-quadernaire (maille de 500 mètres).

Le modèle sera développé sous le code de calcul MARTHE (Modélisation d'Aquifères par maillage Rectangulaire en régime Transitoire pour le calcul Hydrodynamique des Ecoulements) développé par le BRGM [Thiéry (2015)]. 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.

Ce premier travail a donc permis de faire le bilan des informations disponibles et d'échanger sur les besoins du SIBA afin d'amorcer l'acquisition de données supplémentaires de données et d'esquisser les contours techniques du modèle qui sera développé.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Zone d'étude et contexte	11
2.1. ZONE D'ETUDE	11
2.2. RESEAU HYDROGRAPHIQUE DENSE	12
2.3. CONTEXTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	13
2.3.1. Formations rencontrées sur le territoire des Landes de Gascogne : évolution paléogéographique et approche lithostratigraphique (illustration 3).....	13
2.3.2. Descriptif des formations aquifères rencontrées	18
2.4. CONTEXTE CLIMATIQUE.....	23
3. Concepts de la modélisation en hydrogéologie.....	31
3.1. DEFINITION D'UN MODELE HYDROGEOLOGIQUE.....	31
3.2. LES DIFFERENTES ETAPES DE LA MODELISATION.....	33
3.2.1. Définition du cadre de la modélisation et conceptualisation	33
3.2.2. Collecte, analyse et synthèse des données	34
3.2.3. Construction optionnelle d'un modèle géologique 3D.....	35
3.2.4. Construction du modèle hydrogéologique ou d'écoulement souterrain.....	35
3.2.5. Calage du modèle (ou calibration)	36
3.2.6. Validation du modèle	37
3.2.7. Exploitation du modèle.....	37
4. Définition du modèle - synthèse de données nécessaires à la modélisation	39
4.1. OBJECTIFS DE LA MODELISATION	39
4.1. SYNTHESE DES DONNEES.....	41
4.1.1. Données topographiques	41
4.1.2. Données géologiques	42
4.1.3. Données hydrogéologiques	45
4.1.4. Informations sur l'hydrographie	53
4.1.5. Données climatiques.....	59
4.1.6. Pédologie et réserve utile en eau.....	62
4.1.7. Données de prélèvements	63
4.1.8. Qualité des eaux.....	64
4.1.9. Niveau océanique	65
4.2. BILAN DES DONNEES.....	65

5. Exploitation du modèle Plio-Quaternaire actuel : fourniture de premiers éléments sur les niveaux de nappes, à l'échelle macroscopique	69
5.1. OBJECTIF	69
5.2. LE MODELE DES NAPPES PLIO-QUATERNAIRES	70
5.2.1. Présentation du modèle.....	70
5.2.2. Résultats du calage.....	72
5.3. EXPLOITATION DES DONNEES PIEZOMETRIQUES CALCULEES PAR LE MODELE PLIO-QUATENAIRE	74
6. Conclusion et premières réflexions sur la définition d'un outil de modélisation, adapté au besoin du SIBA.....	81
7. Bibliographie.....	85

Liste des figures

Illustration 1 - Communes d'intérêt pour l'étude.....	11
Illustration 2 - SAGEs superficiels	12
Illustration 3 - a) Présentation synthétique de la superposition virtuelle des formations continentales présentes à l'échelle de la zone d'étude (élaborée d'après [Dubreuilh et al. (1995)], [Mauroux et al. (2007)], modifié [Corbier et al. (2010)]) - b) Succession lithostratigraphique synthétique des formations du Mio-Plio-Quaternaire [Karnay et al. (2008)]	14
Illustration 4 - Carte géologique simplifiée du « Triangle Landais ».....	17
Illustration 5 - Carte géologique simplifiée du « Triangle Landais » - zoom sur le Bassin d'Arcachon.....	18
Illustration 6 - Carte hydrogéologique simplifiée de la Gironde (fond BDLISA version 1).....	19
Illustration 7 - Piézométrie de référence du système aquifère libre (127A0) du Mio-Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne [Bichot et al. (2001)]	20
Illustration 8 - Epaisseur et piézométrie de l'aquifère de l'Aquitainien-Burdigalien extraites du MONA [Corbier et Cabaret (2014)].....	22
Illustration 9 - Epaisseur et piézométrie de l'aquifère de l'Helvétien extraites du MONA [Corbier et Cabaret (2014)]	23
Illustration 10 - Normales annuelles pour Bordeaux 1981-2010 (données Météo-France)	23
Illustration 11 - Normales mensuelles interannuelles pour Bordeaux - période 1981-2010 (données Météo-France)	24
Illustration 12 - Répartition des précipitations annuelles en Gironde (source : normales Aurelhy 1981-2010, Météo-France)	24
Illustration 13 - Evolution des pluies, des ETP annuelles et des pluies efficaces sur le poste de Mérignac entre 1973 et 2016	25
Illustration 14 - Evolution annuelle de la pluie et de l'ETP, sur le poste de Mérignac, entre 2005 et 2016, et comparaison à la moyenne 1973-2016	26
Illustration 15 - Précipitations et périodes de retour calculées avec les lois de Gumbel et de Weibull - période 1973-2016 - station de Mérignac.....	27

Illustration 16 - Périodes de retour et hauteurs des précipitations sur la période 1973-2016 (années classées) - station de Mérignac.....	27
Illustration 17 - Pluie efficace à Mérignac (en mm) et période de retour en fonction des lois de Gumbel et de Weibull - période 1973-2016 - station de Mérignac	28
Illustration 18 - Pluie d'été à Mérignac (en mm) et période de retour en fonction des lois de Gumbel et de Weibull - période 1973-2016 - station de Mérignac	28
Illustration 19 - Classement des années hydrologiques selon la pluie efficace annuelle sur le poste de Mérignac (1973-2015) avec en rouge les années 2003-2016	29
Illustration 20 - Distribution annuelle des pluies efficaces et des pluies d'été sur le poste de Mérignac pour la période 2003-2016	30
Illustration 21 - Différents types de modèles globaux (pour le schéma Gardenia [Thiéry (2003)]).....	32
Illustration 22 - Les données nécessaires à la modélisation (modèle hydrodynamique « simple »)	35
Illustration 23 - Cartographie des axes drainants et zones à enjeux hydrogéologiques (document fourni par le SIBA)	40
Illustration 24 - Modèle Numérique de Terrain, au pas de 25 mètres (BD ALTI® de l'IGN)	41
Illustration 25 - Lidar fourni par le SIBA.....	41
Illustration 26 - Emprise des formations dans le modèle géologique 1/2.....	43
Illustration 27 - Emprise des formations dans le modèle géologique 2/2.....	44
Illustration 28 - Localisation des points de mesures piézométriques dans différentes études	46
Illustration 29 - Cartographie des zones de la nappe affleurante - Audenge [Large (2016a)].....	47
Illustration 30 - Carte de sensibilité au phénomène de remontées de nappes en domaine sédimentaire (http://www.georisques.gouv.fr/).....	47
Illustration 31 - Carte des différences de charges en hautes et moyennes eaux - SAGE Lacs Médocains (à gauche) et SAGE Born et Buch (à droite) [Corbier et al. (2011)].....	49
Illustration 32 - Valeurs indicatives des paramètres hydrodynamiques issus de la bibliographie	50
Illustration 33 - Données de perméabilités des formations plio-quadernaires (fond : limites des SAGES superficiels) disponibles au BRGM	51
Illustration 34 - Synthèse des résultats des essais LEFRANC [Boutault (2017)].....	52
Illustration 35 - Valeurs de perméabilité mesurées à Gujan-Mestras [Sylla (2017a)].....	52
Illustration 36 - Réseau hydrographique - BD Carthage et SYRAH (largeurs des cours d'eau).....	54
Illustration 37 - Réseau hydrographique et de drainage (excepté les données BD Carthage, l'ensemble des données a été fourni par le SIBA)	54
Illustration 38 - Obstacles à l'écoulement issus du ROE (Référentiel des Obstacles à l'Écoulement).....	55
Illustration 39 - Localisation des suivis des débits et jaugeages, réalisés dans le secteur d'étude.....	56
Illustration 40 - Jaugeages en cours dans le secteur de la Leyre (extrait de la présentation Antea - SAGE Leyre)	57
Illustration 41 - Carte des étangs du SAGE Born-et-Buch et des ouvrages hydrauliques (Géolandes).....	58
Illustration 42 - Maillage SAFRAN sur le secteur d'étude	60
Illustration 43 - Stations météorologiques réparties sur le territoire.....	60
Illustration 44 - Carte pédologique réalisée à partir des données simplifiées de l'INRA [Richer de Forges et al. (2015)]	62
Illustration 45 - Réserve Utile des sols, calculée à partir de la carte pédologique au 250 000 ^{ème} de l'INRA ([Richer de Forges et al. (2015)]) d'après [Saltel et Arnaud (2015)].....	62

Illustration 46 - Données de prélèvements dans les nappes plio-quadernaires (données issues de la gestion des nappes pour la Gironde)	63
Illustration 47 - Prélèvements et rejets de surface	64
Illustration 48 - Données qualités disponibles dans les bases nationales et de bassin	65
Illustration 49 - Données piézométriques à acquérir	67
Illustration 50 - Localisation d'essais de pompage à réaliser	67
Illustration 51 - Extension du modèle Plio-Quaternaire et zoom sur l'extension du périmètre d'action du SIBA.....	69
Illustration 52 - Agencement schématique des différentes couches du modèle hydrodynamique et correspondance avec le modèle géologique [Corbier et Cabaret (2014)]	70
Illustration 53 - Vue 3D du modèle hydrogéologique	71
Illustration 54 - Diagramme de dispersion entre piézométries simulées et observées (évolution entre l'année 2 de développement [Corbier et Cabaret (2015)] et l'année 3), toutes couches confondues [Cabaret et Vergnes (2017)]	72
Illustration 55 - Statistiques entre hauteurs piézométriques simulées et observées (évolutions entre l'année 2 de développement [Corbier et Cabaret (2015)] et l'année 3), toutes couches confondues. [Cabaret et Vergnes (2017)]	73
Illustration 56 - Distributions spatiales des écarts entre débits simulés et observés sur les 65 stations de mesure.....	73
Illustration 57 - Niveau d'eau des couches affleurantes du modèle plio-quadernaire (résultats du calage en régime permanent)	74
Illustration 58 - Profondeur de l'eau (maillage à 500 mètres du modèle plio-quadernaire)	75
Illustration 59 - Niveau piézométrique des couches affleurantes sur l'ensemble du « Triangle Landais » et isopièzes (5 mètres)	76
Illustration 60 - Niveau d'eau des couches affleurantes (à gauche) et profondeur de l'eau (à droite) (valeurs lissées) - zoom autour du Bassin d'Arcachon	76
Illustration 61 - Profondeur de l'eau (valeurs classées en mètres) - zoom autour du Bassin d'Arcachon	77
Illustration 62 - Chroniques de différents piézomètres dans la zone d'étude.....	78
Illustration 63 - Localisation des piézomètres présentés à l'illustration 62	78
Illustration 64 - Différence calculée entre le MNT au pas de 25 mètres et le LIDAR (MNT-LIDAR).....	79
Illustration 65 - Calcul de la profondeur de l'eau en fonction du LIDAR : à droite, analyse des données lissées ; à gauche, analyse des données classées	79
Illustration 66 - Extension du modèle (hypothèse)	82
Illustration 67 - Agencement schématique des différentes couches du modèle hydrodynamique du Plio-Quaternaire du « Triangle Landais » [Corbier et Cabaret (2014)] et description des couches retenues dans le modèle MOHYS	83
Illustration 68 - Essais de maillages gigognes à 50 et 100 mètres dans le secteur de Gujan-Mestras	84

Liste des annexes

Annexe 1 Données piézométriques issues des rapports fournis par le SIBA	91
Annexe 2 Paramètres hydrodynamiques	107

1. Introduction

Le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA), qui exerce ses compétences sur le territoire des 10 communes riveraines du Bassin d'Arcachon, a notamment en charge la gestion des eaux usées et des eaux pluviales.

Dans le cadre de ses missions, 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 concernant :

- l'Assainissement Non Collectif (ANC) : la connaissance du niveau des nappes est une des contraintes à la mise en place de certaines solutions d'ANC. Le SIBA souhaite pouvoir faire des recommandations / validations, vis-à-vis des études hydrogéologiques réalisées par les bureaux d'études, pour l'implantation de solutions d'assainissement autonome ;
- l'assainissement collectif : le réseau d'assainissement du SIBA est confronté sur certaines périodes de l'année à des entrées d'eau parasites sur différents tronçons. Ces entrées d'eau parasites sont vraisemblablement liées à des ennoissements du réseau lors de la remontée de nappe et des entrées sur des infrastructures non « étanches » (canalisation ou raccordement défectueux etc.). Le croisement SIG (au pôle SIG du SIBA) des réseaux de canalisations (position / profondeur) et des niveaux de nappes en complément de la connaissance des opérateurs de terrain permettrait de cerner précisément les secteurs où des entrées d'eau sont susceptibles de se produire ;
- la gestion des eaux pluviales : le niveau de la nappe plio-quaternaire peut être très proche de la surface du sol. Dans certains secteurs et en période de hautes eaux, cette nappe peut ainsi déborder. Pour pallier cette problématique, un réseau de drainage est en place, permettant l'écoulement « rapide » des eaux de la nappe. Toutefois, le SIBA exprime le souhait d'avoir une meilleure connaissance sur les interactions nappes / réseau de drainage afin de pouvoir optimiser le dimensionnement de ces réseaux de drainage des eaux pluviales.
Par ailleurs, toujours pour cette thématique « eau pluviale », le SIBA s'intéresse également à des techniques de gestion des eaux pluviales à la parcelle en fonction de l'aptitude des sols à l'infiltration ;
- la pollution des eaux : depuis plusieurs années, le SIBA acquiert *via* des réseaux de surveillance et de suivi, REPAR (suivi des pesticides) et REMPLAR (suivi des micropolluants), de nombreuses données sur la qualité des eaux. 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 sur la qualité des eaux pourrait permettre d'estimer les flux de micropolluants atteignant les eaux du Bassin.

Le SIBA souhaite donc disposer d'un outil opérationnel de modélisation hydrogéologique transitoire, assez fin, prenant en compte les cours d'eau / réseaux de drainage, et qui permette de connaître les niveaux de nappes sur son territoire, avec la meilleure précision spatiale et temporelle possible.

Depuis de nombreuses années, le BRGM Nouvelle-Aquitaine, dans le cadre des missions qui lui sont confiées, notamment par l'Etat (contrats Etat-BRGM), conduit des actions régionales de développement scientifique, de recherches et d'aménagement dans les domaines de la connaissance, de la surveillance, de l'évaluation et de la gestion des eaux souterraines en Aquitaine. Depuis 1996, une partie de ces actions est réalisée à travers le « Programme Régional

pour la Gestion des Eaux Souterraines en Aquitaine », qui s'est traduit par la signature de 4 conventions-cadres successives entre le BRGM, la Région Aquitaine et l'Etat (1996-2001, 2002-2006, 2008-2013 et 2015-2020).

Depuis 2006, un module de ces conventions est spécifiquement dédié aux formations mio-plio-quaternaires des Landes de Gascogne et du Médoc, en relation avec les SAGEs (secteur d'étude qui englobe la zone de compétences du SIBA). Les études successives et celles en cours ont pour objectif de mieux connaître ces formations et de fournir des éléments techniques aux SAGEs. A travers les différents travaux réalisés de connaissance et de capitalisation de la donnée, un modèle hydrogéologie régional a été développé sur l'extension de ces formations. Dans le domaine de la modélisation hydrodynamique, le BRGM Nouvelle-Aquitaine dispose de solides compétences concernant la mise en place de ce type d'outils pour la gestion des eaux souterraines en lien avec les eaux superficielles (Modèle Nord-Aquitain, Modèle Sud-Adour-Garonne, Modèle Oligocène, Modèles sur l'ex. Poitou-Charentes etc.) [Domez et al. (2016)].

Le présent travail a consisté à synthétiser l'ensemble des données existantes et nécessaires à la construction d'un modèle hydrodynamique. A partir de ce travail, des pistes pour l'acquisition de données complémentaires sont proposées en conclusion.

En parallèle de ce travail, les données des niveaux des nappes du modèle plio-quaternaire ont été extraites, afin de fournir des premières informations au SIBA.

Enfin, en conclusion, sont présentés des premiers éléments de réflexion pour la modélisation du secteur d'étude.

2. Zone d'étude et contexte

2.1. ZONE D'ETUDE

Le Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon (SIBA) exerce ses compétences sur le territoire des 10 communes riveraines du Bassin d'Arcachon (Arcachon, La Teste de Buch, Gujan-Mestras, Le Teich, Biganos, Audenge, Lanton, Andernos-les-Bains, Arès et Lège-Cap-Ferret), mais la zone d'intérêt porte également sur les communes de Mios et de Marcheprime (illustration 1).

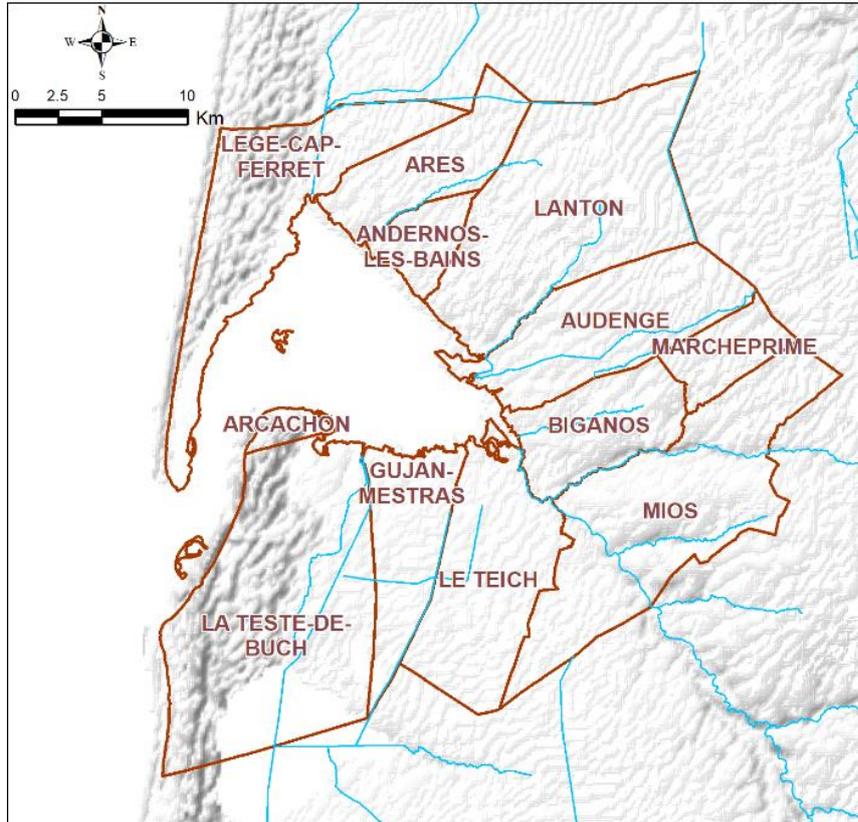


Illustration 1 - Communes d'intérêt pour l'étude

Toutefois, même si les enjeux auxquels doivent répondre l'étude se localisent sur les communes précédemment citées, il est nécessaire de prendre en compte l'ensemble des bassins versants amont de ce territoire qui font partie du « Triangle Landais ».

Ce secteur est concerné par 3 SAGEs (Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux) superficiels : 1) Leyre, cours d'eau côtiers et milieux associés, 2) Etangs littoraux Born-et-Buch, 3) Lacs médocains (illustration 2).

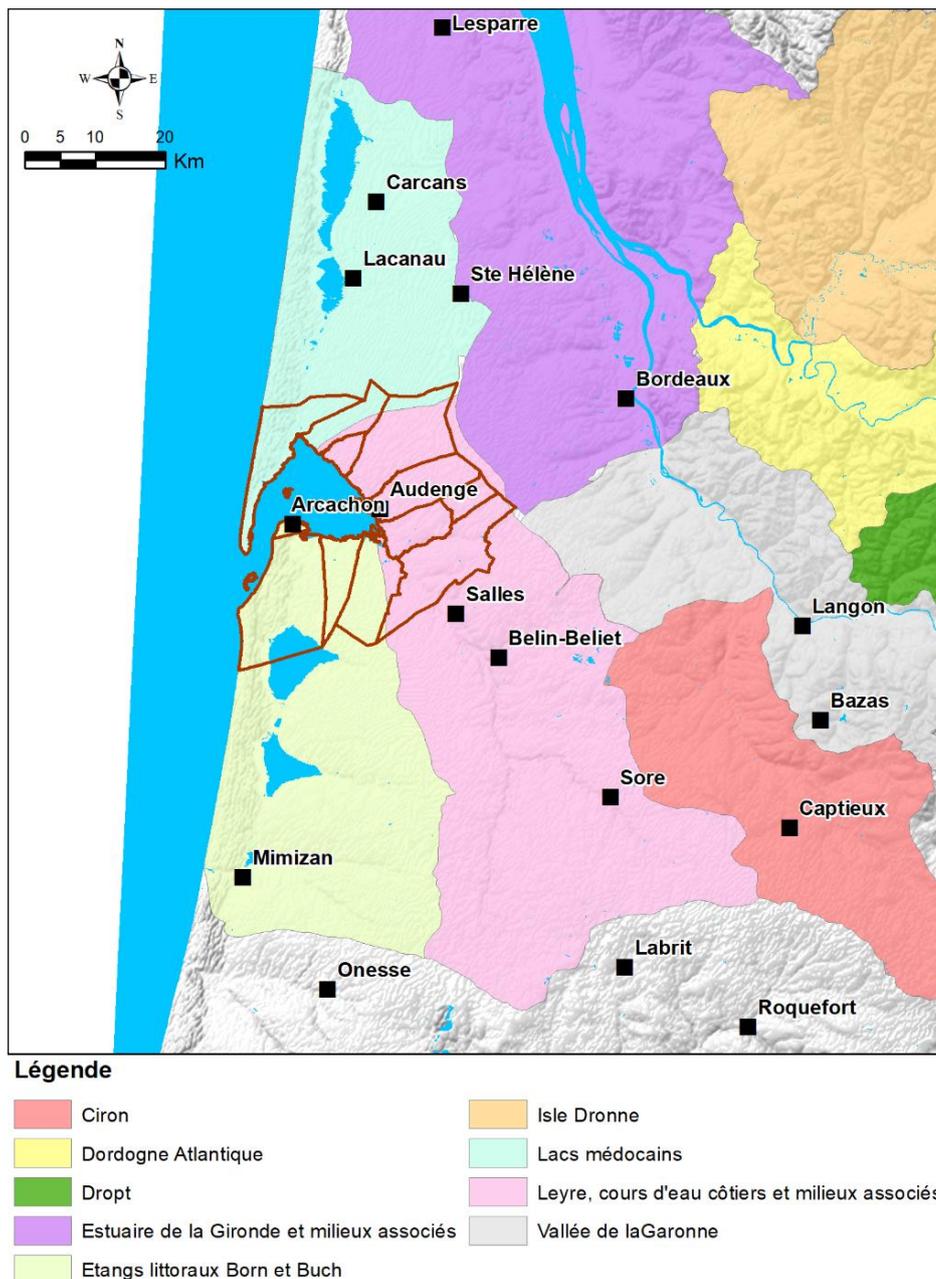


Illustration 2 - SAGEs superficiels

2.2. RESEAU HYDROGRAPHIQUE DENSE

Le « Triangle Landais » présente un réseau hydrographique dense composé de cours d'eau naturels (ruisseaux et rivières) et un réseau de drainage façonné par l'homme (fossés, crastes).

Dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle, l'assainissement à grande échelle des terrains humides et marécageux dans les Landes de Gascogne a constitué un préalable à l'installation de la forêt. La régulation « hydraulique » est un aspect fondamental de l'activité forestière (sylviculture, protection des forêts contre l'incendie), comme pour l'activité économique générale présente sur le territoire [Vernier et Castro (2010)]. Ce réseau hydraulique « forestier » vise à modérer le niveau de la nappe superficielle tout en évitant l'assèchement des parcelles.

Trois types de réseau de drainage sont distingués [Vernier et Castro (2010)] :

- un réseau structurant permanent : canaux de collecteurs principaux (crastes, notamment) qui sont généralement de création ancienne. Large et relativement profond, ce réseau présente un écoulement sur une grande partie de l'année ;
- un réseau secondaire : principalement lié à l'implantation des pistes forestières, il fait l'objet d'un suivi et d'un entretien régulier. Moins large et moins profond que le réseau principal, le réseau secondaire n'est actif que dans les périodes où la nappe est haute. A noter que les associations locales de DFCI (Défense des Forêts Contre l'Incendie) jouent un rôle essentiel dans la gestion de ce réseau ;
- un réseau tertiaire, plus temporaire associé aux unités de gestion forestières. Lors du renouvellement des peuplements forestiers dans les stations hydromorphes, ces fossés sont réactivés afin d'éviter l'asphyxie des jeunes plants en milieu engorgé. Par la suite, ils ne font généralement pas l'objet d'un entretien soutenu.

En milieu urbain (pourtour du Bassin d'Arcachon en particulier), le réseau de drainage est dense et composé d'un réseau de fossés, de noues, de drains qui permettent l'assainissement des terrains (drainage des eaux de ruissellement mais également des nappes - rabattement des niveaux de la nappe).

2.3. CONTEXTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

2.3.1. Formations rencontrées sur le territoire des Landes de Gascogne : évolution paléogéographique et approche lithostratigraphique (illustration 3)

Le secteur d'étude se localise dans le Bassin aquitain, qui se présente comme une vaste dépression triangulaire, largement ouverte vers l'ouest sur l'océan Atlantique et limitée par des reliefs. A l'intérieur de ce cadre, se développe le bassin, formé par une série de dépôts sédimentaires hétérogènes depuis 250 millions d'années (du Trias à l'ère actuelle). La présentation du contexte géologique qui suit est tirée en grande partie des rapports suivants : [Durst et Rodriguez (2008)], [Mauroux et al. (2007)], [Karnay et al. (2008)] et [Corbier et al. (2010)].

L'évolution paléogéographique du Bassin d'Arcachon, qui appartient au domaine des Landes de Gascogne, est présentée ci-dessous à partir du Miocène. Le « Triangle Landais » apparaît distinctement, en raison des formations superficielles sableuses, datées du Quaternaire, sur la carte géologique au millionième de la France du BRGM [Chantraine et al. (1996)]. A noter que les âges indiqués dans les paragraphes suivants sont issus de la charte élaborée en 2006 [Callec et al. (2006)].

Le Miocène (-23 Ma à -5 Ma)

L'épaisseur de l'ensemble des dépôts miocènes est de l'ordre de 150 mètres, mais présente d'importantes variations latérales. Dans la partie orientale des Landes, la puissance des dépôts n'est que de 50 m, alors qu'au sud de Mimizan, elle est de 400 m [Allard (1981)]. Dans la zone d'étude, l'épaisseur des dépôts atteint environ 200 m.

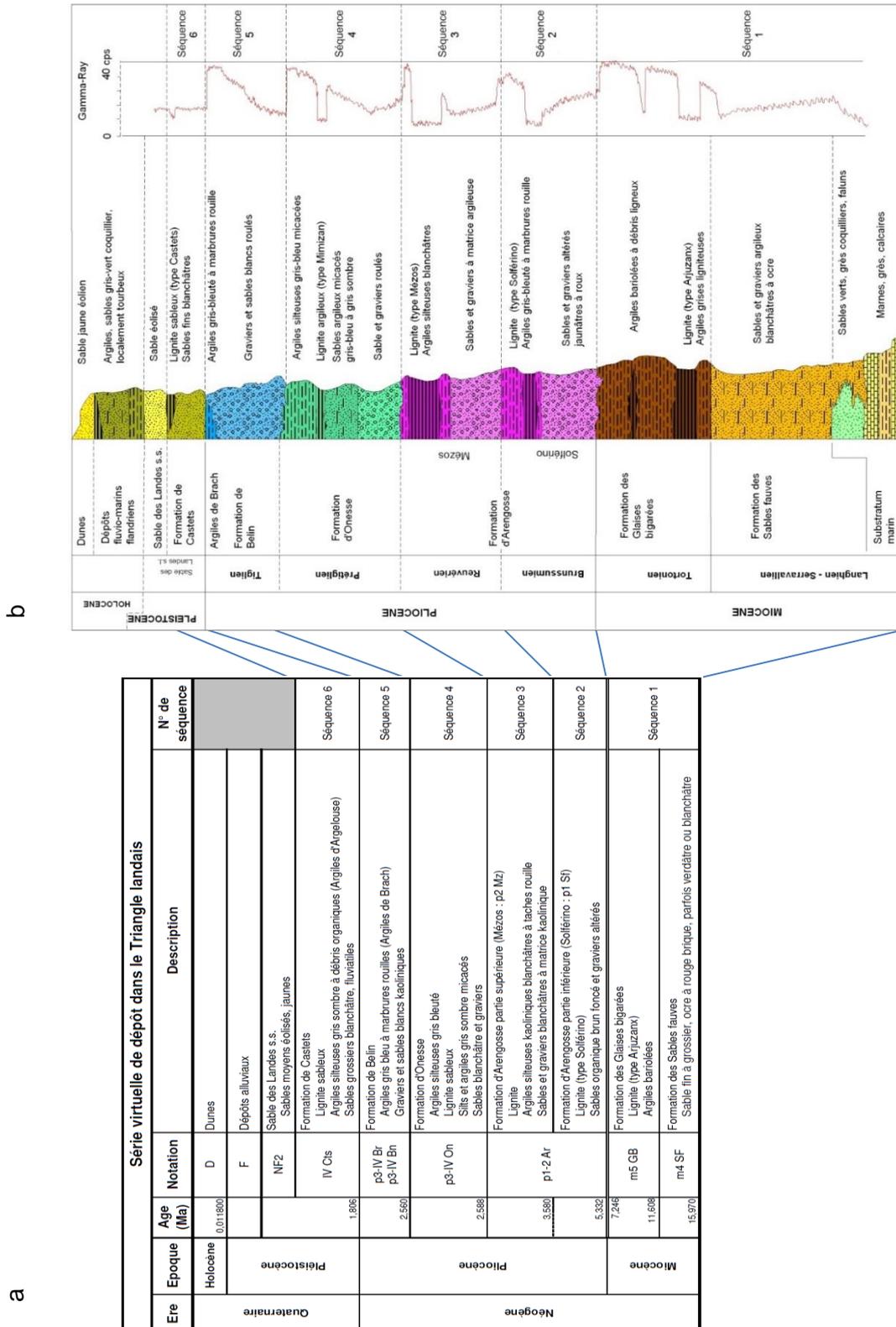


Illustration 3 - a) Présentation synthétique de la superposition virtuelle des formations continentales présentes à l'échelle de la zone d'étude (élaborée d'après [Dubreuilh et al. (1995)], [Mauroux et al. (2007)], modifié [Corbier et al. (2010)]) - b) Succession lithostratigraphique synthétique des formations du Mio-Plio-Quaternaire [Karnay et al. (2008)]

Le *Miocène inférieur* (Aquitaniens et Burdigaliens, -23 à -16 Ma) est marqué par la transgression aquitaniennne (avancée maximale de la série miocène vers l'est). Le bassin marin profond est repoussé plus à l'ouest et la sédimentation au droit de la zone étudiée se produit dans un domaine essentiellement de plate-forme interne. Cette série, épaisse de 70 à 100 mètres [Capdeville et Bouchet (1996)], est formée à la base par des argiles carbonatées sableuses et glauconieuses. Les parties moyennes et supérieures sont constituées par des calcaires, plus ou moins durs, mais très poreux en raison de la dissolution de coquilles fossilisées.

Le *Miocène moyen* (Langhien-Serravalien ou anciennement nommé Helvétien) est matérialisé par des faciès de sables glauconieux verdâtres (Sables verts) et des marnes à huîtres [Karnay (1992)]. L'extension des influences marines est cependant très difficile à cerner en raison des fluctuations du niveau de la mer, qui ont entraîné une altération pédogénétique de ces faciès (**Sables fauves**), postérieurement à leur dépôt.

Les formations du *Miocène supérieur* (Tortonien-Messinien), se sont déposées dans un contexte de plaine d'inondation (marécage côtier) et ce de façon progradante, à la faveur d'un calme tectonique relatif.

Les influences marines ne sont pas nettement perceptibles dans la sédimentation :

- à l'est, un secteur légèrement surélevé par rapport à la plaine d'épandage accueille des dépôts à tendance molassique et lacustre ;
- à l'ouest, des faciès argileux (**Glaïses Bigarrées**) occupent la plaine d'inondation, tandis que se développent des accumulations ligniteuses proches de la limite eaux douces / eaux salées.

La baisse généralisée du niveau marin à la fin du Miocène supérieur (Messinien) va provoquer, au toit de la formation, de profondes entailles.

Le Pliocène à (-5 Ma à -1,8 Ma)

Le Pliocène est marqué par la dernière phase de régression marine sur le Bassin aquitain. Durant cette période, des déformations vers le nord et le sud ont lieu avec l'affaissement de la région du Bassin d'Arcachon et le soulèvement général de la région située à l'est du cours de la Grande Leyre.

Le *Pliocène inférieur* (Brunsumien à Reuvérien) est scindé en deux séquences majeures à caractère progradant, qui ont vu le dépôt des **formations d'Arengosse**, localement coiffées par des lignites accumulées dans des marais côtiers allongés (Dubreuilh et al., 1991)). La formation d'Arengosse, constituée de deux séquences lithologiques identiques, Solférino à la base et Mézos au sommet, représente ainsi les premiers dépôts pliocènes du complexe détritique landais. Ces séquences ne sont toutefois pas présentes sur l'intégralité du pourtour du Bassin d'Arcachon ; leur épaisseur atteint une vingtaine de mètres au sud-ouest du secteur.

Le *Pliocène moyen* (Prétiglien) voit le comblement du « Triangle Landais » qui se poursuit avec le dépôt de la **formation d'Onesse**, présentant les premiers indices d'un refroidissement du climat. La formation d'Onesse est constituée de sables et graviers bien roulés, blanchâtres, à nombreux quartz hyalins, surmontés par des sables plus fins, plus ou moins argileux et silteux, micacés, gris bleutés, parfois organiques. La phase basale grossière et la phase plus fine silto-argileuse se répartissent pour moitié dans l'épaisseur de la formation, à l'exception des grands axes distributaires. L'ensemble de la séquence atteint 50 à 60 m au sud-est d'Onesse ; leur

épaisseur est plus restreinte sur le pourtour du Bassin d'Arcachon, de quelques mètres au nord jusqu'à une vingtaine de mètres au sud.

Le *Pliocène supérieur* (Tiglien) est marqué par le dépôt, sous climat plus tempéré, de la **formation de Belin** et des **argiles de Brach**, équivalent latéral des Gravieres de l'Entre-Deux-Mers et des Sables et graviers de Méric du Médoc (Karnay, 2008). Cette formation est nettement discordante à l'échelle régionale et repose sur des formations très différentes : formation d'Onesse au sud, formation d'Arengosse, Glaises bigarrées, Sables fauves, Sables verts, molasses et substratum miocène à éocène. La mise en place de cette formation s'est faite dans un environnement deltaïque où de profonds chenaux divagants ont recueilli le matériel grossier dans un ensemble plus calme. Elle est absente au sud du Bassin d'Arcachon et atteint une vingtaine de mètres d'épaisseur au nord.

A la fin de la séquence de dépôt, apparaissent des zones calmes et marécageuses à sédimentation fine vaseuse (les argiles de Brach forment alors des dépôts lenticulaires d'argiles silteuses, plastiques, gris bleuâtre à blanches).

Le Quaternaire (-1.8 Ma - Actuel)

Le Quaternaire voit l'ultime comblement de la région des Landes de Gascogne (et du Médoc), réalisé par différents apports détritiques qui se déposent selon un mouvement en éventail balayant l'ouest puis le nord-ouest de la région nord-aquitaine (Quaternaire ancien - Pleistocène).

Lors des phases quaternaires, la région landaise est soumise aux phénomènes périglaciaires, mais aussi à un ruissellement et à une éolisation intense. Se déposent alors des sables fins, blanchâtres, d'origine fluviale (formation de Castets), éolisés par la suite au Würm récent, pour donner le Sable des Landes.

Au cours du *Pléistocène*, la région est le théâtre de remaniements locaux, d'altérations de climat chaud ou froid, aride ou humide, d'érosions et reprises fluviales et éoliennes qui sont à l'origine de la résidualisation des dépôts silico-clastiques accumulés au centre du Bassin aquitain, qui correspondent à la **formation de Castets**. La formation de Castets constitue la sixième et dernière séquence de comblement détritique du « Triangle Landais ».

Elle présente une épaisseur très variable sur le pourtour du Bassin d'Arcachon, jusqu'à une vingtaine de mètres localement. C'est un sable blanc à grisâtre, fin, bien classé, très peu argileux et presque uniquement quartzueux. Au niveau de la partie supérieure, on rencontre des couches minces de lignite très sableuse (Castets) et des argiles silteuses gris-bleu (les Argiles d'Argelouse qui ne sont reconnues que près d'Argelouse, entre Sore et Belin-Beliet).

La reprise éolienne et hydro-éolienne du sable de la formation de Castets permet la constitution de la **formation du Sable des Landes**. Il est presque exclusivement composé de minéraux de quartz avec des passées argileuses. La présence d'hématite (composée d'oxyde de fer) est en partie à l'origine de la formation de l'aliolite et de la « garluche ».

L'*Holocène* (-11 800 ans - actuel [Callec et al. (2006)]) voit d'abord le dépôt d'alluvions anciennes (Günz, de Mindel, Riss) puis récentes (Würm) qui se poursuit à l'actuel. Ces formations sont constituées de dépôts détritiques (sables et argiles silteuses grises). Les accumulations éoliennes détritiques sableuses constituent, à l'ouest, le cordon dunaire côtier complexe environ dans lequel sont intercalés des niveaux coquillés relativement ponctuels.

Les cartes des illustrations 4 et 5 permettent d'avoir un aperçu des formations affleurantes dans le « Triangle Landais ».

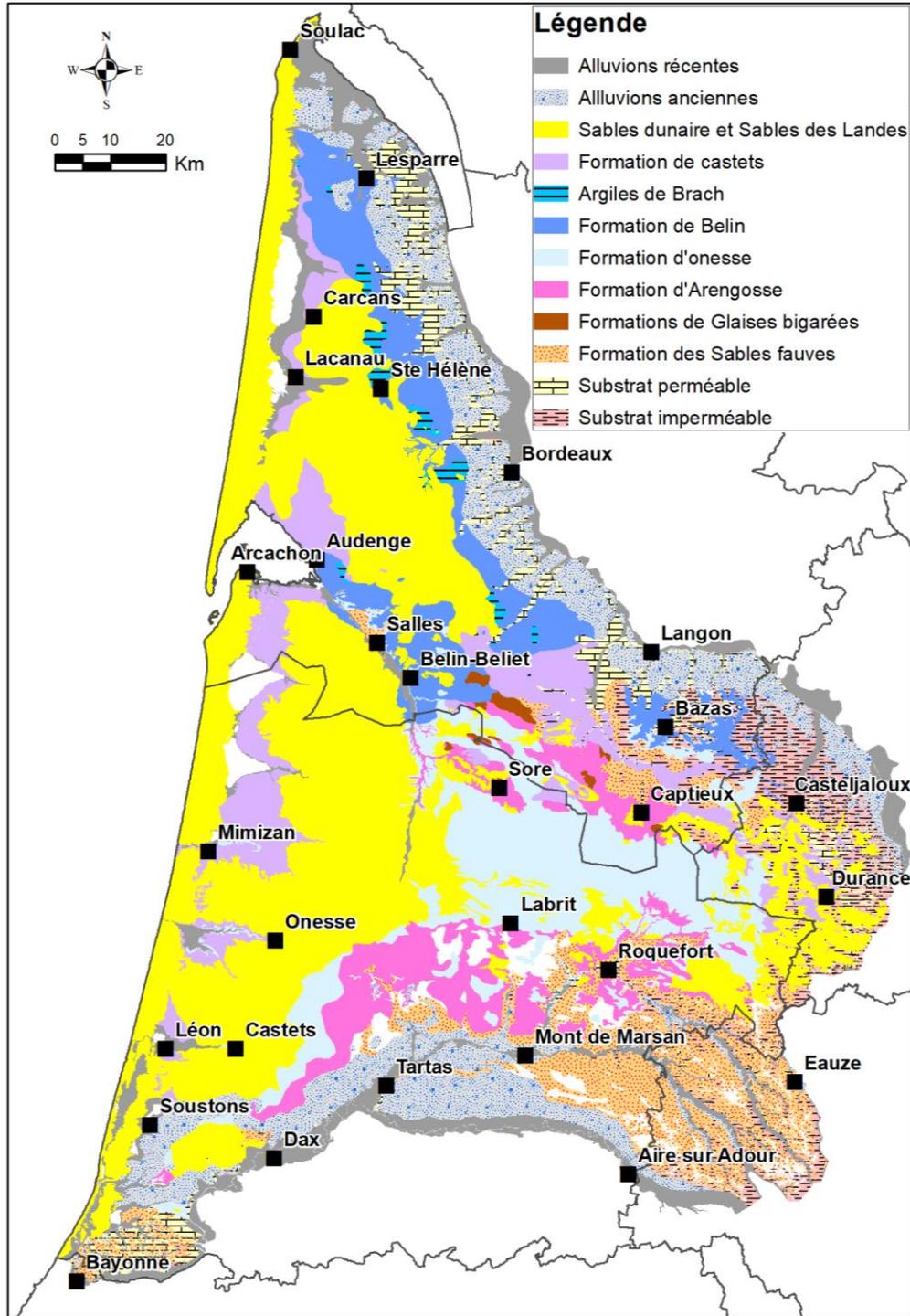


Illustration 4 - Carte géologique simplifiée du « Triangle Landais »

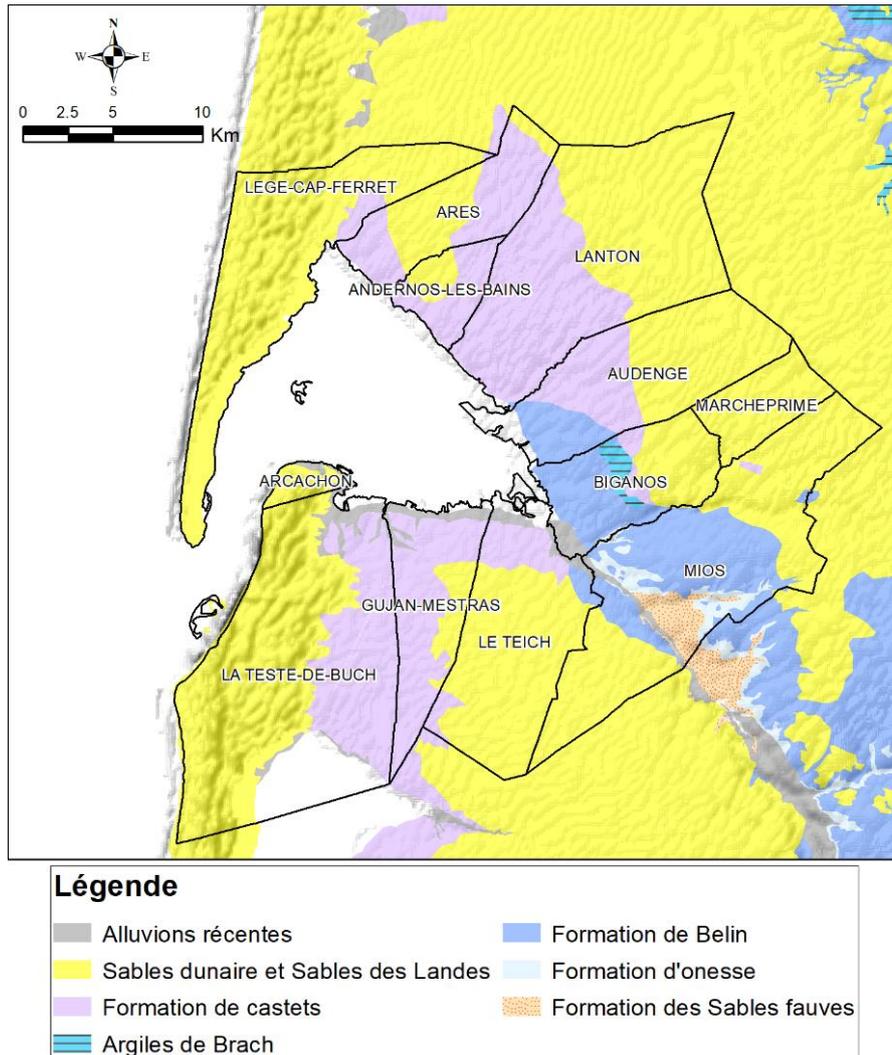


Illustration 5 - Carte géologique simplifiée du « Triangle Landais » - zoom sur le Bassin d’Arcachon

2.3.2. Descriptif des formations aquifères rencontrées

Le système multicouche aquifère du Mio-Plio-Quaternaire est constitué de différents réservoirs sableux ou graveleux liés (en fonction de la géologie), qui peuvent être, selon les secteurs, en continuité hydraulique ou isolés par des niveaux argileux dont l’extension latérale et l’épaisseur sont très variables. Toutefois, une distinction peut être réalisée selon deux grands ensembles aquifères, distinguant un système aquifère libre et un système aquifère captif et dont les formations géologiques qui y sont rattachés évoluent d’est en ouest. Les caractéristiques principales sont reprises des travaux de [Pédron et al. (2002)].

Le référentiel hydrogéologique BDLISA (Base de Données des Limites des Systèmes Aquifères) visible sur l’illustration 6 présente les contours d’entités géologiques (aquifères et non aquifères).

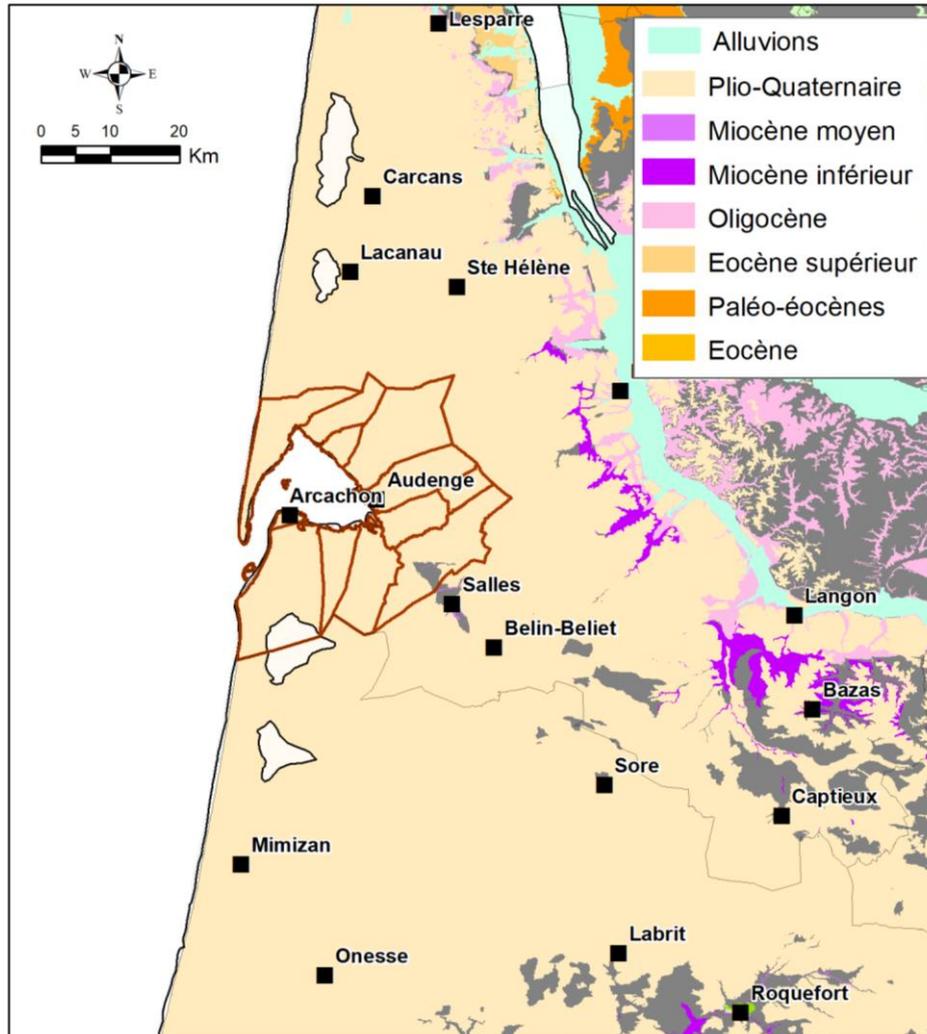


Illustration 6 - Carte hydrogéologique simplifiée de la Gironde (fond BDLISA version 1)

Les ensembles aquifères du Plio-Quaternaire

- **Le système aquifère libre**

Le système aquifère libre s'étend sur l'ensemble du « Triangle Landais », entre les axes Gironde-Garonne et Adour-Midouze, et le littoral sur les départements de la Gironde, des Landes et de Lot-et-Garonne. Il est défini comme la partie libre ou semi-captive du multicouche mio-plio-quaternaire.

Du fait de son caractère libre, de la faible profondeur d'accès à la nappe et de ses réserves importantes, il présente un intérêt majeur que ce soit pour les écosystèmes locaux (soutien d'étéage des cours d'eau, alimentation des lacs, zones humides en lien avec la nappe : ex. lagunes) ou les activités économiques (irrigation des cultures, activité sylvicole, arrosages collectifs - terrain de sport...- ou individuels, industries et géothermie).

Le nombre d'ouvrages le captant est très important, vraisemblablement bien supérieur à 10 000. Dans les départements de la Gironde, des Landes et du Lot-et-Garonne, les prélèvements agricoles, relativement mal connus, peuvent être estimés à plus de 200 millions de m³ par an [Corbier et Cabaret (2014)].

Cet aquifère, du fait de son caractère libre, est particulièrement vulnérable aux contaminations de surface, liées aux activités anthropiques (activités agricoles / entretiens des espaces verts par les collectivités et les particuliers : nitrates et pesticides ; industries : métaux lourds, hydrocarbures, etc.). A noter que les eaux de cette nappes présentent naturellement des teneurs élevées en fer et parfois en certains métaux lourds [Bichot et al. (2001)].

La nappe est en relation étroite avec les cours d'eau (échanges nappes / rivières) et contribue aux débits de ces derniers, en particulier en période d'étiage. La carte de la surface piézométrique de référence de ce système aquifère libre, établie en 2002, montre le drainage des nappes par les rivières, les étangs côtiers de la Gironde et des Landes. Dans le département de la Gironde, la Garonne et ses affluents en rive gauche, la Leyre et le Ciron constituent les trois principaux axes de drainage de la nappe. A noter également le réseau dense des fossés du massif landais qui assure le drainage de cette nappe, principalement en direction des étangs côtiers.

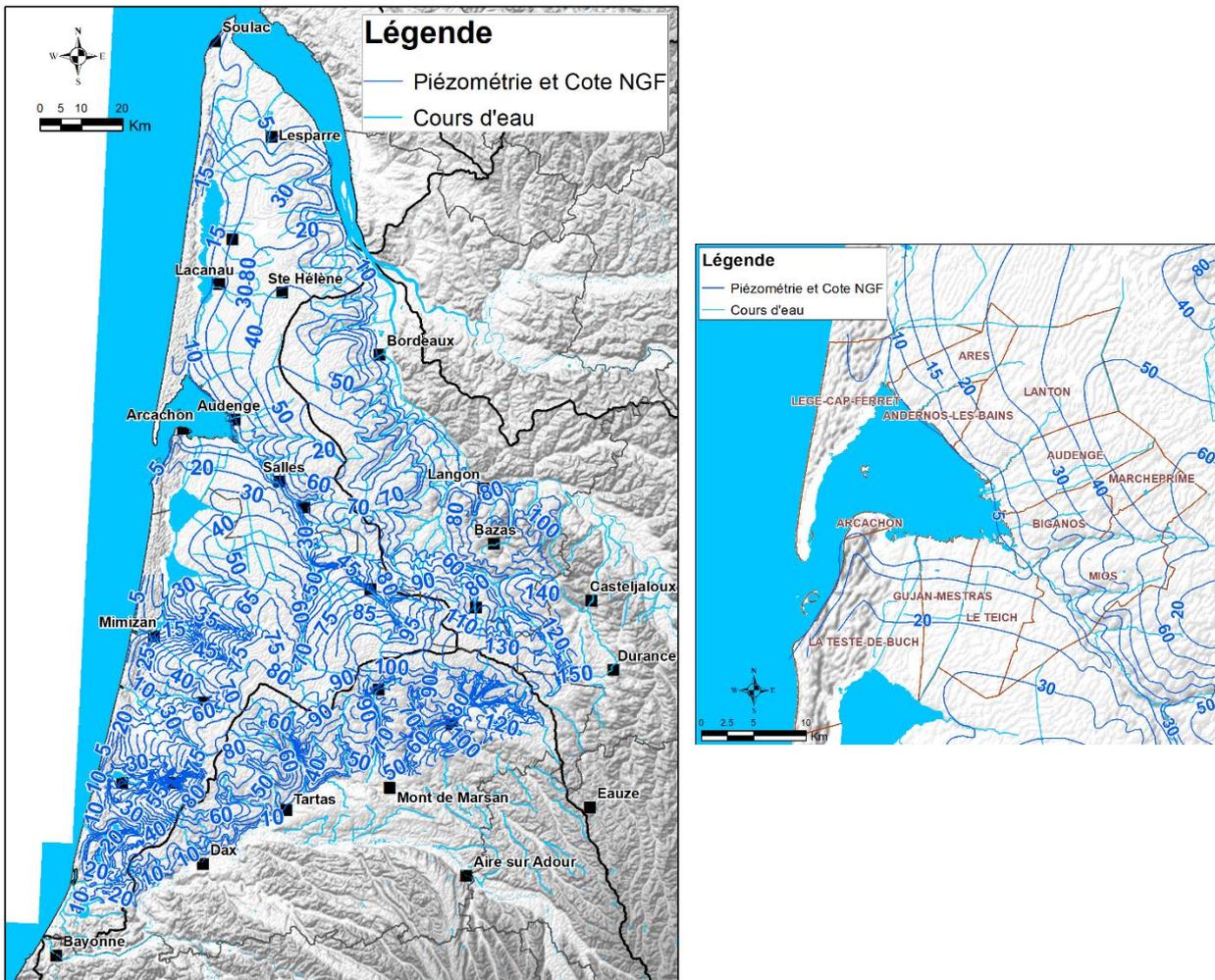


Illustration 7 - Piézométrie de référence du système aquifère libre (127A0) du Mio-Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne [Bichot et al. (2001)]

D'une façon globale, ce système présente, de façon classique, un cycle annuel représenté par une recharge au cours de la période hivernale et une baisse des niveaux (vidange de la nappe) en période estivale. Ainsi, l'analyse des chroniques piézométriques montre que le niveau de la nappe fluctue en fonction des conditions météorologiques, mais également en fonction des sollicitations anthropiques (prélèvements). Le battement de la nappe est de l'ordre de de 1 à 2 m et n'excède généralement pas 3 m.

Les hautes eaux sont atteintes en fin de période hivernale / début de printemps, avec un maximum généralement autour de la mi-mars. La nappe est très proche du sol à cette période, généralement à une profondeur inférieure à 2 m. Ce niveau correspond généralement à un niveau de débordement, par le réseau de drainage, voire par la topographie (inondations par remontée de nappe en l'absence de drainage).

Le niveau de plus basses eaux est atteint en fin de période estivale (généralement en août-septembre). A noter que l'arrêt des prélèvements estivaux (notamment pour l'irrigation) combiné à la reprise de la recharge en début d'automne induisent une remontée rapide du niveau piézométrique. La recharge de la nappe est facilitée par la couverture sableuse très perméable et par les faibles pentes topographiques, qui limitent le ruissellement et favorise l'infiltration.

Les chroniques longues (plus de 30 ans) ne montrent pas de tendance à la baisse, ce qui indique que, d'une année sur l'autre, les réserves sont généralement reconstituées [Corbier et Cabaret (2014)].

- **Le système aquifère captif**

Le système aquifère captif, bien moins connu en terme d'extension s'étendrait à l'est jusqu'aux communes de Sainte-Hélène, Belin-Beliet, Labrit ; au sud jusqu'à Morcenx et à l'ouest jusqu'au littoral.

Il correspond, dans la partie landaise, principalement aux sables et graviers de la formation d'Arengosse. Vers le nord, dans la partie girondine, cette formation disparaît progressivement et les formations d'Onesse et de Belin prennent le relais de ce réservoir.

Ce système devient captif dans la partie occidentale du massif landais et peut être localement artésien. En bordure du littoral, le toit de l'aquifère est surmonté par les argiles de la formation d'Onesse, qui le maintiennent captif et l'isolent du système libre. Lorsque la formation des glaises bigarrées n'est pas représentée (bande littorale), il est en contact avec l'aquifère sous-jacent des sables verts du Miocène qui est peu transmissif mais fortement capacitif.

Constituant souvent une ressource abondante, il est utilisé pour l'AEP, l'agriculture et l'industrie. Toutefois, en bordure du littoral, cet aquifère peut être envahi par l'eau de mer ; c'est le cas dans la partie méridionale de la presqu'île du Cap-Ferret.

Les aquifères captifs du Miocène : Helvétien et Aquitanien-Burdigalien

La répartition géographique et stratigraphique des faciès-réservoir sableux et calcaires conduit classiquement à subdiviser le Miocène en deux entités, qui peuvent être plus ou moins en continuité dans la région bordelaise ou séparés par une série relativement épaisse à tendance argileuse vers le sud et vers l'ouest [Bichot et al. (2001)] :

- à la base, les calcaires et faluns de l'aquifère de l'**Aquitanien-Burdigalien** présentent une épaisseur moyenne de 30 m, dans la partie plate-forme du bassin miocène et une épaisseur beaucoup plus importante (plus de 100 m) dans la partie mer ouverte (illustration 3 et illustration 8). Les zones d'affleurement apparaissent comme des zones d'exutoire de la nappe : c'est le cas dans la région bordelaise et en rive gauche de la Garonne, où cet aquifère vient alimenter les nombreux cours d'eau latéraux. L'alimentation de la nappe s'effectue à travers des phénomènes de drainances verticales à travers les épontes : drainance ascendante à partir de la nappe de l'Oligocène le long du littoral et drainance descendante à partir du Plio-Quaternaire et de l'Helvétien ;

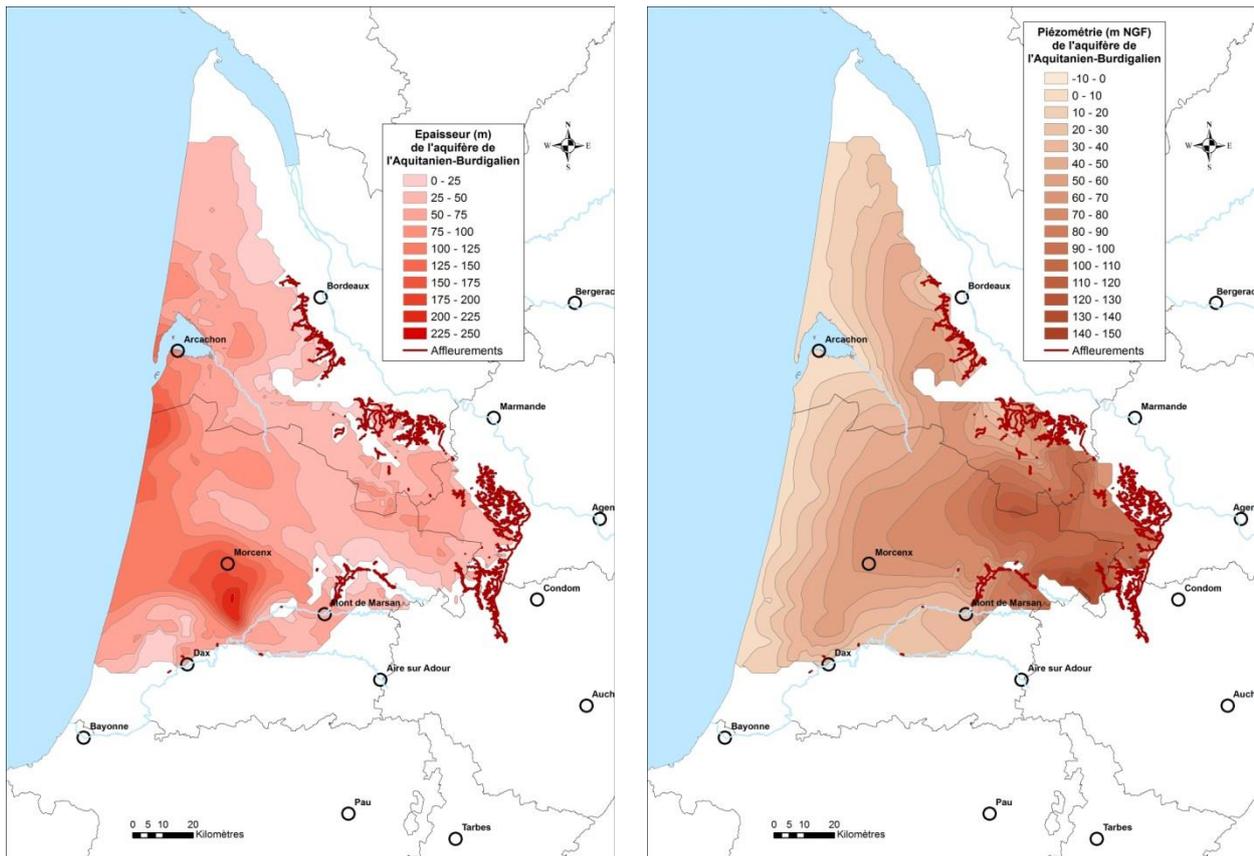


Illustration 8 - Epaisseur et piézométrie de l'aquifère de l'Aquitainien-Burdigalien extraites du MONA¹ [Corbier et Cabaret (2014)]

- au sommet, les sables marins et grès coquilliers de l'aquifère de l'**Helvétien**, d'extension inférieure à celle de l'Aquitainien-Burdigalien présente une épaisseur moyenne de quelques dizaines de mètres (illustration 9). Le littoral correspond approximativement à une limite de faciès étanche. Les importantes ressources en eau des séries sableuses (Sables fauves, multicouche plio-quaternaire) peuvent constituer des apports latéraux et verticaux non négligeables.

¹ MONA : MOdèle Nord-Aquitain (MONA) - [Saltel et al. (2017)]

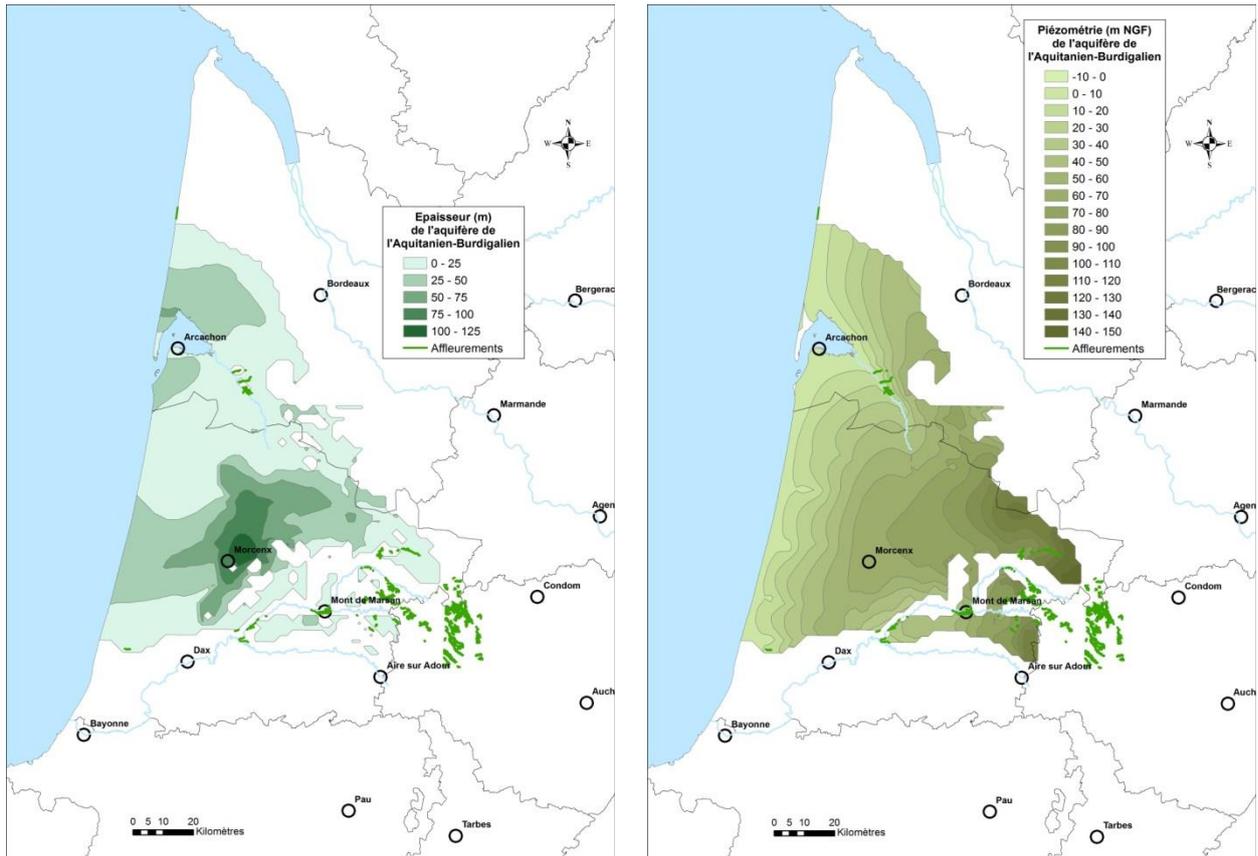


Illustration 9 - Epaisseur et piézométrie de l'aquifère de l'Helvétien extraites du MONA² [Corbier et Cabaret (2014)]

2.4. CONTEXTE CLIMATIQUE

Le département de la Gironde, dans lequel se situe la zone d'étude, est soumis à un climat de type océanique, avec des hivers relativement doux et humides et des étés pouvant être secs. Les températures moyennes sont de l'ordre de 5 à 7 °C en hiver et de 19 à 21°C en été. Les normales des **températures** pour la période 1981-2010, pour Bordeaux (données climatologiques fournies par Météo-France - station de Mérignac, station la plus proche du secteur d'étude fournissant ce type de données) sont indiquées dans le tableau de l'illustration 10. L'illustration 11 présente les normales mensuelles interannuelles pour Bordeaux (Mérignac) sur la période 1981-2010.

Température minimale 1981-2010	Température maximale 1981-2010	Hauteur de précipitations 1981-2010	Nombre de jours avec précipitations 1981-2010
9,1 °C	18,5 °C	944,1 mm	124,3 j

Illustration 10 - Normales annuelles pour Bordeaux 1981-2010 (données Météo-France)

² MONA : MOdèle Nord-Aquitain (MONA) - [Saltel et al. (2017)]

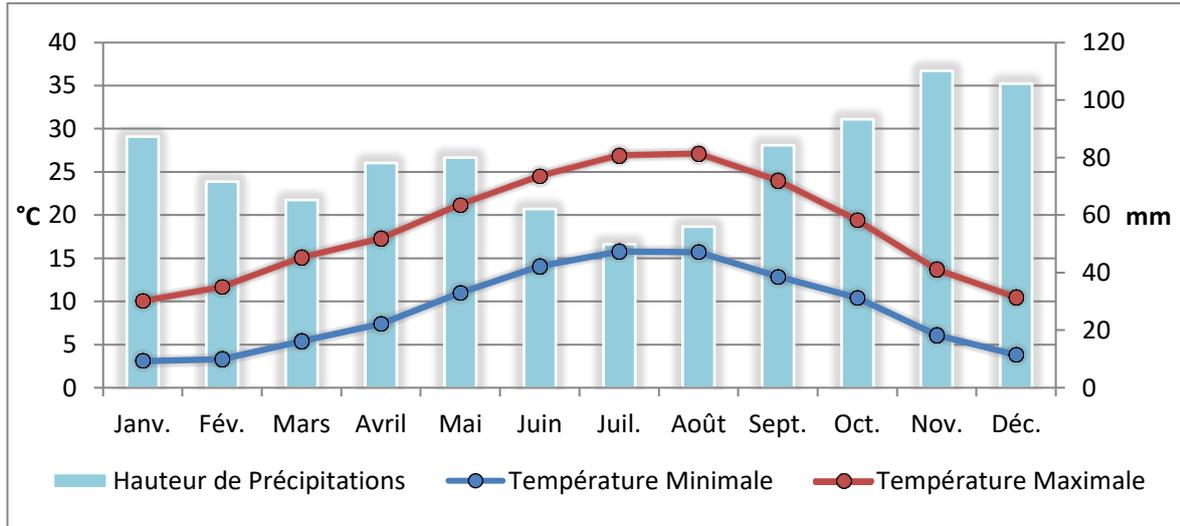


Illustration 11 - Normales mensuelles interannuelles pour Bordeaux - période 1981-2010 (données Météo-France)

Les normales climatiques spatialisées Aurelhy 1981-2010, présentées sur l'illustration 12, montrent la répartition globale des précipitations annuelles. Les valeurs des normales de précipitations augmentent d'ouest en est, autour du Bassin ; les précipitations sont de l'ordre de 850 mm sur la pointe du Cap-Ferret et atteignent plus de 1 000 mm sur la limite est des communes de Mios, Audenge ou Marcheprime.

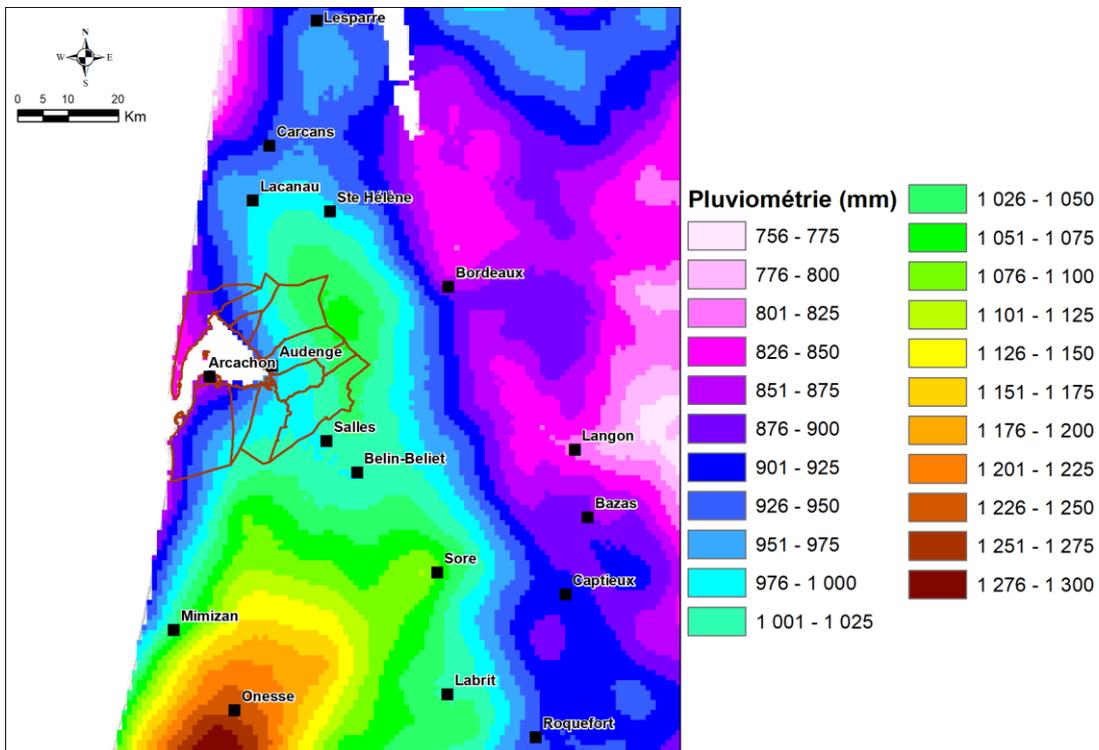


Illustration 12 - Répartition des précipitations annuelles en Gironde (source : normales Aurelhy 1981-2010, Météo-France)

Dans la partie suivante, une analyse a été réalisée sur 44 années de données, à la station de Mérignac (1973 à 2016). Les calculs sont réalisés sur les années hydrogéologiques, soit d'octobre de l'année précédente à septembre de l'année en cours. Ainsi, par exemple, l'année hydrogéologique 2016 comprend la période d'octobre 2015 à septembre 2016.

L'illustration 13 permet de comparer le cumul des précipitations annuelles (en années hydrogéologiques), de l'évapotranspiration (ETP) et des pluies efficaces³ (calculées avec une réserve utile (RU) de 150 mm), entre 1973 et 2016, sur le poste météorologique de Mérignac. A noter que la RU variant selon la nature du sol, celle-ci peut s'avérer localement plus faible que la valeur de 150 mm prise dans le calcul. L'illustration 14 permet de comparer les valeurs annuelles des 12 dernières années aux moyennes de la période 1973-2016.

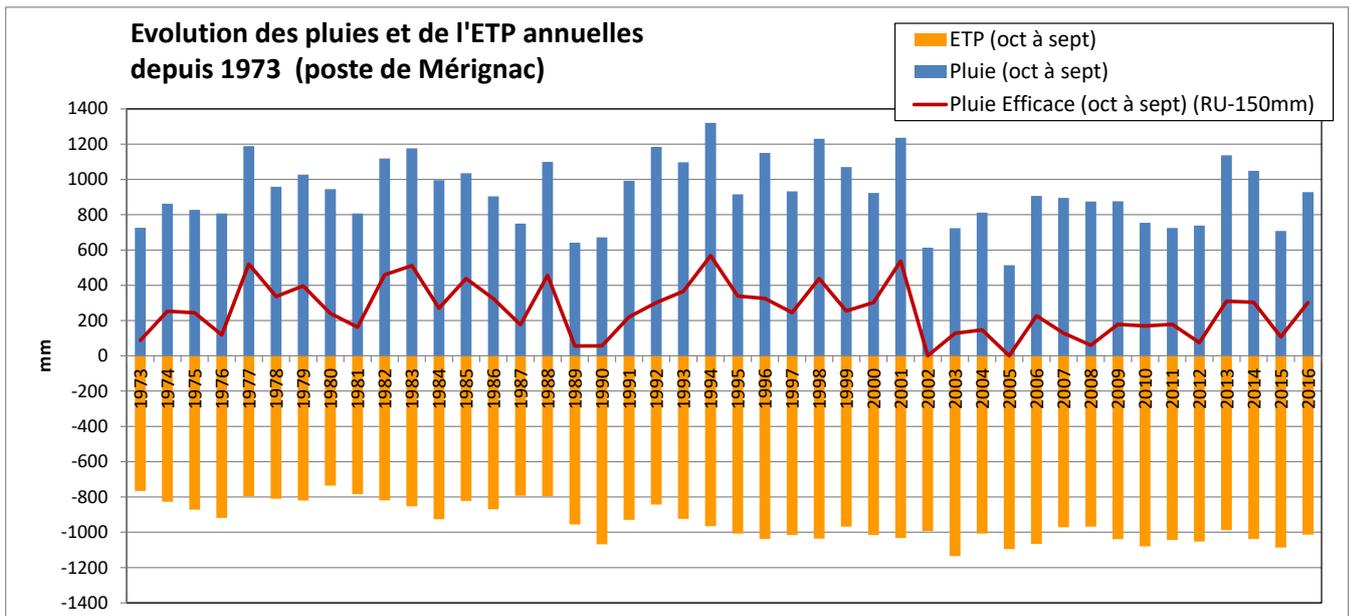


Illustration 13 - Evolution des pluies, des ETP annuelles et des pluies efficaces sur le poste de Mérignac entre 1973 et 2016

³ La pluie efficace dans ce contexte est la pluie qui participe au ruissellement et à la recharge des nappes

	Pluie annuelle (oct à sept)	ETP (oct à sept)	Pluie été (juin- septembre)	Pluie Efficace (oct à sept) (RU- 150 mm)
2005	514	1095.7	122.8	0
2006	906.4	1066.1	240.8	226.6
2007	895.5	971.3	231.6	129.2
2008	875.2	968	247.2	60.2
2009	876.1	1039.1	193.8	178.5
2010	754.1	1080	157.3	170.1
2011	724.3	1043.2	194.4	178.9
2012	738.5	1052.4	189.7	75
2013	1136.6	987.6	346.6	309.8
2014	1048.2	1037.6	219.3	303.6
2015	708.3	1086.3	204.2	107.7
2016	927.6	1012.6	163.6	301.7
Moyenne (1973-2016)	928.2	943.4	247.9	256.2

Illustration 14 - Evolution annuelle de la pluie et de l'ETP, sur le poste de Mérignac, entre 2005 et 2016, et comparaison à la moyenne 1973-2016

L'illustration 13 met en évidence un cycle de déficit pluviométrique généralisé entre 2002 et 2015 et une tendance globale à la hausse de l'ETP, sur la période 1973-2015, avec une année 2005 particulièrement sèche. Les années 2013 et 2014, relativement humides et assez similaires du point de vue météorologique, ont tempéré cette période de déficit, avant 2015, année à nouveau relativement sèche. L'année 2016, avec un cumul de pluie de 927,6 mm, est conforme à la moyenne. Les pluies efficaces supérieures à la moyenne (301,7 mm), représentent une année relativement humide (illustration 14). Par contre, la période estivale a été très sèche avec un très faible cumul de précipitations.

Une analyse statistique a été réalisée sur différents paramètres climatiques (pluie, pluie efficace et pluie d'été) afin de déterminer les valeurs de période de retour pour la quinquennale sèche et humide, ainsi que pour la décennale sèche et humide. Cette analyse a été réalisée en utilisant deux lois probabilistes, les lois de Gumbel et de Weibull couramment utilisées en hydrologie pour la détermination d'apparition d'événements « extrêmes ».

Ces périodes de retour sont calculées sur la base des données existantes, et donc sur différentes périodes plus ou moins sèches. La dernière décennie a par exemple été particulièrement sèche par rapport aux décennies précédentes. Ainsi, la tendance (éventuelle) à la baisse de cette dernière décennie peut biaiser légèrement le calcul des périodes de retour.

Pour les précipitations, les périodes de retour calculées sont indiquées sur l'illustration 15. Le classement des précipitations en fonction des années (de 1973 à 2016), par rapport aux périodes

de retour (illustration 16), montre une année 2016, légèrement supérieure à la médiane. On constate également sur les 12 dernières années que :

- l'année 2005 est l'année avec la plus faible pluviométrie enregistrée depuis 1973 ;
- les années 2010 à 2012 et 2015 sont comprises entre le seuil quinquennal sec et décennal sec ;
- les années 2007 à 2009 sont comprises entre la médiane et le seuil quinquennal sec ;
- les années 2006 et 2016 sont situées au-dessus de la médiane ;
- les années 2013 et 2014 sont les plus humides, avec une pluviométrie proche de la quinquennale humide en 2014, voire de la décennale humide en 2013 ;
- excepté en 2006, 2013, 2014 et 2016, toutes les années comprises entre 2003 et 2016 ne dépassent pas la médiane, soit 10 années sur 14.

Fréquence	Décennale Sèche	Quinquennale Sèche	« Médiane »	Quinquennale Humide	Décennale Humide
Loi de Gumbel Hauteur d'eau en mm	721.4	774.5	897.8	1063.9	1173.8
Loi de Weibull Hauteur d'eau en mm	671.0	737.0	898.0	1090.0	1193.0
Moyenne des 2 lois	696.2	755.7	897.9	1076.9	1183.4

Illustration 15 - Précipitations et périodes de retour calculées avec les lois de Gumbel et de Weibull - période 1973-2016 - station de Mérignac

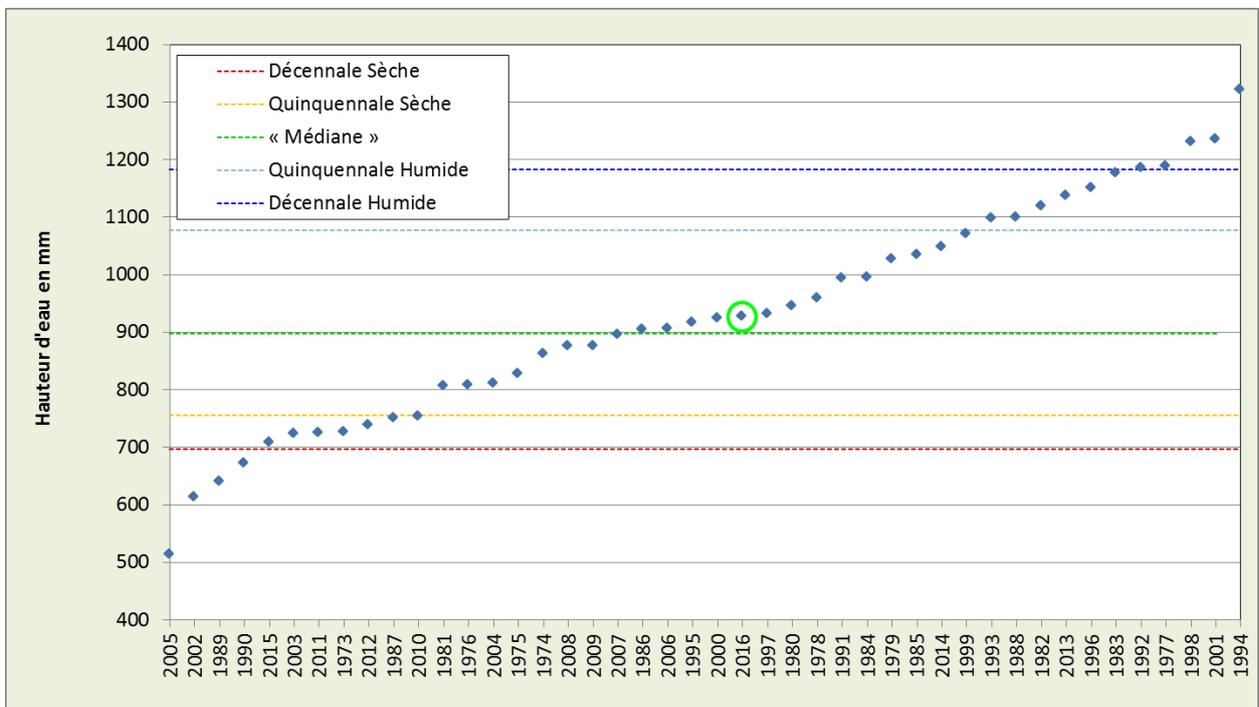


Illustration 16 - Périodes de retour et hauteurs des précipitations sur la période 1973-2016 (années classées) - station de Mérignac

Afin de compléter cette analyse, l'étude statistique a été réalisée sur les **pluies efficaces** (octobre à mai - calculées à partir des précipitations et de l'ETP fournis par Météo-France et de la RU - valeur de 150 mm prise) et les **pluies d'été** (juin/juillet/août/septembre). Les résultats sont résumés dans les tableaux des illustrations 17 et 18.

Fréquence	Décennale Sèche	Quinquennale Sèche	« Médiane »	Quinquennale Humide	Décennale Humide
Loi de Gumbel Hauteur d'eau en mm	92.4	134.4	232.1	363.5	450.5
Loi de Weibull Hauteur d'eau en mm	75.2	115.0	229.9	380.0	463.9
Moyenne des 2 lois (mm)	83.8	124.7	231.0	371.8	457.2

Illustration 17 - Pluie efficace à Mérignac (en mm) et période de retour en fonction des lois de Gumbel et de Weibull - période 1973-2016 - station de Mérignac

Fréquence	Décennale Sèche	Quinquennale Sèche	« Médiane »	Quinquennale Humide	Décennale Humide
Loi de Gumbel Hauteur d'eau en mm	144.9	170.8	231.1	312.3	366.0
Loi de Weibull Hauteur d'eau en mm	153.0	173.0	230.0	313.0	362.0
Moyenne des 2 lois	148.9	171.9	230.6	312.6	364.0

Illustration 18 - Pluie d'été à Mérignac (en mm) et période de retour en fonction des lois de Gumbel et de Weibull - période 1973-2016 - station de Mérignac

Le classement des années en fonction des pluies efficaces (illustration 19) montre un classement légèrement différent de celui des précipitations annuelles (illustration 16), sur les 15 dernières années :

- les années 2005 et 2002 se distinguent par l'absence de pluies efficaces ;
- la pluie efficace de 2008 et 2012 est inférieure au seuil décennal sec ;
- l'année 2015 est située entre le seuil quinquennal sec et décennal sec ;
- les années 2003, 2004, 2006, 2007 et 2009 à 2011 sont comprises entre la médiane et le seuil quinquennal sec ;
- les années 2013, 2014 et 2016 ont une pluviométrie efficace comprise entre la médiane et le seuil quinquennal humide. Il s'agit des 3 années avec la recharge la plus forte sur la période 2002-2016, la pluie efficace de 2016 étant proche de la médiane ;
- excepté 2013, 2014 et 2016, toutes les années comprises entre 2002 et 2016 ne dépassent pas la médiane.

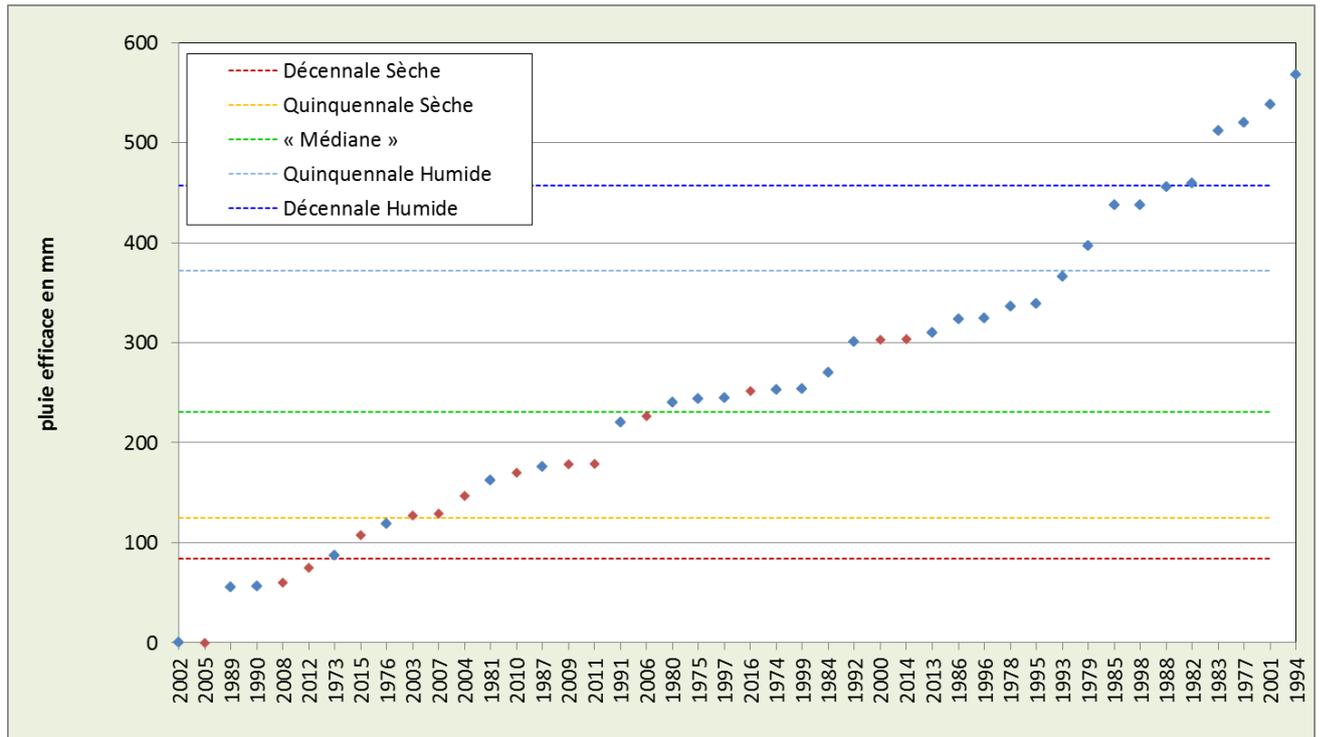


Illustration 19 - Classement des années hydrologiques selon la pluie efficace annuelle sur le poste de Mérignac (1973-2015) avec en rouge les années 2003-2016

L'illustration 20 représente la distribution annuelle des pluies efficaces et des pluies d'été au poste de Mérignac sur la période considérée. Les périodes de retour pour la pluie efficace et la pluie d'été y sont également indiquées. Ce mode de représentation permet de tenir compte à la fois de l'importance de la recharge hivernale (pluie efficace) et de la demande en eau estivale (pluie d'été).

Ce graphique confirme la particularité de l'année 2005, caractérisée par un été et un hiver secs. A l'inverse, l'année 2013 a connu un hiver ainsi qu'un été humide. L'année 2006 représente une année moyenne en termes de pluies estivales et hivernales. L'année 2014 se caractérise par un hiver humide et une pluviométrie estivale légèrement inférieure à la médiane. Les années 2007, 2008 et 2012 ont subi des hivers secs et des étés proches de la moyenne en termes de pluviométrie. L'année 2016 est caractérisée par un été très sec, avec une pluviométrie estivale comprise entre la décennale sèche et la quinquennale sèche et une pluviométrie hivernale proche de la moyenne. Enfin, les années 2003, 2004, 2009 à 2012 et 2015 sont caractérisées par une pluviométrie globalement déficitaire sur l'ensemble de l'année.

En résumé, les années 2003 à 2012 sont caractérisées par un déficit pluviométrique global ; les années 2013 et 2014 sont des années humides ; l'année 2015 est une année sèche et l'année 2016 une année moyenne avec toutefois un été très sec.

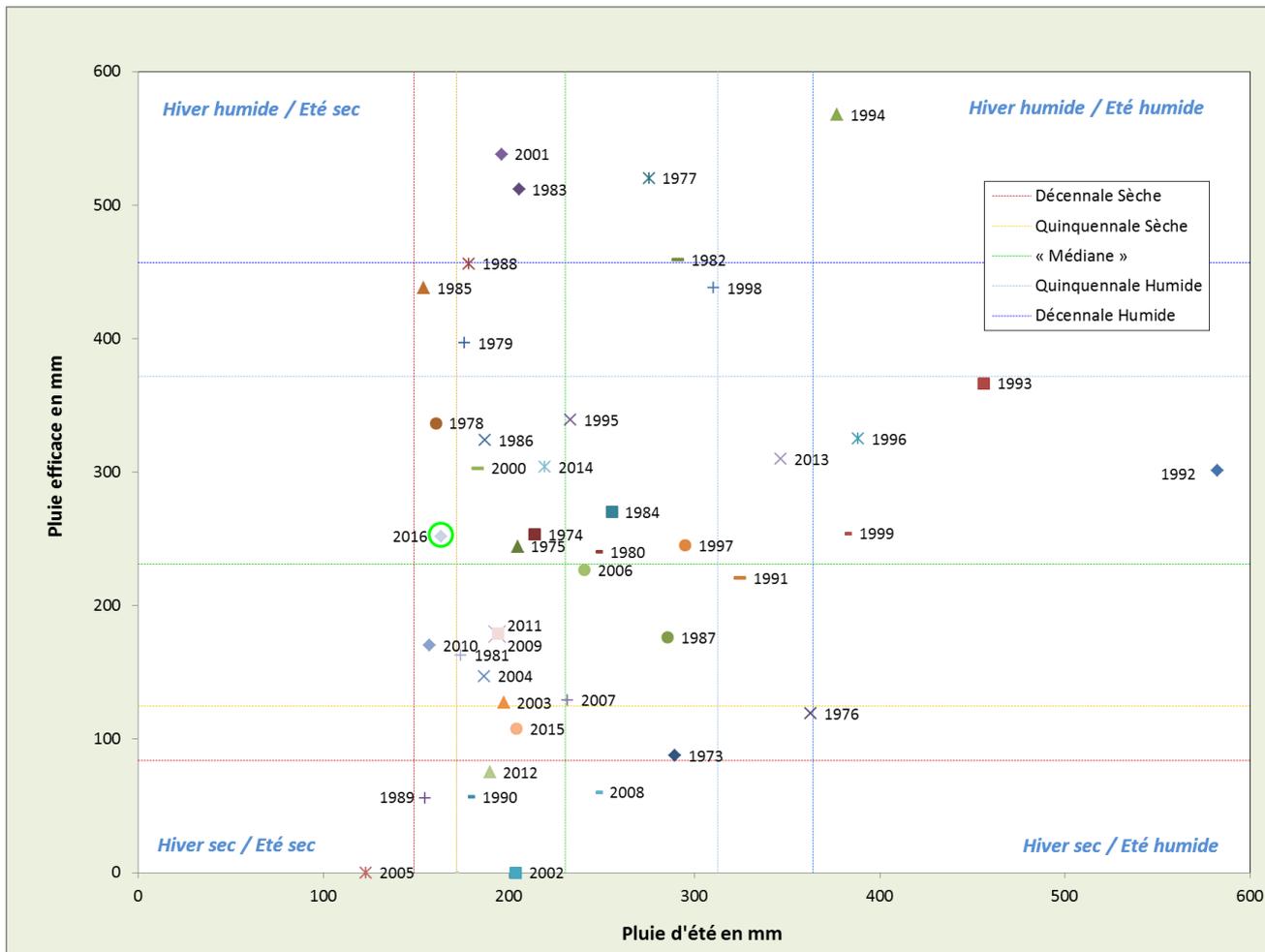


Illustration 20 - Distribution annuelle des pluies efficaces et des pluies d'été sur le poste de Mérignac pour la période 2003-2016

3. Concepts de la modélisation en hydrogéologie

3.1. DEFINITION D'UN MODELE HYDROGEOLOGIQUE

Le principe de la modélisation en hydrogéologie consiste à reproduire une réalité complexe à partir de différentes équations mathématiques, dans le but de mieux comprendre le fonctionnement de l'hydrosystème (outils de compréhension), réaliser des simulations ou des prévisions dans le temps (outils de gestion et de prédiction des ressources et/ou de la qualité des eaux).

En hydraulique souterraine, de nombreuses solutions analytiques ont été développées, au fil du temps, pour apporter des réponses numériques aux problèmes classiquement posés par l'exploitation des eaux souterraines. Toutefois, ce type d'outil ne s'utilise que dans des cas très simples. Ainsi, les solutions analytiques atteignent vite leurs limites, les conditions d'application étant en général très restrictives : milieu homogène, infini ou semi-infini, régime hydraulique permanent, ou régime transitoire en réponse à une impulsion brève ou continue [Barthélemy et Seguin (2016)]. Dans les cas pratiques, les limites sont en effet irrégulières, le milieu est hétérogène (répartition spatiale des propriétés relatives à l'écoulement et au transport), les valeurs de termes de source sont variables dans le temps et répartis dans l'espace, etc. ([Dassargues (1995)] ; [De Marsily (2004)]).

Pour répondre aux questionnements complexes, différents types de modèles numériques peuvent être mis en œuvre : modèles globaux (types boîte noire ou conceptuel - (*ie* à base physique)), semi-globaux (type conceptuel) ou spatialisés.

Les modèles globaux dit modèles "pluie-débit", "pluie-niveau" ou "pluie-débit-niveau" permettent de mettre en relation une variable d'entrée (pluie / ETP) et une variable de sortie (niveaux de nappes et / ou débits de cours d'eau) (illustration 21). Le modèle est global lorsque l'hydrosystème (un bassin versant, par exemple) est représenté par un seul assemblage de réservoirs superposés : le fonctionnement hydraulique du bassin est alors caractérisé par un ensemble de 5 ou 6 paramètres. Le modèle est dit semi-global quand le bassin est représenté par plusieurs modèles globaux indépendants distribués dans l'espace pour rendre compte de la variabilité spatiale de l'hydrosystème, ou pour simuler des échanges hydrauliques entre sous-bassins [Barthélemy et Seguin (2016)].

Dans le cas des modèles boîtes noires, cette mise en relation s'opère par l'intermédiaire de fonctions paramétrées similaires à des lois de comportement des phénomènes physiques impliqués dans le fonctionnement hydraulique du bassin versant, ou bien par l'intermédiaire de fonctions sans forme analytique *a priori*, calculées de façon purement numérique [Barthélemy et Seguin (2016)] (illustration 21).

Les modèles spatialisés (dits également distribués ou maillés) permettent de rendre compte de la variabilité spatiale du domaine en représentant de manière plus explicite la réalité. Ces modèles permettent la résolution des équations de l'écoulement (ou du transport), sur un domaine étudié, en recherchant une fonction définie en chaque point de l'espace (x,y,z) et à chaque instant t (pour le régime transitoire). Ainsi, pour l'écoulement d'une nappe, il s'agira par exemple de déterminer la charge hydraulique H (variable inconnue) en tout point de la nappe en fonction du temps ($H_{(x,y,z,t)}$) à partir de paramètres hydrodynamiques connus (perméabilité, transmissivité, emmagasinement), de conditions aux limites et de conditions initiales à un instant donné (exemple : carte piézométrique de référence, chronique piézométrique). Les modèles spatialisés (maillés) offrent la plus large gamme d'utilisation. Ils sont notamment incontournables pour la

représentation des systèmes aquifères multicouches, systèmes complexes pouvant contenir plusieurs nappes libres ou captives, où chaque couche aquifère peut échanger de l'eau par drainage verticale avec les couches sus et sous-jacentes [Barthélemy et Seguin (2016)].

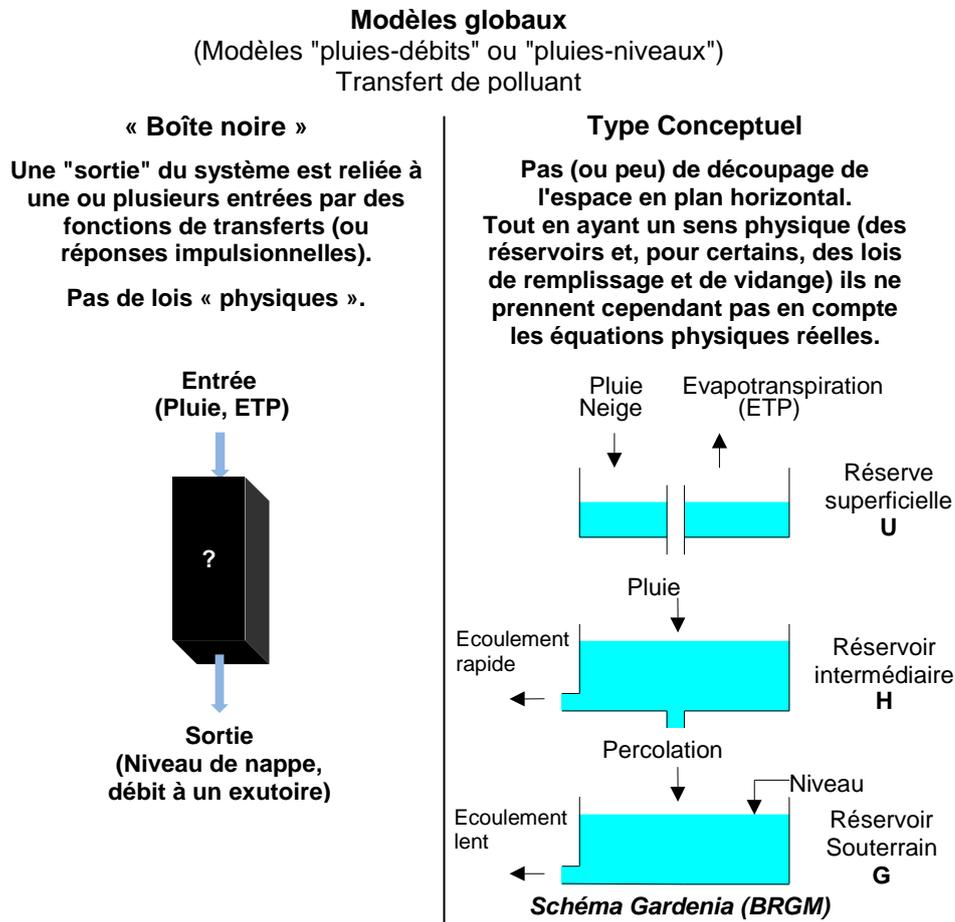


Illustration 21 - Différents types de modèles globaux (pour le schéma Gardénia [Thiéry (2003)])

Le principe des modèles spatialisés réside dans la discrétisation du domaine d'étude :

- dans l'**espace** (maillage),
- dans le **temps** pour les régimes transitoires.

Différentes méthodes numériques sont utilisées en modélisation hydrogéologique : méthode des éléments finis, méthode des différences finies, méthodes des volumes finis.

Dans les travaux qui seront proposés par la suite, selon la convention-cadre qui lie le SIBA et le BRGM, le code de calcul MARTHE (Modélisation d'Aquifères par Maillage Rectangulaire en régime Transitoire pour le calcul Hydrodynamique des Ecoulements) développé par le BRGM sera utilisé. Ce logiciel est basé sur la méthode des volumes finis [Thiéry (2015)].

Le code de calcul 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 et le transfert thermique, en zone saturée et en zone non saturée, en milieux monophasique et diphasique, en fonction des effets densitaires et des effets thermiques.

Il est possible de représenter des systèmes complexes multicouches, avec disparition locale de couche et présence de surfaces libres en n'importe quelle couche. Le maillage peut intégrer des sous-maillages gigognes pour affiner localement la discrétisation.

Dans chaque maille sont intégrées des données moyennées de géométrie (topographie, profondeur d'une couche géologique), des caractéristiques hydrodynamiques (perméabilité et emmagasinement). Concernant les données sur les cours d'eau (largeur, longueur, cote de fond de rivière, hauteur d'eau, pente...), celles-ci font l'objet d'un traitement spécifique, le réseau hydrographique (MARTHE) étant une surcouche du modèle hydrodynamique souterrain avec ses caractéristiques géométriques propres et ses paramètres étendus à tout un tronçon (un tronçon correspond à la longueur du cours d'eau dans une maille). Les échanges avec la nappe se font en fonction du niveau d'eau dans les tronçons de cours d'eau et du niveau d'eau dans la nappe.

A chaque stade de construction du modèle, des approximations doivent donc être réalisées. Pour reproduire au mieux cette réalité, des paramètres qui ne sont pas connus sur l'ensemble de la zone modélisée (particulièrement les paramètres hydrodynamiques qui ne sont connus que ponctuellement) doivent être estimés lors de la phase de calage. Les valeurs calculées par le modèle (niveaux d'eau, débits de cours d'eau notamment) sont comparées aux données observées sur le terrain. Une fois le calage jugé satisfaisant, le modèle peut être utilisé pour faire des simulations à partir de différents scénarios. Afin d'aboutir aux premières simulations, il est toutefois nécessaire de respecter différentes étapes plus ou moins longues.

3.2. LES DIFFERENTES ETAPES DE LA MODELISATION

Différentes étapes sont nécessaires à la réalisation d'un modèle de simulation des écoulements. Les chapitres qui suivent résument ces différentes phases et sont repris notamment des références bibliographiques suivantes : [Dassargues (1995)] ; [Yurtsever et al. (2001)] ; [Barthélemy et Seguin (2016)].

3.2.1. Définition du cadre de la modélisation et conceptualisation

La première étape dans la conception et l'application d'un modèle est de définir la nature du problème et l'objectif du modèle. Cette étape est étroitement associée à l'élaboration d'un modèle conceptuel, qui est là encore une étape préliminaire à l'élaboration d'un modèle de simulation [Yurtsever et al. (2001)]. La conceptualisation ou la construction du modèle conceptuel relatif à la problématique à analyser consiste à choisir les hypothèses fondamentales qui vont sous-tendre toute la modélisation. Les hypothèses retenues réduisent le problème réel en un problème simplifié, qui doit être acceptable au vu des objectifs de modélisation et des questions spécifiques auxquelles il faut répondre [Dassargues (1995)]. Les objectifs, auxquels devront répondre le modèle, conditionnent ainsi le type de modèle à mettre en œuvre, l'extension du secteur à modéliser, le nombre de couches (monocouche, multicouche), la nature des phénomènes à simuler (cours d'eau, transports de masses etc.), les pas d'espace (taille du maillage) et de temps (mensuel, décadaire, journalier etc.) à adopter pour les simulations, etc...

L'ensemble de ces informations permettra d'orienter les phases de collecte, d'analyse et de synthèse des données.

3.2.2. Collecte, analyse et synthèse des données

Les données à acquérir et à traiter (analyse de leur validité) pour la construction d'un modèle spatialisé concernent la structure géologique du/des réservoir(s) et des encaissants, les propriétés hydrogéologiques de ces formations, le contexte hydraulique, les chroniques hydroclimatiques, l'historique des prélèvements etc. Lorsque les écoulements souterrains interagissent avec un réseau hydrographique, il faut en outre caractériser les échanges entre nappe(s) et cours d'eau.

Enfin, il n'est pas rare que des campagnes de mesure, investigations de terrain (nivellement, jaugeages, etc.), enquêtes socio-économiques, analyse de photos aériennes, imagerie satellite, recherches bibliographiques, etc. soient nécessaires pour combler des lacunes de données jugées trop pénalisantes [Barthélemy et Seguin (2016)]. Les données nécessaires sont les suivantes (illustration 22) :

- géologie : les données géologiques permettent de déterminer la géométrie des couches à modéliser - sources : bases de données géologiques, rapports d'études...
- hydrogéologie : caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère, piézométrie de la nappe en périodes contrastées (au minimum basses et hautes eaux), chroniques piézométriques etc.
- sources : base de données, rapports d'études, ...
- hydrologie : réseau hydrographique (caractérisé par sa géométrie - largeur, longueur et profondeur - débits, niveaux...) - sources : BD Carthage, Banque Hydro, rapports d'études,...
- topographie : cote du sol - sources : Institut Géographique national, LIDAR,
- climatologie : pluviométrie et évapotranspiration - sources : Météo-France,
- pédologie : réserve utile en eau - sources : INRA, chambres d'agricultures, rapports d'études,..
- prélèvements d'eau : pour l'alimentation en eau potable (AEP), l'irrigation et autres (industrie, particuliers...) - sources : Agences de l'eau, DDT, chambres d'agricultures, syndicat d'eau,...

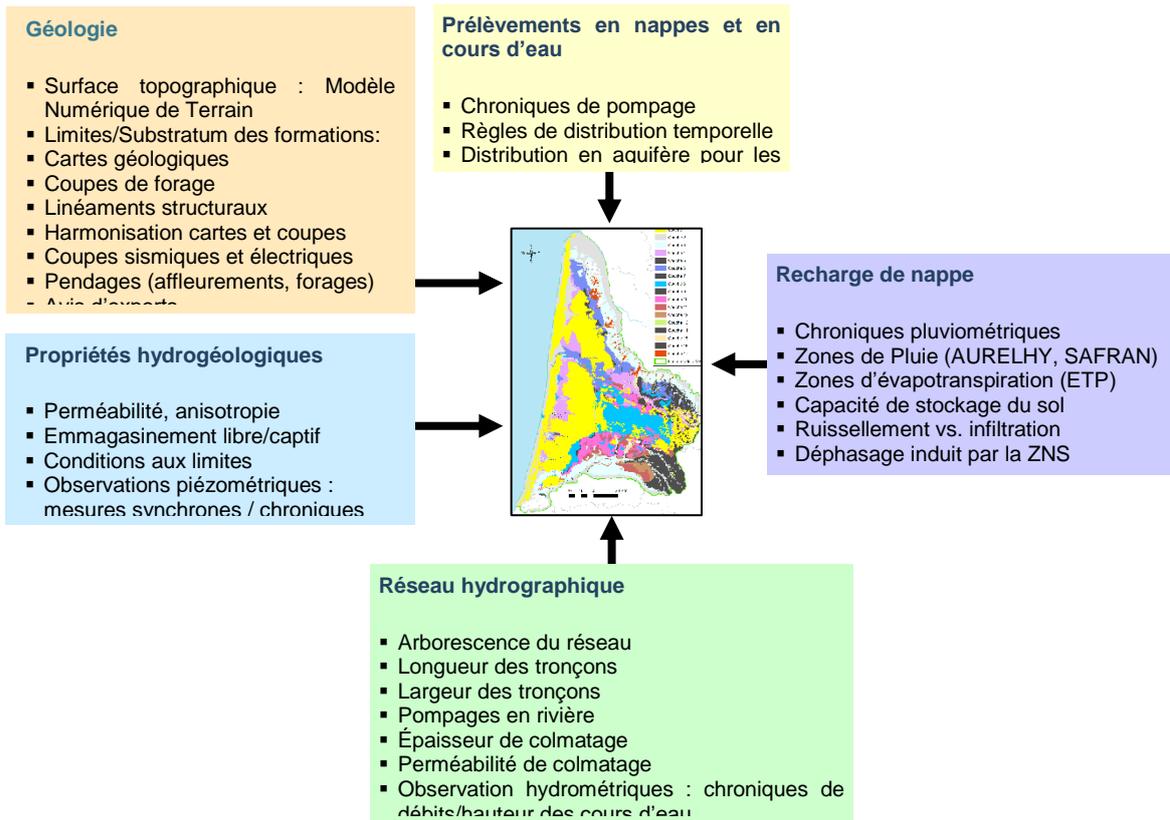


Illustration 22 - Les données nécessaires à la modélisation (modèle hydrodynamique « simple »)

A noter que cette phase peut se révéler relativement chronophage en fonction de la masse de données à traiter sur le secteur d'études (fonction de l'étape initiale de conceptualisation).

3.2.3. Construction optionnelle d'un modèle géologique 3D

Dans le cas d'un modèle complexe et de grande étendue, il est recommandé de construire, préalablement au modèle hydrogéologique, un modèle des formations géologiques en 3D à l'aide d'un modeleur géologique. Ce type d'outil permet une construction cohérente et actualisable (en fonction de nouvelles données qui pourraient être récoltées) de l'architecture des couches géologiques en intégrant notamment l'ensemble des données structurales (ex. failles). La structure géologique peut ensuite être exportée dans le modèle hydrogéologique et constituer la géométrie des aquifères. A noter qu'il est impératif que l'hydrogéologue et le géologue puissent travailler ensemble sur la réalisation de ce type d'outil.

3.2.4. Construction du modèle hydrogéologique ou d'écoulement souterrain

Construire un modèle, c'est organiser les données récoltées sous une forme utilisable par le logiciel de modélisation, en générant des fichiers compatibles avec ce logiciel. Une fois la taille des mailles définie, avec éventuellement les secteurs à enjeux à raffiner (exemple maillage gigogne), chaque maille est renseignée avec la description de la géométrie du système aquifère, des propriétés hydrogéologiques du milieu, des conditions aux limites et des entrées/sorties hydrauliques. A noter que les données sont généralement moyennées dans chaque maille en fonction de leur taille.

3.2.5. Calage du modèle (ou calibration)

La connaissance en tous points du secteur d'étude des informations hydrogéologiques (paramètres hydrodynamiques, niveaux de nappes etc.) n'est, d'une manière générale, pas possible. En effet, ces informations ne sont disponibles que très ponctuellement, et l'estimation de ces paramètres sur l'emprise du modèle doit être réalisée (distribution spatiale généralisée). Par ailleurs, viennent s'ajouter des effets d'échelle : lorsqu'un paramètre est mesuré à une échelle très locale et qu'il doit être utilisé, dans le modèle, à un niveau d'échelle supérieur (dans une maille ou un ensemble de mailles par exemple). Il est nécessaire alors de vérifier si les résultats du modèle sont réalistes. Cette procédure est appelée calibration ou calage du modèle et consiste à minimiser la différence entre mesures et résultats (chronique piézométrique, débits de cours d'eau) par l'ajustement des données d'entrée, jusqu'à ce que le modèle reproduise les conditions du champ mesuré avec un niveau de précision acceptable. Le calage peut être réalisé dans un premier temps en régime permanent (temps théoriquement infini) avec un 1 seul état restitué (état piézométrique par exemple) à partir d'un seul jeu de données d'entrée (recharge, prélèvements etc.). Il sert généralement à « dégrossir » le calage de certains paramètres. Le régime transitoire tient compte du facteur "temps", en intégrant des chroniques de paramètres en entrée du modèle (chroniques de recharge, chroniques de prélèvements) et fournit ainsi des chroniques de sortie (chroniques piézométriques, débits de cours d'eau etc.)

Cette étape du travail de modélisation est déterminante, car elle vise à identifier une distribution spatiale des paramètres hydrogéologiques qui permet d'atteindre une bonne adéquation entre résultats de simulation et observations de terrain, aussi bien en termes de charges hydrauliques que de débits de sources et cours d'eau. A noter que la comparaison entre les observations et les résultats de calcul n'aboutira généralement jamais à une parfaite adéquation (du fait de l'échelle de travail également), le modèle n'étant qu'une approximation du système réel, construit avec une série d'hypothèses de travail sous-jacentes propre à chaque opérateur.

Dans la mesure du possible, pour le calage du modèle, devra être retenue une période d'observations, comportant des épisodes hydrodynamiques semblables à ceux qui pourront être simulés lors des scénarios prévisionnels, et ce de façon à pouvoir apprécier la représentativité du modèle dans cette plage de fonctionnement.

Les paramètres à ajuster au cours du calage sont ceux qui définissent les propriétés hydrauliques du milieu ; les paramètres de recharge et les paramètres du cours d'eau quand le réseau hydrographique est pris en compte. Pour faciliter cette opération, des zones homogènes peuvent être prédéfinies sur la base d'une analyse hydrogéologique préalable, ou être constituées en cours de calage, grâce à l'amélioration progressive des connaissances et à la meilleure perception du comportement dynamique du système aquifère, apportées par cette phase de travail [Barthélemy et Seguin (2016)].

Pratiquement et d'une façon générale, une procédure de calage par "essais-erreurs" est réalisée par l'hydrogéologue et se fait donc par le jugement et l'expérience de ce dernier, afin d'obtenir finalement une calibration fiable.

Des procédures de calage automatique peuvent être proposées, mais elles restent pour le moment peu adapté aux systèmes aquifères multicouches complexes. Le jugement et l'expérience de l'hydrogéologue modélisateur restent des facteurs majeurs pour le calage à la fois précis et efficace d'un modèle, même si des procédures automatisées sont utilisées [Yurtsever et al. (2001)].

3.2.6. Validation du modèle

La phase de validation permet de vérifier que le modèle est capable de reproduire le comportement du système aquifère, lorsque celui-ci est soumis à un ensemble de sollicitations internes et externes. De manière concrète, le modèle calé est utilisé pour simuler une/des séquence(s) de données, volontairement mise(s) de côté pendant la phase de calage ; les résultats de simulation (charges, débits) sont ensuite comparés aux observations de terrain.

A noter que les critères pour déclarer un modèle "validé" sont fondamentalement subjectifs. Pour un même modèle, il n'existe généralement pas de solution unique, une bonne comparaison peut quand même être obtenue avec un modèle inadéquat ou erroné [Yurtsever et al. (2001)]. Pour [Bredehoeft et Konikow (2012)] : « *pour le public en général, déclarer qu'un modèle hydrogéologique est validé, porte en soi une aura d'exactitude que beaucoup de modélisateurs ne revendiqueraient pas. Parce que classer un modèle comme ayant été "validé" a peu d'intérêt et de sens scientifique, une telle "certification" va un peu au-delà et ne fait qu'inculquer une fausse impression de confiance dans ces modèles* ».

3.2.7. Exploitation du modèle

Une fois calé, le modèle peut être utilisé pour simuler différents scénarios prévisionnels, définis en fonction des objectifs assignés au démarrage de l'étude, par exemple pour :

- 1) Reproduire le fonctionnement des nappes au cours du temps :
 - ✓ niveaux des nappes,
 - ✓ circulations des eaux,
 - ✓ (+ prise en compte des échanges nappes/rivières),
- 2) Estimer les volumes d'eau transitant par les nappes ou par les cours d'eau :
 - ✓ bilan hydrogéologique par bassins versants,
 - ✓ débits des cours d'eau,
 - ✓ volume échangé entre les nappes et les cours d'eau,
- 3) Aider à la décision pour une gestion optimale de la ressource et sa préservation :
 - ✓ aide à la détermination des volumes prélevables, en lien ou non avec les débits des cours d'eau,
 - ✓ détermination d'indicateurs piézométriques / indicateurs de débit de cours d'eau,
- 4) Prévoir :
 - ✓ test des scénarios de réduction ou d'augmentation des prélèvements,
 - ✓ test de l'impact de la mise en place d'un champ captant pour l'alimentation en eau potable,
 - ✓ test de l'impact du réchauffement climatique,
 - ✓ évaluation de l'impact de la mise en place de retenues de substitution,
- 5) Configurer des ouvrages - positionnement / optimisation : par exemple les ouvrages d'un champ captant ;
- 6) Estimer l'impact d'une pollution des eaux.

4. Définition du modèle - synthèse de données nécessaires à la modélisation

4.1. OBJECTIFS DE LA MODELISATION

Le SIBA souhaite disposer d'un outil opérationnel de modélisation hydrogéologique transitoire, prenant en compte les cours d'eau / réseaux de drainage, qui lui permette une bonne connaissance des niveaux de nappes (profondeur de l'eau) et ce le plus précisément possible, sur l'étendue de son territoire et en particulier les zones à enjeux.

Cet outil de modélisation devra répondre à diverses problématiques de gestion opérationnelle, concernant les éléments suivants :

- Assainissement Non Collectif (ANC) : connaissance des niveaux des nappes pour l'implantation de solutions d'assainissement autonome ;
- Assainissement collectif : le réseau d'assainissement du SIBA est confronté, au cours de certaines périodes de l'année, à des entrées d'eau parasites, dans différents tronçons, vraisemblablement liées à des ennoissements du réseau lors de la remontée de nappe et des entrées dans des infrastructures non « étanches ». La connaissance des niveaux de nappes, en complément de la connaissance des opérateurs de terrain, permettrait de cerner précisément les secteurs où des entrées d'eau sont susceptibles de se produire ;
- La gestion des eaux pluviales : connaissance sur les interactions nappes / réseau de drainage, afin de pouvoir optimiser le dimensionnement des réseaux de drainage des eaux pluviales ;
- Le SIBA a fourni une carte des axes de drainages structurants (illustration 23) autour du Bassin : drains, canalisations et cours d'eau, qui devront être intégrés de la façon la plus précise possible dans le modèle ;
- La pollution des eaux : 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 sur la qualité des eaux, pourrait permettre d'estimer les flux de micropolluants atteignant les eaux du Bassin.

Pour répondre aux questionnements du SIBA, à l'aide d'un modèle hydrogéologique, il est nécessaire de s'intéresser à l'ensemble du bassin versant, en amont du territoire sur lequel le SIBA exerce ses compétences. Le modèle devra donc s'étendre en-dehors des limites du territoire du SIBA. Il devra par ailleurs prendre en compte le réseau de cours d'eau et de drainage, de façon la plus précise possible, dans les zones d'intérêts en fonction des limites du modèle. Le maillage pourra être à maille lâche, dans les secteurs périphériques, et affiné dans les zones à enjeux définis par le SIBA.

Préalablement au développement du modèle, une synthèse des données est nécessaire, afin de tenir compte de l'ensemble des informations disponibles sur le territoire du SIBA, mais également de celles liées aux bassins versants amont de ce territoire.

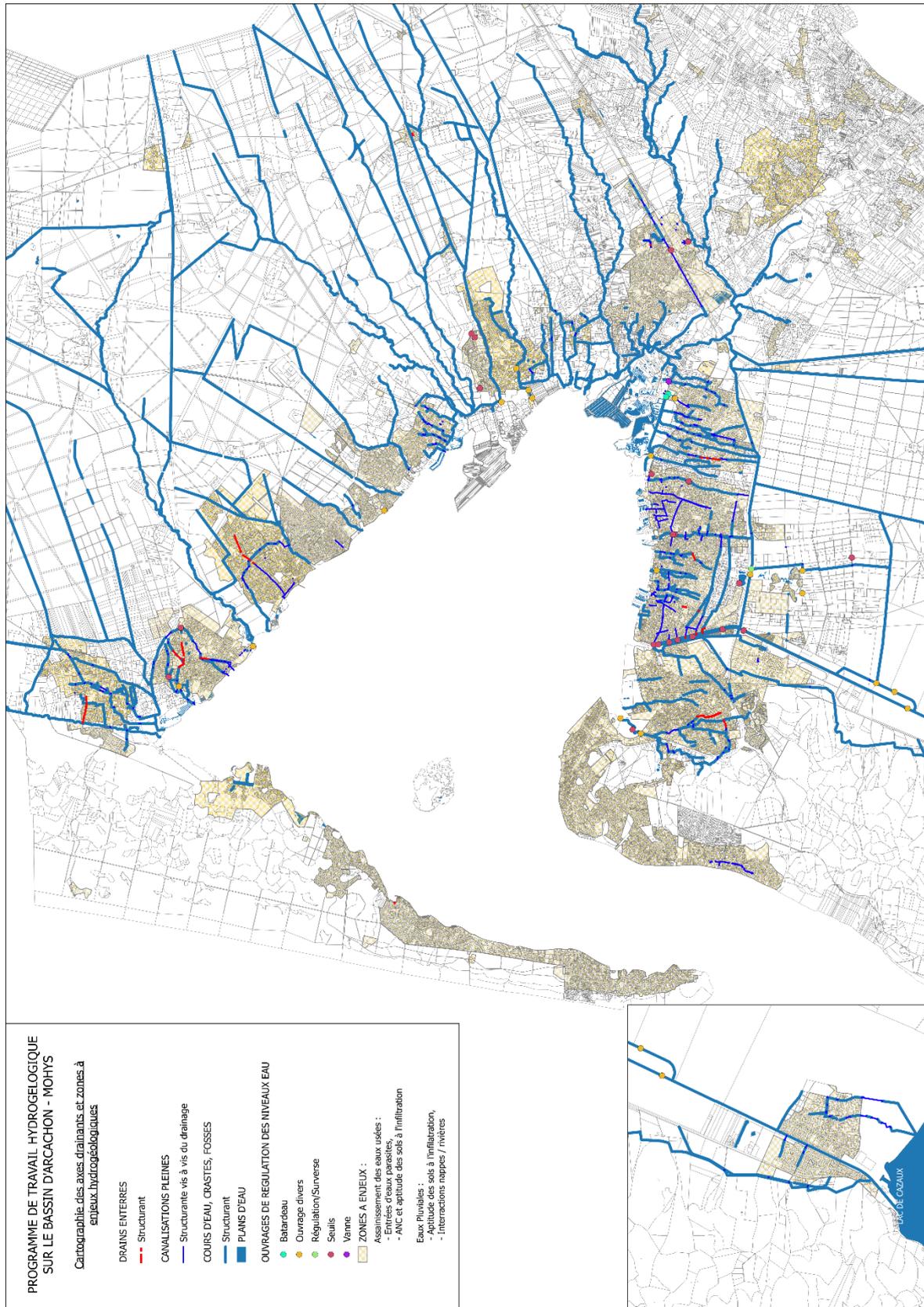


Illustration 23 - Cartographie des axes drainants et zones à enjeux hydrogéologiques (document fourni par le SIBA)

4.1. SYNTHÈSE DES DONNÉES

4.1.1. Données topographiques

Les données qui pourront être utilisées sont, selon les secteurs, le MNT (Modèle Numérique de Terrain) au pas de 25 mètres (BD ALTI® de l'IGN - illustration 24) ou bien le Lidar fourni le SIBA (illustration 25).

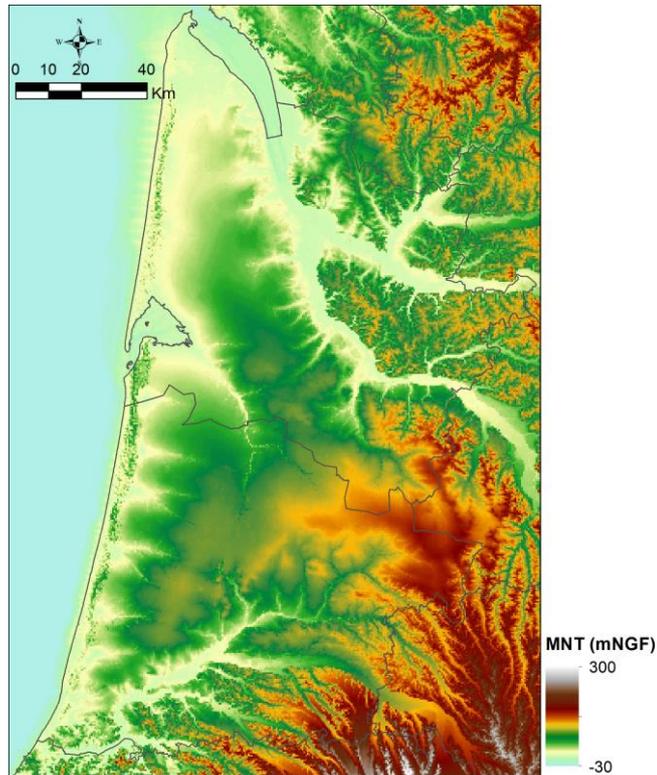


Illustration 24 - Modèle Numérique de Terrain, au pas de 25 mètres (BD ALTI® de l'IGN)

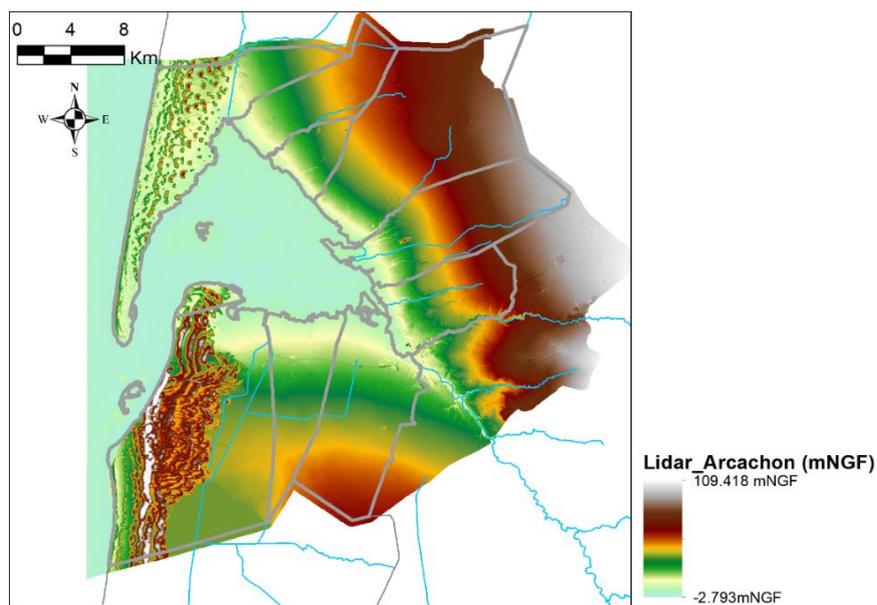


Illustration 25 - Lidar fourni par le SIBA

4.1.2. Données géologiques

Grâce au programme régional pour la gestion des eaux souterraines en Aquitaine, qui s'est traduit par différentes conventions-cadres successives avec la Région, l'Etat et l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (1996-2001, 2002-2006, 2008-2013 et 2015-2020), le BRGM a développé un modèle géologique des formations plio-quadernaires du « Triangle Landais », à partir de nombreux travaux permettant d'actualiser la vision géologique de ce secteur ([Karnay et al. (2008)], [Corbier et al. (2010)], [Corbier et al. (2011)], [Corbier (2012)]). Ce travail a permis l'agrégation de nombreuses données existantes pour établir ce modèle géologique.

Sur la base de 1 091 sondages et de 16 coupes géologiques de référence, la réinterprétation de l'ensemble mio-plio-quadernaire du « Triangle Landais » a mis en évidence la complexité de la répartition et de la géométrie des dépôts détritiques (Karnay et al., 2008). En effet, depuis le Miocène moyen, la régression marine a favorisé la sédimentation continentale dans le delta landais. Cette sédimentation a conduit à l'alternance de couches sablo-graveleuses et d'assises argileuses. Au sein de cette pile sédimentaire, 6 séquences de dépôts ont pu être identifiées (illustration 3), lesquelles sont surmontées par la formation du Sable des Landes et / ou des dépôts alluviaux et / ou du sable des systèmes dunaires [Corbier et Cabaret (2014)].

A l'issue de la réinterprétation, un modèle géologique 3D de l'ensemble des formations plio-quadernaires a donc été proposé sous le logiciel GDM et de son extension GDM Multilayer (outil de modélisation géologique multicouche) du BRGM, à partir du MNT au pas de 250 m.

Ce modèle reprend au total 10 couches, avec du bas vers le haut :

- Couche n°1 : le **Substratum**. Cette couche correspond schématiquement au Miocène ;
- Couche n°2 : la formation des **Sables Fauves** - Séquence 1 (illustration 26a) ;
- Couche n°3 : la formation des **Glaises bigarrées** - Séquence 1 (illustration 26a) ;
- Couche n°4 : la formation d'**Arengosse** - Séquences 2 & 3 (illustration 26b) ;
- Couche n°5 : la formation d'**Onesse** - Séquence 4 (illustration 26c) ;
- Couche n°6 : la formation de **Belin** - Séquence 5 (illustration 26d) ;
- Couche n°7 : la formation de **Castets** - Séquence 6 (illustration 27a) ;
- Couche n°8 : la formation du **Sables des Landes** et des **Sables** (illustration 27b) ;
- Couche n°9 : les **alluvions anciennes** (illustration 27c) ;
- Couche n°10 : les **alluvions récentes** (illustration 27d).

Ce modèle géologique intégrateur de l'ensemble des données existantes connues sur l'emprise du « Triangle Landais » sera utilisé comme base pour l'information géologique sur le secteur d'étude.

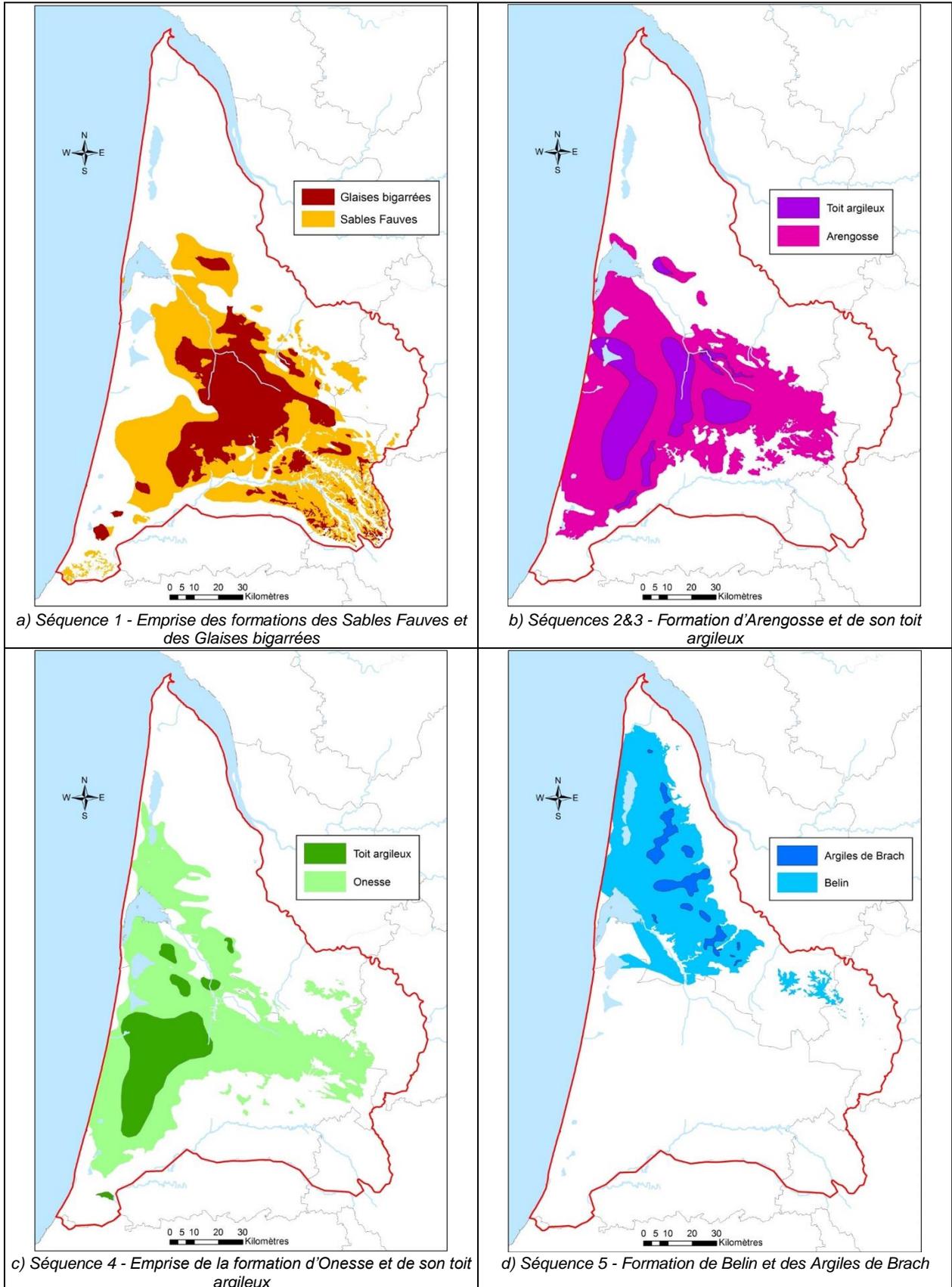


Illustration 26 - Emprise des formations dans le modèle géologique 1/2

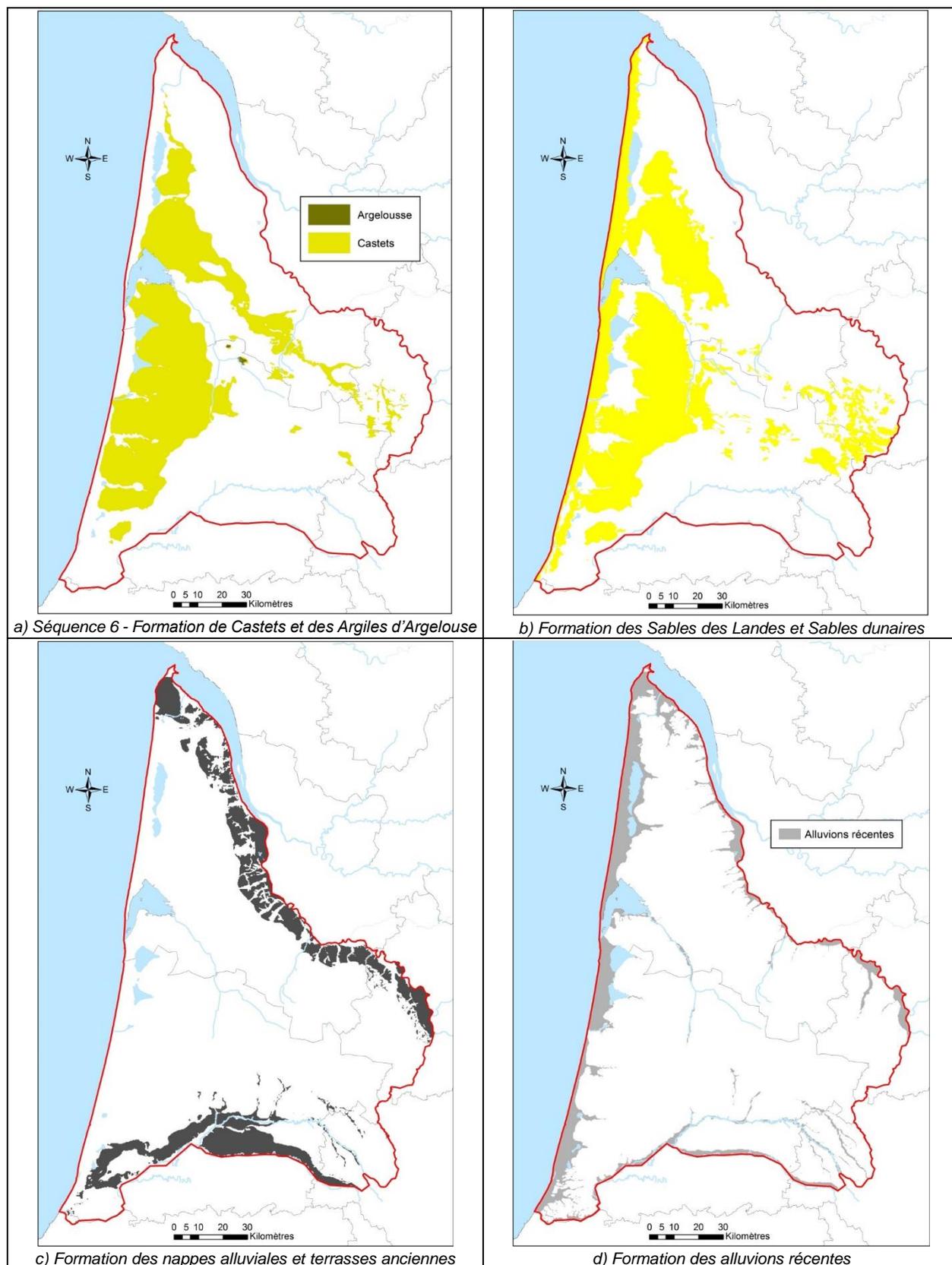


Illustration 27 - Emprise des formations dans le modèle géologique 2/2

4.1.3. Données hydrogéologiques

Piézométrie des nappes du Plio-Quaternaire

De nombreuses esquisses piézométriques des nappes plio-quaternaires ont été tracées au cours des soixante dernières années sur l'ensemble du « Triangle Landais », ou bien sur des secteurs plus locaux comme récemment sur les différentes zones de SAGEs superficiels (Tableau 1). Par ailleurs, diverses synthèses partielles de ces données ont été réalisées pour établir des cartes piézométriques sur le territoire. Ces cartes sont généralement utilisées comme « référence » et sont disponibles dans les documents suivants :

- [Astié et Chamayou (1977)] : Les eaux souterraines en Gironde - BRGM 77-SGN-104 d'après [Astié et al. (1971)],
- [Bichot et al. (2001)] : Atlas hydrogéologique de l'Aquitaine.

Année	Etage / Description	Source	Equi-distance des isopièzes (m)	Code BDRHF V1	Code LISA	Masse d'eau
1961 - Crue et Etiage	Bassin de Leyre	[Tournier (1961)]- Etude hydrogéologique du bassin de l'Eyre	5	127A0	308AC	5045
1965	Région de l'étang de Cazaux - Crue et étiage	[Teissier (1967)] – Thèse - Université de Bordeaux	5	127A0	308AC	5045
1968	Bassin Arcachon	[Astié et al. (1971)]- BRGM – Rapport BRGM 71-SGN-107	5	127A0	308AC	5045
Données de 1962 à 1972	Région Aquitaine	[Kieken et Marionnaud (1972)] - BRGM – Rapport BRGM 72-SGN-80 - Carte établie à partir de différentes thèses de 3ème cycle	10	127A0	308	5045/ 5046/ 5047
1972	Département Gironde	[Kieken et Marionnaud (1972)] - BRGM – Rapport BRGM 72-SGN-80	10	127A0	308	5045/ 5047
197X	Bassin aquitain	[Mondeilh (1974)] - Thèse - Université de Bordeaux - piézométrie des dunes littorales	5	127A0	308AA01	5045
1985	Bassin aquitain	[Bordeaux (1985)] Centre D'Hydrogéologie De Bordeaux.	5	127A0	306/308/ 312	5045/ 5046/ 5047
2007-2008	Bassin d'Arcachon	[Durst et Rodriguez (2008)]- Rapport BRGM/RP-56680-FR	10			
2009	Etangs littoraux	[Corbier et al. (2010)] - BRGM/RP-57813-FR	5	127A0	308AC	5045
Mai-10 & janv-11 Juin-10 & déc-10	Lacs Médocains Lacs Born et Buch	[Corbier et al. (2011)] - Rapport BRGM/RP-60259-FR	5	127A0	308AC	5045
Oct.-11 & janv-12 Oct.-11 & janv-12	Lacs Médocains Lacs Born et Buch	[Corbier (2012)] – Rapport BRGM/RP-61303-FR	5	127A0	308AC	5045
Juin-14	Bassin de Leyre	[Corbier et Cabaret (2015)] - BRGM/RP-64983-FR	5	127A0	308AC	5045

Tableau 1 - Liste des cartes piézométriques disponibles dans le secteur d'étude - nappe plio-quaternaire

Les différents points de mesure, repérés dans le territoire du SIBA, pour les études du BRGM dans le cadre des conventions régionales sur les eaux souterraines, sont visualisables sur l'illustration 28 ([Durst et Rodriguez (2008)] ; [Corbier et al. (2010)] ; [Corbier et al. (2011)] ; [Corbier (2012)] ; [Corbier et Cabaret (2015)]).

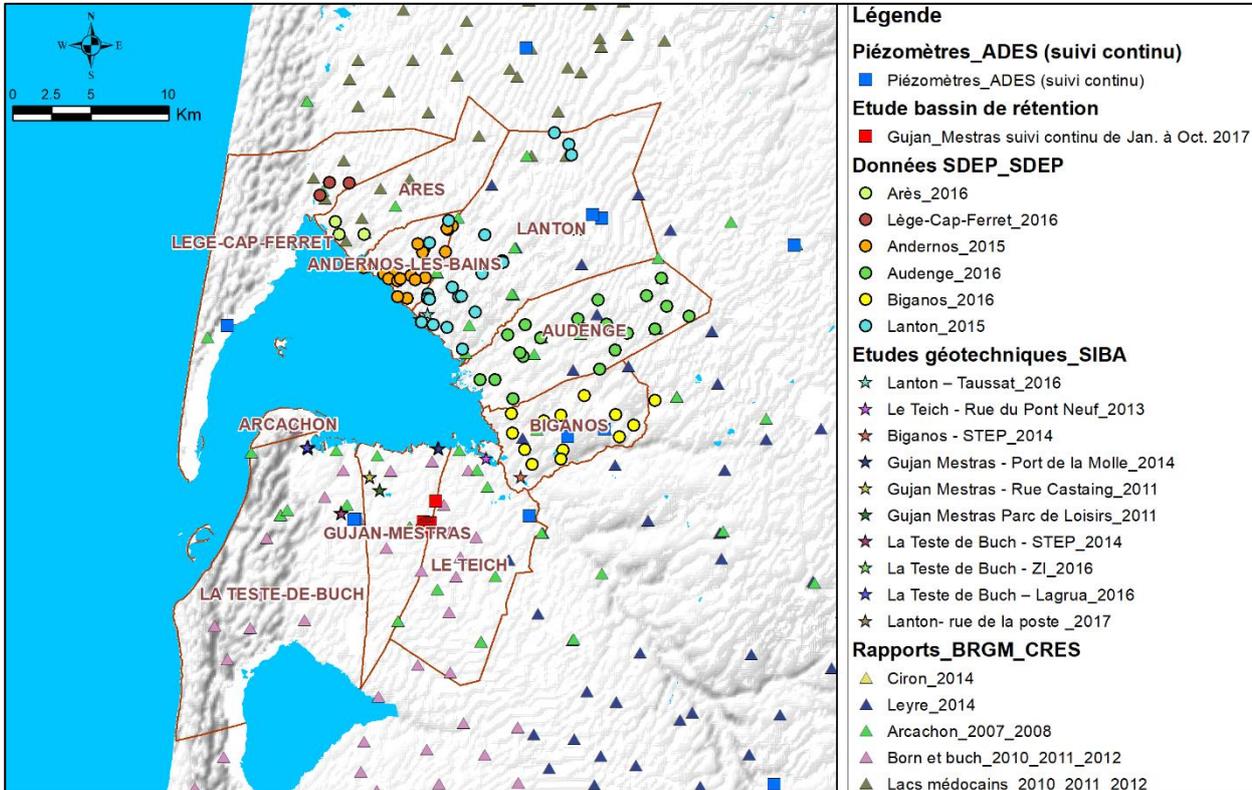


Illustration 28 - Localisation des points de mesures piézométriques dans différentes études

Plus localement, concernant le secteur d'intervention du SIBA, différentes cartes piézométriques sont disponibles dans les documents produits dans le cadre de révision des schémas directeurs des eaux pluviales (Annexe 1) :

- Audenge, janvier 2016 [Large (2016a)],
- Biganos, janvier 2016 [Large (2016b)],
- Gujan-Mestras, juin-juillet 2014 [Lacroix (2014)],
- La Teste-de-Buch, quartier Cazaux, juin-juillet 2014 [Lacroix (2015)],
- Andernos-les-Bains, novembre 2015 [Bastien (2016a)],
- Lanton [Bastien (2016a)].

Pour l'ensemble des cartes piézométriques intégrées dans ces schémas directeurs des eaux pluviales, les données brutes (mesures) qui ont permis l'établissement des esquisses sont disponibles pour : Andernos (23 ouvrages), Lanton (22 ouvrages), Audenge (20 ouvrages), Biganos (13 ouvrages), Gujan-Mestras et la Teste-de-Buch - quartier Cazaux (24 ouvrages) (illustration 28). A noter également que des données brutes ponctuelles de mesures piézométriques ont été récupérées sur les communes d'Arès [Balmand (2017a)] et Lège-Cap-Ferret [Balmand (2017b)] (illustration 28). Les cartes piézométriques et mesures sont visibles en annexe 1.

A partir de ces cartes piézométriques, différentes cartographies de profondeur de la nappe ont été réalisées par les bureaux d'études qui ont travaillé sur les schémas directeurs des eaux pluviales. Ces cartographies résultent d'une interpolation de la surface piézométrique (à noter qu'aucune information sur la méthode d'interpolation employée, les contraintes appliquées, la taille de la cellule n'est fournie) et d'un MNT de la commune. Ces cartes présentent ainsi les secteurs à risques où la nappe affleure (ex. illustration 29).

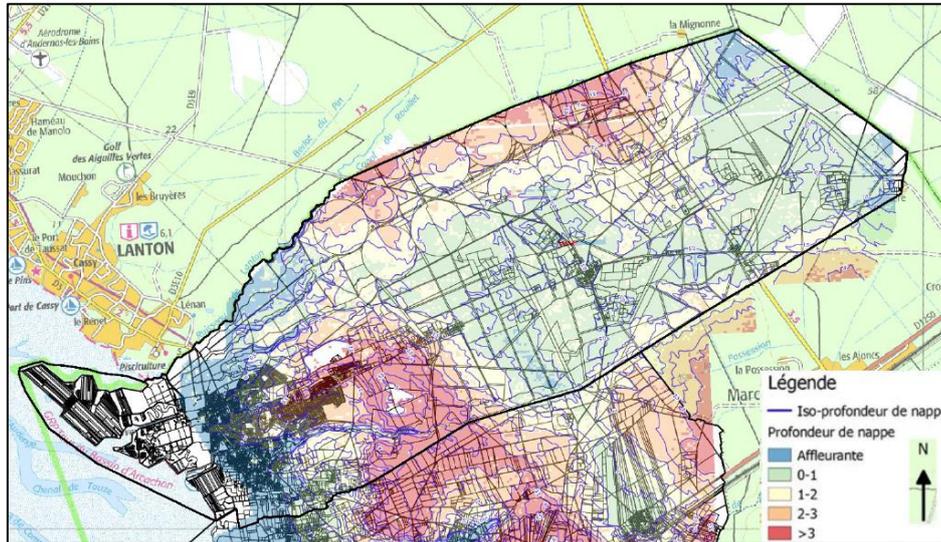


Illustration 29 - Cartographie des zones de la nappe affleurante - Audenge [Large (2016a)]

A noter que le BRGM produit des cartes de remontées de nappe à l'échelle départementale suivant une méthodologie nationale (site <http://www.georisques.gouv.fr/>) (illustration 30). Ces cartes reflètent l'état des connaissances à la date de leur élaboration et le BRGM n'apporte aucune garantie quant à l'exactitude et au caractère exhaustif des informations délivrées. Dans le contexte d'étude et l'échelle de travail considérés, ces données ne sont pas à utiliser.

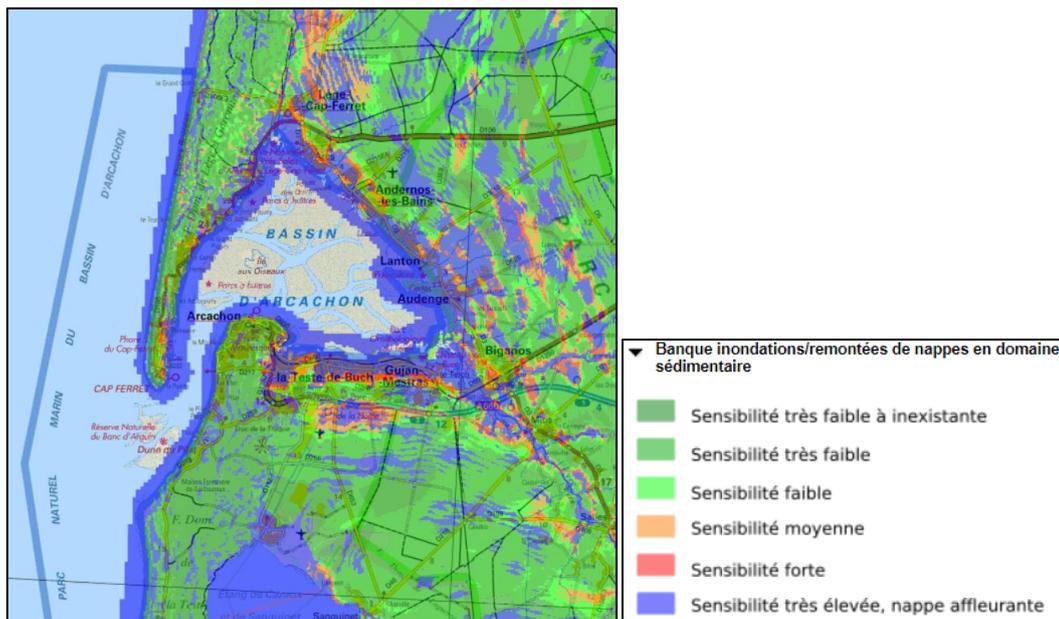


Illustration 30 - Carte de sensibilité au phénomène de remontées de nappes en domaine sédimentaire (<http://www.georisques.gouv.fr/>)

D'autres données ponctuelles sont disponibles dans divers documents géotechniques : niveaux d'eau mesurés dans des sondages ou dans des piézomètres. A noter que sur ces documents, les données ont dû être géolocalisées en fonction des cartes disponibles (les coordonnées géographiques n'étant pas fournies directement dans le document) (illustration 28, tableau 2 et annexe 1).

Provenance	Nom	Profondeur	XRGF93	XRGF93	Date	Prof-eau	H-eau mNGF
Lanton – Taussat [Randrianansolo (2016)]	SP1	15	378151	6410785	févr.-16	1.2	6.55
	CPT1	Refus à 12.7 m	378156	6410777	févr.-16	1,0	6.83
Le Teich - Rue du Pont Neuf - [Le Quellec et Combaud (2013)]	PZ1	10	381838	6401434	mai-13	0.58	
Biganos - STEP [Saga_Aquitaine (2017)]	SD1	20	384042	6400222	avr.-14	2.4	
Gujan Mestras - Port de la Molle [Pecora (2015)]	Pz1	6	378792	6402119	nov.-14	1.12	
	SP2	10	378723	6402107	oct.-14	1.4	1.28
	SP1	15	378792	6402119	oct.-14	2.1	0.54
Gujan Mestras - Rue Castaing - [Deltrieu (2011)]	PZ1R	3	374377	6400285	juil.-11	1.6	
	PZ2R	3	374380	6400301	juil.-11	1.6	
Gujan Mestras Parc de Loisirs - [Deltrieu (2011)]	PZ1F	3	375004	6399448	juil.-11	1	
	PZ2F	3	375004	6399457	juil.-11	1	
	PZ4F	3	374993	6399462	juil.-11	1	
	PZ3F	3	374998	6399462	juil.-11	1	
La Teste de Buch – Lagrua - [Boutault (2016)] et [Boutault (2017)]	SC1-PUITS	50	370434	6402183	mars-17	1	
	SD1-PZ	50	370434	6402188	avr.-17	0.85	
	SP2	50	370396	6402222	avr.-17	1	
	SP1-PZ	25	370434	6402183	nov.-16	1.01	1.29
	PM1	2.7	370355	6402249	nov.-16	1.7	
	PZ_Route		370478	6402292	nov.-16	2.2	1.2
La Teste de Buch – STEP- [Laval (2014)]	SP1	8	372522	6397957	avr.-14	1.9	
	SP2	8	372541	6397965	avr.-14	2	
La Teste de Buch – ZI - [Moussouteguy (2016)]	SP1	8	372502	6398000	juin-16	3.3	
	SP2	8	372502	6398000	juin-16	3.3	
Lanton- rue de la poste - [Sylla (2017b)]	Pz1	8.5	377647	6410462	mars-17	1.42	2.94

Tableau 2 - Données de niveau d'eau issues de diverses études géotechniques

Enfin, des informations sur les battements de nappe, avec des cartes établies dans les secteurs SAGE "Lacs Born et Buch" et SAGE "Lacs Médocains" [Corbier et al. (2011)] sont disponibles (exemple de l'illustration 31).

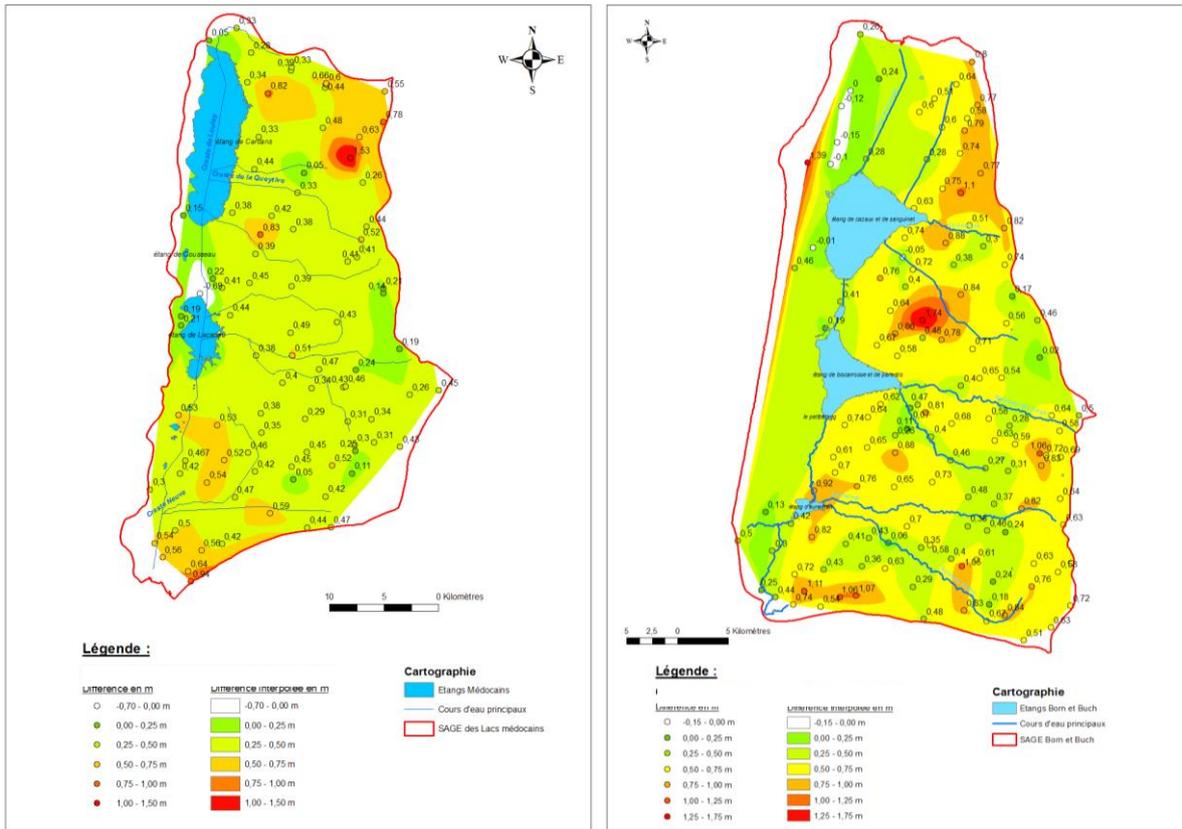


Illustration 31 - Carte des différences de charges en hautes et moyennes eaux - SAGE Lacs Médocains (à gauche) et SAGE Born et Buch (à droite) [Corbier et al. (2011)]

Suivi piézométrique

Concernant les chroniques continues de suivi piézométrique, ces informations sont disponibles sur la base de données ADES (banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines). Dans le cadre des réseaux de suivi du département de la Gironde et de l'AFB pour lesquels le BRGM est opérateur, 7 points de mesure plio-quaternaires sont localisés dans la zone d'intervention du SIBA. La localisation de ces points est présentée à l'illustration 28.

A noter également qu'un suivi a été réalisé, sur une période de 9 mois, dans le cadre d'un projet pour la réalisation d'un bassin de rétention à Gujan-Mestras : 9 piézomètres suivis [Sylla (2017a)] (illustration 28, et annexe 1).

Paramètres hydrodynamiques

Les paramètres hydrodynamiques (transmissivité (T), perméabilité (K) et emmagasinement (S)), utilisables dans un modèle hydrogéologique, sont généralement issus d'essais de pompages, permettant d'avoir des valeurs intégrant l'ensemble de la colonne de terrain traversé par l'ouvrage crépiné. Ce type d'essai a été réalisé sur les périmètres des SAGE suivants :

- SAGE Leyre : essais dans 4 forages [Corbier et Cabaret (2015)]. T : $5,4 \cdot 10^{-4}$ à $2,59 \cdot 10^{-3}$ m²/s - pas de valeurs d'emmagasinement.
- SAGE Lacs Born et Buch : essais dans 5 forages [Corbier et al. (2011)]. T : $1,95 \cdot 10^{-3}$ à $2,32 \cdot 10^{-2}$ m²/s - emmagasinement : $2,7 \cdot 10^{-4}$ à $4,24 \cdot 10^{-2}$.

- SAGE Lacs Médocains : essais dans 5 forages [Corbier et al. (2011)]. $T : 7,03.10^{-3}$ à $1,94.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ - emmagasinement : $5,71.10^{-3}$ à $1,94.10^{-2}$.

Dans le cadre de la construction du modèle mio-plio-quaternaire [Corbier et Cabaret (2014)], des informations sur les paramètres hydrodynamiques des différentes formations rencontrées dans le « Triangle Landais » ont été répertoriées. Les valeurs données dans l'illustration 32 sont issues d'un premier recueil réalisé en 2010 [Corbier et al. (2010)], complété et révisé avec d'autres valeurs issues de travaux de thèses ([Jullien (1968)], [Torelli (1968)] et [Sourisseau (1967)]) (illustration 32 et illustration 33).

Formation	K (m/s)	S	ω (%)	ω_e (%)
Sables dunaires	4.10^{-4} (1 mesure)	20 % (1 mesure)	33 (1 mesure)	18 (1 mesure)
Nappes alluviales ; alluvions	$2,67.10^{-5}$ à $6,7.10^{-4}$ (7 mesures)	20,5 à 33,5 (4 mesures)	33 à 36 (2 mesures)	21 (1 mesure)
Castets	$6,9.10^{-5}$ à $9,6.10^{-4}$ (5 mesures)	3.10^{-5} à $4,2.10^{-2}$ (4 mesures)	33,75 à 34 (2 mesures)	12,5 (1 mesure)
Belin	3.10^{-5} à $3,1.10^{-4}$ (4 mesures)	0,23 % à 21,2 % (3 mesures)	20 (1 mesure)	17,5 (1 mesure)
Onesse	$9,5.10^{-5}$ à $2,6.10^{-4}$ (5 mesures)	0,56 à 21,3 % (3 mesures)	(0 mesure)	(0 mesure)
Arengosse	4.10^{-5} à $3,2.10^{-4}$ (7 mesures)	$2,3.10^{-3}$ à $3,4.10^{-3}$ (3 mesures)	(0 mesure)	(0 mesure)
Sables fauves	$2,6.10^{-4}$ (1 mesure)	(0 mesure)	(0 mesure)	(0 mesure)

Illustration 32 - Valeurs indicatives des paramètres hydrodynamiques issus de la bibliographie

Les documents fournis par le SIBA présentent également de nombreuses informations sur les paramètres hydrodynamiques, soit *via* des essais de pompages, soit par le biais de tests d'infiltration à la surface. A noter que certaines valeurs de paramètres hydrauliques sont estimées à partir d'essais de pompages qui ne sont pas conformes aux règles de l'art et aux normes en vigueur (durée trop courte en particulier), l'utilisation de ces données est donc à prendre en compte avec précaution.

Les essais d'infiltration ne concernent, quant à eux, qu'une frange minime de sol à la surface dont les faciès peuvent différer avec les formations plus profondes dans lesquelles les nappes sont largement développées. Par ailleurs, et contrairement aux essais de pompages qui permettent la mesure des paramètres hydrodynamiques d'un aquifère en prenant en compte les transferts horizontaux notamment, les essais d'infiltration permettent seulement l'estimation d'une perméabilité verticale locale. Ainsi, ces données n'ont d'intérêt que pour fournir des informations sur la facilité des eaux à s'infiltrer et donc potentiellement sur la recharge les nappes.

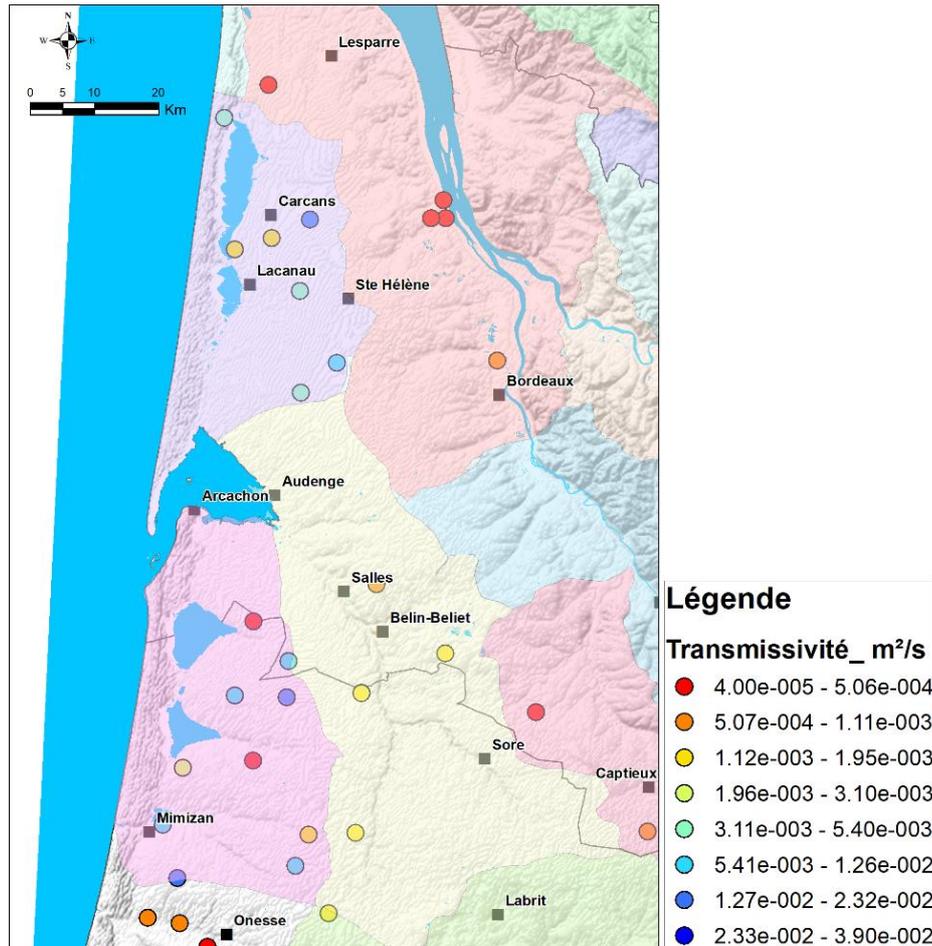


Illustration 33 - Données de perméabilités des formations plio-quatérnaires (fond : limites des SAGEs superficielles) disponibles au BRGM

✓ Lège-Cap-Ferret et Arès

[Balmand (2017a)] cite des études, fournies par le SIBA, détaillant les résultats de 11 études, réalisées par le bureau d'études CERAG entre 2003 et 2014, sur les communes d'Arès et Lège-Cap-Ferret. Dix d'entre elles sont des études d'aptitude à l'infiltration, dont 5 sur chacune des deux communes. Ces tests ont tous été réalisés hors zone de dunes. Les résultats de ces études montrent des perméabilités de $5,5 \cdot 10^{-6}$ m/s (alios dur) à $1 \cdot 10^{-3}$ m/s (annexe 2).

✓ La Teste-de-Buch

[Arlet (2017)] présente également le même type de résultats de mesures, concernant La Teste-de-Buch, avec 3 études qui indiquent des perméabilités de $2,8 \cdot 10^{-6}$ m/s (alios dur) à $4,4 \cdot 10^{-4}$ m/s (annexe 2).

[Boutault (2017)] présente un pompage d'essai, qui a été réalisé en avril 2017 et qui a montré une perméabilité de $3,0 \cdot 10^{-4}$ m/s et une transmissivité de $6 \cdot 10^{-3}$ m²/s. A noter que ce pompage a été réalisé avec 2 débits différents (pompage par palier) et sur une durée totale d'environ 6 heures. Aucun pompage d'essai, de longue durée, n'a été réalisé ; alors que seul ce type d'essais permet de caractériser les paramètres hydrauliques de l'aquifère.

En complément, treize essais LEFRANC, à charge variable, ont été réalisés en sondages (avec un pas de 3 m, répartis entre 3,0 et 39,0 m de profondeur). Les essais montrent une certaine homogénéité des valeurs de perméabilité au sein de ces horizons sableux, avec une perméabilité moyenne de $3,3 \cdot 10^{-5}$ m/s (illustration 34). A noter que ces valeurs paraissent assez faibles par rapports aux valeurs mesurées par pompage d'essai dans d'autres secteurs.

Lithologie	Profondeur / TN (m)	Charge hydraulique statique (m)	Perméabilité K (m/s)
Sable moyen à grossier avec passage légèrement argileux (2,5 – 5m)	3,0 – 4,0	1,5	$3,5 \cdot 10^{-5}$
	6,0 – 7,0	1,2	$2,7 \cdot 10^{-5}$
	9,0 – 10,0	1,0	$5,3 \cdot 10^{-5}$
	12,0 – 13,0	1,2	$2,9 \cdot 10^{-5}$
	15,0 – 16,0	1,0	$1,1 \cdot 10^{-5}$
	18,0 – 19,0	1,0	$6,6 \cdot 10^{-6}$
	21,0 – 22,0	1,1	$1,7 \cdot 10^{-5}$
	24,0 – 25,0	1,0	$2,2 \cdot 10^{-5}$
	27,0 – 28,0	1,15	$1,05 \cdot 10^{-5}$
Sable moyen à grossier passage plus compact	30,0 – 31,0	1,1	$3,1 \cdot 10^{-6}$
	33,0 – 34,0	1,0	$1,3 \cdot 10^{-5}$
Sable moyen à grossier Passage de sable lâche	36,0 – 37,0	0,9	$2,9 \cdot 10^{-5}$
	39,0 – 40,0	1,05	$1,54 \cdot 10^{-5}$

Illustration 34 - Synthèse des résultats des essais LEFRANC [Boutault (2017)]

✓ Lanton

[Sylla (2017a)] : 2 essais d'infiltration (K1 et K2 - type Porchet) et 1 pompage d'essai à débit constant (PZ1, de moins d'une heure et 3 mesures – ce qui ne correspond pas à un essai conforme aux règles de l'art et aux normes en vigueur) ont permis de proposer des perméabilités de l'ordre de $5 \cdot 10^{-5}$ m/s (illustration 35).

Essai	Profondeur essai (m/TA)	K (m/s)	K (mm/h)
K1	0,0 – 0,4 (*)	$5,8 \cdot 10^{-5}$	207
K2	0,0 – 0,7 (*)	$1,8 \cdot 10^{-5}$	64
Pz1	2,5 – 6,0	$7,4 \cdot 10^{-5}$	265

(*) Eboulement des trous de sondage à la mise en eau

Illustration 35 - Valeurs de perméabilité mesurées à Gujan-Mestras [Sylla (2017a)]

[Randrianansolo (2016)] : perméabilité par un essai LEFRANC par pompage, estimée à $5,6 \cdot 10^{-4}$ m/s.

✓ Le Teich

Un essai de pompage d'une durée d'un peu moins d'une heure (essai qui n'est pas fait dans les règles de l'art pour ce type de mesure) et réalisé dans des conditions douteuses (2 matériels différents de pompes, différents débits...) a permis de proposer une perméabilité moyenne de 5.10^{-4} m/s et une transmissivité égale de l'ordre de $4,0.10^{-3}$ m²/s.

✓ Gujan-Mestras

[Pecora (2015)] : essai LEFRANC permettant de mesurer la perméabilité locale des terrains en place : $1,59.10^{-6}$ m/s.

4.1.4. Informations sur l'hydrographie

Les données qui intéressent la réalisation d'un modèle hydrogéologique, avec prise en compte du réseau hydrographique, correspondent à la connaissance du tracé des cours d'eau mais également aux informations afférentes à ce réseau : largeurs, cotes du fond de lit, pentes, hauteurs d'eau et débits.

Tracé des réseaux hydrographiques et informations connexes

La BD Carthage⁴, qui regroupe les entités ayant trait à l'hydrographie (réseau hydrographique et équipement hydrographique), est la donnée de référence concernant le tracé des cours d'eau. Cette base de données, qui dispose de nombreuses informations, propose notamment des classes de largeurs de cours d'eau : entre 0 et 15 m, entre 15 et 50 m, plus de 50 m. A noter que ces dernières classes de largeurs restent très insatisfaisantes pour une utilisation dans des modèles.

Pour les informations concernant les largeurs et les pentes de cours d'eau notamment, les données du projet SYRAH_CE (Système Relationnel d'Audit de l'Hydro-morphologie des Cours d'Eau), réalisé par l'IRSTEA (ex. CEMAGREF), pour le compte de l'ONEMA [Valette et Cunillera (2010)] peuvent être utilisées. Dans cette base de données, la largeur est représentée par le paramètre « largeur théorique à pleins bords », qui correspond à la largeur du lit mineur ou largeur à pleins bords du cours d'eau en mètres, pour chaque tronçon qui compose le réseau TGH (Tronçons Géomorphologiquement Homogènes). Les données utilisées dans le cadre de ce travail sont le réseau TGH, issu de la BD Carthage® de l'IGN et les photographies aériennes (résolution 50 cm) orthorectifiées de la BD Ortho® de l'IGN. La méthodologie est largement décrite dans les cahiers techniques SYRAH-CE [Valette et Cunillera (2010)]. A noter que ces informations ne sont pas disponibles sur l'ensemble des cours d'eau ou canaux existants (illustration 36).

⁴ La **BD Carthage**® (Base de Données sur la CARTographie THématique des AGences de l'Eau et du ministère chargé de l'environnement) est le fruit de la volonté nationale de disposer d'un système de repérage spatial des milieux aquatiques superficiels pour la France. Elle est produite par les Agences de l'eau à partir de la base de données cartographiques BD CARTO® de l'IGN.

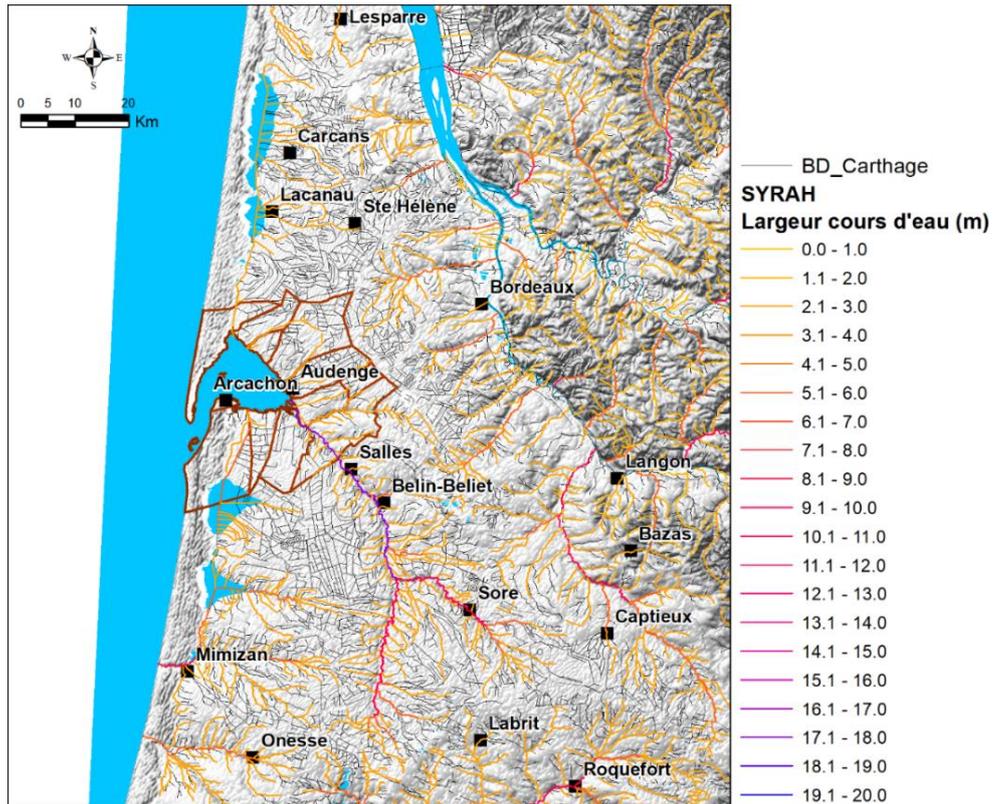


Illustration 36 - Réseau hydrographique - BD Carthage et SYRAH (largeurs des cours d'eau)

Le SIBA, dans le cadre de ses missions sur l'assainissement pluvial, possède une très bonne connaissance de la localisation du réseau de drainage, sur son territoire d'action : cours d'eau, fossé, drain souterrain etc. Ce réseau est présenté à l'illustration 37.

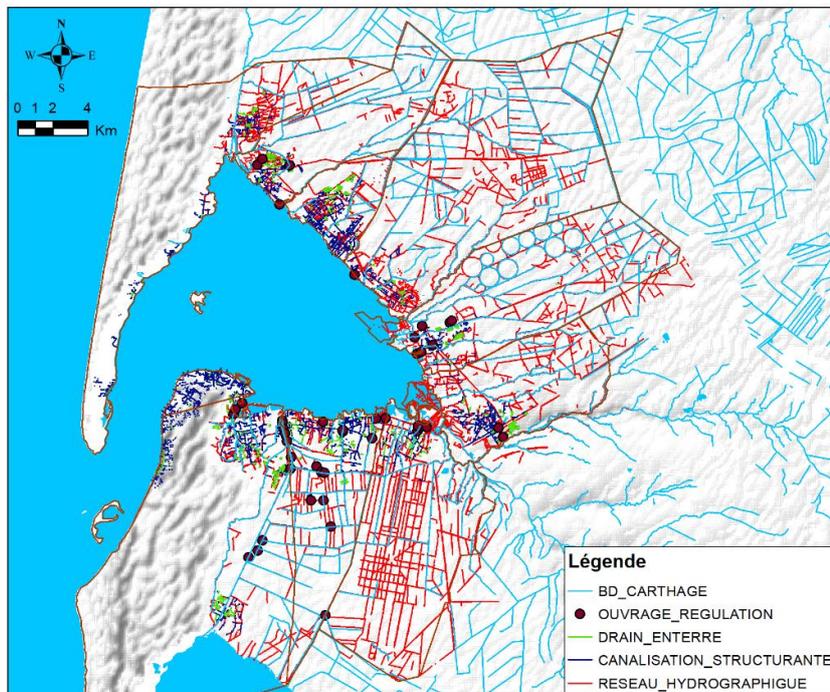


Illustration 37 - Réseau hydrographique et de drainage (excepté les données BD Carthage, l'ensemble des données a été fourni par le SIBA)

En complément de ces données, le référentiel des obstacles à l'écoulement (ROE) permet d'avoir une connaissance relative des aménagements sur les cours d'eau (seuils en rivières, barrages, etc. ; illustration 38).

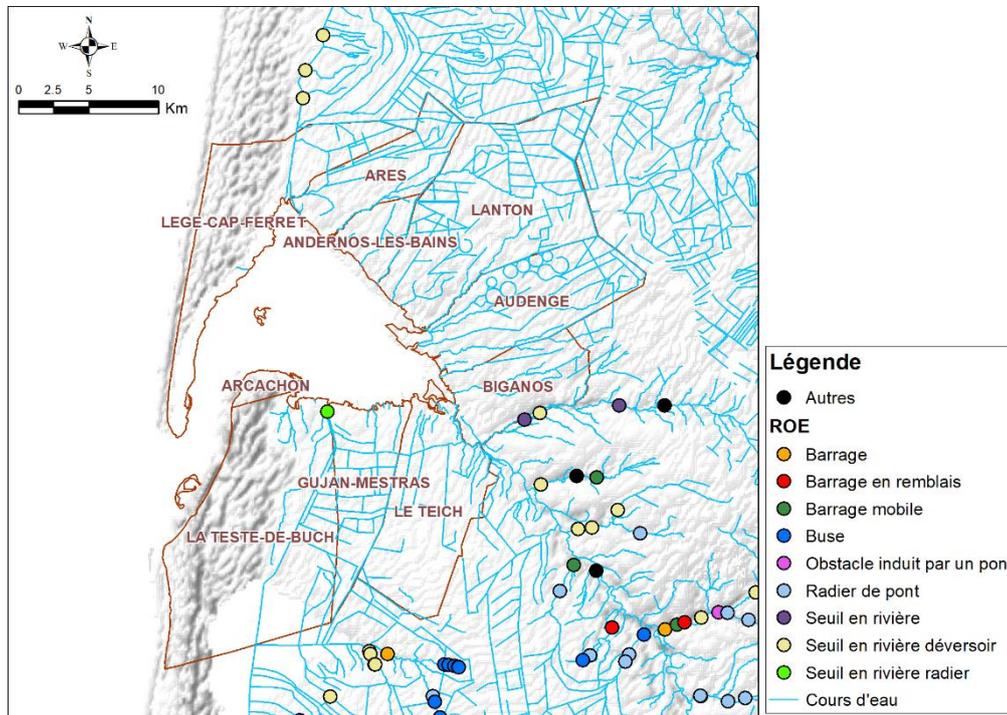


Illustration 38 - Obstacles à l'écoulement issus du ROE (Référentiel des Obstacles à l'Écoulement)

Connaissance de débits et niveaux de cours d'eau

La Banque Hydro (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>) est la référence en termes de base de données nationale pour le stockage de chroniques des mesures de hauteurs d'eau et de débit. Ces données proviennent essentiellement des services de l'Etat (DREAL, DDT(M), services de prévisions des crues), mais également d'EDF ou bien d'organismes de recherche (IRSTEA par exemple).

Sur les 3 SAGEs qui couvrent la zone d'étude, 7 stations sont encore en service (dont 5 dans le bassin de la Leyre) ; les 2 autres se localisant dans le SAGE Born-et-Buch. 7 stations sont hors service (illustration 39).

S'ajoutent à ces points de suivi continu sur les cours d'eau, les suivis des débits des canaux reliant les lacs au Bassin d'Arcachon (voir ci-dessous : « Informations sur les grands lacs »).

Le SIBA réalise également des jaugeages dans les cours d'eau, crastes et canaux suivants (élaboration de courbes de tarage pour certains et mise en place d'échelles limnimétriques) : Ayguemorte, Bety, Canteranne, Cirès, Canal des Landes (qui débouche dans le Bassin d'Arcachon à Gujan-Mestras), Ruisseau du Bourg (à Gujan-Mestras), Le Tagon, la Leyre, le Massurat, le Pontails, le Renet, le « Ruisseau du milieu » à Audenge (illustration 39).

Dans les études pour la réalisation de Schémas directeurs de gestion des eaux pluviales, des suivis de hauteurs, voire de débits, sont disponibles : c'est le cas pour le Bétay [Bastien (2016a)], le Tagon [Large (2016b)], le Renet [Bastien (2016b)] et le Pontails [Large (2016a)].

Des estimations de débits par jaugeages ponctuels ont également été réalisées via les études BRGM visant à apporter des connaissances pour les SAGEs :

- SAGE Lacs Médocains - août 2010, février 2011 et mai 2012 - [Corbier et al. (2011)] et [Corbier (2012)] : 11 points de mesure,
- SAGE Lacs Born et Buch - mai 2012 - [Corbier (2012)] : 16 points de mesure,
- SAGE Leyre - mars 2017 - [Barrière et Saltel (2017)] : 2 points de mesure.

La DREAL (ex. DIREN) a également réalisé des jaugeages en 2009, sur la Leyre.

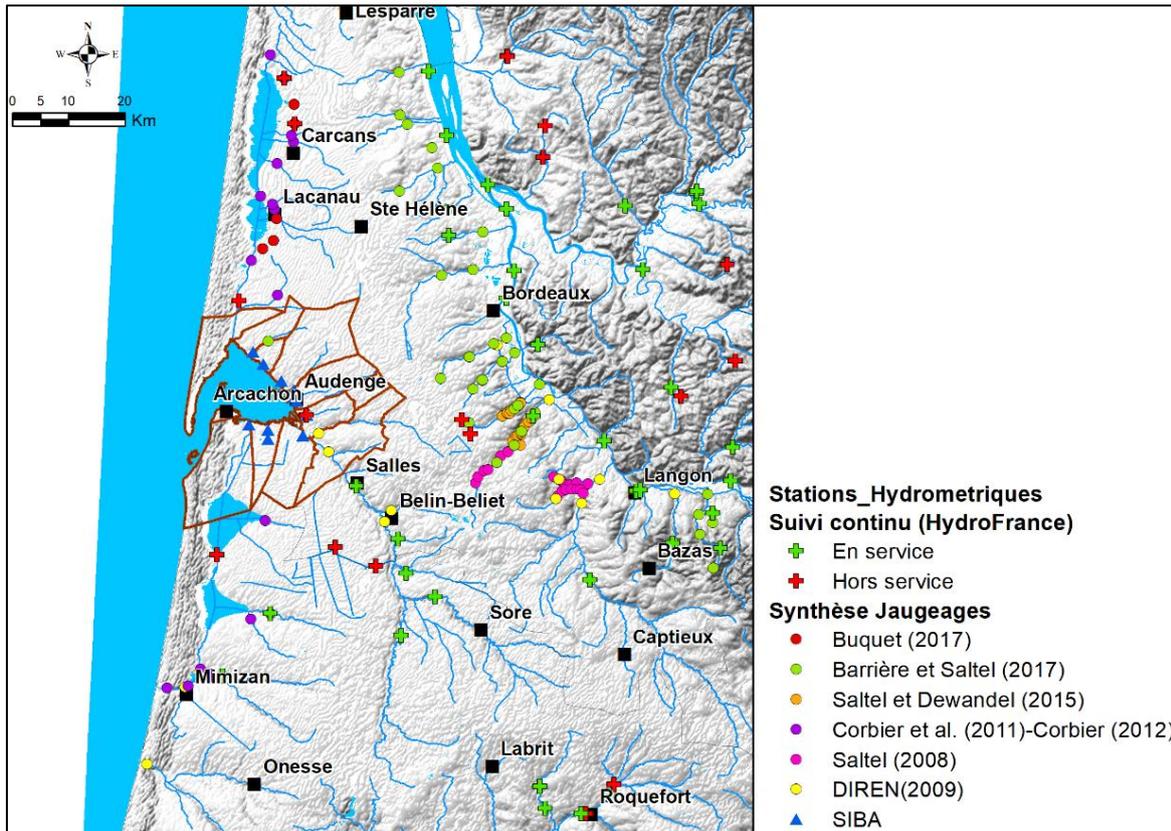


Illustration 39 - Localisation des suivis des débits et jaugeages, réalisés dans le secteur d'étude

D'autres mesures sont disponibles dans les travaux de [Saltel (2008)], [Saltel et Dewandel (2015)] et [Buquet (2017)], mais localisées dans des secteurs plus éloignés du secteur d'étude.

Enfin, une étude en cours sur le SAGE Leyre devrait permettre d'apporter des informations ponctuelles de débits dans différents cours d'eau (illustration 40).

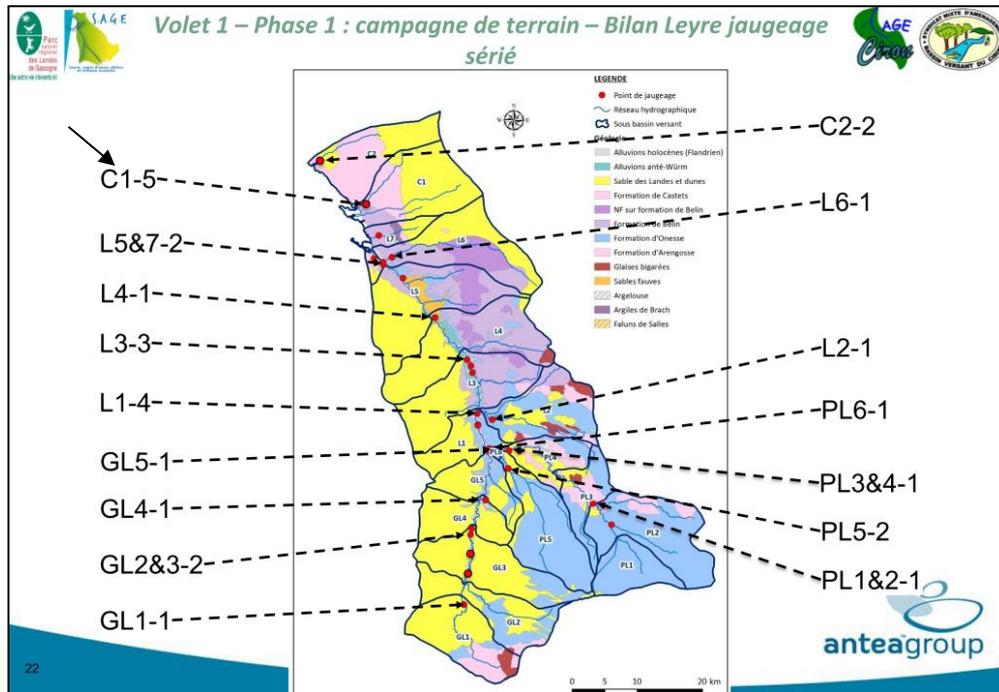


Illustration 40 - Jaugeages en cours dans le secteur de la Leyre
(extrait de la présentation Antea - SAGE Leyre)

Informations sur les grands lacs

Un recueil de données avait été réalisé dans le cadre de l'étude visant à apporter des connaissances pour le SAGE Born-et-Buch [Corbier et Cabaret (2014)].

Au sud du Bassin d'Arcachon, 3 plans d'eau sont reliés via un réseau de canaux. Ils montrent tous le profil type des plans d'eau côtiers aquitains, à savoir une dissymétrie de la bathymétrie avec une faible pente à l'est et une forte pente à l'ouest [GEOLANDES (2013)]. L'interdépendance de ces lacs par le biais d'ouvrages de régulation confère à l'ensemble un fonctionnement complexe (illustration 41).

Le lac de Cazaux-Sanguinet, d'une profondeur d'environ 8,6 mètres, est le plus étendu, avec une surface de 58 km². Il 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 [GEOLANDES (2013)]. Les écoulements se dirigent ainsi du lac de Cazaux-Sanguinet, vers le lac de Parentis-Biscarrosse, par l'intermédiaire du petit étang de Biscarrosse (≈ 70 cm de profondeur) et du canal Transaquitain ; puis du lac de Parentis-Biscarrosse (≈ 7 m de profondeur) vers l'étang d'Aureilhan (2,7 m de profondeur), par l'intermédiaire du courant de Sainte-Eulalie ; et terminent leur cheminement vers l'Océan Atlantique, par l'intermédiaire du courant de Mimizan. Il est à noter que la gestion des ouvrages 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 et barrages de Probert et Taffarde), soit par la commune d'Aureilhan (barrage d'Anguillons). 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.

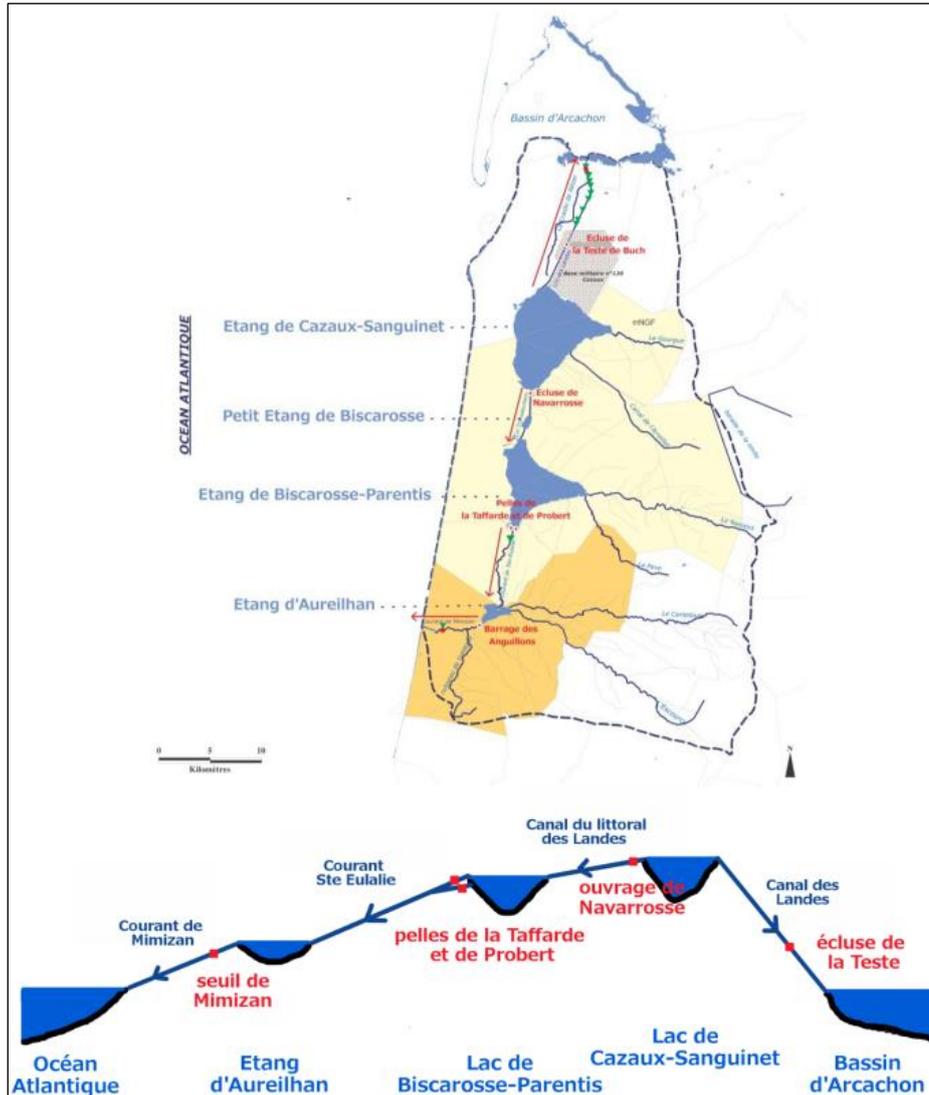


Illustration 41 - Carte des étangs du SAGE Born-et-Buch et des ouvrages hydrauliques (Géolandes)

Les niveaux des plans d'eau varient entre les hautes et basses eaux d'environ 30 cm (Géolandes, 2013). Le niveau moyen du lac de Cazaux-Sanguinet est de 20,8 m NGF ; celui du lac de Biscarosse-Parentis est de 20,35 m NGF et celui de l'étang d'Aureilhan est de 6,4 m NGF.

Les niveaux et l'état (fermeture, ouverture) des écluses sont enregistrés toute l'année, à une fréquence de 15 min, en plusieurs points du lac de Cazaux et de Parentis, par le biais de sondes de niveaux.

Au nord, le Bassin d'Arcachon est relié au lac de Lacanau via le canal du Porge qui est lui-même raccordé au lac de Hourtin-Carcans par l'intermédiaire du canal des étangs.

Le lac de Hourtin-Carcans couvre une superficie de plus de 60 km² et présente une profondeur maximale aux alentours de 11 m. L'altitude du plan d'eau est relevée, depuis 1986, par le SIAEBVELG (Syndicat Intercommunal d'Aménagement des Eaux du Bassin Versant des Etangs du Littoral Girondin). Les relevés montrent une stabilité dans le temps, avec des niveaux qui varient autour de 14 m NGF (max. relevé = 14,93 m NGF / min. relevé = 13,03 m NGF). Ces observations ont été confirmées lors du relevé bathymétrique [EPOC (2006)], qui indiquait alors un niveau d'eau situé entre 13 et 13,99 m NGF.

Le lac de Lacanau, plus réduit en taille, a une superficie d'environ 20 km² avec une profondeur pouvant dépasser les 8 m. Les variations du niveau d'eau relevé par le SIAEBVELG sont situées entre 12,95 et 14,42 m NGF, avec une moyenne de l'ordre de 13,3 m NGF.

Ces deux lacs sont alimentés par un réseau de crastes (ou fossés), qui avaient pour vocation de drainer les marais. Les nombreux aménagements présents dans le secteur produisent un réseau hydraulique très complexe, dans lequel les niveaux des lacs sont directement liés aux débits des crastes et à la hauteur de la nappe phréatique. Ils sont par conséquent fortement dépendants de la pluviométrie. La gestion de leur niveau a donc nécessité l'aménagement d'ouvrages de régulation [A'urba (2010)]. Le lac de Hourtin-Carcans se jette dans celui de Lacanau par l'intermédiaire du canal des étangs, réalisé dans les années 1865-1870, qui a une longueur de 7,5 km. Un barrage à pelles, situé à l'amont du canal, permet de réguler la hauteur d'eau du lac de Hourtin-Carcans [A'urba (2010)].

4.1.5. Données climatiques

Les données d'entrée nécessaires à la modélisation pour le calcul de la recharge (répartition de la pluie en fonction de divers paramètres en recharge et ruissellement) correspondent aux données de précipitation et d'évapotranspiration.

Le calcul de la recharge s'effectuait, il y a quelques années encore, dans les modèles développés dans le Sud-Ouest, à l'aide des quelques stations météorologiques disposant de données de précipitations et d'évapotranspiration, via une polygonisation de Thiessen assez large. En 2015, les données spatialisées SAFRAN (Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Adaptés à la Nivologie) ont été utilisées pour la prise en compte de la recharge dans le modèle Jurassique du Poitou-Charentes [Douez (2015)], puis dans le cadre du projet du champ captant des Landes du Médoc, [Saltel et Arnaud (2015)]. Actuellement, ce sont ces données qui servent de référence pour l'ensemble des modèles réalisés en région Nouvelle-Aquitaine [Wuilleumier et al. (2016)]. A noter que l'utilisation des données entre dans le cadre d'une convention, liant le BRGM et Météo France.

SAFRAN est un système d'analyse à méso-échelle de variables atmosphériques, proche de la surface. Cet outil utilise des observations de surface, combinées à des données d'analyse de modèles météorologiques pour produire les paramètres horaires suivants : température, humidité, vent, précipitations solides et liquides, rayonnement solaire et infrarouge incident. Ces paramètres, analysés par pas de 300 m d'altitude, sont ensuite interpolés sur une grille de calcul régulière (8 x 8 km) (illustration 42). Le système d'analyse SAFRAN a été développé par le Centre d'études de la neige [Durand et al. (1993)] pour la prévision des risques d'avalanches dans un premier temps. Il a par la suite été étendu à l'ensemble du bassin du Rhône [Etcheverry (2001)], puis à la France entière [LeMoigne (2002)]. SAFRAN est aussi un outil de recherche et de développement qui est à la base de nombreuses études climatologiques et d'impact du changement climatique.

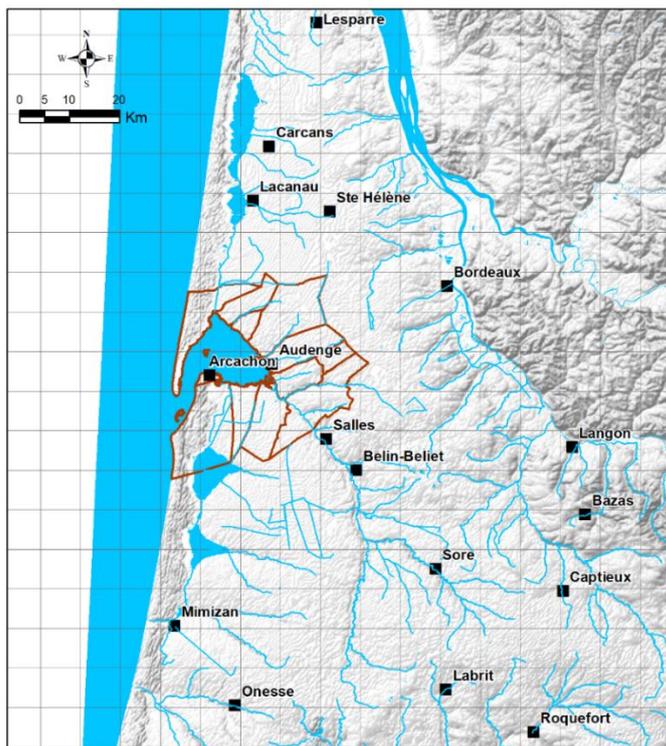


Illustration 42 - Maillage SAFRAN sur le secteur d’étude

En supplément de ces données et des données de stations météorologiques Météo France, le SIBA assure le suivi de 2 pluviomètres, situés à Audenge et à La Teste-de-Buch (Pyla).

La carte de l’**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** présente la position de ces différentes stations. Les types de stations de Météo France sont répertoriés dans le tableau 3.

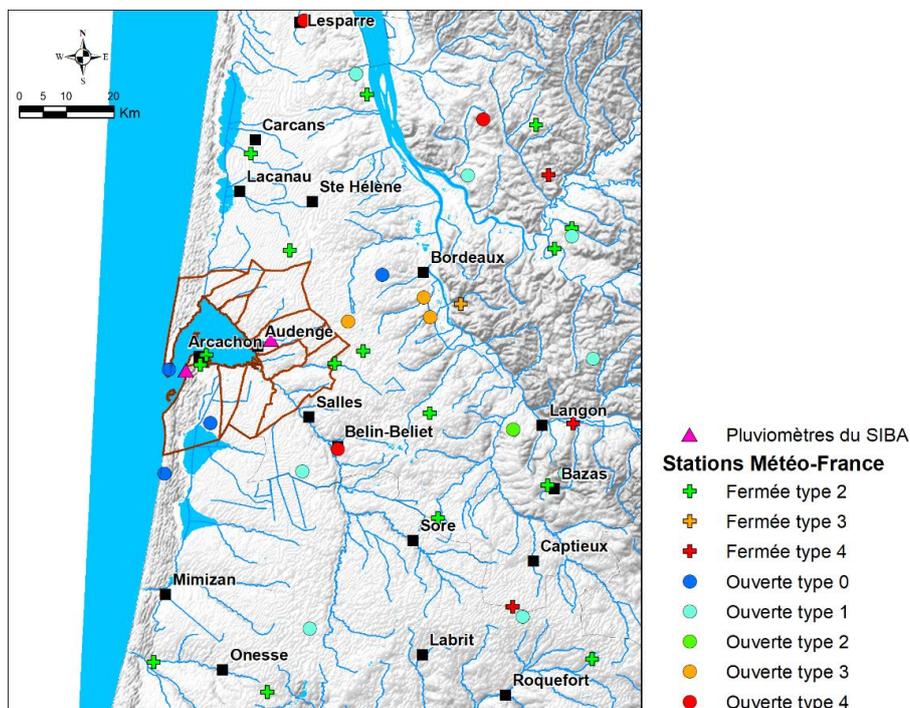


Illustration 43 - Stations météorologiques réparties sur le territoire

Type de station	Définition / Disponibilité des données
0	Station synoptique, acquisition temps réel, expertise à J+1 <i>Données horaires disponibles à partir de H+1.</i> <i>Données quotidiennes disponibles à partir du lendemain à 8 h.</i>
1	Station automatique Radome-Resome, acquisition temps réel, expertise à J+1 <i>Données horaires disponibles à partir de H+1.</i> <i>Données quotidiennes disponibles à partir du lendemain à 8 h.</i>
2	Station automatique NON Radome-Resome, acquisition temps réel, expertise à J+1 <i>Données horaires & quotidiennes disponibles à partir du lendemain à 8 h.</i>
3	Station automatique, acquisition temps réel, expertise temps différé (à M+21 jours maxi) <i>Données horaires & quotidiennes disponibles au plus tard 21 jours après la fin du mois traité.</i>
4	Poste climatologique manuel ou station automatique, acquisition temps différé, expertise temps différé (à M+21 jours maxi) <i>Aucune donnée horaire n'est disponible.</i> <i>Données quotidiennes disponibles au plus tard 21 jours après la fin du mois traité.</i>
5	Station avec acquisition temps réel ou différé, non expertisée ou expertise des données non garantie <i>La disponibilité des données est variable.</i>

Tableau 3 - Type de station Météo France et disponibilité des données

Les stations de **type 0 et 1**, par opposition aux autres types de stations, effectuent des observations humaines avec temps sensible⁵.

Une station de **type 0 ou 1** est une station qui effectue des observations quotidiennes et régulières par du personnel formé et sur place (**type 0**) ou par du personnel non "spécialisé" (**type 1**).

Une station automatique, de **type 2 ou 3 ou 5**, enregistre des mesures provenant de capteurs uniquement. Elle n'effectue pas de mesures de temps sensible. Elle peut être équipée de systèmes permettant l'obtention des données en temps réel ou de systèmes d'enregistrement :

- une station de **type 2** est interrogée quotidiennement,
- une station de **type 3** est une station automatique, qui fait l'objet d'une exploitation en différé.
- une station de **type 5** est une station automatique dont l'interrogation est occasionnelle.

⁵ Temps sensible : ensemble des éléments significatifs de l'état de l'atmosphère, tels que peut les ressentir un observateur situé en ce lieu : ex. nature et évolution de la couverture nuageuse (ciel nuageux, éclaircies...), précipitations (continues ou intermittentes, faibles ou fortes...). Le suivi du temps sensible se doit d'être prioritairement attentif aux phénomènes susceptibles de porter atteinte à la sécurité des personnes ou des biens, comme l'orage et la grêle, le brouillard et le brouillard givrant, le verglas et les précipitations verglaçantes.

4.1.6. Pédologie et réserve utile en eau

La carte des sols au 250 000^{ème} de l’INRA (illustration 44) et les données afférentes à cette cartographie permettent le calcul d’une Réserve Utile, nécessaire à la prise en compte de la recharge. Ce travail a été réalisé, pour le département de la Gironde, dans le cadre du modèle visant à étudier le projet de champ captant des Landes du Médoc [Saltel et Arnaud (2015)] (illustration 44). Les valeurs de RU, qui ne sont donc pas directement fournies dans les tables attributaires de la carte fournie par l’INRA, permettent de la calculer en utilisant le type d’horizon et sa texture [Bruand et al. (2004)].

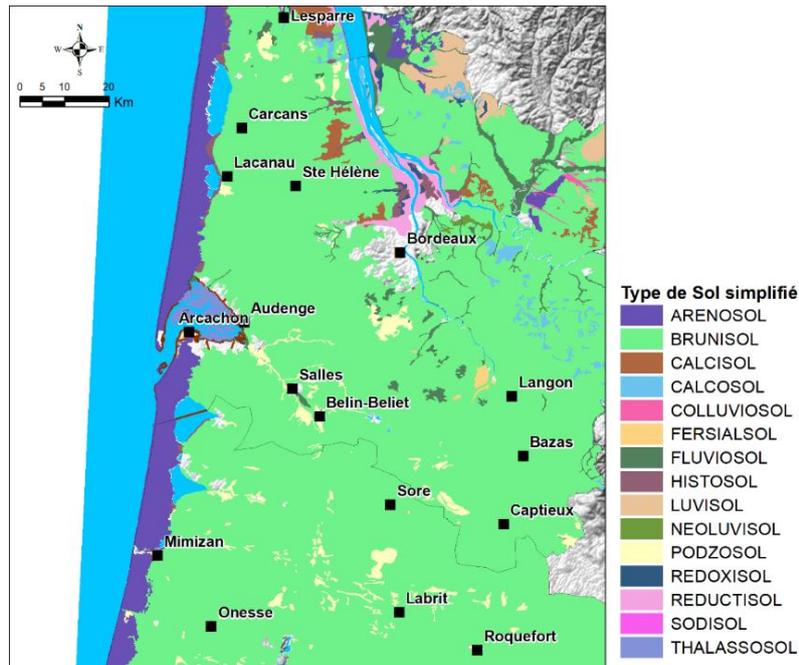


Illustration 44 - Carte pédologique réalisée à partir des données simplifiées de l’INRA [Richer de Forges et al. (2015)]

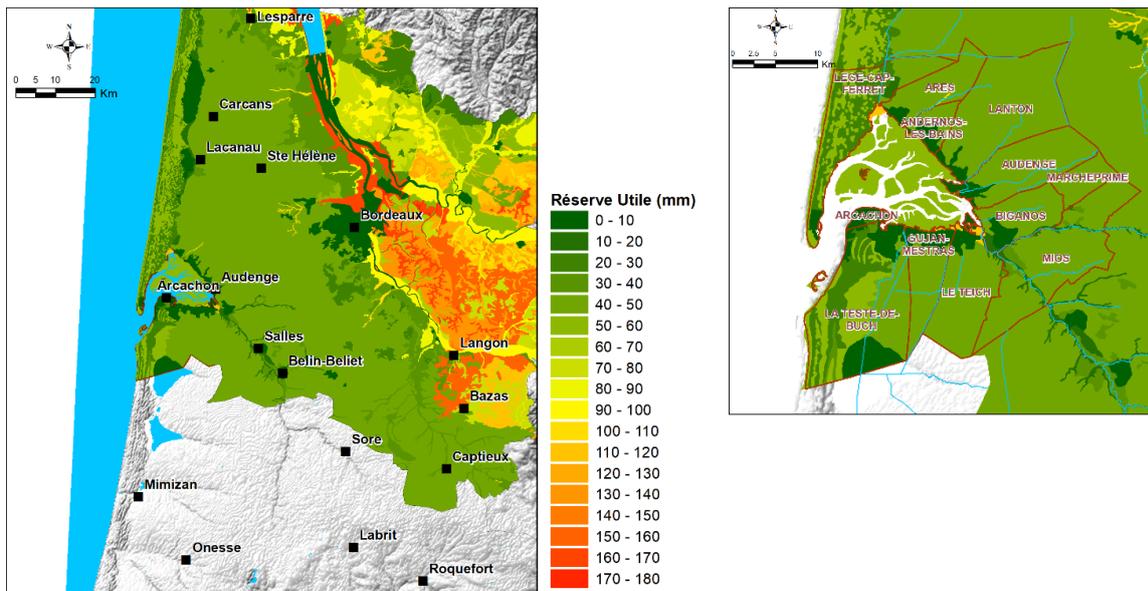


Illustration 45 - Réserve Utile des sols, calculée à partir de la carte pédologique au 250 000^{ème} de l’INRA ([Richer de Forges et al. (2015)]) d’après [Saltel et Arnaud (2015)]

4.1.7. Données de prélèvements

Dans le cadre de sa mission pour la gestion des nappes (qualité et quantité), pour le compte du département de la Gironde, le BRGM récupère les données de prélèvements sur les eaux souterraines de la façon suivante :

- pour l'AEP et l'industrie : demande à l'ensemble des gestionnaires et/ou propriétaires des ouvrages, des volumes prélevés annuels. Depuis 2018, la demande concerne également les données mensuelles (ou à pas de temps plus faible).
- volumes agricoles : ils sont estimés sur la base d'un ratio établi par la Chambre Départementale d'Agriculture. A noter que la Chambre d'Agriculture de la Gironde a fait un énorme travail en 2016-2017 pour établir une base de données des prélèvements des volumes agricoles (localisation, attribution des volumes etc.). Cette base n'est pas encore finalisée ; le BRGM vient de travailler récemment à l'attribution de codes BSS et/ou des nappes captées, pour les ouvrages non connus.

Les prélèvements sont attribués aux forages dont la position est connue et la nappe captée est renseignée (Illustration 46). A noter que le prélèvement dans le lac de Cazaux est indiqué sur la carte (il est en effet considéré ici comme un prélèvement dans la nappe plio-quadernaire).

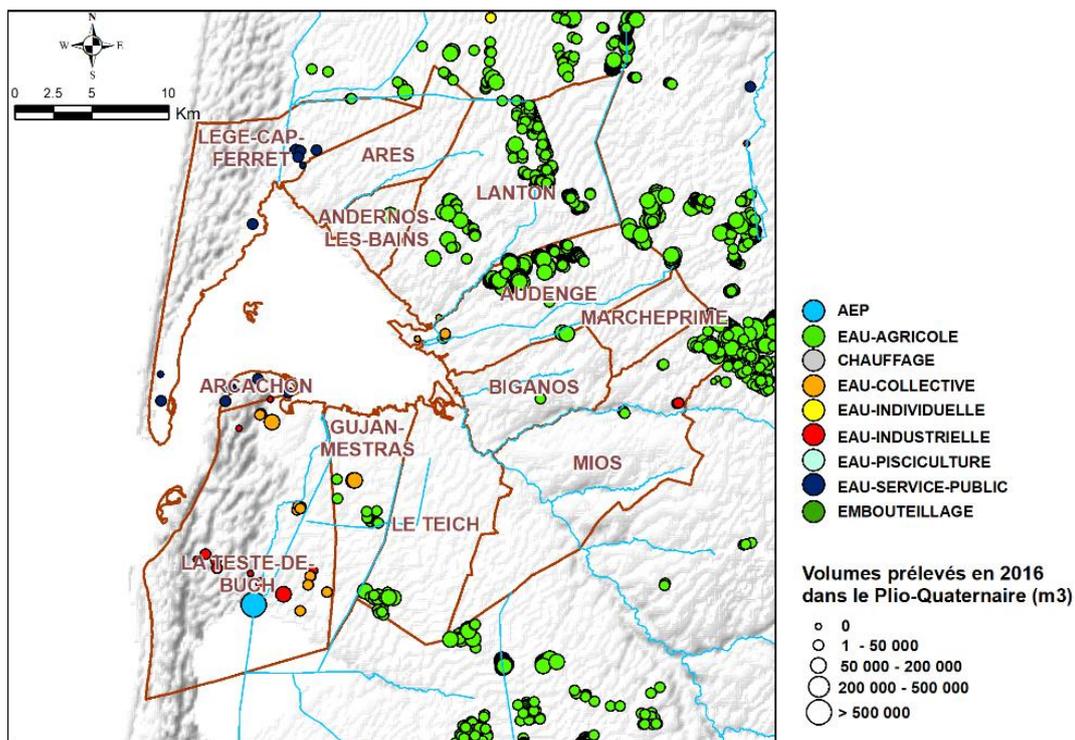


Illustration 46 - Données de prélèvements dans les nappes plio-quadernaires (données issues de la gestion des nappes pour la Gironde)

Pour le département des Landes, un travail de croisement de données de prélèvements dans les eaux souterraines est actuellement en cours de réalisation, dans le cadre du développement du modèle du « Triangle Landais ».

En ce qui concerne les eaux superficielles, les informations sont récupérées via le système d'information sur l'eau (SIE) de l'Agence Adour-Garonne. A noter que la localisation de ce type de prélèvements est généralement fournie au centroïde de la commune et que les données sont disponibles à partir de 2003 (illustration 47).

Les informations sur les rejets des stations d'épuration et des industriels ont également été récupérées via le SIE Adour-Garonne (illustration 47).

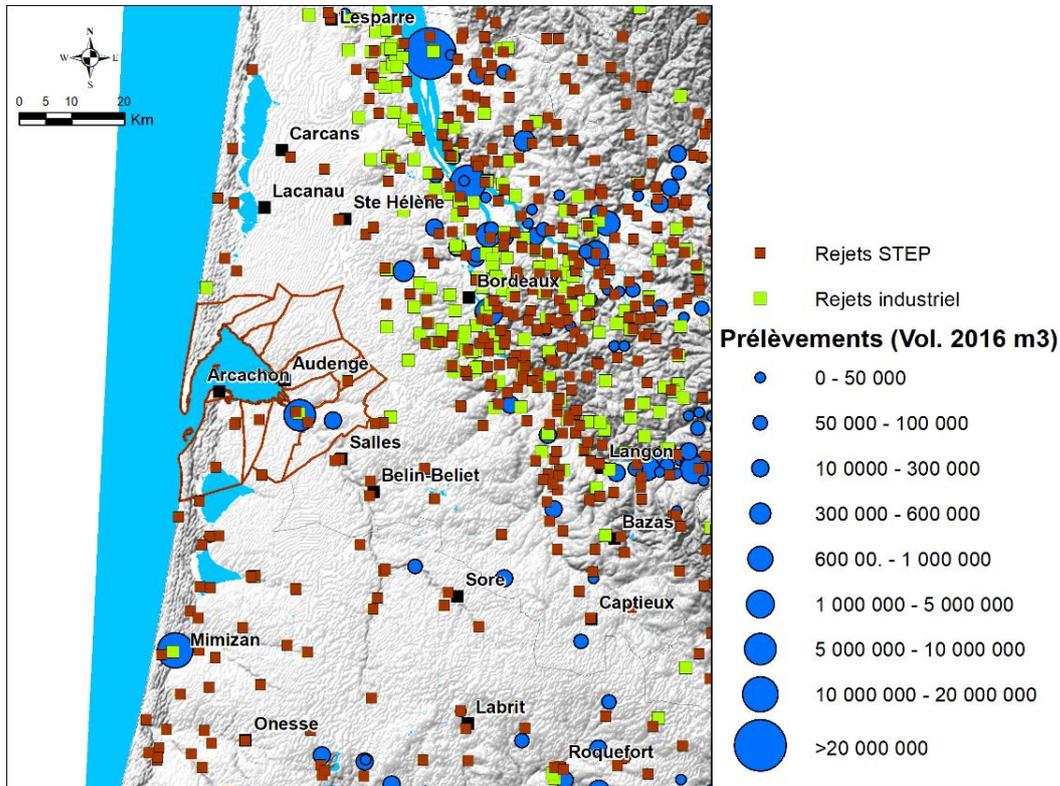


Illustration 47 - Prélèvements et rejets de surface

4.1.8. Qualité des eaux

En ce qui concerne la qualité des eaux, les bases de données de références (nationales et de bassins) sur lesquelles sont disponibles des données sont les suivantes (illustration 48) :

- ADES : qualité des eaux souterraines - données issues des réseaux DCE, des départements et du contrôle sanitaire (ARS), etc.
- SIE Adour-Garonne : qualité des eaux de surface (réseaux de l'Agence de l'Eau, des départements, de l'Agence Française pour la Biodiversité etc.).

Le SIBA possède également son propre réseau de suivi de la qualité des eaux avec :

- le **réseau REPAR** : suivi régulier des pesticides dans les eaux de surfaces (8 points fixes), avec des prélèvements 2 fois par mois de mars à octobre et 1 fois par mois de novembre à février ;
- le **réseau REMPLAR** : suivi non régulier des micropolluants permettant notamment l'identification des rejets qui peuvent contaminer les eaux du Bassin d'Arcachon (eaux pluviales, eaux usées, eaux douces, eaux marines).

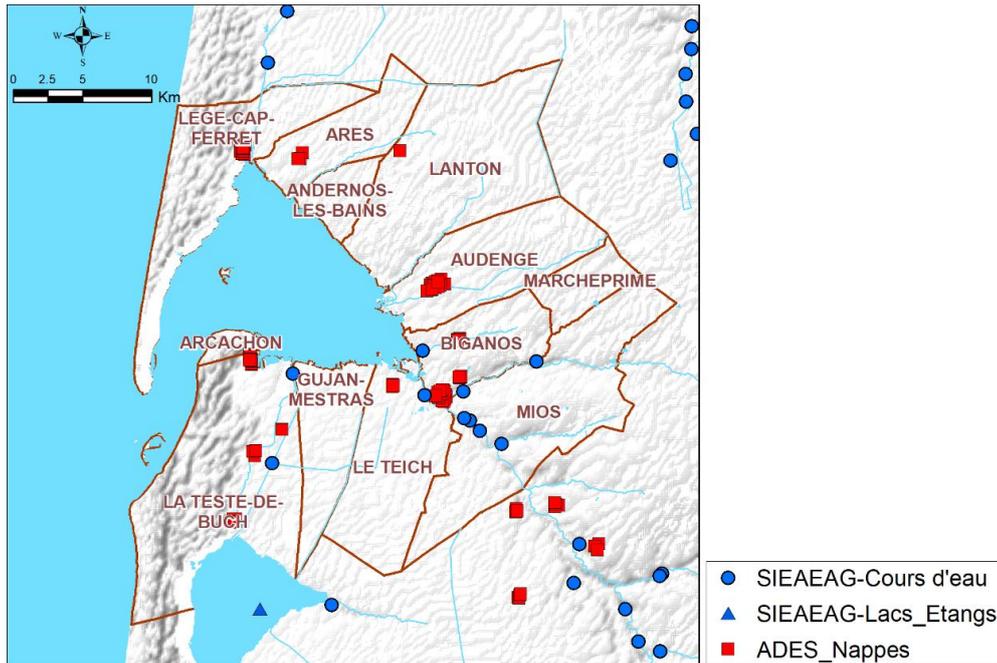


Illustration 48 - Données qualités disponibles dans les bases nationales et de bassin

4.1.9. Niveau océanique

Le niveau de base des nappes plio-quaternaires correspond, dans le secteur d'étude, au niveau océanique, qui évolue donc en fonction des marées. Le suivi des niveaux des marées sur le Bassin d'Arcachon se fait par le biais du marégraphe situé à la jetée d'Eyrac. Les relevés du SHOM font état d'un niveau moyen à 0,5 m NGF [SHOM (2012)]. La marée est de type semi-diurne (2 pleines mers et 2 basses mers par jour). Le marnage est de 1 à 5 m dans la lagune du Bassin d'Arcachon [Mugica et al. (2010)]. Il en résulte une surface totale qui atteint 160 km² à la pleine mer des marées de vive-eau, alors que seuls 40 km² de chenaux demeurent immergés à basse mer [Cayocca (1996)].

4.2. BILAN DES DONNEES

De nombreuses informations ont pu être récoltées à travers les études réalisées dans le secteur et sont une très bonne base à la réalisation d'un modèle hydrodynamique.

Il ne semble pas nécessaire d'acquérir de nouvelles données sur les éléments suivants :

- géométrie des réservoirs : le modèle géologique de l'ensemble des formations géologiques dans le « Triangle Landais » (formations mio-plio-quaternaires), développé dans le cadre la Convention Régionale sur les Eaux Souterraines et qui a permis de faire la synthèse de l'ensemble des données existantes sur le territoire, sera utilisé comme base pour l'établissement du modèle hydrodynamique (découpages des différentes couches du modèle) ;
- données topographiques : le LIDAR et le MNT au pas de 25 mètres seront utilisés. Dans les zones à enjeux et concernant les réseaux de drainage, de nouvelles acquisitions ponctuelles pourront être faites ;

- données climatiques : pour la recharge des nappes, les données SAFRAN (Météo France) seront utilisées - une comparaison avec les données pluviométriques mesurées par le SIBA pourra être réalisée ;
- données pédologiques : la cartographique des sols, issue des travaux de l'INRA, sera utilisée pour définir des zones de sols nécessaires à la prise en compte de la recharge des nappes (paramètre de réserve utile qui sera utilisé) ;
- données de prélèvements : la base de données établie dans le cadre du suivi des nappes en Gironde, pour le Département, est la référence la plus exhaustive pour le territoire. Les données récoltées sont annuelles. Toutefois, pour l'année 2018, les données mensuelles sont demandées aux différents exploitants (excepté pour les données agricoles - données fournies par la Chambre d'Agriculture). Les données concernant le département des Landes seront également intégrées (à noter, le travail en cours, pour ce département, dans le cadre de la modélisation des formations du Plio-Quaternaire du « Triangle Landais »).

Des acquisitions de données devront être réalisées pour les paramètres suivants, car nécessaires au développement d'un futur outil de modélisation fiable (en particulier dans les secteurs à enjeux) :

- des relevés piézométriques synchrones, *a minima* en basses eaux (septembre / octobre) et hautes eaux (mars / avril), et détaillés dans les secteurs à enjeux, pour établir des esquisses piézométriques ;
- des mesures continues de niveaux piézométriques (données nécessaires au calage en régime transitoire). La carte présentée en illustration 49 montre qu'il n'y a pas de suivi continu sur le pourtour du Bassin d'Arcachon et en particulier dans les zones à enjeux. Il est donc proposé de réaliser un suivi, sur 8 ouvrages, dans les secteurs à enjeux (enregistreurs de pression si possible, avec température et conductivité) ;
- en complément du suivi en continu, il est proposé d'acquérir, sur quelques transects perpendiculaires au littoral, des chroniques piézométriques (illustration 49), pour une durée de quelques mois, afin de mettre en évidence l'amortissement du signal de marée sur le niveau de la nappe ;
- des mesures de paramètres hydrodynamiques (perméabilité et/ou transmissivité et emmagasinement) par essais de pompage dans les secteurs à enjeux. Dans les documents analysés et fournis par le SIBA (schémas directeurs pluviaux notamment), des informations issues d'essais de pompages sont indiquées, mais ces essais n'ont malheureusement pas été réalisés dans les règles de l'art, en ce qui concerne leur déroulement (durée trop courte en particulier). C'est pourquoi, il est proposé la réalisation de 6 pompages d'essai autour du Bassin d'Arcachon pour caractériser les valeurs des paramètres hydrodynamiques du secteur d'étude (illustration 50) ;

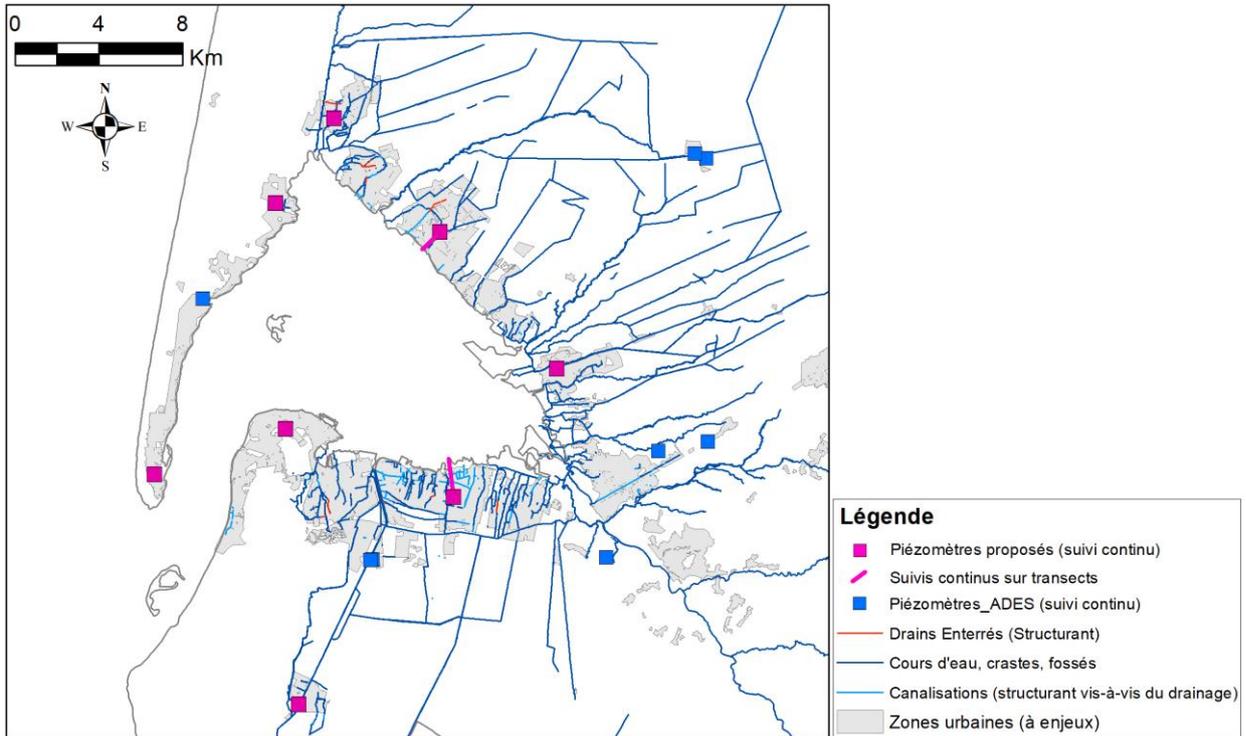


Illustration 49 - Données piézométriques à acquérir

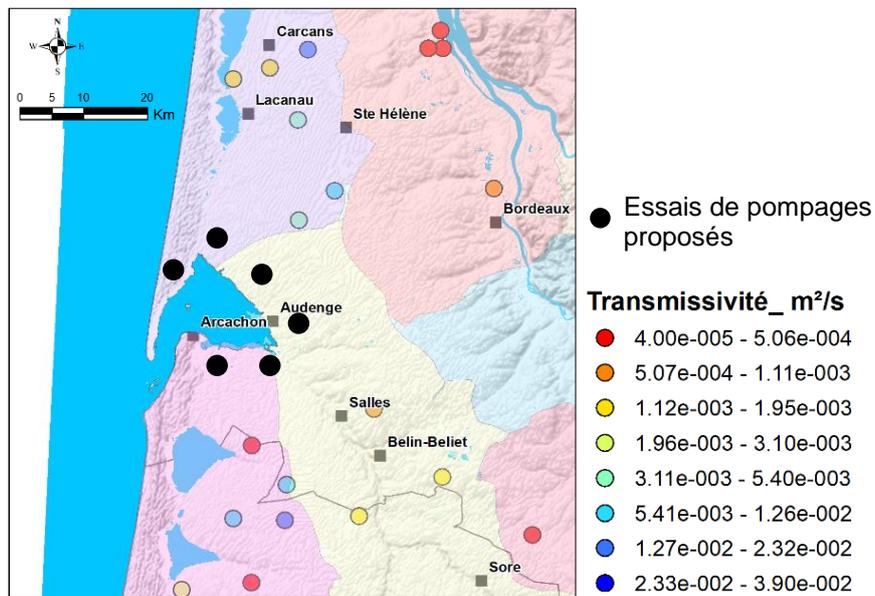


Illustration 50 - Localisation d'essais de pompage à réaliser

- des nivellements ponctuels des cours d'eau (cote de fond de rivière et hauteur d'eau), nécessaires à la prise en compte fine des échanges nappes / rivières dans le modèle.

5. Exploitation du modèle Plio-Quaternaire actuel : fourniture de premiers éléments sur les niveaux de nappes, à l'échelle macroscopique

5.1. OBJECTIF

Dans le cadre des travaux de la « Convention Régionale pour la Gestion des Eaux Souterraines en Aquitaine » (convention-cadre inscrite au Contrat de Plan Etat-Région, et signée par la Région Aquitaine, l'Etat et le BRGM), le BRGM a développé un modèle des formations plio-quaternaires du « Triangle Landais » (illustration 51). Ce modèle d'extension régionale, réalisé sous le code de calcul MARTHE [Thiéry (2015)], présente un maillage carré de 500 mètres de côtés. Il est actuellement calé en régime permanent.

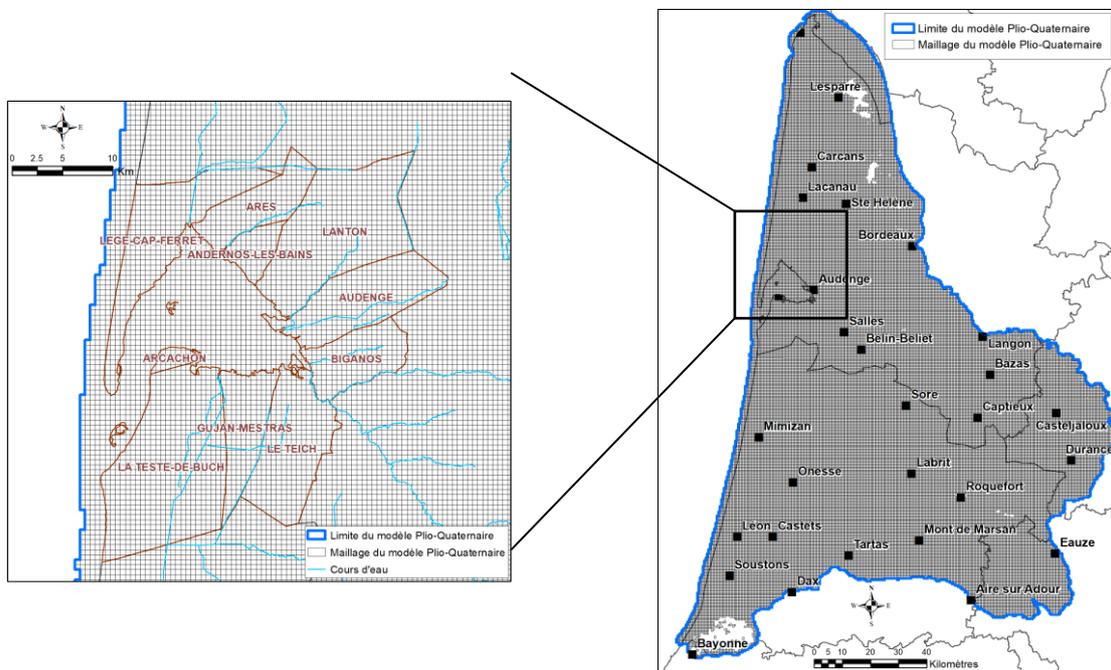


Illustration 51 - Extension du modèle Plio-Quaternaire et zoom sur l'extension du périmètre d'action du SIBA

Ce travail préalable a été proposé pour fournir de premiers éléments concernant des profondeurs de nappes, dans le secteur d'action du SIBA. Ces éléments pourraient ainsi permettre au SIBA d'avoir une première idée à l'échelle macroscopique des secteurs potentiellement problématiques pour les infrastructures d'assainissement.

5.2. LE MODELE DES NAPPES PLIO-QUATERNAIRES

5.2.1. Présentation du modèle

Les informations présentés dans la partie qui suit sont issues en partie du rapport datant de 2017 sur le développement du Modèle Mio-Plio-Quaternaire [Cabaret et Vergnes (2017)]. Ne seront présentés ici que la définition des caractéristiques principales du modèle hydrogéologique et les résultats. Les descriptions des caractéristiques géométriques et hydrodynamiques du modèle sont disponibles dans le rapport RP-63168-FR [Corbier et Cabaret (2014)] complété du RP64983-FR [Corbier et Cabaret (2015)].

Le modèle hydrogéologique comporte 17 couches (illustration 52). Les 12 premières couches (mio-plio-quaternaires) sont reprises et adaptées du modèle géologique (ch. 4.1.2). L'illustration 53 présente une vue 3D du modèle hydrogéologique.

Modèle hydrogéologique		Modèle géologique
Couche 1	Dune et Sable des Landes	Couche n°8
Couche 2	Alluvions récentes	Couche n°10
Couche 3	Nappes alluviales et terrasses anciennes	Couche n°9
Couche 4	Formation de Castets	Couche n°7
Couche 5	TSP* Belin = Argiles de Brach	Couche n°6
Couche 6	Formation de Belin	
Couche 7	TSP* Onesse	Couche n°5
Couche 8	Formation d'Onesse	
Couche 9	TSP* Arengosse	Couche n°4
Couche 10	Formation d'Arengosse	
Couche 11	Glaises bigarrées	Couches 2 + 3 et Modélisation des aquifères du Miocène (Pédron et al., 2001)
Couche 12	Sables Fauves semi-perméables	
Couche 13	Helvétien	Issus du MONA v4 (Modèle Nord Aquitain Version 4)
Couche 14	Eponte au sommet de l'Aquitainien	
Couche 15	Aquitainien	
Couche 16	Eponte Chattien-Miocène	
Couche 17	Oligocène	

*TSP = Toit Semi-Perméable

Illustration 52 - Agencement schématique des différentes couches du modèle hydrodynamique et correspondance avec le modèle géologique [Corbier et Cabaret (2014)]

Le maillage du modèle est au pas de 500 m et identique à celui du MONA⁶ version 4, afin d'assurer une compatibilité des deux modèles.

Le modèle est actuellement calé en régime permanent (calage en régime transitoire en cours). En terme de conditions aux limites, outre le niveau océanique et les lacs qui présentent des potentiels à charges imposées (charges constantes), des charges imposées ont également été injectées dans les couches 13 à 17, correspondant aux formations au Miocène, à l'Oligocène et à leurs épontes respectives.

La recharge intégrée pour ce calage en régime permanent correspond à un état moyen calculé à partir des pluies efficaces sur la période 2000-2009.

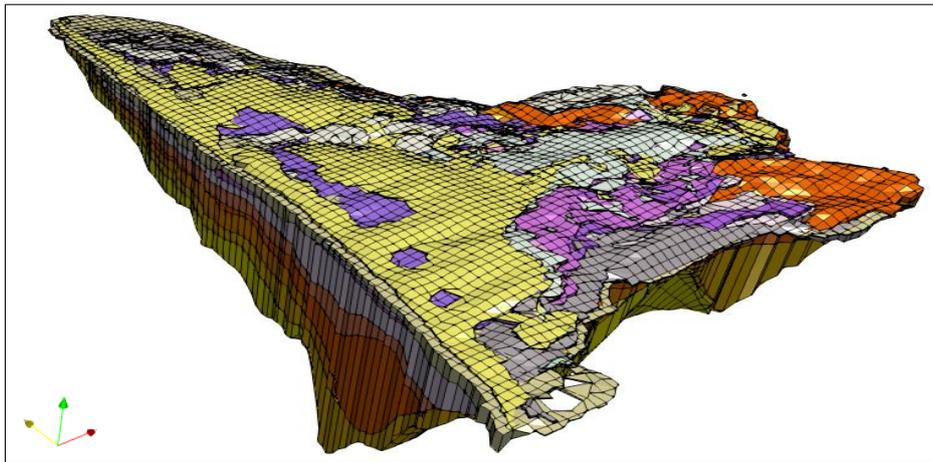


Illustration 53 - Vue 3D du modèle hydrogéologique

Les prélèvements AEP et industriels sur l'ensemble du « Triangle Landais », ainsi que les prélèvements agricoles (uniquement en Gironde pour le moment) sont pris en compte.

70 cours d'eau sont intégrés, pour un linéaire total de presque 200 km. 65 stations de mesures de débits sont utilisables et permettent de comparer les débits restitués par le modèle et les données réelles.

373 points d'observation, 4 cartes piézométriques (1, générale de 2002 et 3 sur secteurs SAGEs) et les débits moyennés des cours d'eau ont été utilisés pour évaluer le calage du modèle.

Enfin, le ruissellement généré sur chaque maille du domaine est transféré vers le réseau hydrographique en fonction de directions de drainage (calculées à partir de la topographie).

Le calage a été réalisé à partir des éléments de bibliographie collectés [Corbier et Cabaret (2014)]. Le faible nombre de valeurs de perméabilité n'a pas permis de réaliser une interpolation de ces valeurs, ni d'identifier les zones plus ou moins productives des différentes formations du Plio-Quaternaire. Ainsi, dans une première approche, une valeur entre 10^{-4} à 10^{-5} m/s a été attribuée pour l'ensemble des mailles de chaque couche.

Lorsque la densité de piézomètres le permet, un calage des perméabilités a été effectué afin de se rapprocher des valeurs moyennes des débits et piézométries observées. Les valeurs ont été ajustées au mieux, afin de diminuer les écarts au droit des piézomètres. Les nouvelles

⁶ MONA : MOdèle Nord-Aquitain (MONA) - [Saltel et al. (2017)]

distributions de perméabilités ont aussi été choisies pour respecter les directions d'écoulement des nappes. De plus, ces nouvelles valeurs restent dans des gammes cohérentes avec la nature des formations rencontrées.

5.2.2. Résultats du calage

Sur la piézométrie

Le diagramme de dispersion général obtenu à l'issue de ce travail représente dans un même graphique la piézométrie simulée et celle connue sur les forages d'observation (illustration 54).

Les points rouges correspondent au diagramme de dispersion, issu de la 3^{ème} année de réalisation du modèle [Cabaret et Vergnes (2017)] et les points bleus à celui de l'année 2 [Corbier et Cabaret (2015)]. En complément, les statistiques fournies (illustration 55) concernent l'erreur moyenne (moyenne de l'ensemble des écarts), l'erreur moyenne absolue (moyenne des écarts en valeur absolue) et l'erreur-type (racine carrée de la moyenne arithmétique des carrés des écarts).

On note une bonne adéquation entre les niveaux piézométriques observés et simulés sur le modèle en calage permanent (3^{ème} année). Il en est de même pour les autres indicateurs que sont l'erreur absolue moyenne et l'écart-type, qui traduisent une bonne restitution de la piézométrie observée par le modèle.

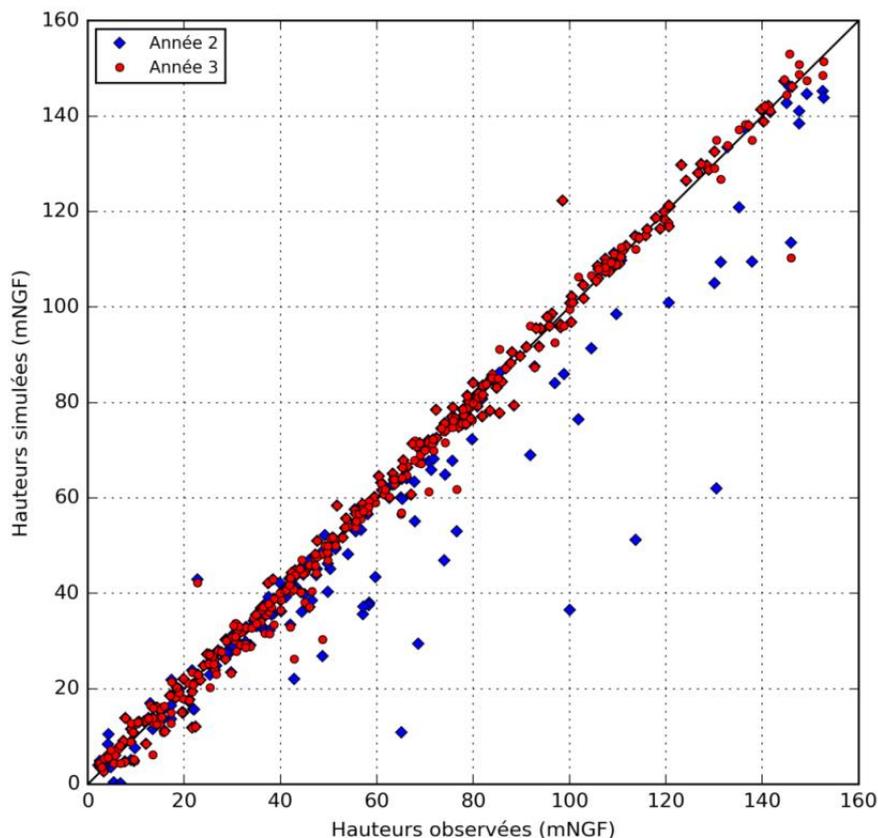


Illustration 54 - Diagramme de dispersion entre piézométries simulées et observées (évolution entre l'année 2 de développement [Corbier et Cabaret (2015)] et l'année 3, toutes couches confondues [Cabaret et Vergnes (2017)]

Simulation	Erreur moyenne (m)	Erreur absolue moyenne (m)	Erreur-type (m)
Année 2	2,35	4	9,05
Année 3	-0.29	2.18	3.7

Illustration 55 - Statistiques entre hauteurs piézométriques simulées et observées (évolutions entre l'année 2 de développement [Corbier et Cabaret (2015)] et l'année 3), toutes couches confondues. [Cabaret et Vergnes (2017)]

Sur les débits

Les résultats des calages sont très disparates (illustration 56) sur les débits, toutefois les valeurs restent dans les ordres de grandeurs des débits mesurés. Il convient de garder à l'esprit que le calage sur les débits en régime permanent est réalisé en comparant des données observées ponctuelles (crues ou étiages) à différentes périodes, par rapport à un calcul réalisé sur un débit moyen.

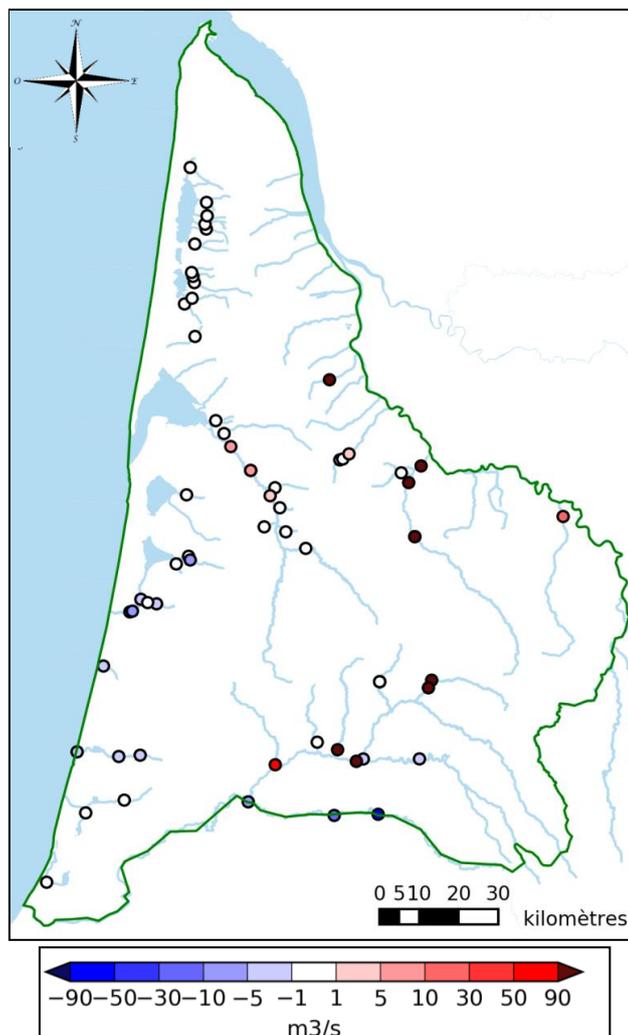


Illustration 56 - Distributions spatiales des écarts entre débits simulés et observés sur les 65 stations de mesure

5.3. EXPLOITATION DES DONNEES PIEZOMETRIQUES CALCULEES PAR LE MODELE PLIO-QUATERNAIRE

Le calage des piézomètres en régime permanent étant satisfaisant, les niveaux de l'ensemble des couches du modèle ont été extraits, afin de ne garder que les zones affleurantes pour, au final, produire une carte de niveau d'eau des couches affleurantes (illustration 57). Cette cartographie présente donc une vision des niveaux de nappes à la maille de 500 mètres.

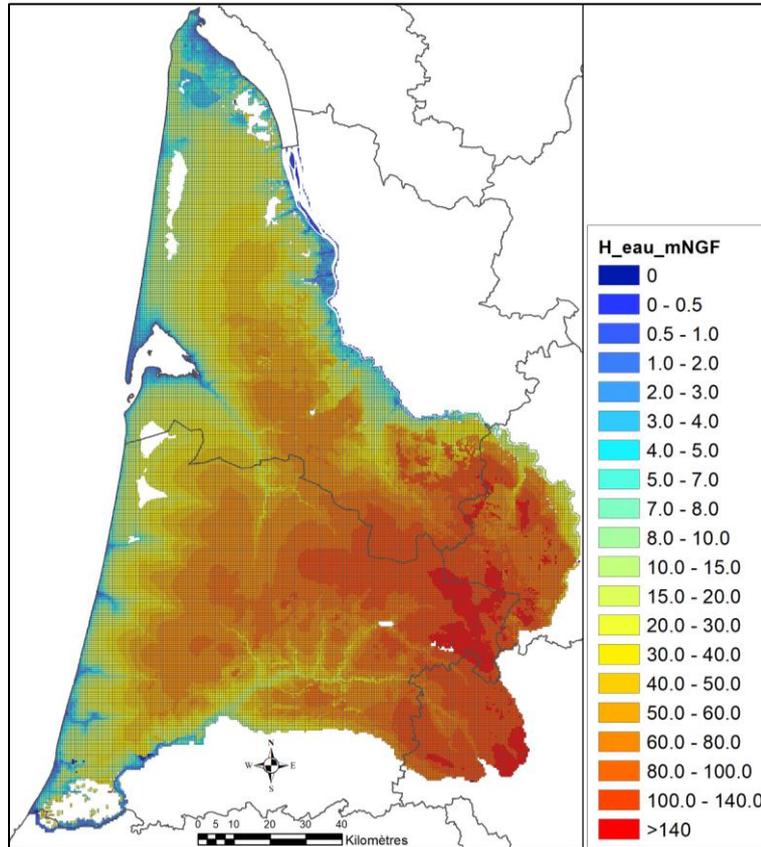


Illustration 57 - Niveau d'eau des couches affleurantes du modèle plio-quaternaire (résultats du calage en régime permanent)

A partir de ces données, une cartographie de la profondeur de la surface des nappes, en fonction de la topographie intégrée dans les mailles du modèle (moyenne de la topographie dans une maille de 500 mètres moins le niveau d'eau dans la nappe), a été réalisée (illustration 58).

Ces cartographies montrent un premier aperçu des secteurs où le niveau de nappe est sub-affleurant et les zones où celui-ci est plus profond. Ainsi, les communes de Gujan-Mestras, Le Teich, Audenge (partie ouest à proximité du Bassin), Biganos (ouest) et Lège-Cap-Ferret (nord du Bassin d'Arcachon) sont celles qui présentent les plus grandes surfaces avec un niveau de nappe sub-affleurant.

A noter que cette cartographie fournit un état des niveaux de nappes en régime permanent qui n'existe pas dans la réalité (fluctuations transitoires des niveaux de nappes liées à différents forçages - climatique, anthropique etc) et avec un maillage de 500 mètres, comportant des données qui sont moyennées dans chaque maille (données d'entrée et de sortie). Ainsi, l'échelle de travail et les résultats sont entachés d'incertitudes (liées aux données d'entrées et aux paramètres intégrés au modèle) et nécessitent la plus grande précaution quant à l'utilisation qui

peut être faite des résultats. Leur interprétation doit être limitée à la fixation d'ordres de grandeur et n'est pas applicable à une échelle locale.

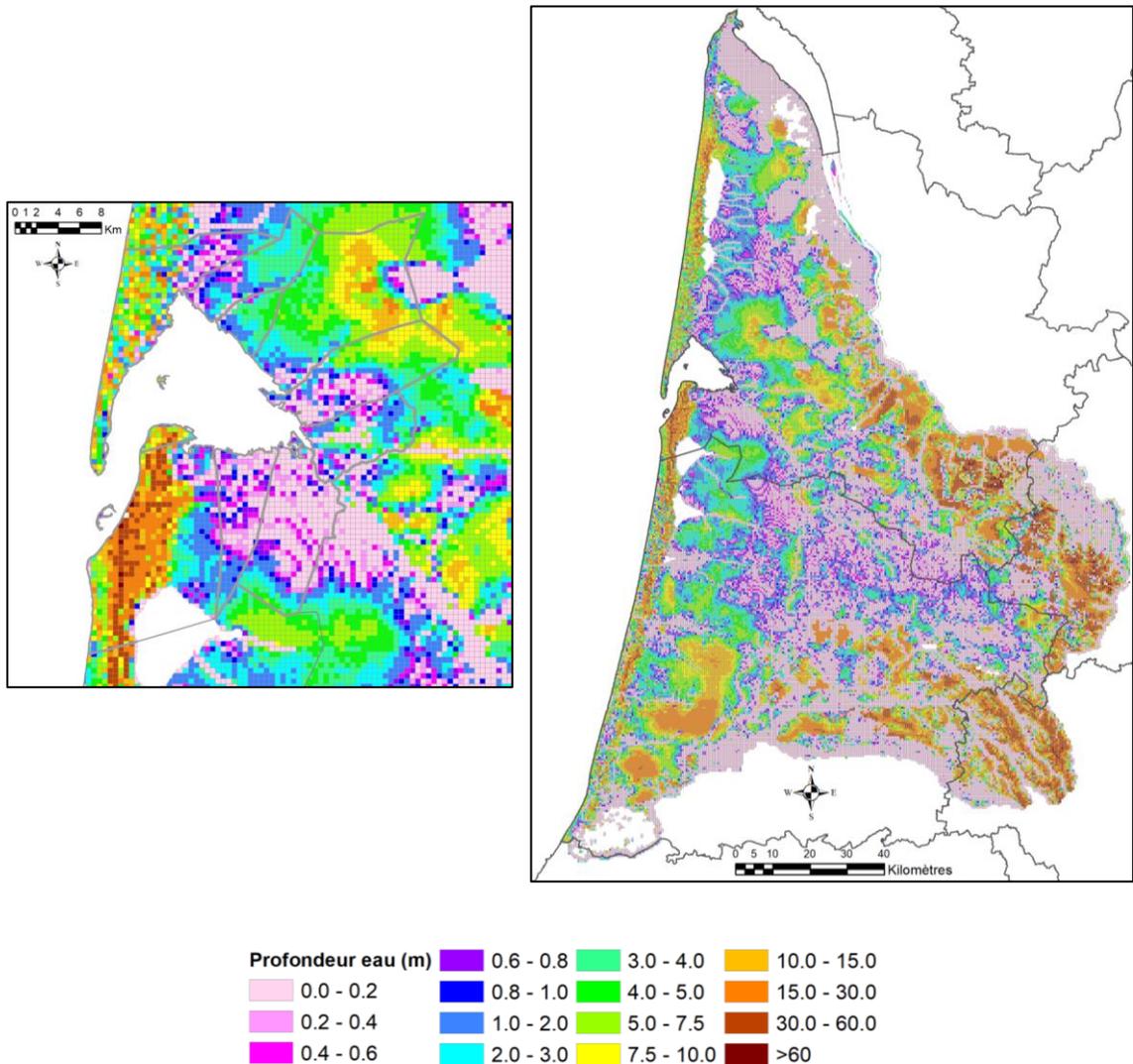


Illustration 58 - Profondeur de l'eau (maillage à 500 mètres du modèle plio-quaternaire)

Toutefois, afin d'apporter des informations plus focalisées au SIBA, il a été convenu de retravailler, dans un premier temps, avec des mailles à 25 mètres (soit le pas de 25 mètres du MNT), en réalisant une interpolation des niveaux d'eau calculés à la maille de 500 mètres. L'interpolation de la carte des cotes de la nappe a été réalisée avec la méthode du "voisin naturel" (Natural Neighbor) ([Sibson (1981)] ; [Owen (1992)]) sur le maillage de données régulier existant (illustrations 59 et 60). L'interpolation a été contrainte en fonction de la topographie et en particulier celle liée au réseau hydrographique (MNT au pas de 25 mètres).

La carte piézométrique calculée montre les axes de drainage principaux représentés par les cours d'eau et les grandes directions d'écoulements, d'une part vers le Bassin d'Arcachon et d'autre part vers le lac de Cazaux et l'Océan. Cette piézométrie issue du modèle est semblable à celle esquissée à partir des observations (illustration 7). Par la suite, un calcul de la profondeur de nappe a été réalisé (illustration 60).

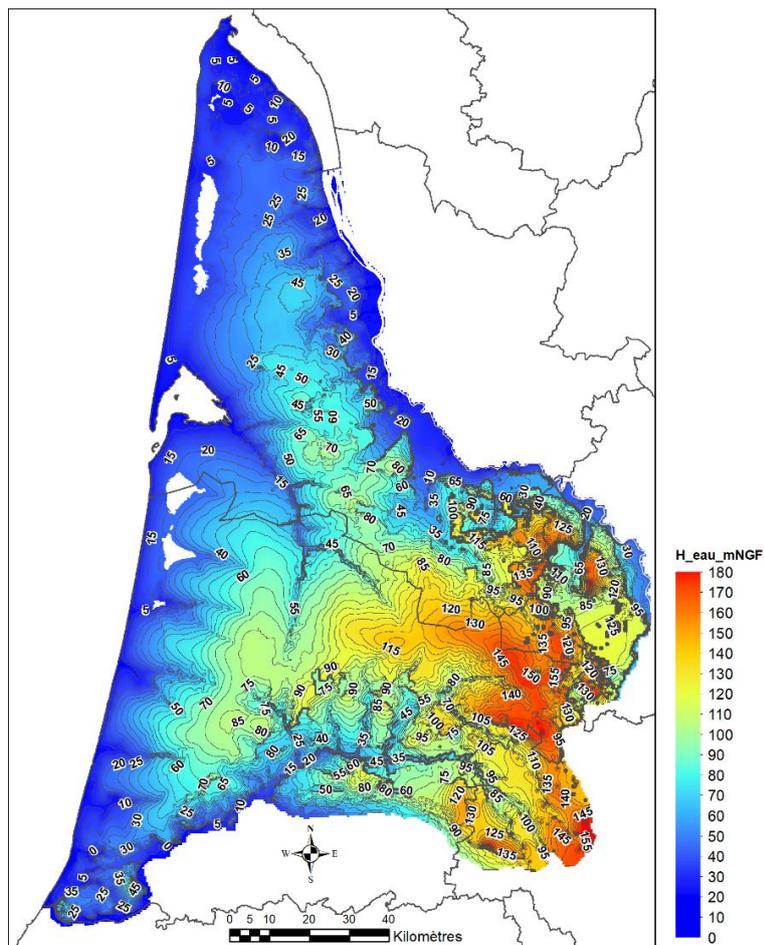


Illustration 59 - Niveau piézométrique des couches affleurantes sur l'ensemble du « Triangle Landais » et isopièzes (5 mètres)

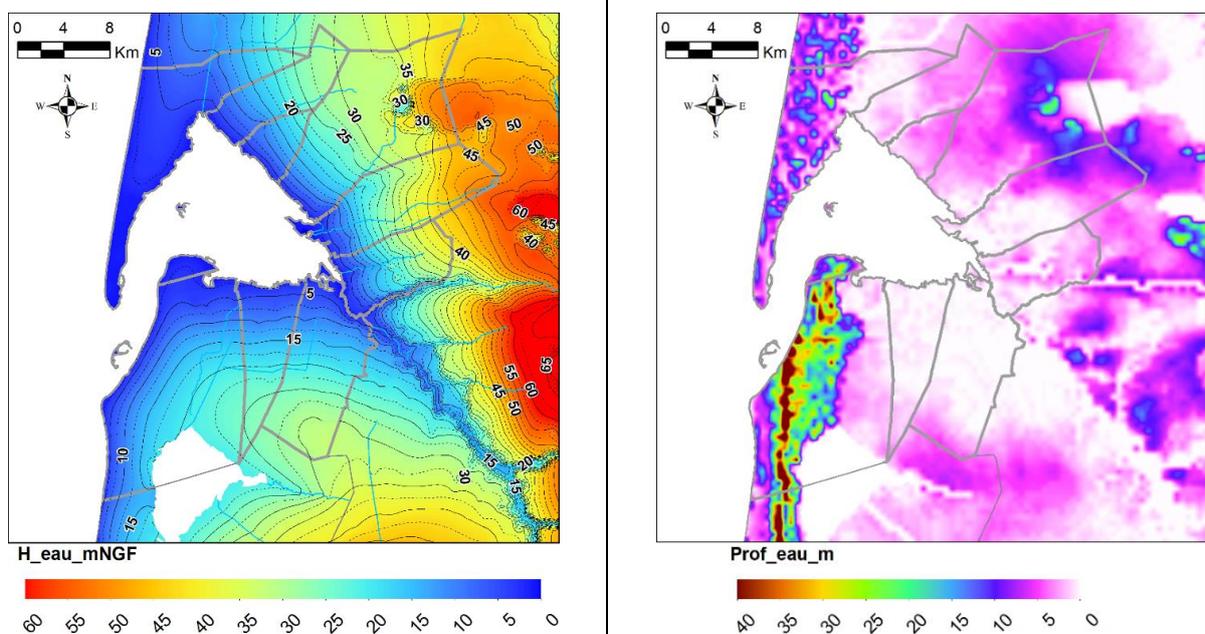


Illustration 60 - Niveau d'eau des couches affleurantes (à gauche) et profondeur de l'eau (à droite) (valeurs lissées) - zoom autour du Bassin d'Arcachon

La carte des profondeurs en valeurs classées permet de mieux préciser les secteurs où la nappe est sub-affleurante (illustration 61).

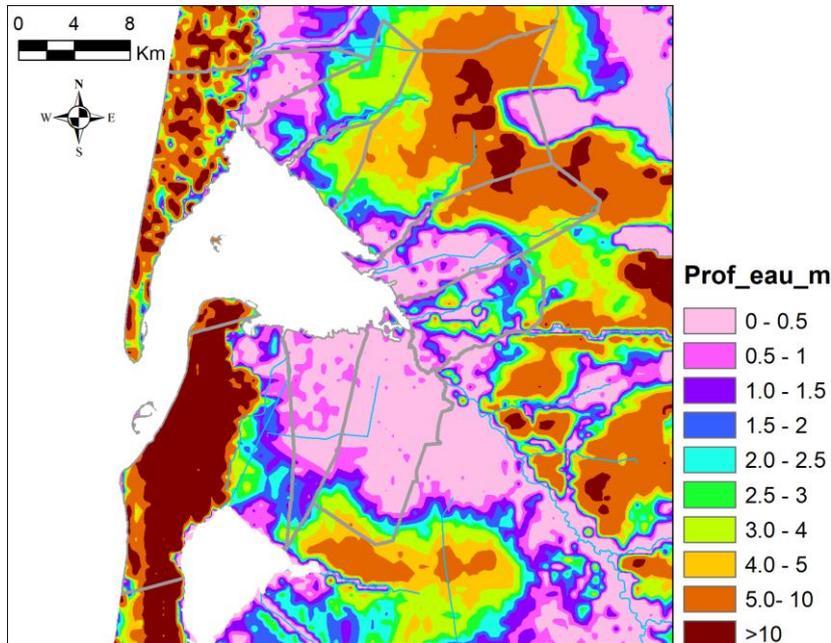


Illustration 61 - Profondeur de l'eau (valeurs classées en mètres) - zoom autour du Bassin d'Arcachon

Ce résultat est issu d'un modèle calé en régime permanent (1 seul état moyen de la nappe) et à partir de données moyennées sur des mailles de 500 mètres. Par la suite, il sera nécessaire de prendre en compte les variations piézométriques annuelles de la nappe. Le battement de la nappe, selon les secteurs, peut varier de 1 à un peu moins de 3 mètres. D'une façon générale, les plus fortes amplitudes se retrouvent sur les « plateaux ». Les amplitudes les plus faibles se retrouvent dans les vallons ou dans les piézomètres plus proches du Bassin (illustrations 62 et 63). Le manque de données de suivi continu, en particulier dans les zones urbanisées autour du Bassin, ne permet pas ici de rendre compte des amplitudes de variation de la nappe et de proposer des « courbes enveloppes » (maximum et minimum) de la piézométrie des nappes. Pour ce faire, cela nécessiterait de produire *a minima* une carte en hautes et basses eaux.

Dans l'absolu, il faudrait également tenir compte des phénomènes de marées. Malheureusement, il n'existe pas de réseau de suivi continu, dans les nappes, de ce phénomène sur le pourtour du Bassin (si ce n'est un suivi de seulement 6 heures au port de la Molle à Gujan-Mestras [Pecora (2015)]), et encore moins d'information sur la propagation de l'onde de marée et de son amortissement (jusqu'à quelle distance du Bassin, le signal de la marée est-il perceptible sur le niveau de nappe ?). A noter que des solutions analytiques peuvent permettre d'estimer cette distance, à partir de la connaissance de paramètres hydrodynamiques, mais ces résultats resteraient entachés d'incertitudes.

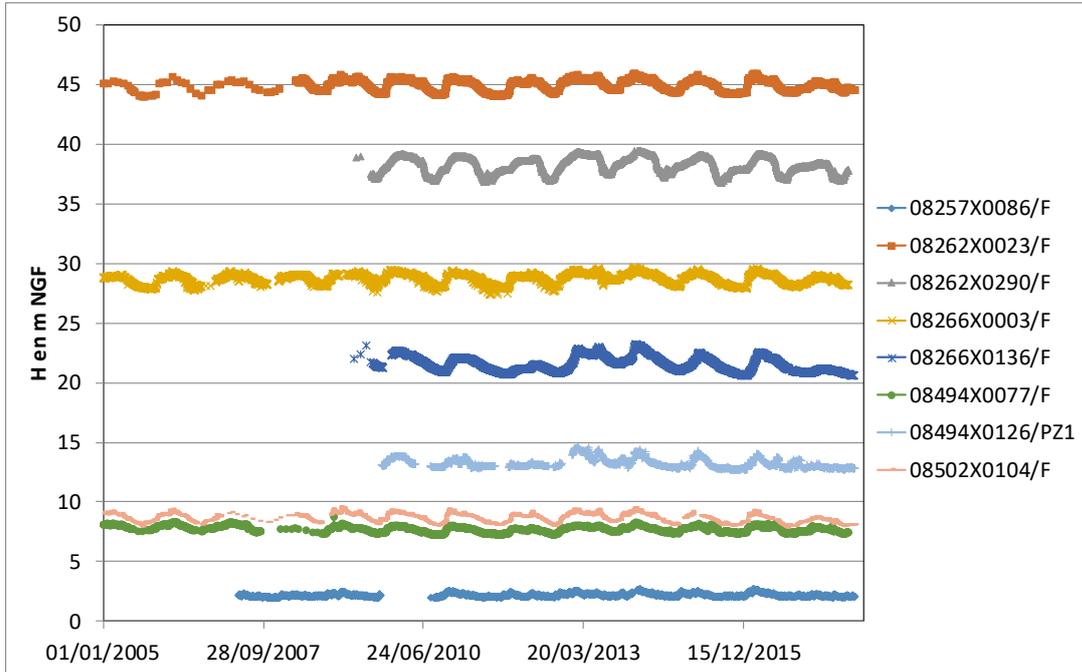


Illustration 62 - Chroniques de différents piézomètres dans la zone d'étude

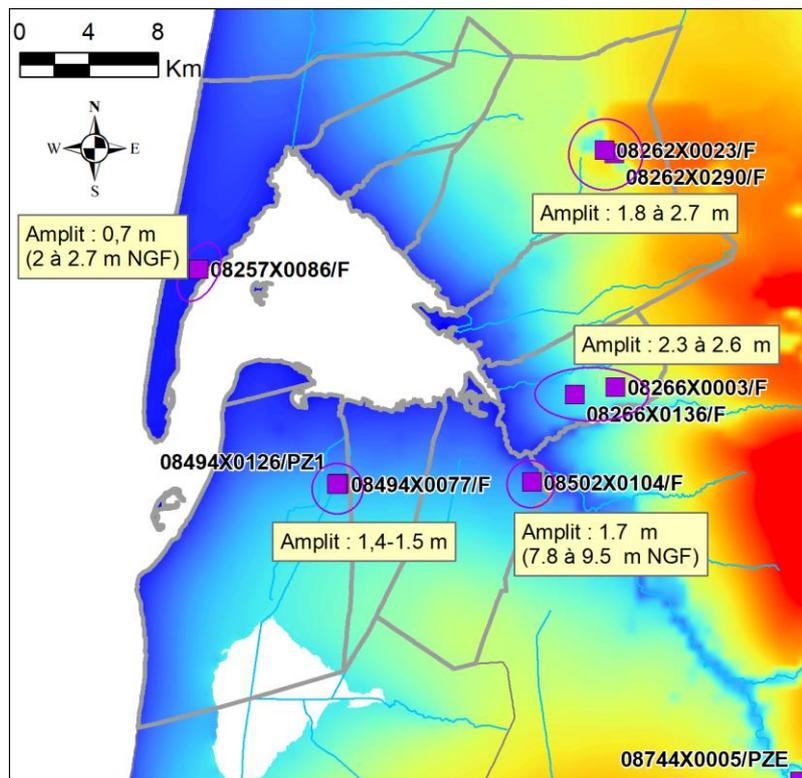


Illustration 63 - Localisation des piézomètres présentés à l'illustration 62

Un premier test a ensuite été effectué à partir d'un LIDAR, fourni par le SIBA. L'analyse initiale a consisté à comparer le LIDAR avec le MNT 25 mètres. Malheureusement, les écarts calculés sont importants : de quelques dizaines de centimètres à plusieurs mètres (illustration 64). Ainsi,

la différence entre la charge calculée par le modèle (au pas du LIDAR) et le LIDAR montre des niveaux de nappes qui peuvent être supérieurs à la topographie. Les cartes de l'illustration 65 présentent ces résultats, avec une contrainte imposée sur les niveaux de nappes supérieures aux cotes LIDAR (les hauteurs d'eau supérieures à la cote LIDAR sont ramenées à 0 - zone rouge sur la carte de droite). Il paraît donc, dans ce travail, plus opportun de rester dans une vision plus globale, en regardant les profondeurs de l'eau par rapport au MNT - la couche topographique du modèle étant issue du MNT - plutôt que d'utiliser le LIDAR. A noter que ce dernier sera utilisé dans le cadre d'un futur modèle, comme niveau topographique.

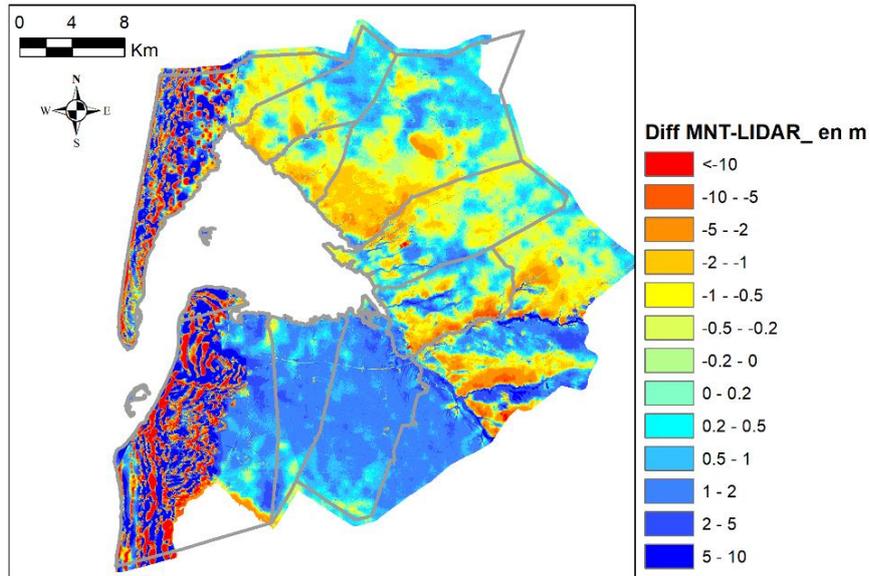


Illustration 64 - Différence calculée entre le MNT au pas de 25 mètres et le LIDAR (MNT-LIDAR)

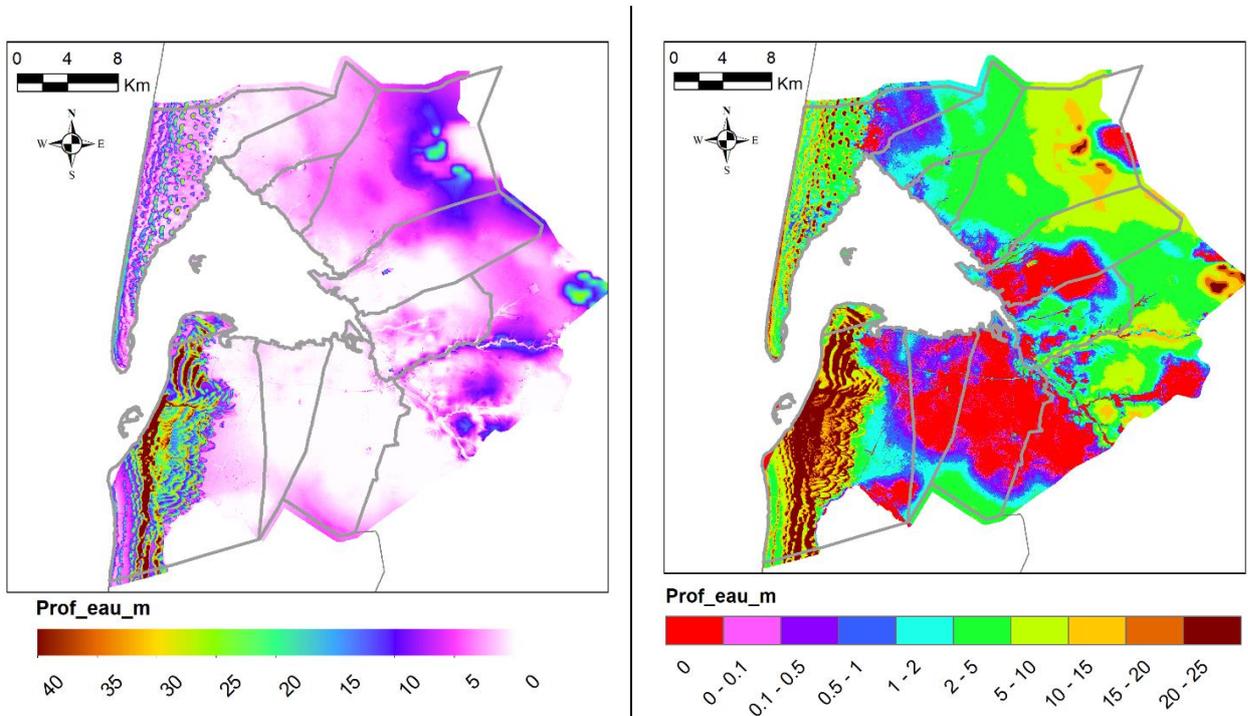


Illustration 65 - Calcul de la profondeur de l'eau en fonction du LIDAR : à droite, analyse des données lissées ; à gauche, analyse des données classées

6. Conclusion et premières réflexions sur la définition d'un outil de modélisation, adapté au besoin du SIBA

Le travail réalisé, dans le cadre du partenariat entre le SIBA et le BRGM, et présenté dans ce rapport, a permis i) de préciser les besoins du SIBA pour le développement d'un modèle hydrogéologique qui puisse aider à répondre à ses missions et ii) de faire le bilan des données existantes et nécessaires à la réalisation du modèle.

Après une présentation du contexte local (géologie, hydrogéologie, hydrologie et climat), le principe de la modélisation en hydrogéologie a été décrit, avec notamment les différentes étapes nécessaires à la réalisation de ce type d'outil.

Les objectifs de l'outil dédié aux besoins SIBA ont ensuite été abordés. Ce modèle doit répondre à diverses problématiques de gestion opérationnelle, rencontrées sur le territoire du SIBA, concernant l'assainissement (non collectif et collectif) et la gestion des eaux pluviales dans un premier temps, et les problématiques de pollution des eaux de surface en lien avec les eaux souterraines dans un second temps. Ce modèle hydrogéologique devra prendre en compte les réseaux de drainage naturels et artificiels, et une réflexion sera menée pour la prise en compte des niveaux marins.

Un **travail bibliographique** important a été réalisé afin de dresser un état des lieux des connaissances et données nécessaires pour la construction du modèle hydrodynamique.

Les données disponibles sur les thématiques suivantes ont été présentées : géologie (visant à établir la géométrie des réservoirs), hydrogéologie (données piézométriques et paramètres hydrodynamiques), hydrologie (cartographie des réseaux de drainage, morphologie, hauteur d'eau, débits), climatologie (précipitation et évapotranspiration), pédologie (cartographie des sols), prélèvements et rejets (dans les aquifères et cours d'eau), qualité des eaux, informations sur le niveau océanique (marées). L'ensemble de ces données a été cartographié.

L'analyse des données montre qu'il n'est pas nécessaire d'acquérir de nouvelles informations sur la géométrie des réservoirs (le modèle géologique existant étant une très bonne base de travail). A noter également que les données topographiques (MNT), climatiques (Météo France), pédologiques ou fournies par le SIBA (LIDAR) seront utilisées en l'état, ce qui ne nécessitera pas d'acquisitions supplémentaires. Toutefois, des **données doivent être acquises** sur l'hydrogéologie et l'hydrologie, en particulier dans les secteurs à enjeux, avec notamment :

- la réalisation de cartographies piézométriques synchrones, *a minima* en basses et hautes eaux et détaillées,
- l'acquisition de données continues de niveaux piézométriques sur 8 ouvrages (illustration 49),
- en complément du suivi en continu, l'acquisition, sur quelques transects perpendiculaires au littoral, des chroniques piézométriques (illustration 49), sur une durée de quelques mois, afin de mettre en évidence l'amortissement du signal de marée sur le niveau de nappe,
- des mesures de paramètres hydrodynamiques (perméabilité et / ou transmissivité et emmagasinement) par pompage d'essai (6 essais),
- des nivellements ponctuels sur les cours d'eau (cote de fond de rivière et hauteur d'eau) nécessaires à la prise en compte fine des échanges nappes / rivières dans le modèle.

Le modèle plio-quaternaire existant dans sa configuration actuelle (calé en régime permanent) a été exploité afin de fournir des premiers ordres de grandeur sur les niveaux de nappes : hauteur en m NGF et profondeur.

Dans un premier temps, une cartographie de la « nappe » affleurante (à partir des couches du modèle hydrogéologique) à la maille de 500 mètres a été réalisée (niveau de nappe en m NGF et profondeur de nappe). Les données ont ensuite été retraitées à la maille de 25 mètres. Ces cartographies indiquent que les communes de Gujan-Mestras, Le Teich, Audenge (partie ouest à proximité du Bassin), Biganos (ouest) et Lège-Cap-Ferret (nord du Bassin d'Arcachon) sont celles qui présentent les plus grandes surfaces avec un niveau de nappe sub-affleurant.

Un travail a également été amorcé à partir du LIDAR, fourni par le SIBA. Malheureusement des différences notables (quelques dizaines de centimètres à plusieurs mètres) avec les données du MNT, utilisées dans le cadre du modèle, ont été constatées.

En ce qui concerne le **modèle** qui sera développé, le code de calcul MARTHE (Modélisation d'Aquifères par Maillage Rectangulaire en régime Transitoire pour le calcul Hydrodynamique des Ecoulements) développé par le BRGM sera utilisé [Thiéry (2015)].

Ce modèle sera basé en partie sur le modèle plio-quaternaire (extraction du modèle et adaptation). Il est déjà établi que le réseau de drainage devra être pris en compte d'une façon assez exhaustive dans le modèle, à l'image des informations fournies par le SIBA : axes de drainages structurants (illustration 23).

L'**extension** du modèle correspondra aux limites de bassin versant hydrogéologique (ligne de crête piézométrique) alimentant le Bassin d'Arcachon, éloigné de quelques kilomètres, afin de maximiser la distance des conditions aux limites et donc de minimiser leur impact sur la zone d'intérêt (illustration 66). Ainsi, l'ensemble des bassins versants des petits cours d'eau sera pris en compte. Pour le bassin de la Leyre, la prise en compte du débit en limite du modèle sera fonction des débits mesurés sur la Grande Leyre et la Petite Leyre.

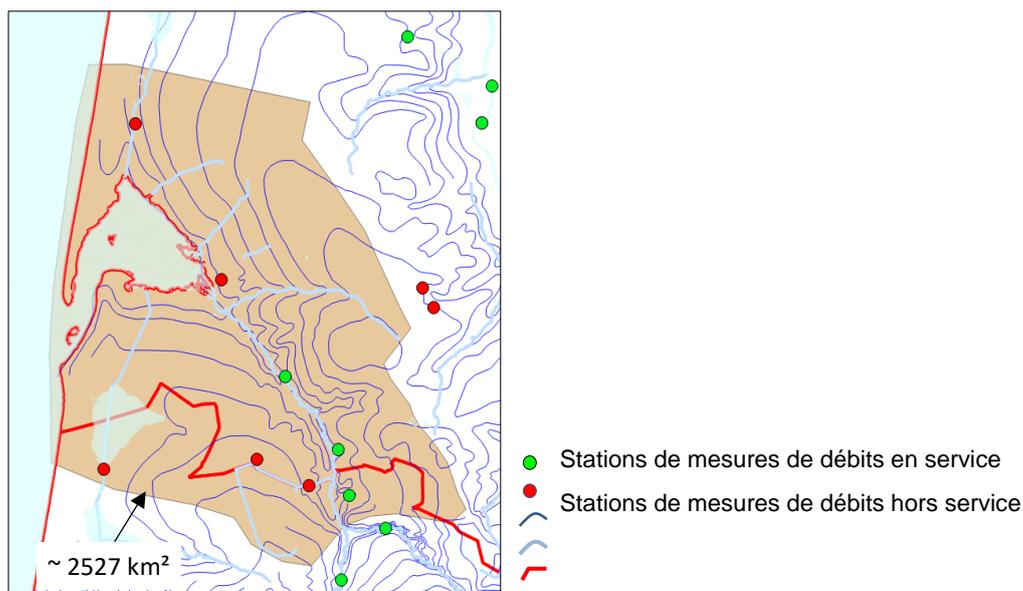


Illustration 66 - Extension du modèle (hypothèse)

Le nombre de **couches retenues** sera au maximum de 5. Le découpage proposé à partir du modèle géologique et hydrogéologique est fonction de l’extension des formations présentes dans le secteur et de leur continuité hydraulique ou non (présence de formations non aquifères - illustration 67). Une simplification pourra toutefois être apportée ; l’objectif du modèle étant de prendre en considération, le plus précisément possible, le niveau de la nappe de surface et les échanges avec le réseau de drainage (ne nécessite donc pas de prendre en compte précisément les couches plus profondes). Par ailleurs, le nombre de couches généré (multipliant le nombre de mailles) est un des critères qui peut allonger la durée des calculs par le modèle.

Modèle hydrogéologique du Plio-Quaternaire du « Triangle Landais »		Modèle hydrogéologique MOHYS (hypothèse)
Couche 1	Dune et Sable des Landes	Couche n°1
Couche 2	Alluvions récentes	
Couche 3	Nappes alluviales et terrasses anciennes	
Couche 4	Formation de Castets	
Couche 5	TSP* Belin = Argiles de Brach	
Couche 6	Formation de Belin	
Couche 7	TSP* Onesse	
Couche 8	Formation d’Onesse	
Couche 9	TSP* Arengosse	Couche n°2
Couche 10	Formation d’Arengosse	Couche n°3
Couche 11	Glaises bigarrées	Couche n°4
Couche 12	Sables Fauves semi-perméables	
Couche 13	Helvétien	Couche n°5
Couche 14	Eponte au sommet de l’Aquitanién	
Couche 15	Aquitanién	
Couche 16	Eponte Chattien-Miocène	
Couche 17	Oligocène	

*TSP = Toit Semi-Perméable

Illustration 67 - Agencement schématique des différentes couches du modèle hydrodynamique du Plio-Quaternaire du « Triangle Landais » [Corbier et Cabaret (2014)] et description des couches retenues dans le modèle MOHYS

Le **maillage** sera de 500 mètres dans les secteurs où aucun enjeu n’est défini. Cette taille de maille correspond à celle du modèle existant. Dans les secteurs à enjeux, définis par le SIBA, un

ou plusieurs gigognes (mailles raffinées) sera/seront établi(s). Des tests ont été réalisés avec un maillage de 50 et 100 mètres pour ces secteurs (illustration 68). Ces tests permettent de montrer que dans certains secteurs, le maillage à 100 mètres paraît suffisant (ex. Cap Ferret) et que dans d'autres, il est potentiellement préférable de travailler à la maille de 50 mètres (secteurs de Gujan-Mestras et du Teich). Ainsi le nombre de mailles pour un modèle composé de 5 couches sera approximativement de 135 500 (mailles de 500 mètres + mailles de 100 mètres sur la totalité des zones à enjeux) à 405 500 mailles (mailles de 500 mètres + mailles de 50 mètres sur la totalité des zones à enjeux).

La durée de calcul du modèle est fortement dépendante du nombre de mailles et du nombre de pas de temps. Il sera donc nécessaire de faire des choix de simplification pour avoir une durée de calcul raisonnable.

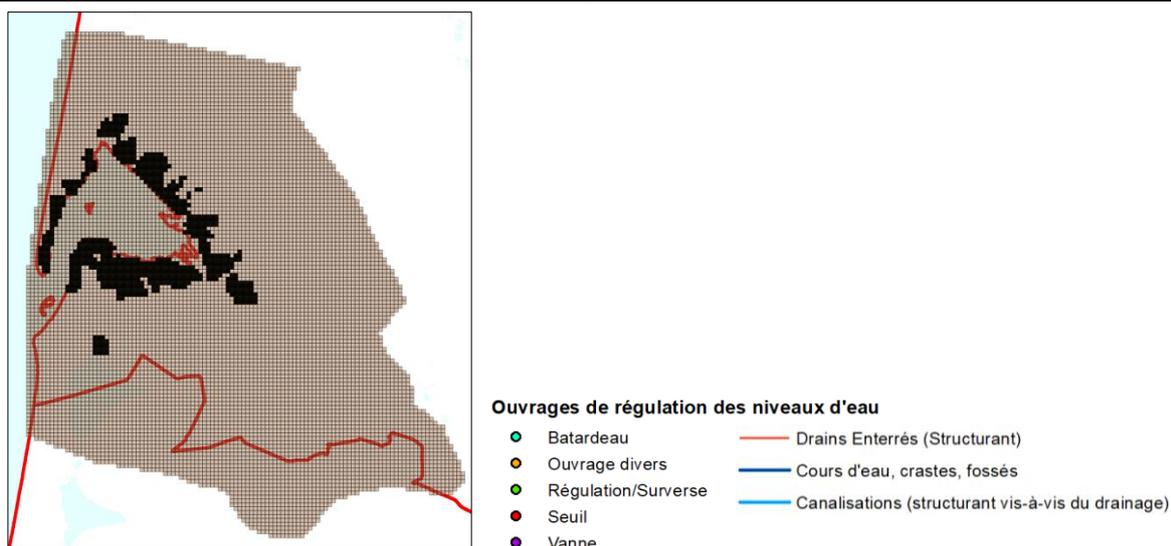
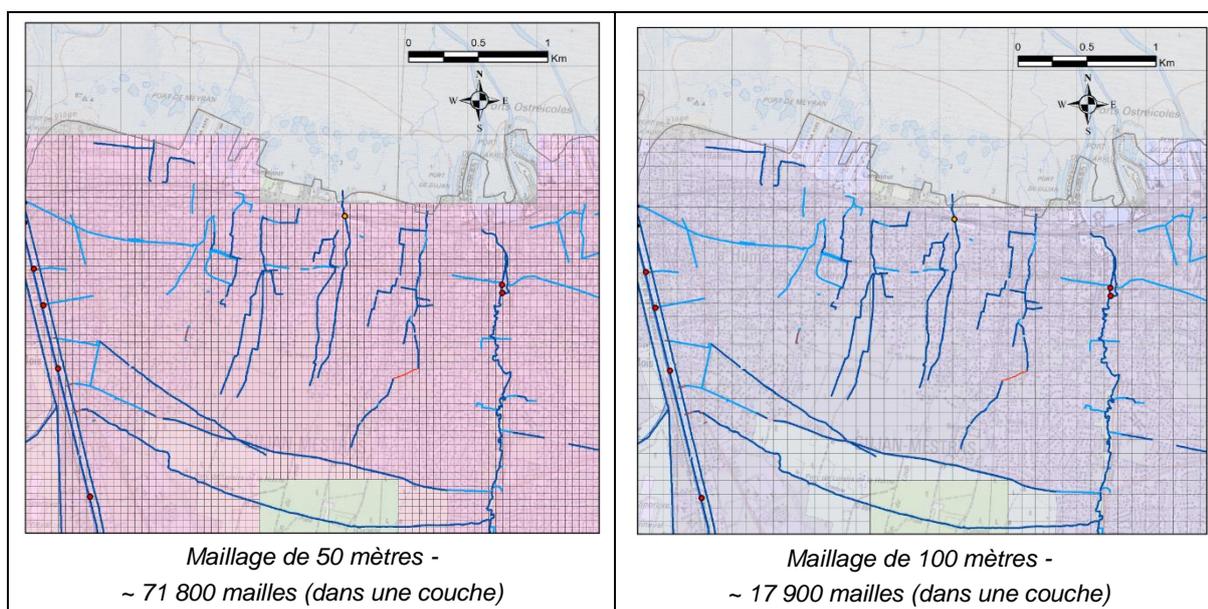


Illustration 68 - Essais de maillages gigognes à 50 et 100 mètres dans le secteur de Gujan-Mestras

7. Bibliographie

- [Allard (1981)] A. Allard. *La nappe du Miocène dans les Landes de Gascogne*. BRGM Service géologique régional Aquitaine, 1981.
- [Arlet (2017)] C. Arlet. Révision du schéma directeur d'assainissement des eaux pluviales de la Teste-de-Buch. Phase 1A - Etat des lieux. R17-416-01. PROLOG INGENIERIE. Technical report, 2017.
- [Astié et Chamayou (1977)] H. Astié et J. Chamayou. Les eaux souterraines en Gironde-BRGM/77-SGN-104-AQI. Technical report, BRGM, 1977.
- [Astié et al. (1971)] H. Astié, R. Bellegarde, et C. Moussié. Evaluation des ressources en eau de la région du bassin d'Arcachon (Gironde) - rapport BRGM-71-SGN-107-AQI. Technical report, BRGM, 1971.
- [A'urba (2010)] A'urba. Schéma de Cohérence Territoriale des Lacs Médocains - Rapport de présentation TOME 3/5 - Etat initial de l'environnement. 102 p. Technical report, A'urba pour la Communauté de Communes des Lacs Médocains, 2010.
- [Balmand (2017a)] E. Balmand. Révision du schéma directeur d'assainissement des eaux pluviales d'Arès. Phase 1A – Etat des lieux. R16-416-01. PROLOG INGENIERIE. Technical report, 2017.
- [Balmand (2017b)] E. Balmand. Révision du schéma directeur d'assainissement des eaux pluviales de Lège. Phase 1A – Etat des lieux. R16-416-01. PROLOG INGENIERIE. Technical report, 2017.
- [Barrière et Saltel (2017)] J. Barrière et M. Saltel. Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Plio-Quaternaire - Relations nappes / rivières / étangs - Module 3.2 - Année 1. BRGM/RP-66844-FR. Technical report, BRGM, 2017.
- [Barthélemy et Seguin (2016)] Y. Barthélemy et J. Seguin. Modélisation maillée des écoulements souterrains – Principes, démarche et recommandations. Rapport final. BRGM/RP-62549-FR, 140 p. Technical report, BRGM, 2016.
- [Bastien (2016a)] N. Bastien. Révision du schéma directeur pluvial de la commune d'Andernos. Phase 1b : Analyse de la campagne de mesures et diagnostic. 15SMU021. SAFEGE-SUEZ. Technical report, 2016.
- [Bastien (2016b)] N. Bastien. Révision du schéma directeur pluvial de la commune de Lanton. Phase 1b : Analyse de la campagne de mesures et diagnostic. 15SMU021. SAFEGE-SUEZ. Technical report, 2016.
- [Bichot et al. (2001)] F. Bichot, A. Alexandre, et A. Baraton. Gestion des eaux souterraines en Aquitaine. Année 5. Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines. Atlas hydrogéologique de l'Aquitaine. BRGM/RP-51175-FR, 172p. Technical report, BRGM, 2001.
- [Bordeaux (1985)] C. D. D. Bordeaux. Carte piézométrique de la nappe phréatique des Landes - Etiage 1985. Technical report, -, 1985.
- [Boutault (2016)] G. Boutault. Construction d'un bassin de sécurité dénommé « Lagrua » sur la commune de La Teste de Buch (33) Mission d'ingénierie géotechnique G2AVP. Rapport n°87019/A. ANTEA. Technical report, 2016.
- [Boutault (2017)] G. Boutault. Construction d'un bassin de sécurité dénommé « Lagrua » sur la commune de La Teste de Buch (33) Résultats des investigations géotechniques complémentaires préalables à la mission G2 PRO. ANTEA. Technical report, 2017.

- [Bredehoeft et Konikow (2012)] J. Bredehoeft et L. Konikow. Ground-water models: Validate or invalidate, *Ground Water*, Vol. 50, No. 4—GROUND WATER—July-August 2012 - reprinted Volume 31, Number 2, 178–179. Technical report, 2012.
- [Bruand et al. (2004)] A. Bruand, O. Duval, et I. Cousin. Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à partir de la base de données SOLHYDRO : Une première proposition combinant le type d'horizon, sa texture et sa densité apparente. *Étude et Gestion des sols*, Volume 11, 3: 323–332, 2004.
- [Buquet (2017)] D. Buquet. *Cycle des éléments biogènes dans les lacs côtiers en Gironde.EPOC - Environnements et Paléoenvironnements OCéaniques*. PhD thesis, 2017.
- [Cabaret et Vergnes (2017)] O. Cabaret et J. Vergnes. 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. Technical report, BRGM, 2017.
- [Callec et al. (2006)] Y. Callec, D. Janjou, T. Baudin, C. Luquet, J.-M. Pellé, et L. P. Echelle des temps géologiques. Charte stratigraphique établie dans le cadre des projets CANEV et MD GEOL modifiée d'après les travaux de : J. Chantraine, S. Courbouleix, G. Farjanel, D. Janjou, P. Le Strat, F. Ménillet, C. Vinchon. Technical report, 2006.
- [Capdeville et Bouchet (1996)] J. Capdeville et J. Bouchet. Notice de la carte géologique d'Audenge 1/50 000. Technical report, B.R.G.M., 1996.
- [Cayocca (1996)] . Cayocca. *Modélisation morphodynamique d'une embouchure tidale : Application aux passes d'entrée du Bassin d'Arcachon*. PhD thesis, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 419 p., 1996.
- [Chantraine et al. (1996)] J. Chantraine, A. Autran, C. Cavelier, B. Alabouvette, J. C. Barfety, F. Cecca, L. Clozier, S. Debrand-Passard, J. Dubreuilh, J. Feybesse, P. Guennoc, P. Ledru, P. Rossi, et Y. Y. Ternet. Carte Géologique de la France Métropolitaine à l'échelle du millionième - 6ème édition. Technical report, BRGM, 1996.
- [Corbier (2012)] P. Corbier. 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. Technical report, BRGM, 2012.
- [Corbier et Cabaret (2014)] P. Corbier et O. Cabaret. 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 4. Rapport final. BRGM/RP-63168-FR, 113 p., 81 ill., 3 ann. Technical report, BRGM, 2014.
- [Corbier et Cabaret (2015)] P. Corbier et O. Cabaret. 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. Technical report, BRGM, 2015.
- [Corbier et al. (2010)] P. Corbier, G. Karnay, B. Bourgine, et M. Saltel. 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 2. BRGM/RP-57813-FR, 184p., 36 figures, 6 annexes. Technical report, BRGM, 2010. Revu.
- [Corbier et al. (2011)] P. Corbier, M. Saltel, et A. David. 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. Technical report, BRGM, 2011. Revu.

- [Dassargues (1995)] A. Dassargues. Modèles mathématiques en hydrogéologie. H*G*A, Bucarest 132 p. Technical report, 1995.
- [De Marsily (2004)] G. De Marsily. *Cours d'hydrogéologie*. Université Paris VI, 2004. Revu.
- [Deltrieu (2011)] Deltrieu. Compte Rendu d'Investigation Géotechniques - valorisation de sédiments issus de dragage - Sondage a la tarière et pose de piézomètres - Parc de Loisirs et Rue Castaing - Commune de Gujan-Mestras. GEO110542. GéoFondation. Technical report, 2011.
- [Douez (2015)] O. Douez. Actualisation 2008-2011 du modèle maillé des aquifères du Jurassique en Poitou-Charentes. Rapport BRGM/RP-64816-FR - Rapport final, 161 p., 223 ill., 4 ann. Technical report, BRGM, 2015.
- [Douez et al. (2016)] O. Douez, O. Cabaret, M. Saltel, L. Abasq, A. Wuilleumier, et N. Pedron. Groundwater management of large aquifers in southwestern France by regional hydrodynamic models - 43rd IAH CONGRESS. Sept. 2016. URL <https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-01329626>. Poster.
- [Dubreuilh et al. (1995)] J. Dubreuilh, J. Capdeville, G. Farjanel, G. Karnay, et J. Platel. Dynamique d'un comblement continental néogène et quaternaire : l'exemple du bassin d'Aquitaine. *Géologie de la France*, N°4: 3–26, 1995.
- [Durand et al. (1993)] Y. Durand, E. Brun, L. Mérindol, G. Guyomarc'h, B. Lesaffre, et E. Martin. A meteorological estimation of relevant parameters for snow models. *Annals of Glaciology*, ,, vol.18: pp.65–71, 1993.
- [Durst et Rodriguez (2008)] P. Durst et G. Rodriguez. Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine - Géologie et hydrogéologie des réservoirs plioquaternaires dans le secteur du Bassin d'Arcachon – Module 1 – Année 4 – BRGM/RP-56680-FR, 114 pages, 23 figures, 7 tableaux, 3 annexes. Technical report, BRGM, 2008.
- [EPOC (2006)] EPOC. Etude bathymétrique du Lac de Carcans-Hourtin : 2005-2006. Rapport UMR EPOC - Université Bordeaux 1, 37 p. Technical report, EPOC, 2006.
- [Etcheverry (2001)] D. Etcheverry. *Une approche déterministe des distributions des temps de transit de l'eau souterraine par la théorie des réservoirs*. PhD thesis, Université de Neuchâtel, 2001.
- [GEOLANDES (2013)] S. M. GEOLANDES. *SAGE Etangs littoraux Born et Buch - Etat initial - Syndicat Mixte GEOLANDES*, 384 p. PhD thesis, SAGE Etangs littoraux Born et Buch, 2013.
- [Jullien (1968)] J. Jullien. *Etude hydrogéologique du Plio-Quaternaire de la région de Soustons (40)*. PhD thesis, -, 1968.
- [Karnay (1992)] G. Karnay. Carte géol. France (1/50000), feuille La Teste (849). Orléans : BRGM. Notice explicative par Karnay G., Dubreuilh J., Bouchet J.M., (1992), 52p. Technical report, BRGM, 1992.
- [Karnay et al. (2008)] G. Karnay, P. Corbier, R. Blanchin, T. Jaouen, M. Porquet, et M. Peter. 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. BRGM/RP-56475-FR, 73 pages, 25 figures, 6 tableaux. Technical report, BRGM, 2008. Revu.
- [Kieken et Marionnaud (1972)] M. Kieken et J.-M. Marionnaud. Etude géologique et hydrogéologique de l'ensemble Tertiaire-Quaternaire du Sud-Ouest de l'Aquitaine. Première partie. Géométrie des réservoirs. Rapport 72-SGN-080-AQI. Technical report, BRGM, 1972.

- [Lacroix (2014)] M. Lacroix. Révision Schémas Directeurs Pluviaux Commune de Gujan-Mestras. Phase 1A. Version 2.14SMU017. SAFEGE. Technical report, 2014.
- [Lacroix (2015)] M. Lacroix. Révision Schémas Directeurs Pluviaux - Commune de La Teste de Buch - Quartier Cazaux - Phase 1b.14SMU014. SAFEGE. Technical report, 2015.
- [Large (2016a)] R. Large. Révision Schémas Directeurs Pluviaux - Commune d'Audenge - Phase 1b. 15MAT042. SAFEGE. Technical report, 2016.
- [Large (2016b)] R. Large. Révision Schémas Directeurs Pluviaux - Commune de Biganos - Phase 1b. 15MAT042. SAFEGE. Technical report, 2016.
- [Laval (2014)] C. Laval. Construction d'un local de stockage des boues séchées et annexes. STEP – LA TESTE DE BUCH (33). SIBA Etude Géotechnique G2 AVP. Rapport n°2014-0267. Saga Aquitaine. Technical report, 2014.
- [Le Quellec et Combaud (2013)] G. Le Quellec et A. Combaud. Etude géotechnique préalable à l'aménagement hydraulique du réseau pluvial (Création d'une station de pompage). Rue du pont neuf LE TEICH (33470). Dossier n°3300987. ECR Environnement. Technical report, 2013.
- [LeMoigne (2002)] P. LeMoigne. Description de l'analyse des champs de surface sur la France par le système Safran. Note de centre GMME. Technical report, Météo-France, 2002.
- [Mauroux et al. (2007)] B. Mauroux, J. Capdeville, et G. Ducasse. Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine. Géologie et hydrogéologie des réservoirs plio-quadernaires dans le secteur du Bassin d'Arcachon. Module 1, Année 3. Rapport BRGM/RP-55239-FR, 85 pages, 34 figures, 15 tableaux, 17 annexes. Technical report, BRGM, 2007. Revu.
- [Mondeilh (1974)] C. Mondeilh. *Contribution à l'étude des fluctuations de la nappe des dunes littorales (entre le boucau et l'embouchure de la Gironde)*. PhD thesis, -, 1974.
- [Moussouteguy (2016)] N. Moussouteguy. Etude géotechnique de conception Mission G2 - phase avant-projet. Bâtiment d'exploitation et local de stockage – STEP. LA TESTE (33). 16RG 103. Optisol Géotechnique. Technical report, 2016.
- [Mugica et al. (2010)] J. Mugica, E. Delvallée, et R. Pedreros. Application de modèles numériques pour l'estimation de l'altitude du plan d'eau à Andernos-les-Bains. Rapport BRGM/RP-58723-FR. 92 p., 64 fig., 14 tab., 6 ann. Technical report, BRGM, 2010.
- [Owen (1992)] S.-J. Owen. *An Implementation of Natural Neighbor Interpolation in Three Dimensions*. PhD thesis, Brigham Young University, 1992. Douez.
- [Pédron et al. (2002)] N. Pédron, J. Platel, J. Dubreuilh, et B. Mauroux. Aspects géologiques et hydrogéologiques des connaissances sur les systèmes aquifères mio-plio-quadernaires des Landes de Gascogne - Note BRGM 02 AQI 17, 24 p., 7 fig. Technical report, BRGM, 2002.
- [Pecora (2015)] L. Pecora. Port de la Molle - Allée du Haurat - Gujan-Mestras (33). Poste de pompage. 14.BX.90008. GEOTECHNIQUE G2 PRO. Technical report, 2015.
- [Randrianansolo (2016)] O. Randrianansolo. Assainissement des eaux usées - Construction d'ouvrages hydrauliques et de locaux techniques. Onihasina RANDRIANASOLO 2016. Site de Taussat Gare de Lanton Bd Charles de Gaulle Lanton (33). SIBA. Rapport de synthèse de l'étude géotechnique G2-AVP. GEOFONDATION. Technical report, 2016.
- [Richer de Forges et al. (2015)] A. Richer de Forges, D. Arrouays, et J. Wilbert. Richer de Forges A., Arrouays D. et Wilbert J. (2015). Couverture graphiques du Référentiel Régional Pédologique de la région Aquitaine : carte des pédopaysages de Gironde à 1/250 000, en format ArcInfo (shapefile). INRA InfoSol. Technical report, INRA, 2015.

- [Saga_Aquitaine (2017)] Saga_Aquitaine. Dossier n°2014-0267. Saga Aquitaine. Technical report, 2017.
- [Saltel (2008)] M. Saltel. *Impact de structures géologiques sur l'alimentation de systèmes aquifères profonds - Fonctionnement hydrogéologique des antifformes du sud de Bordeaux*. PhD thesis, Thèse de doctorat, Université Michel de Montaigne - Bordeaux 3, 268p., 2008. Revu.
- [Saltel et Arnaud (2015)] M. Saltel et L. Arnaud. Modèle PHONEME : construction, paramétrisation et évaluation qualitative et statistique du calage en régime transitoire. Rapport intermédiaire. BRGM/RP-65368-FR, 58 p., 41 fig., 6 ann. Technical report, BRGM, 2015.
- [Saltel et Dewandel (2015)] M. Saltel et J. Dewandel, B. and Bodinniet. Projet RODÉO (Réseau d'Observation et de prévention du DÉnoyage de l'Oligocène) Phase 2 & 3. Rapport final. BRGM/RP-65339-FR, 93 p., 62 ill., 10 tabl., 8 ann. Technical report, BRGM, 2015.
- [Saltel et al. (2017)] M. Saltel, F. Compère, et O. Cabaret. Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine -Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes – Module 1.1 – Année 1 – Convention 2015 – 2020. BRGM/RP-66832-FR, 43 p., 19 ill., 4 tabl., 2 ann. Technical report, BRGM, 2017.
- [SHOM (2012)] SHOM. Références Altimétriques Maritimes - Ports de France métropolitaine et d'outre-mer - Cotes du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée. Edition 2012. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 104 p. Technical report, SHOM - Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 2012.
- [Sibson (1981)] R. Sibson. A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation. *Interpreting Multivariate Data*, V. Barnett editor, John Wiley and Sons, New York, pages pp. 21–36, 1981. Douez.
- [Sourisseau (1967)] B. Sourisseau. *Etude hydrogéologique du Plio-Quaternaire de la région de l'étang de Léon (40)*. PhD thesis, -, 1967.
- [Sylla (2017a)] A. Sylla. Création d'un bassin de rétention endigué et de ses ouvrages annexes. Craste de Canteranne - gujan Mestras (33470). Dossier 3303320-G2-AVP. ECR Environnement. Technical report, 2017.
- [Sylla (2017b)] H. Sylla. Réalisation d'un bassin d'infiltration / stockage EP. Etude géotechnique préalable à la réalisation d'un bassin d'infiltration / stockage EP. MISSION G2-AVP. Rue de la Poste. LANTON (33138). Dossier 3303454. ECR Environnement. Technical report, 2017.
- [Teissier (1967)] J. Teissier. *Etude hydrogéologique du Plio-Quaternaire dans la région de l'étang de Cazaux*. PhD thesis, -, 1967.
- [Thiéry (2003)] D. Thiéry. Logiciel GARDENIA. version 6.0. Guide d'utilisation. BRGM/RP-52832-FR, 102 p., 42 fig, 3 ann. Technical report, BRGM, 2003.
- [Thiéry (2015)] D. Thiéry. Code de calcul MARTHE - Modélisation 3D des écoulements dans les hydrosystèmes - Notice d'utilisation de la version 7.5. BRGM/RP-64554-FR, 306 p., 150 fig. Technical report, BRGM, 2015.
- [Torelli (1968)] L. Torelli. *Etude hydrogéologique du Plio-Quaternaire de la région de saint-julien en Born*. PhD thesis, -, 1968.
- [Tournier (1961)] M. Tournier. Etude hydrogéologique du bassin de l'Eyre - Centre d'Hydrogéologie-Géochimie de la faculté des Sciences de Bordeaux. Technical report, 1961.
- [Valette et Cunillera (2010)] L. Valette et A. Cunillera. Cahiers techniques SYRAH-CE - Pôle Hydroécologie des cours d'eau Onema-Cemagref Lyon, MAEP-LHQ, Lyon. 96 p. Technical report, 2010.

[Vernier et Castro (2010)] F. Vernier et A. Castro. Expertise sur l'avenir du massif des Landes de Gascogne - Rapport d'expertise - critère "Préservation de l'Environnement", sous-critère "Eau" » (mars 2010). Gip ECOFOR . Technical report, 2010.

[Wuilleumier et al. (2016)] A. Wuilleumier, M. Saltel, O. Douez, O. Cabaret, L. Abasq, et N. Pedron. A platform to harmonize the regional hydrodynamic models in the southwest of France. 43rd IAH Congress, Sept. 2016. URL <https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-01329510>. Poster.

[Yurtsever et al. (2001)] Y. Yurtsever, A. Zuber, P. Maloszewski, M. Campana, L. Harrington, G.A. end Tezcan, et L. Konikow. Environmental isotopes in the hydrological cycle. Principles and Applications. Vol.6 - Modelling. International atomic energy agency and united Nations educational, scientific and cultural organization. Technical report, 2001.

Annexe 1

Données piézométriques issues des rapports fournis par le SIBA

Données piézométriques - Lège Cap Ferret

- ✓ Suivi ponctuel [Balmand (2017b)]

Tableau 14 - Profondeurs de nappe mesurées pour les piézomètres de Lège

Dates	PIEZO1	PIEZO2	PIEZO3
	38 Rue Gorry	Stade près des tribunes à côté du blockhaus	Gare
	Lège	Lège	Lège
Z référence (m NGF)	6.01	7.41	11.07
04/05/2016	3.77	6.70	9.98
11/05/2016	3.83	6.77	10.06
19/05/2016	3.57	6.66	9.89
25/05/2016	3.73	6.73	10.01
01/06/2016	3.62	6.64	9.90
Prof. Moy (m NGF)	3.70	6.70	9.97
Prof. Min (m NGF)	3.57	6.64	9.89
Prof. Max (m NGF)	3.83	6.77	10.06

Données piézométriques - Arès - [Balmand (2017a)]

- ✓ Suivi ponctuel [Balmand (2017a)]

Tableau 20 - Niveaux de nappe (m NGF) mesurées pour les piézomètres d'Arès

Date	PIEZO4	PIEZO5	PIEZO6
	20 Allée d'Aquitaine	Camping La Cigale	Maison de retraite
	Arès	Arès	Arès
Z référence (m NGF)	8.79	6.24	5.1
04/05/2016	6.69	4.75	
11/05/2016	6.75	4.83	3.67
19/05/2016	6.63	4.68	3.56
25/05/2016	6.68	4.82	3.71
01/06/2016	6.59	4.75	3.61
Prof. Moy (m NGF)	6.67	4.77	3.64
Prof. Min (m NGF)	6.59	4.68	3.56
Prof. Max (m NGF)	6.75	4.83	3.71

Données piézométriques - Andernos

✓ Suivi ponctuel [Bastien (2016a)]

n°	Type d'ouvrage	Localisation - lieu dit	Prof. Puits (m)	Coordonnées géographiques 93		Cote piézométrique (m NGF)	Prof de la nappe / TN (m)
				E	N		
1	Puits	Avenue de Bordeaux	4.40	375994.887	6413399.002	5.7	1.4
2	Forage	Aérodrome	18.00	378023.394	6415005.902	17.0	1.2
3	puits (DFCI)	Vers le casino	19.80	379390.273	6414786.977	20.3	1.8
4	Tarière	Camping fontaine veille	1.50	-	-	2.6	1.4
5	Piézomètre (piezo 2)	ancien centre de stockage	5.74	379572.260	6416219.670	22.5	2.1
6	Piézomètre (piezo 1)	ancien centre de stockage	8.12	379826.770	6416453.430	23.2	2.3
7	Piézomètre (piezo 3)	ancien centre de stockage	8.70	379503.550	6416281.710	22.5	2.1
8	Forage	piscine camping Arbousier	1.70	377908.815	6414775.556	16.4	1.4
9	Piézomètre (piezo 1)	port ostréicole	16.44	374372.515	6413866.281	1.6	1.2
10	Piézomètre (piezo 2)	port ostréicole	1.80	374120.721	6413892.003	1.6	1.1
11	Piézomètre (piezo 3)	port ostréicole	6.60	374116.842	6413792.012	1.9	0.7
12	Forage	Stade	15.80	377602.507	6415301.259	14.0	3.3
13	Forage	Mairie	15.40	375407.998	6413370.644	3.1	1.8
14	Forage	parc Louis David	28.40	375724.490	6413076.500	2.8	2.6
15	Forage	place de l'étoile	7.00	376896.279	6411810.062	2.8	2.1
16	Forage	piscine	11.50	376309.091	6411901.515	1.5	2.2
17	Forage	Caserne	9.80	376319.552	6412942.908	4.3	3.2
18	Puits	particulier M Boshier	7.60	377141.987	6413254.875	9.3	3.0
19	Forage	Querquillas	5.90	379598.845	6416795.583	23.5	2.4

20	Forage	Rond point casino Miami	17.90	378361.475	6415386.601	19.3	1.6
21	Puit	Particulier - 9 rue Edouard Branly M. Viry	4.66	376478.537	6413057.470	4.5	1.6
22	Puit	Particulier - 7 avenue de Champagne	9.00	378081.323	6413141.018	13.8	1.7
23	Puit	Particulier	7.00	377441.041	6413002.726	10.4	2.0

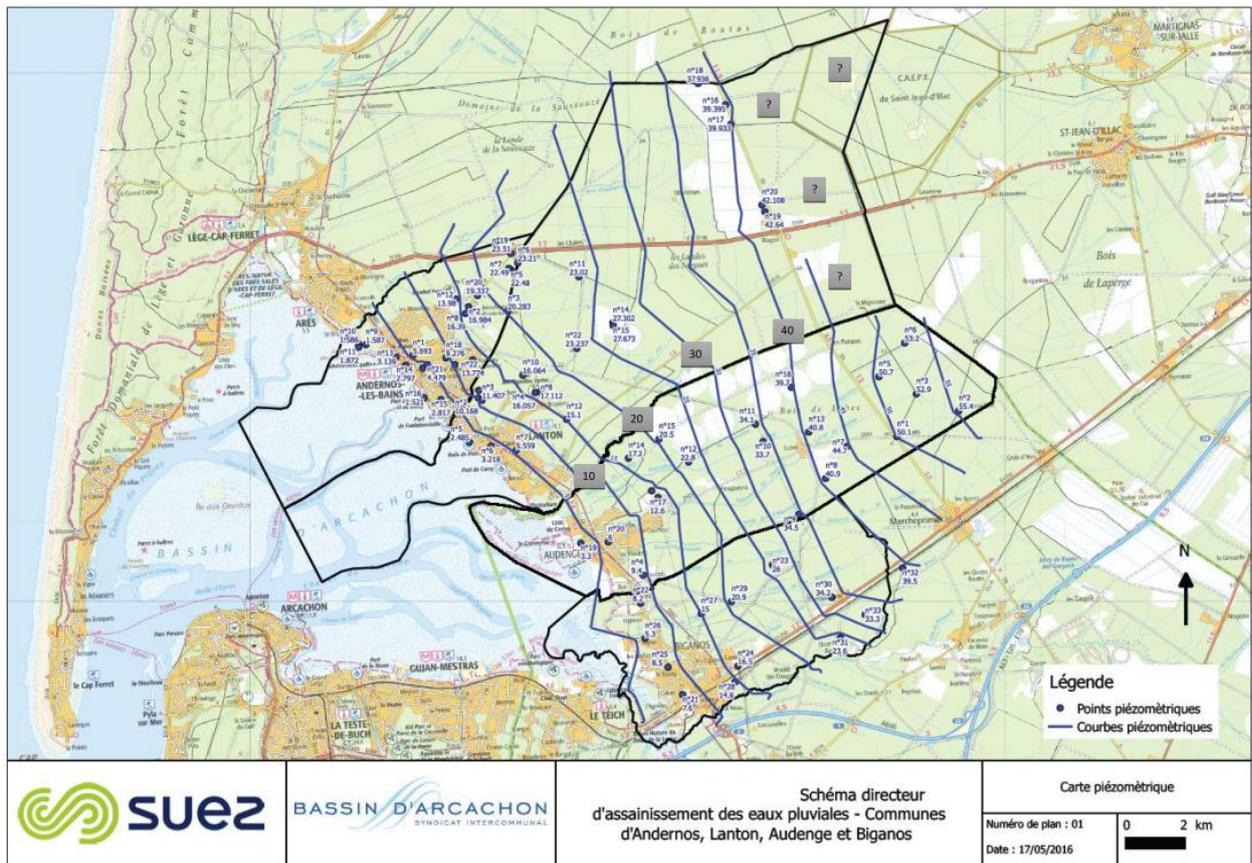


		Schéma directeur d'assainissement des eaux pluviales - Communes d'Andernos, Lanton, Audenge et Biganos	Carte piézométrique	
			Numéro de plan : 01	0 2 km
Date : 17/05/2016				

Données piézométriques - Lanton

✓ Suivi ponctuel [Bastien (2016b)]

n°	Type d'ouvrage	Localisation - lieu dit	Prof. Puits (m)	Coordonnées géographiques 93		Cote piézométrique (m NGF)	Prof de la nappe / TN (m)
				E	N		
1	piezomètre	Titoune	10.44	378231.6	6412063	13.5	1.37
2	piezometre	Titoune	9.35	378196.6	6411799	10.2	1.64
3	piezometre	Titoune	10.34	378330.3	6411709	11.4	1.51
4	Forage	golf	20.00	380203.8	6411886	16.1	1.85
5	Forage	blvd des plages (port Tausat)	10.56	377809.5	6410265	2.5	1.42
6	Forage	stade	15.60	378557.7	6410086	3.2	2.03
7	Forage	RAM - Ecole	6.40	379431.7	6409897	5.6	3.09
8	Forage	A côté golf- stade mouchon	12.40	380390.5	6411909	17.1	1.57
9	Forage	Mairie	8.20	380438.7	6408512	ND	1.35
10	Piezomètre	ligne haute tension	23.30	379797.6	6412512	16.1	2.13
11	Piezomètre	Champs maïs Rte de Bordeaux	9.40	381930.7	6415859	23.0	1.83
12	Piezomètre	DFCI n°2	5.10	381245.8	6410889	15.1	1.70
13	Puits	Résidence le Renet -particulier	5.95	ND	ND	ND	2.15
14	Forage	Société agricole de cassy SCEA	9.4	383033.5	6414184	27.3	2.00
15	Forage	Société agricole de cassy SCEA	5	383042.5	6414088	27.7	1.75
16	Forage	EARL Minjat	9.65	387355.6	6421621	39.4	2.49
17	Forage	SCEA Galaben	15.5	387507.9	6420935	39.9	2.99

18	Forage	EARL Minjat	16.6	386437.3	6422408	37.9	2.72
19	Forage	SCA Boufflerd	16	379598.8	6416796	42.6	2.83
20	Forage	SCA Boufflerd	4.95	378361.5	6415387	42.1	3.41
21	Puits	Jossaume	4.2	ND	ND	ND	2.60
22	Forage	Epis des sables	18	381738	6413359	23.2	1.40

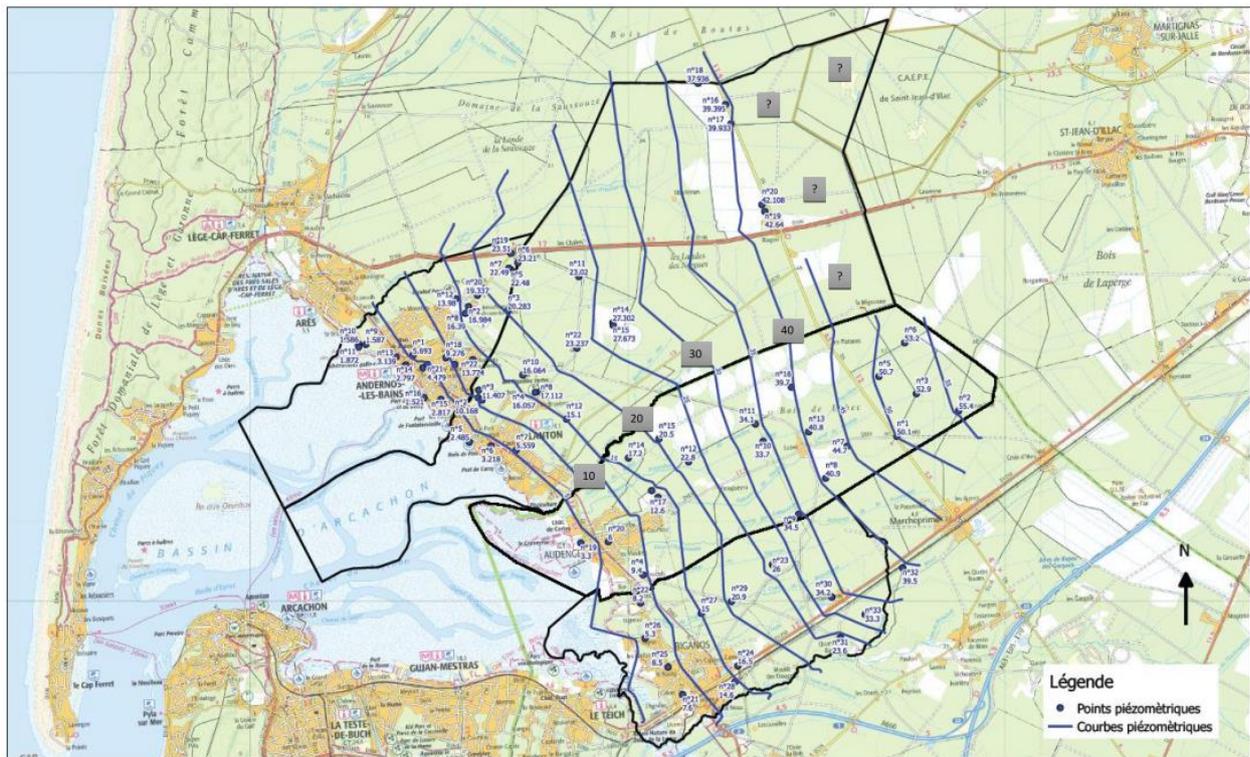


		Schéma directeur d'assainissement des eaux pluviales - Communes d'Andernos, Lanton, Audenge et Biganos	Carte piézométrique	
			Numéro de plan : 01	0 2 km
Date : 17/05/2016				

Données piézométriques - Audenge

✓ Suivi ponctuel [Large (2016a)]

Tableau 1 : Puits mesurés - piézométrie

n°	type d'ouvrage	localisation - lieu-dit	prof. Puits (m)	Coordonnées géographiques		cote piezo (m NGF)
				E	N	
1	FORAGE DFCI	POINTE EMILE	15.05	392760.445	6409703.735	50.1
2	FORAGE DFCI	DFCI 211 LIEU DIT CASTERA	19.00	394963.892	6410498.992	55.4
3	FORAGE DFCI	PISTE 9	18.50	393513.942	6411168.88	52.9
4	FORAGE privé	CHEMIN HOUDINE	4.70	383647.926	6405292.352	9.4
5	FORAGE DFCI	DFCI FORAGE 133	18.50	392231.846	6411836.344	50.7
6	FORAGE DFCI	DFCI N 135	18.50	393193.206	6412973.197	53.2
7	FORAGE DFCI	DFCI LE ROUSSEAU 126	16.65	390997.76	6409447.651	44.7
8	FORAGE DFCI	RAOUQUE	16.80	390196.723	6408364.542	40.9
9	FORAGE DFCI	DFCI PISTE 7	16.40	389188.144	6407145.28	34.5
10	FORAGE DFCI	DFCI PISTE 14 PIERILLON	16.40	388075.57	6409766.379	33.7
11	FORAGE DFCI	DFCI PISTE 14 PIERILLON	16.20	387835.603	6410383.209	34.1
12	FORAGE DFCI	DFCI PISTE 12 PORTE TENI	16.45	385436.135	6409177.011	22.8
13	FORAGE DFCI	DFCI PISTE 16 GARNUNG	16.30	389684.321	6410016.175	40.8
14	FORAGE DFCI	DFCI PISTE 25 PARC AUX VACHES	15.30	383338.886	6409415.646	17.2
15	FORAGE DFCI	DFCI MAISON DE LA CHASSE	16.10	384446.038	6410037.816	20.5
16	FORAGE agricole	SCEA	21.50	389152.106	6411613.688	39.7
17	PIEZO N° 1 = PZ4 CSD	CSD (Ancienne décharge)	10.95	384306.673	6407985.338	12.6
18	PIEZO N° 2 = PZ3 CSD	CSD (Ancienne décharge)	7.47	384090.224	6408235.228	13.9
19	FORAGE privé	RUE DES MARINS	5.40	381521.312	6406525.675	3.3
20	FORAGE communal	PLAINE DES SPORTS DE PESSALLE	15.10	382489.571	6406518.042	6.0

Données piézométriques - Biganos

✓ Suivi ponctuel [Large (2016b)]

Tableau 1 : Puits mesurés - piézométrie

n°	Type d'ouvrage	Localisation - lieu-dit	Prof. puits (m)	Coordonnées géographiques		Cote piezo (m NGF)
				E	N	
1	FORAGE COMMUNAL	STADE BIGANOS	17.00	384819.438	6401025.69	7.6
2	FORAGE privé	VIGNEAU PRIVE CHEMIN DES FLANDRES	11.08	383510.574	6404315.685	8.2
3	FORAGE DFCI	DFCI AYGUEMORTE	18.50	388183.725	6405428.135	26.0
4	FORAGE COMMUNAL	ROND POINT DU DELTA	15.00	386798.675	6401935.556	16.5
5	FORAGE COMMUNAL	EGLISE	13.20	384352.649	6402014.86	8.5
6	FORAGE privé	TAGON N 6 RUE	7.00	383597.905	6403065.471	5.3
7	PIEZO n°1	DECHETTERIE	3.77	385611.881	6403841.178	15.0
8	PIEZO n° 2	ROND POINT CASSADOTE	6.36	386670.759	6401380.15	14.6
9	FORAGE privé	TUILERIE	3.40	386689.899	6404209.24	20.9
10	FORAGE privé	LES ARGENTIERES	4.68	390207.779	6404184.645	34.2
11	PUITS n°1 privé	QUARTIER BAS	5.00	390436.731	6402752.716	23.6
12	FORAGE DFCI	LIMITE MARCHEPRIME	15.45	392733.624	6405089.65	39.5
13	FORAGE DFCI	DFCI	17.22	391340.291	6403517.027	33.3



Figure 5-2 : Carte piézométrique (cotes en m NGF) de la nappe superficielle au droit de Biganos à la mi-janvier 2016

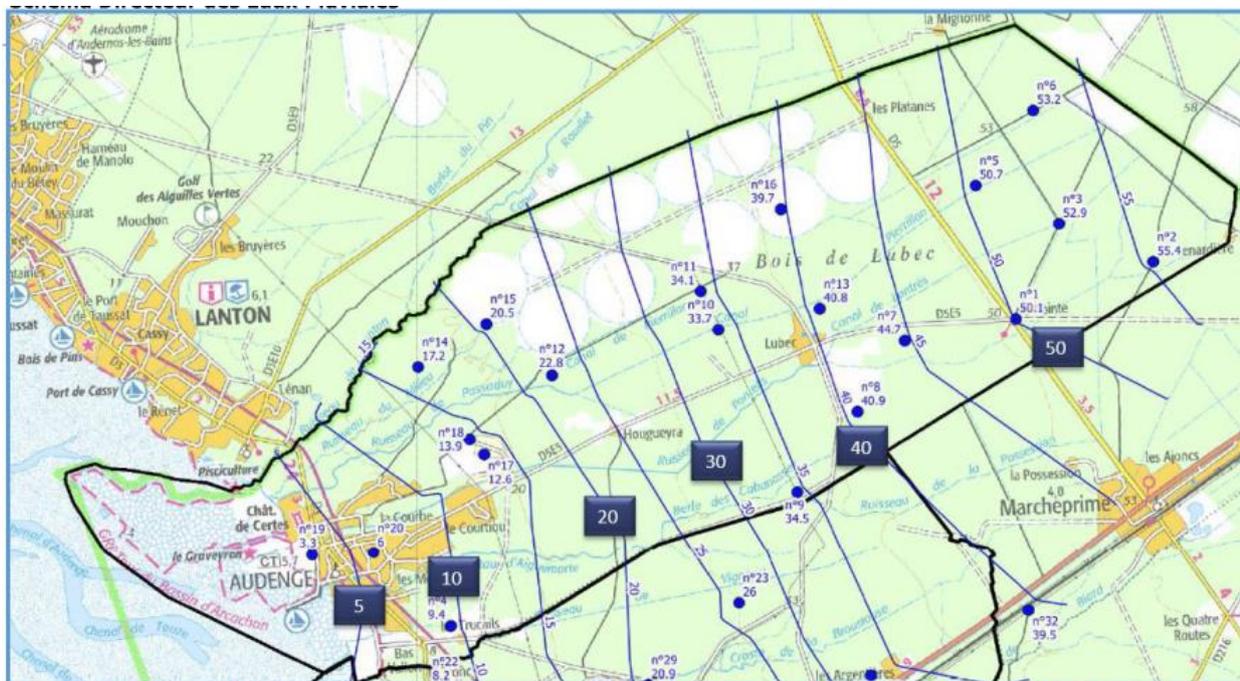


Figure 5-2 : Carte piézométrique (cotes en m NGF) de la nappe superficielle au droit d'Audenge à la mi-janvier 2016

Données piézométriques - Gujan-Mestras et La Teste-de-Buch (quartier Cazaux)

✓ Suivi ponctuel [Lacroix (2015)] [Lacroix (2014)]

Tableau 4-1 : Puits mesurés - Piézométrie

N°	Type	Profondeur (en m)	Z sol (en m)	H.repère (en m)	NS / repère (en m)	cote piézo NGF (en m)	Usage
	d'ouvrage						débit, équipement, ND, état, accessibilité, diamètre...
P1	Forage		7.329	0,07	1,45	5,9	Arrosage
P2	Forage		3.803		1,09	2,7	Arrosage
P3	Forage		5.384	0,15	1,14	4,4	Arrosage
P4	Puits		2.112	0,71	2,12	0,7	Arrosage
P5	Forage		2.483	0,12	1,60	1,0	Arrosage
P6	Forage		5.599		1,22	4,4	Arrosage
P7	Forage		8.509		1,54	7,0	Arrosage
P8	Forage		12.889	0,20	1,17	11,9	Arrosage
P9	Puits		19.040	0,35	1,33	18,1	Arrosage
P10	Forage		17.898		1,35	16,5	Arrosage
P11	Forage		3.377		0,88	2,5	Arrosage
P12	Forage		16.661		1,35	15,3	Arrosage
P13	Forage	5	1.902	0,06	1,20	0,8	Arrosage
P14	Forage	5,1	1.842	0,05	1,25	0,6	Arrosage
P15	Forage	7,4	4.142		1,35	2,8	Arrosage
P16	Forage	8	-1.109		1,65	-2,8	Arrosage
P17	Forage	8	0.824		0,95	-0,1	Arrosage
P18	Forage		4.284	0,31	1,50	3,1	Arrosage
P19	Forage	8,7	20.266	0,22	1,65	18,8	Arrosage
P20	Forage	5,6	21.575		1,52	20,1	Arrosage
P21	Forage	8	38.881		6,00	32,9	Arrosage
P22	Forage	7,6	23.333	0,60	1,98	22,0	Arrosage
P23	Piézomètre	15,50	15,6		2,31	13,3	
P24	Piézomètre	15,50	12,7		2,01	10,7	

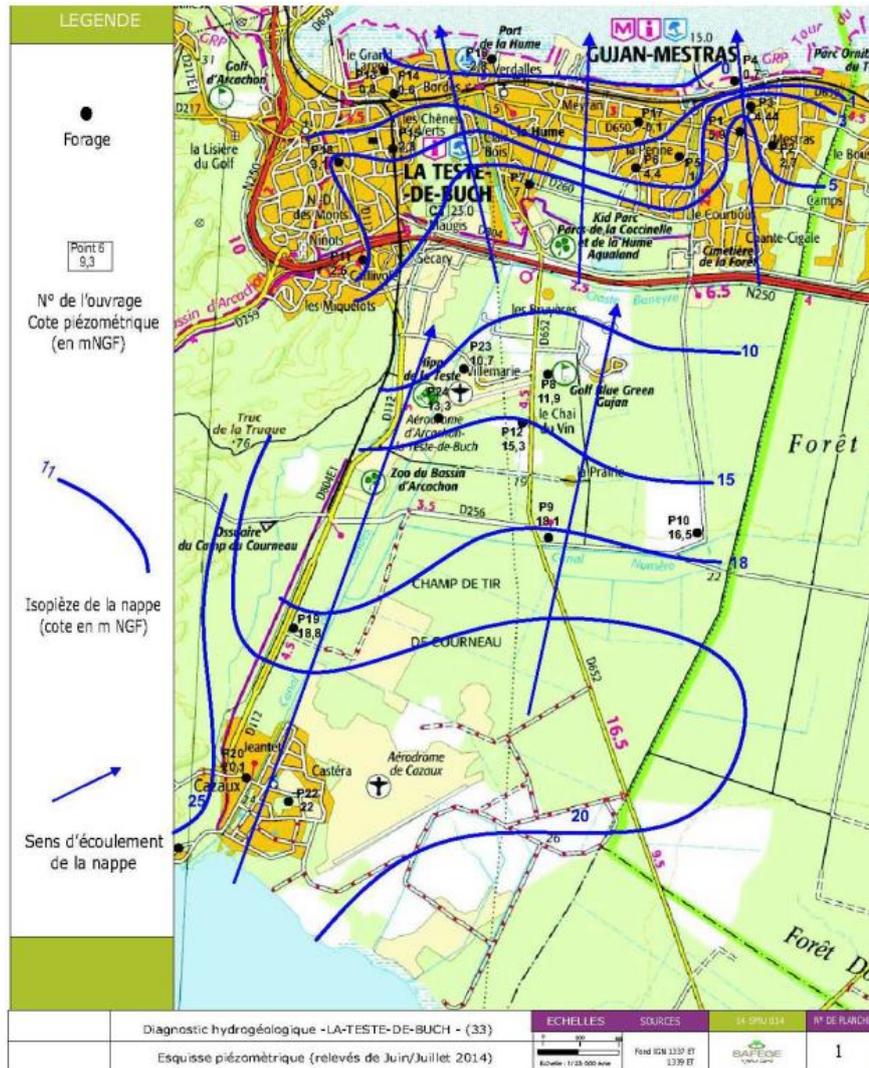
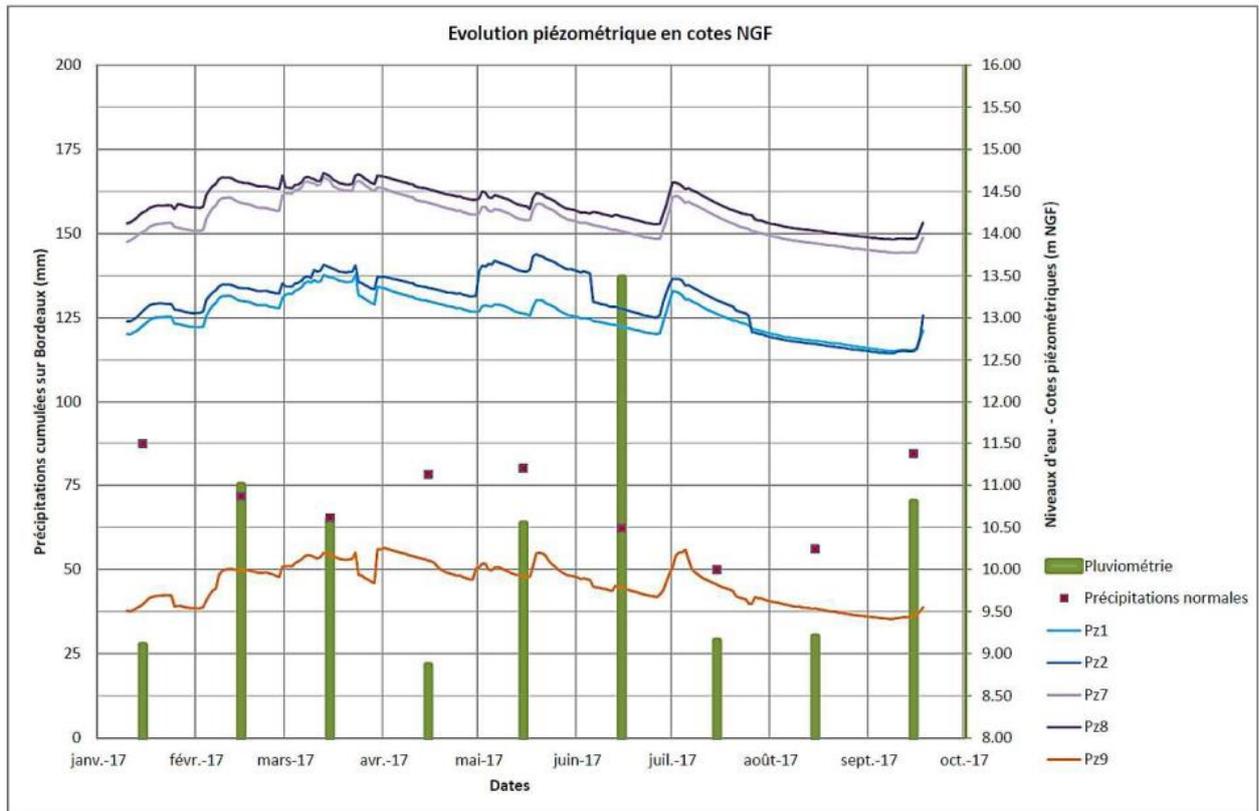


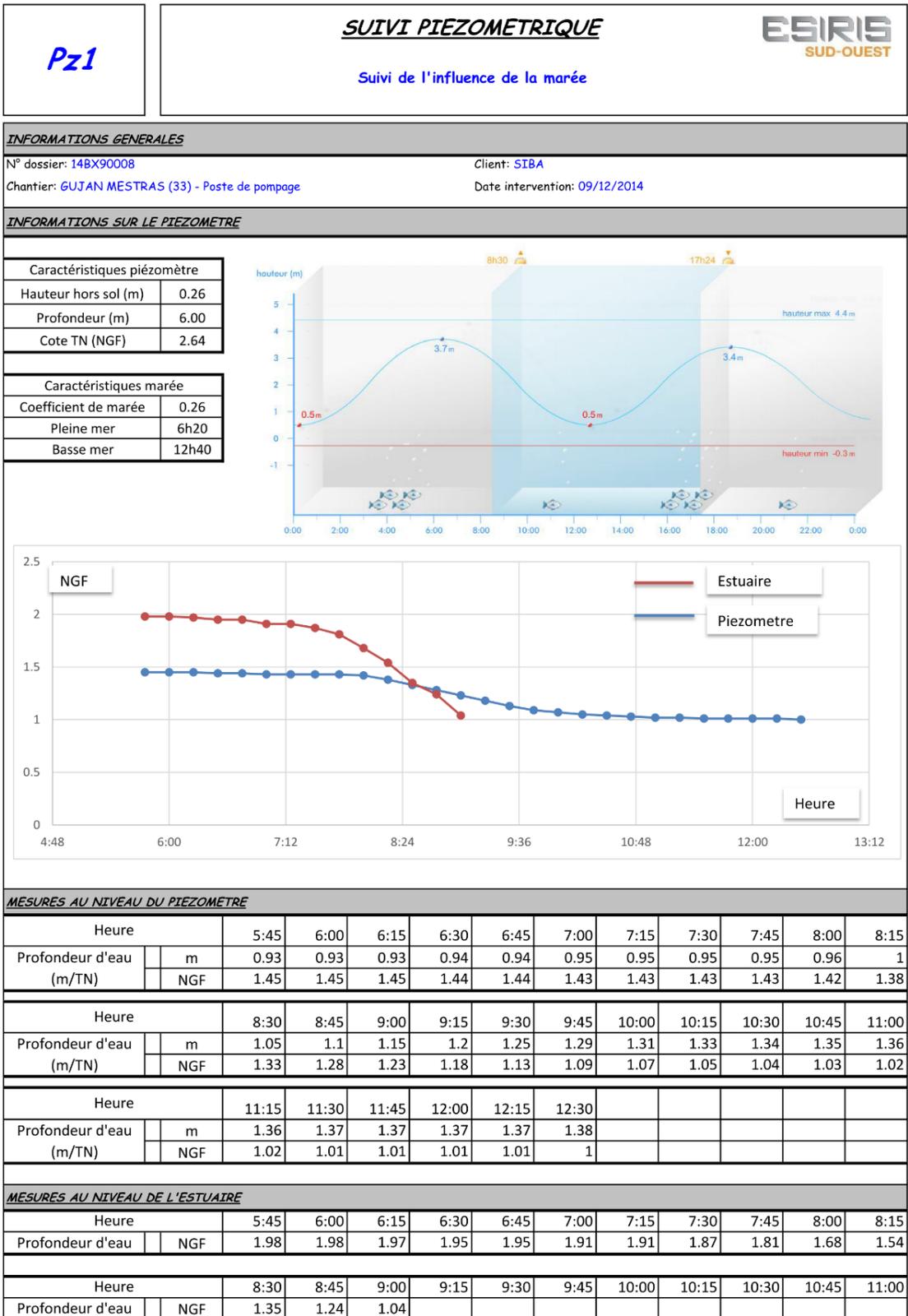
Figure 4-2 : Carte piézométrique

✓ Suivi continu [Sylla (2017a)]



Piezomètres	X	Y	Z (m NGF)
ST-PZ1	1377741.835	4163748.780	14.22
ST-PZ2	1378183.172	4163669.945	14.49
ST-PZ3	1377917.864	4163585.661	14.61
ST-PZ4	1378038.449	4163352.364	15.23
ST-PZ5	1377745.884	4163434.151	14.90
ST-PZ6	1377890.225	4163339.603	15.10
ST-PZ7	1377674.366	4163185.709	15.15
ST-PZ8	1377939.492	4163133.526	15.40

✓ Suivi continu [Pecora (2015)]



Données piézométriques - La Teste-de-Buch

- ✓ Suivi ponctuel [Arlet (2017)]

Tableau 15 – Piézomètres levés dans le cadre de la campagne de mesures

Nom	Code	Bassin versant	Commune	Localisation
PIEZO1	D 14XH04243252	Nezer	La Teste de Buch	Plaine des Sports et de Loisirs Gilbert Moga (au droit du stade nautique de la Teste)
PIEZO2	R 04432	Nezer	La Teste de Buch	Plaine des Sports et de Loisirs Gilbert Moga ("Cayocks")
PIEZO3	R 04435	Nezer	La Teste de Buch	Plaine des Sports et de Loisirs Gilbert Moga (terrain d'honneur)
PIEZO4	R 04438	Nezer	La Teste de Buch	Plaine des Sports et de Loisirs Gilbert Moga (au droit du terrain de base-ball)
PIEZO5	R 04434	Arriet	La Teste de Buch	Stade Jean Grailly (au droit de la rue Henri Dheurle)

Annexe 2

Paramètres hydrodynamiques

Etudes de sols locales sur la commune d'Arès - [Balmand (2017a)]

Tableau 4 - Etudes de sols locales sur la commune d'Arès

N°	Projet	Sondages et essais	Date	Alios	Perméabilité	Position nappe	Remarques
1	Lotissement « Le Hameau des pêcheurs »	7 sondages pelle mécanique 4 essais d'infiltration	07/06/05	Rencontré dans tous les sondages, entre 0,70 et 2,00 m/sol. Présence de niveaux durs	1 à 2 10 ⁻⁴ m/s	2,0 à 2,4 m/sol	/
5	Lotissement « Quartier de la Lande »	10 sondages pelle mécanique 5 essais d'infiltration	10/07/08	Rencontré dans tous les sondages, entre 0,50 et 1,30 m/sol. Alios dur dans 2 sondages (épaisseur 20 cm)	2 10 ⁻⁵ m/s (sable humique) 1,7 et 2,3 10 ⁻⁴ m/s (sable) 5,1 10 ⁻⁵ (sable aliotique) 5,5 10 ⁻⁶ alios dur	0,90 à 1,15 m/sol	L'aliol ralentit localement l'infiltration
7	Lotissement « Les Althéas » aux I.d. « La Forestière » et « Le Ruisseau »	Néant	08/14	Pas d'information	Pas d'information	Pas d'information	Étude hydraulique d'un franchissement du Fossé Neuf
9	Lotissement 26, rue des Abberts	7 tarières à main 1 m 2 essais d'infiltration	11/12/14	Pas d'aliol dur (arrêt des sondages vers 1m/sol)	1 et 6 10 ⁻⁵ m/s	0,40 à 0,70 m/sol 3,80 à 4,90 m NGF	Terrain de l'ancienne colonie de Noisy-le-Sec
12	Extension du Centre Commercial E. Leclerc	Plusieurs essais d'infiltration - 19 sondages	Entre 2006 et 2011	Rencontré dans tous les sondages entre 0.40 et 0.90 m/sol	1.10 ⁻³ à 9.10 ⁻⁴ m/s	Non précisé	/

Etudes de sols locales sur la commune de Lège-Cap-Ferret - [Balmand (2017b)]

Tableau 4 - Etudes de sols locales sur la commune de Lège-Cap-Ferret

N°	Projet	Sondages et essais	Date	Alios	Perméabilité	Position nappe	Remarques
2	Lotissement « Le Riou »	9 sondages pelle mécanique 4 essais d'infiltration	18/09/07	Rencontré dans tous les sondages, entre 0,60 et 2,00 m/sol. Alios dur et épais dans 2 des sondages	1 à 4 10 ⁻⁴ m/s 2 10 ⁻⁵ m/s (essai sur toit alios dur)	1,65 à 1,9 m/sol	L'alios ralentit localement l'infiltration
3	Lotissement L'Arrial de la Plaine	6 sondages pelle mécanique 3 essais d'infiltration	01/07	Alios observé dans tous les sondages (détail inconnu)	Résultats inconnus (p. 7 absente)	2,45 à 2,60 m/sol	Coupes des sondages et p. 7 du rapport absentes
					« perméabilité bonne »		
4	ZA du Crohot	4 sondages pelle mécanique 3 sondages tarière de 8 m essais d'infiltration (nombre inconnu)	03/01 12/20 02	Pas d'alios observé	4 à 5 10 ⁻⁴ m/s	Subaffleurante à 1,50 m/sol 4,50 à 5 m NGF environ	8 m de sable homogène dans les sondages tarière
6	Lotissement « Le Domaine du Berger »	7 sondages pelle mécanique 4 essais d'infiltration	23/06/04	Alios dans un seul sondage sur les 7, entre 0,50 et 0,80 m/sol	1 à 4 10 ⁻⁴ m/s	1,60 à 1,80 m/sol	/
8	Lotissement « Canal des Étangs »	5 sondages pelle mécanique 2 essais d'infiltration	17/10/06	Rencontré 0,70 à 1,60 m/sol. Très discontinu	1,9 10 ⁻⁴ et 9,7 10 ⁻⁵ m/s	< 2,1 m/sol	Terrain au bord du Canal des Étangs
10	Lotissement « La Forge »	4 sondages pelle mécanique 3 essais d'infiltration	11/05/06	Alios entre 0,55 et 1 m dans 2 sondages ; absent dans les 2 autres	6 10 ⁻⁵ à 1 10 ⁻⁴ m/s	1,05 à 1,40 m/sol	/
11	Lotissement « Les allées forestières » au lieu-dit « Les Rauptes »	5 sondages pelle mécanique 5 essais d'infiltration	23/07/03	Peu d'alios	5 10 ⁻⁵ à 1 10 ⁻⁴ m/s	1,40 à 1,60 m/sol 4,40 à 4,95 m/sol	/

Etudes de sols locales sur la commune de La Teste-de-Buch - [Arlet (2017)]

Tableau 5 - Etudes de sols locales sur la commune de la Teste-de-Buch

N°	Etude	Prestataire	Sondages, essais et mesures	Date	Niveau de nappe	Perméabilité
1	Abords du marché municipal, Voiries - Reconnaissance de sol	AIS	9 sondages carottés et 5 essais d'infiltration	mai 2015	Nappe située entre 1.1 et 1.4 m sous le TN fin mai 2015 au droit des différents sondages à la tarière réalisés	$2.8E-06 < K < 4.4E-04$
2	Diagnostic géotechnique et étude géotechnique d'AVP pour le réaménagement du chemin de la Procession, de l'avenue de Bissérié, et du chemin de Secary	AQUITERRA I.S.E.	7 sondages à la tarière, 7 pénétromètres dynamiques lourds, 2 essais de perméabilité, 4 essais de chargement direct à la plaque, 25 mesures de déflexion sur la chaussée et 4 identifications de structure de chaussée	octobre 2012	Nappe située entre 0.5 et 1 m sous le TN fin octobre 2012 au droit des différents sondages à la tarière réalisés (niveau de nappe estimé à environ 7.05 m NGF)	$5.4E-05 < K < 6.8E-05$
3	Etude géologique et hydrogéologique du site pour le projet immobilier sis 15 chemin de la Procession	CERAG	8 sondages à la tarière manuelle et 3 essais de perméabilité	janvier 2015	Nappe située entre 50 et 60 cm sous le TN en janvier 2015 au droit du 15 chemin de la Procession	$1.0E-06 < K < 1.2E-05$



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Nouvelle-Aquitaine

Parc Technologique Europarc
24, avenue Léonard de Vinci

33600 – Pessac – France

Tél. : 05 57 26 52 70