Document public

Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine
Développement du Modèle Mio-Plio-Quaternaire

Convention Régionale Eaux Souterraines 2015-2020
Module 1.3 - Année 1

Rapport final

BRGM/RP-66846-FR
Mai 2017

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
NOUVELLE-AQUITAINE

AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

RÉGION Nouvelle-Aquitaine

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine
Développement du Modèle Mio-Plio-Quaternaire

Convention Régionale Eaux Souterraines 2015-2020
Module 1.3 - Année 1

Rapport final

BRGM/RP-66846-FR
Mai 2017

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM AP15AQI021

O. Cabaret et J. P. Vergnes

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : N. AMRAOUI	Nom : N. PEDRON
Fonction : Responsable scientifique de programme	Fonction : Directeur du BRGM Nouvelle-Aquitaine
Date : 15/05/2017	Date : 18/05/2017
Signature :	Signature :

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

Mots-clés : Plio-Quaternaire, Triangle landais, Modèle numérique, Hydrogéologie, prélèvements

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

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

© BRGM, 2017, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le modèle hydrogéologique Mio-Plio-Quaternaire est développé depuis 3 ans dans le cadre de la convention régionale Eaux Souterraines. Initialement intégré au module « Plio-Quatenaire/relations nappes-rivières-étangs », il fait l'objet d'un module spécifique dans la présente convention. Cet outil de modélisation des nappes du triangle landais a pour objectif de fournir des éléments de compréhension sur le fonctionnement des réservoirs superficiels (recharge, interactions avec les aquifères sous-jacents, relations nappes-rivières ....) et d'appuyer les SAGE en vue de la mise en place d'une gestion raisonnée de l'eau à l'échelle de leur territoire.

Les deux premières années ont permis de réaliser la synthèse des données disponibles à l'échelle du triangle landais, afin d'évaluer les possibilités de modélisation et les besoins futurs en termes de données d'entrée du modèle. La géométrie du modèle hydrodynamique a été élaborée en année 1 à partir du modèle géologique réalisé dans le cadre de la précédente convention régionale puis du modèle géologique élaboré dans le cadre du MONA v4 pour garantir l'interopérabilité des deux outils. Les premières simulations en régime permanent ont été effectuées, d'abord en année 1 par intégration des données de recharge des nappes et de paramètres hydrodynamiques, puis complétées en année 2 par la prise en compte du réseau hydrographique.

Les données de volumes prélevés, jusqu'ici écartées du fait de la faible exhaustivité des volumes prélevés connus sur les aquifères superficiels du triangle landais et pour limiter les problèmes de convergence, ont été en partie intégrés durant cette année du projet. Les volumes destinés à l'AEP et à l'usage industriel ont été reconstitués annuellement sur la période 2000-2014. Les volumes agricoles n'ont pu, à l'heure actuelle, qu'être compilés sur la Gironde en raison du nombre très importants d'ouvrages sur le triangle landais et de la difficulté d'avoir accès à ces volumes. En parallèle, de nouvelles données sur les débits des cours d'eau ont été collectées pour améliorer la capacité à contrôler (phase de calage) les résultats du modèle.

Les travaux de calage en régime permanent de l'année 3 ont permis d'améliorer la restitution des niveaux piézométriques et, dans une moindre mesure, des débits dans les cours d'eau. Ceci permet d'envisager prochainement un passage au calage en régime transitoire au pas de temps mensuel. Au préalable, une réflexion devra être apportée sur la manière de ventiler mensuellement les prélèvements annuels reconstitués, notamment pour l'usage agricole.

Sommaire

1. Introduction 7

2. Acquisition de données 9

2.1. DEBITS DES COURS D'EAU 9

2.2. COMPILATION DES DONNEES DE PRELEVEMENTS 12
2.2.1. Origine des données 13
2.2.2. Usage AEP et autres usages (Industriels, Service public, …) 14
2.2.3. Usage agricole 18

3. Développement / Calage du modèle 23

3.1. ETAPES D'AMELIORATION DU MODELE 23
3.1.1. Quelques rappels sur le modèle 23
3.1.2. Transfert du ruissellement vers le réseau hydrographique 25
3.1.3. Corrections de bugs géométriques 25
3.1.4. Recalage des perméabilités 25

3.2. RESULTATS 26
3.2.1. Résultats du calage sur les hauteurs piézométriques 26
3.2.2. Résultats du calage sur les débits 27
3.2.3. Synthèse 29

4. Conclusion 31

5. Bibliographie 33

Liste des figures

Illustration 1 - Localisation des points de mesures ponctuelles de débits et des stations hydrométriques 10

Illustration 2 - Répartition temporelle des mesures ponctuelles disponibles 11

Illustration 3 - Chronique des débits mensuels de l'Eyre à Salles et position des campagnes de jaugeages au cours du cycle hydrologique 12

Illustration 4 - Répartition et volumes prélevés sur la période 2000-2014 des ouvrages destinés à l'usage AEP et industriel intégrés dans le modèle 15

Illustration 5 - Circuit des eaux de procédé du traitement des granulats en carrière (UNPG, 2016)....16

Illustration 6 - Exemple de volumes prélevés disponibles sur le site de l'Agence de l'Eau pour un exploitant de granulats....17

Illustration 7 - Chronique reconstituée des prélèvements AEP et Industriels sur 2000-2014....18

Illustration 8 - Répartition et volumes prélevés sur la période 2000-2014 des ouvrages destinés à l'usage agricole intégrés dans le modèle 21

Illustration 9 - Chronique des prélèvements des volumes agricoles plio-quaternaires en Gironde....22

Illustration 10 - Agencement schématique des différentes couches du modèle hydrodynamique et correspondance avec le modèle géologique (Corbier et al., 2014)....23

Illustration 11 - Carte géologique simplifiée du Triangle Landais 24

Illustration 12 - Nombre de mailles isolées supprimées par numéro de couche....25

Illustration 13 - Diagramme de dispersion entre piézométries simulées et observées (évolution entre l'année 2 de développement (RP-64983-FR) et l'année 3) toutes couches confondues 27

Illustration 14 - Statistiques entre hauteurs piézométriques simulées et observées (évolutions entre l'année 2 de développement (RP-64983-FR) et l'année 3) toutes couches confondues. 27

Illustration 15 - Comparaison entre les travaux de l'année 2 (à gauche) et de l'année 3 (à droite) des distributions spatiales des écarts entre débits simulés et observés sur les 65 stations de mesure....28

Illustration 16 - Diagramme de dispersion entre débits simulés et observés suite au travail de l'année 3 29

Illustration 17 - Statistiques calculées à partir des écarts entre débits simulés et observés pour les travaux de l'année 2 et de l'année 3....29

1. Introduction

Le développement du modèle hydrogéologique Mio-Plio-Quaternaire a été initié dans le cadre du module 6 « Plio-Quaternaire/relations nappes-rivières-étangs » de la précédente convention régionale Eaux Souterraines.

Cet outil de modélisation des nappes du triangle landais a pour objectif de fournir des éléments de compréhension sur le fonctionnement des réservoirs superficiels (recharge, interactions avec les aquifères sous-jacents, relations nappes-rivières ....) et d'appuyer les SAGE en vue d'une gestion raisonnée de l'eau à l'échelle de leur territoire.

La première année de développement a consisté à réaliser la synthèse des données disponibles à l'échelle du triangle landais afin d'évaluer les possibilités de modélisation. La géométrie du modèle est adaptée du modèle géologique élaboré dans le cadre de la précédente convention régionale puis a été développée parallèlement au MONAv4 pour garantir l'interopérabilité des deux outils. Ainsi, le maillage (taille et position), la topographie et la géométrie du réservoir du Miocène sont les mêmes dans les deux modèles hydrodynamiques. Les premières simulations effectuées ont permis de s'assurer du bon fonctionnement de l'outil et de valider les choix de construction du modèle. Les résultats obtenus, même s'ils sont cohérents en première approche avec les observations de terrain, ont montré la nécessité de poursuivre les travaux de modélisation en se focalisant sur la vérification et le calage de la recharge des aquifères, l'ajustement de leurs paramètres hydrodynamiques, sur une meilleure prise en compte du réseau hydrographique et sur l'intégration des prélèvements.

En deuxième année, les travaux se sont concentrés sur l'intégration du réseau hydrographique, conjointement avec le MONA (prise en compte des mêmes cours d'eau) et les autres outils de modélisation développés au BRGM Aquitaine (Modèle Oligocène et Modèle Phonème), afin d'assurer une compatibilité d'ensemble. Un exercice spécifique sur la connaissance de la morphologie des cours d'eau (nécessaire avant l'implémentation dans le modèle) a été effectué. Ainsi, des mesures sur le terrain ont été réalisées sur le territoire des Lacs Médocains en collaboration avec l'Université de Bordeaux 1. Une thèse actuellement en cours sur les « Flux de nutriments souterrains vers les lacs côtiers en Aquitaine » cherche à instrumenter plusieurs cours d'eau alimentant les lacs de Carcans-Hourtin et de Lacanau. Des contacts ont été pris avec différents organismes afin de collecter des informations sur les cours d'eau. A partir du bilan des données disponibles à l'échelle du territoire modélisé, les caractéristiques réunies sur les cours d'eau ont été intégrées dans le modèle, puis une vérification de son bon fonctionnement a été réalisée (convergence et gammes de débits restitués).

A l'issue de ces deux premières années et afin d'envisager un calage en régime permanent correct, il a été jugé nécessaire de parfaire la représentation numérique du réseau hydrographique et d'introduire les données de prélèvements au modèle qui, jusqu'ici, étaient inexistantes en raison notamment de la quantité importante de forages exploités et pour limiter les problèmes de convergence numérique du modèle.

Les travaux menés au cours de cette année ont donc été développés autour de deux axes : d'une part, l'acquisition de données complémentaires concernant le réseau hydrographique et les prélèvements, et, d'autre part, la poursuite de la construction du modèle et de son calage en régime d'écoulement permanent.

2. Acquisition de données

2.1. DEBITS DES COURS D'EAU

L'acquisition de données complémentaires relatives aux cours d'eau a été menée en coordination avec le module 3.2 « Plio-Quaternaire - Relations nappes / rivières / étangs » de la convention « Gestion des Eaux souterraines en Aquitaine » (Barrière et Saltel, 2017). Les jaugeages effectués sur plusieurs secteurs en août 2016, puis en mars 2017, sont venus compléter l'ensemble des mesures de débits inventoriées lors des deux premières années d'élaboration du modèle hydrodynamique. De plus, d'autres jaugeages réalisés par D. Buquet dans le cadre de sa thèse sur les Lacs Médocains (*en cours*) ainsi que ceux menés par AntéaGroup (*en cours*) dans le secteur de Villagrains Landiras sont venus s'ajouter à cet inventaire.

Au terme de ce travail, la quasi-totalité des cours d'eau intégrés au modèle dispose d'au moins une mesure de débit. Exception est faite du ruisseau du Lanton (à l'est du Bassin d'Arcachon) pour cause d'absence de section propre à l'aval et du Canal de l'Arreillet, n'ayant pu faire l'objet de mesures lors de la campagne de jaugeage sur ce secteur (Corbier et al., 2011), mais faisant partie des cours d'eau qui seront jaugés dans le cadre de travaux actuels portés par le SAGE Born-et-Buch.

Les données ponctuelles acquises et collectées depuis une dizaine d'années, notamment dans le cadre de la convention régionale, permettent de compléter les mesures continues réalisées aux différentes stations hydrométriques présentes essentiellement sur les bassins de l'Adour et de la Leyre ainsi que sur certains affluents en rive gauche de la Garonne (Illustration 1). Ces données ponctuelles, si elles permettent de couvrir une bonne partie du territoire, sont encore réparties temporellement de manière hétérogène. En effet, le tableau ci-après permet de dresser un premier bilan des données de jaugeages ponctuels collectées jusqu'ici selon la période du cycle hydrologique retenu (Illustration 2). Ces différentes périodes (basses, moyennes, hautes et très hautes eaux) sont indiquées à titre illustratif sur la chronique des débits mensuels de l'Eyre à Salles, dont les variations sont représentatives des variations obtenues sur les autres cours d'eau du triangle landais (Illustration 3).

Dans les secteurs de Born-et-Buch, des Lacs Médocains et surtout des affluents en rive gauche de la Garonne, plusieurs cours d'eau disposent de mesures à la fois en basses eaux, moyennes eaux et hautes eaux avec, pour le Gât-Mort, la Mouliasse, le Tursan et le Saucats, l'existence de jaugeages en série permettant d'évaluer les interactions nappes-rivières le long des cours d'eau. Les autres cours d'eau du Triangle landais disposent essentiellement de mesures réalisées en basses eaux et des compléments seront nécessaires pour caler le modèle à un pas de temps de calcul mensuel. Ces compléments seront soit réalisés au travers de campagnes de terrain ciblées, soit apportés par des travaux actuels sur le secteur de Born-et-Buch, voire sur celui de la Leyre, dont les résultats de jaugeages seront collectés.

Enfin, aucune des campagnes de mesures n'a pu être réalisée en très hautes eaux. La chronique des débits mensuels de L'Eyre à Salles rend compte de la difficulté d'effectuer de telles mesures puisque seulement 10 mois (sur les 205 que compte la chronique depuis mars 2000) ont été en configuration de très hautes eaux.

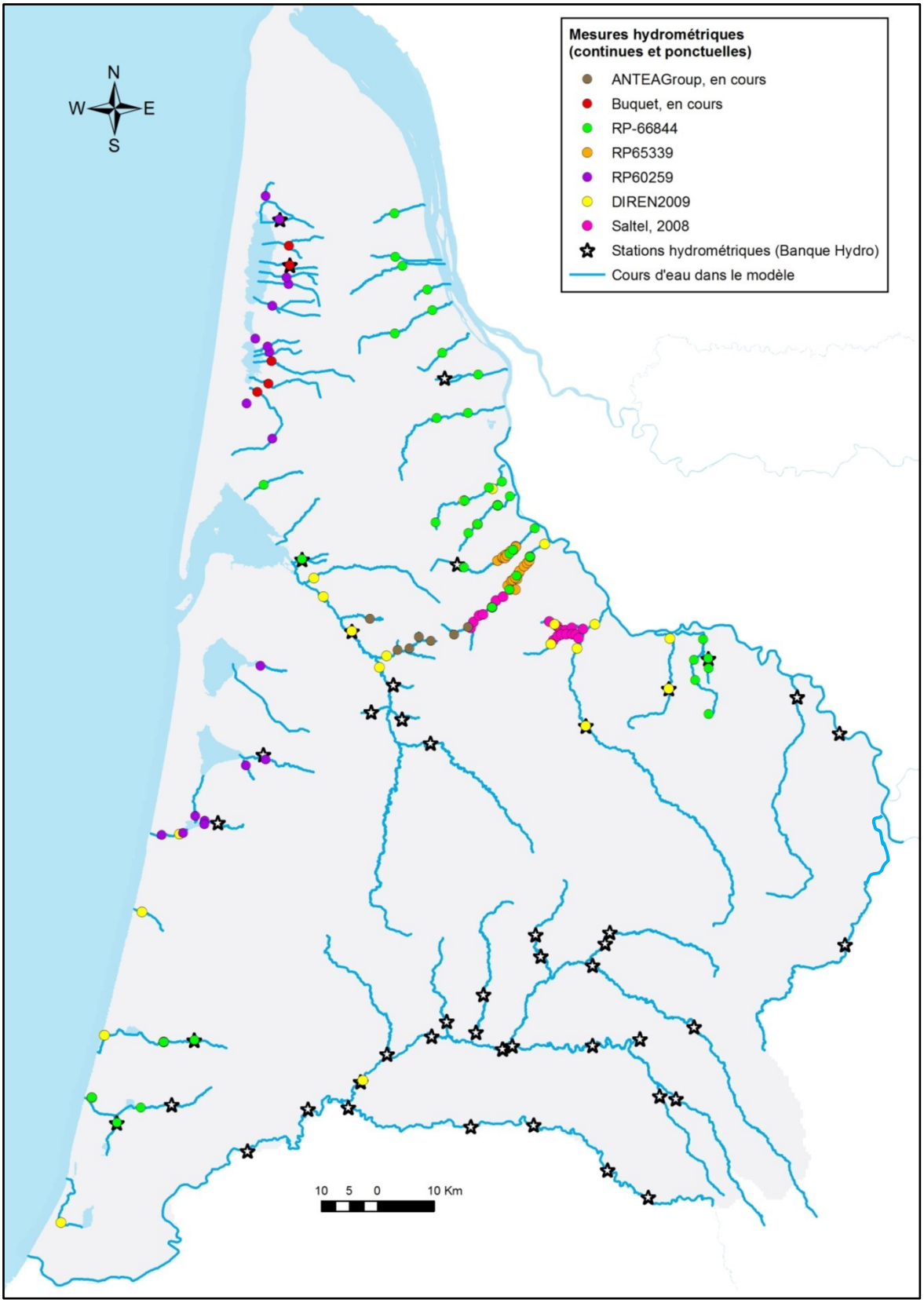

Illustration 1 - Localisation des points de mesures ponctuelles de débits et des stations hydrométriques

Secteur	Cours d'eau	Basses eaux								Moyennes eaux							Hautes eaux			
		Octobre 2006	Novembre 2007	Septembre 2008	Octobre 2009	Août 2010	Octobre 2014	Octobre 2015	Août 2016	Avril 2006	Février 2011	Octobre 2013	Juin 2014	Janvier 2015	Avril 2015	Mars 2017	Mars 2007	Mai 2012	Avril 2013	Mars 2015
		Saltel, 2008	Saltel, 2008	DIREN, 2009a	DIREN, 2009b	RP-60259	RP-65339	AnteaGroup en cours	RP-66844	Saltel, 2008	RP-60259	RP-65339	RP-65339	Buquet, en cours	Buquet, en cours	RP-66844	Saltel, 2008	RP-60259	RP-65339	Buquet, en cours
Secteur Rive gauche Garonne	Gat-Mort	Jaugeages en série		X	X		Jaugeages en série			Jaugeages en série		Jaugeages en série	Jaugeages en série			Jaugeages en série	Jaugeages en série		Jaugeages en série	
	Mouliasse	Jaugeages en série	Jaugeages en série							Jaugeages en série							Jaugeages en série			
	Tursan	Jaugeages en série	Jaugeages en série	X	X					Jaugeages en série							Jaugeages en série			
	Saucats			X	X		Jaugeages en série					Jaugeages en série	Jaugeages en série			Jaugeages en série			Jaugeages en série	
	Ciron			X	X															
	Beuve			X	X															
	Eau Bourde			X	X											Jaugeages en série				
	Eau Blanche			X	X											Jaugeages en série				
	Bassanne															Jaugeages en série				
	Cadanne															Jaugeages en série				
Secteur Leyre	Hountine			X	X			X												
	Eyre			X	X															
	Lacanau				X															
Secteur Atlantique Sud	Contis				X															
	La Palue				X											X				
	Soustons															X				
	Huchet aval lac				X															
	Moizan aval				X															
	Boudigau aval				X															
Secteur Born-et-Buch	Gourgue					X					X							X		
	Nasseys					X												X		
	Pave										X							X		
	Sainte-Eulalie-en-Born					X												X		
	Canteloup																	X		
	Escource					X					X							X		
	Mimizan				X													X		
Secteur Lacs Médocains	Des Etangs				X	X					X							X		
	Goupilleyre										X							X		
	Des Etangs																	X		
	Dreyt					X					X			X				X		
	Caupos													X	X			X		X
	La Berle										X			X	X			X		X
	Planquehaute										X							X		
	Pont des Tables					X					X							X		
	Des Etangs																	X		
	Grand Lambrusse										X							X		
	Queytive										X							X		
	Pipeyrous										X							X		
	La Garroueyre					X					X							X		
	La Caillava					X					X				X			X		X
	Matouse					X					X							X		
	Louley										X							X		
	Garroueyre														X					X
Secteur Estuaire de la Gironde	Jalle du Breuil								X											
	Jalle du Nord								X											
	Chenal du Despartins								X											
	Jalle du Cartillon								X											
	Jalle du Castelnau								X											
	Le Moulinat								X											
	Canal du Despartins								X											
	Jalle du Canteret								X											
Secteur Villagrains-Landiras	Ruisseau de la Calette							X												
	Ruisseau de la Nère							X												
	Ruisseau des Esclaures							X												
Secteur Arcachon	Harbaris															X				
	Tagon															X				

Illustration 2 - Répartition temporelle des mesures ponctuelles disponibles

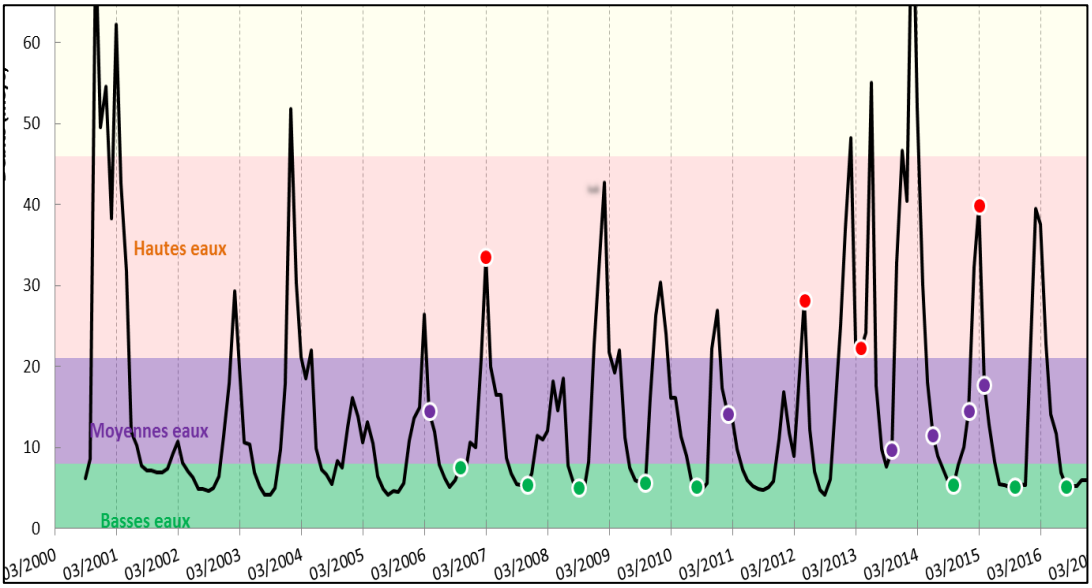

Illustration 3 - Chronique des débits mensuels de l'Eyre à Salles et position des campagnes de jaugeages au cours du cycle hydrologique

2.2. COMPILATION DES DONNEES DE PRELEVEMENTS

Les développements précédents du modèle n'intégraient pas les données de prélèvements effectués dans les aquifères du Plio-Quaternaire, afin de limiter les problèmes de convergence numérique du modèle. De plus, leur collecte puis leur compilation nécessitant un travail important, il était donc difficilement envisageable, en l'état des connaissances, d'assurer l'exhaustivité des prélèvements effectués sur les nappes superficielles du triangle landais. Un travail spécifique a donc démarré au cours de cette année avec pour objectif de **reconstituer les chroniques de prélèvements sur la période 2000-2014** pour l'ensemble des ouvrages plio-quaternaires. Cette période a été choisie sur la base des éléments suivants :

- limiter les temps de calcul du modèle qui, à terme, fonctionnera en régime transitoire au pas de temps mensuel.
- les données de prélèvements sont issues des déclarations faites par les exploitants (AEP, Industriels, agriculteurs, …) au titre de la redevance auprès de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne. Celle-ci nous précise que « *les premières données recensées sur le bassin datent de 1988 pour l'industrie, 1991 pour l'irrigation et 1996 pour l'AEP* (N.B. : pour ce dernier usage, des données jusqu'en 1991 sont en réalité disponibles). *Le nombre de dossiers de redevance prélèvement a augmenté d'année en année pour ne couvrir l'ensemble du bassin que depuis la fin des années 90. Mais ces données ne sont considérées comme « représentatives » en terme de volume que depuis 2003, avec l'utilisation plus systématique des compteurs* » ;
- l'année 2014 est, en octobre 2016, la dernière année disponible sur le portail SIE pour le téléchargement des données de prélèvements.

En préambule, il est nécessaire de préciser la notion de « volume prélevé » au regard de l'utilisation de ces données pour la modélisation hydrodynamique. Cette notion reprend celle définie dans le cadre du projet GAÏA (Wuilleumier et al., 2017) qui explique qu'il s'agit de **volumes qui modifient les écoulements naturels dans l'aquifère car générés de manière artificielle.**

Cette modification peut prendre des formes différentes selon la nature du point de prélèvement :

- **Prélèvements au niveau d'une source** :
  - Si la **source a été aménagée par un puits au droit de celle-ci** dans lequel un pompage est effectif, les prélèvements impactent le débit naturel de la source, augmentant artificiellement le débit qui serait sorti naturellement de l'aquifère.
    - ⇨ les volumes à considérer correspondent aux volumes effectivement prélevés.
  - Si la **source alimente par écoulement gravitaire un réservoir** dans lequel on vient pomper ou si les prélèvements sont opérés en aval de la source : les prélèvements n'impactent pas les écoulements dans l'aquifère.
    - ⇨ Les prélèvements souterrains sont alors considérés comme nuls, les prélèvements se faisant sur des eaux de surface.
- **Prélèvements au niveau d'un forage** :
  - Si le **forage est équipé d'une pompe**
    - ⇨ Les volumes prélevés sont ceux pompés
  - Si le **forage est artésien** alors soit:
    - il est **équipé d'une tête étanche et d'un système de vannes** empêchant tout écoulement au travers du forage par artésianisme lorsque celui n'est pas utilisé
      - ⇨ les volumes à considérer sont uniquement ceux prélevés lorsque les vannes sont ouvertes et/ou ceux obtenus par pompage.
    - il n'est pas équipé d'une tête de puits, générant un écoulement continu par artésianisme
      - ⇨ Les volumes prélevés retenus sont ceux correspondant au débit d'artésianisme : il s'agit d'une « perte d'eau » pour l'aquifère.

2.2.1. Origine des données

Les volumes d'eau prélevés pour l'alimentation en eau potable, pour un usage industriel ou un usage agricole sont en premier lieu disponibles sur le portail SIE de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (AEAG) qui les met en téléchargement direct sur la période 2003-2014. Des données antérieures ont été récupérées en complément au format numérique auprès de l'AEAG permettant de remonter jusqu'en 1991 pour les ouvrages AEP et agricoles et 1988 pour l'industrie.

Les données de volumes issues des redevances de l'Agence de l'Eau sont les seules permettant de disposer, en grand nombre et sur plusieurs années, d'une information relativement homogène à l'échelle du triangle landais. Les déclarations se font par point de comptage (ou « compteur »), lequel est rattaché à un point de prélèvement avec une codification propre à l'AEAG. Pour certains ouvrages, principalement des AEP et industriels, les correspondances avec l'indice national unique de référence (numéro BSS de la Banque du Sous-Sol du BRGM) sont disponibles. On gardera à l'esprit :

- qu'il s'agit de données déclaratives qui, indépendamment des contrôles effectués sur le terrain, peuvent présenter des inexactitudes ou des incohérences entre les volumes déclarés et les volumes réels prélevés,

- que le recouvrement des redevances se faisant à partir d'un seuil physique (7 000 m^3/an), la liste des points de prélèvements n'est par conséquent pas exhaustive,
- qu'un régime forfaitaire est appliqué lorsque la mesure des prélèvements ne peut pas être effectuée.

Les données de l'AEAG ainsi que celles obtenues directement auprès des exploitants, dans les rapports de bureau d'étude ou dans des thèses sont, depuis 2014, compilées au sein de la Base « Prélèvements ». Depuis 3 ans, la création de cette base de données unique des prélèvements au sein du BRGM Nouvelle Aquitaine permet une gestion cohérente et homogène des ouvrages exploités (validation géologique, historique des modifications, typologie de la source d'information,…) et des volumes prélevés (pour chaque volume est adossé son « type » (volume réel, estimé ou reporté), sa « source » (identifiant l'organisme ayant fourni la donnée) et un commentaire (facultatif) permettant d'apporter un complément d'information). Cette démarche bénéficie à l'ensemble des projets pour lesquels son utilisation est nécessaire.

Cette base est utilisée ici pour reconstituer les chroniques de prélèvements qui seront intégrées au modèle. Cependant, n'étant pas exhaustive sur les ouvrages plio-quaternaires, un travail spécifique de compilation de données issues de la base de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne est nécessaire pour consolider cette base de données.

Le travail a porté sur la reconstitution des chroniques de prélèvements plio-quaternaires pour les ouvrages AEP et industriels qui sont en nombre limités sur le triangle landais (chapitre 2.2.2), puis la compilation des prélèvements agricoles est présentée (chapitre 2.2.3).

2.2.2. Usage AEP et autres usages (Industriels, Service public, …)

Les ouvrages industriels et surtout AEP sont relativement bien référencés dans les bases de l'Agence de l'Eau disponibles en téléchargement. Ils bénéficient d'informations plutôt fiables concernant leur géolocalisation, leur profondeur, l'entité hydrogéologique captée, voire l'indice national BSS correspondant. Ceci facilite donc fortement leur rapprochement avec les ouvrages référencés dans la banque du sous-sol.

A l'échelle du triangle landais, 274 ouvrages captant les aquifères plio-quaternaires ont pu bénéficier des données disponibles dans la base « Prélèvements » du BRGM Aquitain puis du rapprochement avec les volumes récupérés auprès de l'Agence de l'Eau pour reconstituer leur chronique sur la période 2000-2014 (Illustration 4). Cependant, 50 autres ouvrages disposant de volumes issus des redevances n'ont pu être raccordés à des ouvrages précis de la BSS faute d'informations suffisantes. Ces volumes ont cependant bien été intégrés au modèle sous la forme de points fictifs à partir des géolocalisations et aquifères captés référencés dans les données de l'Agence de l'Eau.

Les points de prélèvements AEP et industriels se concentrent essentiellement à l'ouest et au nord des Landes. Les volumes prélevés dans les aquifères plio-quaternaires pour ces usages représentent sur la période 2000-2014, 68 % des volumes prélevés dans le triangle landais. Ailleurs, en Gironde, les ouvrages se concentrent autour du Bassin d'Arcachon et dans le Médoc pour représenter 25 % des volumes. Enfin dans le Gers et le Lot-et-Garonne, les points de prélèvements se situent principalement dans les alluvions et captent 7 % des volumes AEP et industriels intégrés au modèle.

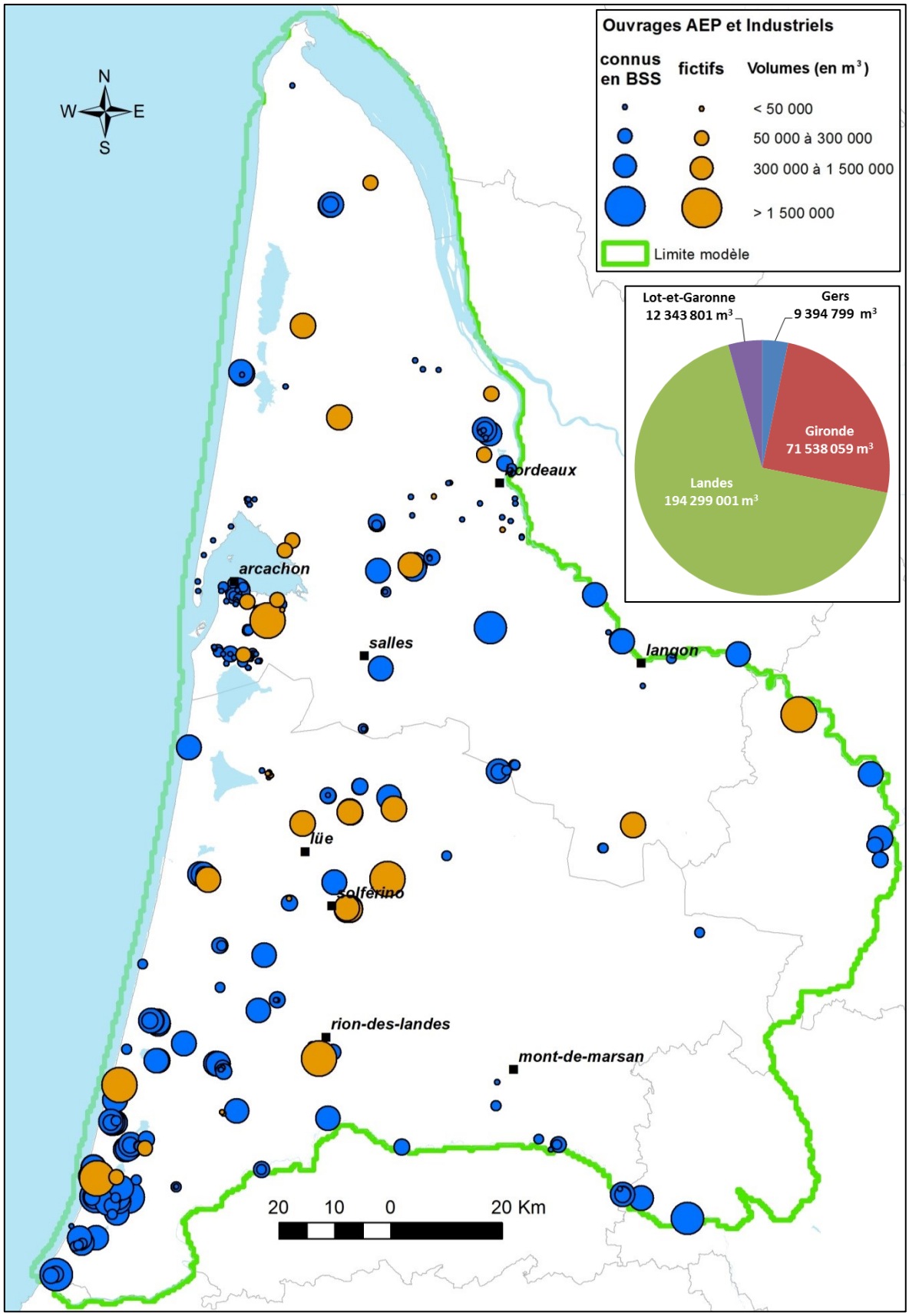

Illustration 4 - Répartition et volumes prélevés sur la période 2000-2014 des ouvrages destinés à l'usage AEP et industriel intégrés dans le modèle

Sur le triangle landais, de nombreuses carrières d'extraction de ressources minérales sont présentes et beaucoup procèdent au traitement et au lavage de granulats pour leurs besoins de production. Il s'agit d'une étape indispensable pour supprimer les particules fines contenues naturellement dans le gisement.

Le circuit des eaux de procédé est conçu pour permettre leur recyclage et limiter le prélèvement d'eau issue du milieu naturel qu'elle soit souterraine et/ou de surface (Illustration 5). Sur les sites, des prélèvements en eau sont réalisés sur le milieu en appoint des eaux de recyclage afin de compenser les pertes ayant lieu dans le processus (eaux des boues, humidité des matériaux lavés produits, fuites potentielles, évaporation, …). La gestion de l'eau est propre à chaque carrière et il n'existe pas un type de recyclage unique. Les quantités d'eau prélevés sont donc variables selon les sites (présence de bassin de décantation, de bassin d'infiltration, degré de propreté recherché des granulats, existence d'autres usages de l'eau sur le site (nettoyage des matériels, sanitaire et laboratoire, …)).

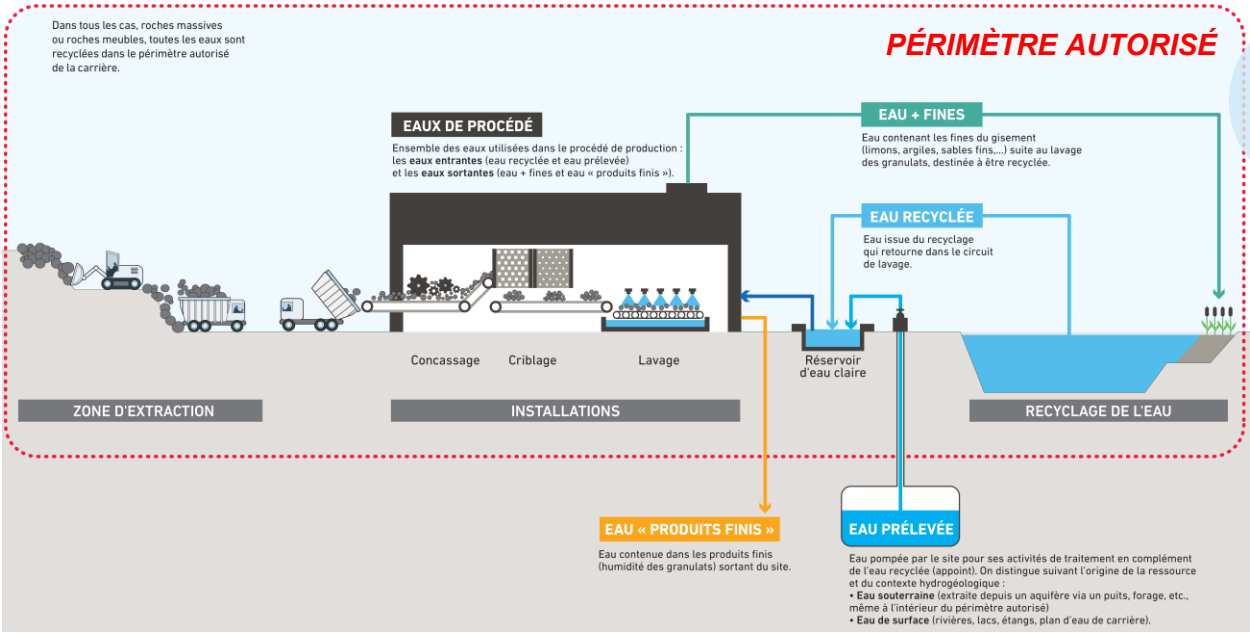

Illustration 5 - Circuit des eaux de procédé du traitement des granulats en carrière (UNPG, 2016)

Les volumes d'eaux prélevées pour l'industrie du granulat font l'objet de déclarations auprès de l'AEAG dans le cadre du paiement des taxes sur l'eau. Les volumes disponibles depuis 2003 dans les bases de données de l'Agence de l'Eau peuvent, selon les sites industriels concernés, fortement varier d'une année sur l'autre (un exemple de volumes prélevés sur un site industriel de ce type est donné en illustration 6). Pour ce site, les différences s'expliquent de la manière suivante d'après la réponse fournie par l'AEAG en octobre 2016 :

- avant 2008, et donc avant la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA du 30 décembre 2006), les volumes apparaissent comme « mesurés ». En pratique, les compteurs utilisés pour le paiement de la redevance par cet industriel étaient des compteurs d'heures de travail, traduisant un nombre de jours d'activité dans l'année. A partir de ce nombre de jours, un volume était calculé au travers de l'application d'un forfait journalier (m^3 prélevé / jour) : il ne s'agit donc pas des volumes réellement prélevés.
- à partir de 2008, les prélèvements apparaissent comme forfaitaires, avec un forfait qui est fonction du nombre de Tonnes de matériaux extraits (cf. LEMA) :

- entre 2008 et 2011, le forfait était de 0,1 m^3 /T pour le bassin Adour-Garonne ;
- depuis 2012, le forfait est passé à 1 m^3/T (le but étant d'inciter les préleveurs à utiliser des compteurs pour obtenir des volumes réellement prélevés).

Année	Volume (en m3)	Nature du volume
2003	1 798 610	Mesuré
2004	1 937 475	Mesuré
2005	1 914 960	Mesuré
2006	2 137 200	Mesuré
2007	1 956 960	Mesuré
2008	87 312	Forfaité
2009	64 762	Forfaité
2010	64 806	Forfaité
2011	-	Forfaité
2012	517 117	Forfaité
2013	492 608	Forfaité
2014	549 794	Forfaité

Illustration 6 - Exemple de volumes prélevés disponibles sur le site de l'Agence de l'Eau pour un exploitant de granulats

L'industriel concerné dans l'exemple utilisé ici a été contacté et a transmis les volumes prélevés. Ceux-ci ne varient en réalité qu'entre 7 000 et 14 000 m^3/an sur la période 2003-2014, ce qui représente des volumes bien inférieurs à ceux figurant dans les bases de données de l'AEAG. Il est donc nécessaire de contacter les exploitants pour confirmer la réalité des volumes annuels figurant dans ces bases[1].

Ainsi, les chroniques de prélèvements reconstituées pour l'usage industriel (Illustration 7) prennent en compte dans la mesure du possible les informations disponibles auprès des exploitants ou dans les bases de données de l'AEAG pour retranscrire le plus fidèlement possible les volumes réellement soutirés au milieu. Toutefois, la baisse importante observable en 2008 est probablement liée à la non prise en compte de toutes les variations de volumes prélevés pour l'industrie du granulat de l'Agence de l'Eau telles qu'évoquées précédemment (cf. illustration 6).

[1] Lors du téléchargement des données, l'AEAG avertit des limites de leur utilisation.

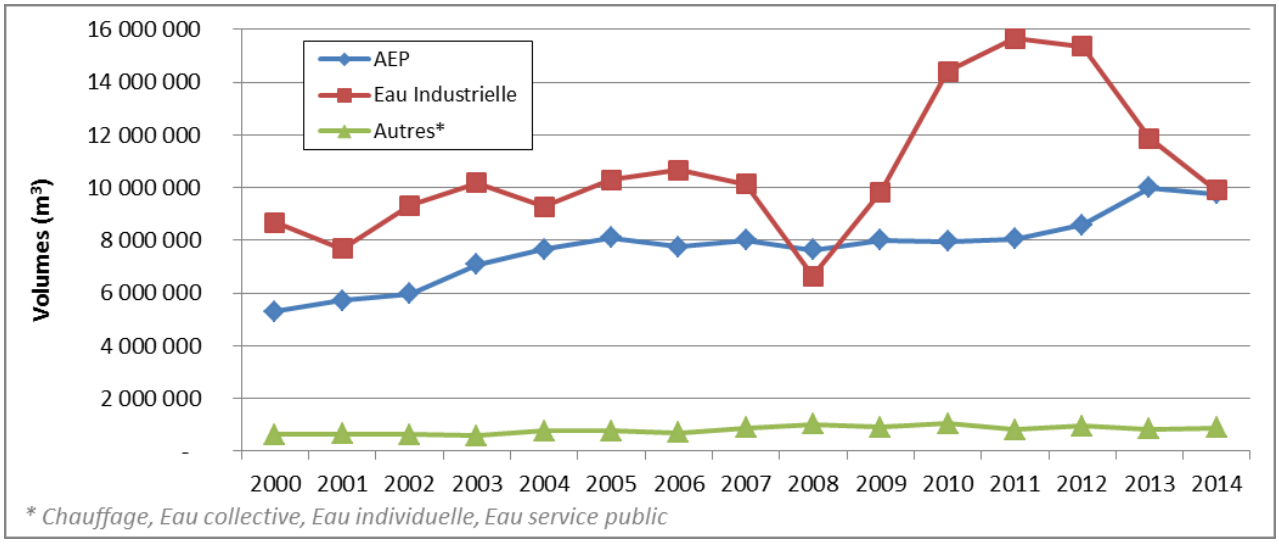

Illustration 7 - Chronique reconstituée des prélèvements AEP et Industriels sur 2000-2014

La chronique des prélèvements AEP et industriels reconstitués (Illustration 7) montre l'empreinte des prélèvements industriels sur les nappes plio-quaternaires. Cette chronique fait apparaître à partir de 2009 – 2010 une nette augmentation des prélèvements qui s'estompe par la suite pour revenir en 2014 à des volumes proches de ceux prélevés avant 2008. Cette augmentation s'explique en grande partie par l'impact de la tempête Klaus survenue fin janvier 2009. Cette tempête a dévasté la forêt de pins maritimes aquitaine. Pour faire face à la situation, le bois a été débité puis stocké afin de limiter les risques d'incendie, éviter les attaques d'insectes, le dégagement de CO2 lié à la putréfaction ou encore libérer l'espace pour pouvoir reboiser. Le stockage s'est effectué dans des aires soit déjà existantes soit spécialement mise en place afin entre autres d'assurer une pérennité économique à la filière bois. Parmi les méthodes de conservation, celle par saturation en eau a été largement utilisée notamment sur la principale aire de stockage située à Solférino mais aussi à Lüe, Rion-des-Landes ou encore Salles. Cette méthode consiste à arroser constamment le bois afin de lutter contre les champignons aérobies et les insectes qui mangent le bois. Ainsi, la chronique des prélèvements rend compte d'abord de ce surcroit d'activité de la filière bois sur la période 2009-2011 avec des prélèvements importants puis d'une diminution des besoins en eau en lien avec le déstockage progressif des aires. A fin 2016, les stocks constitués à l'occasion de la tempête auront été entièrement consommés (Site du ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, mise à jour 29/08/2016).

Dans la suite du projet, les prélèvements effectués pour ces usages seront affinés au fur et à mesure des collectes d'informations auprès des exploitants (notamment des industries d'extraction de matériaux). Enfin, en prévision d'une modélisation au pas de temps mensuel, une ventilation des prélèvements au cours des mois sera proposée. Elle s'appuiera d'une part sur les données obtenues directement des exploitants, qui enregistrent et ont accepté de transmettre les volumes prélevés mensuels, et d'autre part sur des hypothèses de prélèvements qui seront formulées sur la base de l'observation des données collectées.

2.2.3. Usage agricole

La connaissance des volumes prélevés pour l'usage agricole reste généralement très difficile à appréhender, d'autant plus quand elle concerne ceux prélevés sur la nappe superficielle, la plus soumise aux pressions anthropiques.

Devant le nombre d'ouvrages captant le Plio-Quaternaire en BSS et la quantité de points de prélèvements référencés sur le portail de l'AEAG, il a été décidé de procéder par département afin de rapprocher les deux bases de données entre elles et reconstituer les chroniques.

En Gironde, et parallèlement aux informations recueillies par les services de l'État dans le cadre réglementaire, le BRGM collecte les volumes prélevés dans les forages de Gironde au travers d'un mailing envoyé aux exploitants. Même si ce travail ne concerne essentiellement que les nappes captives (Miocène à Crétacé), des volumes prélevés dans le Plio-Quaternaire peuvent avoir été collectés. Jusqu'en 2008, seuls 771 points géoréférencés étaient recensés dans la base de données du BRGM (Corbier, et al., 2015). Grâce à l'inventaire mené par la Chambre Départementale d'Agriculture en 2008, plusieurs centaines de nouveaux points ont pu être recensés. Par la suite, la réinterprétation stratigraphique de plusieurs dizaines d'ouvrages agricoles menée en 2010 par le BRGM à la demande de la Chambre d'Agriculture, ainsi que les ajustements faits avec certains exploitants, ont aussi permis de recenser de nouveaux ouvrages.

Le travail a consisté à rapprocher les bases de données BRGM et AEAG à partir des données disponibles dans chacune d'entre elles. L'absence de géolocalisation de la majorité des compteurs AEAG conduit à s'appuyer uniquement sur les noms de communes, de lieu-dit ou numéro de parcelle et d'exploitant pour trouver les correspondances entre les bases. En l'absence totale de possibilité de rattacher les volumes plio-quaternaires identifiés dans les données de l'AEAG à un ouvrage de la BSS, il a été décidé de les intégrer au modèle en s'assurant que l'emplacement du forage choisi respecte les quelques informations disponibles (notamment le lieu-dit) et la présence de nappes plio-quaternaires au droit du captage.

Ensuite, sur la base de ce rapprochement entre la BSS et la base AEAG, une reconstitution des chroniques sur la période 2003-2014 a tout d'abord été effectuée, puis sur la période 2000-2003 quand les données antérieures et postérieures à 2003[2] (numéro et nom de compteur ainsi que les ordres de grandeur des volumes) correspondaient. En l'absence de possibilité de remonter jusqu'en 2000, les volumes prélevés annuellement de 2000 à 2002 ont été supposés égaux à ceux prélevés en 2003.

Enfin, un croisement avec le modèle Plio-Quaternaire a été effectué afin de s'assurer de l'aquifère capté et d'attribuer à chaque ouvrage la maille correspondante au modèle.

Au final, la base des prélèvements agricoles girondins intégrée au modèle est constituée de 2 709 ouvrages, tous avec une chronique reconstituée sur la période 2000-2014. La répartition spatiale des forages (Illustration 8) montre des concentrations importantes entre le Bassin d'Arcachon et Bordeaux, à l'est des lacs médocains et dans le sud du département.

Un tiers des volumes intégrés depuis 2009 est de type « réel », le reste étant des volumes estimés. Ce rapport diminue fortement puisque seulement 4 % des volumes sur la période 2000-2008 est réel. Ceci reste toutefois à relativiser puisque beaucoup de volumes, même s'ils sont réels car déclarés à l'Agence de l'Eau, sont ventilés sur plusieurs ouvrages (les forages agricoles disposent pour beaucoup d'entre eux de pivots pour lesquels le compteur comptabilise les volumes de plusieurs forages). A ce titre, même si le volume total est réel, la ventilation est estimée à parts égales entre les forages. La chronique reconstituée (Illustration 9) des prélèvements agricoles plio-quaternaires en Gironde montre des volumes annuels supérieurs à 60 Mm^3 depuis 2003 avec une pointe en 2005 à près de 93 Mm^3 correspondant à de faibles pluies cumulées sur la période d'irrigation (juin à août). Les volumes antérieurs à

[2] Les données antérieures et postérieures à cette date figurent dans deux bases différentes à l'AEAG. Les points figurant dans ces bases ne sont pas nécessairement référencés par des codes identiques.

2005 restent à prendre avec précaution puisque malgré des pluies faibles, notamment en 2000, 2002 et 2003, les volumes prélevés restent inférieurs à 50 Mm^3/an ceci étant davantage en lien avec la relative méconnaissance des volumes prélevés du fait d'un déploiement des compteurs encore limité.

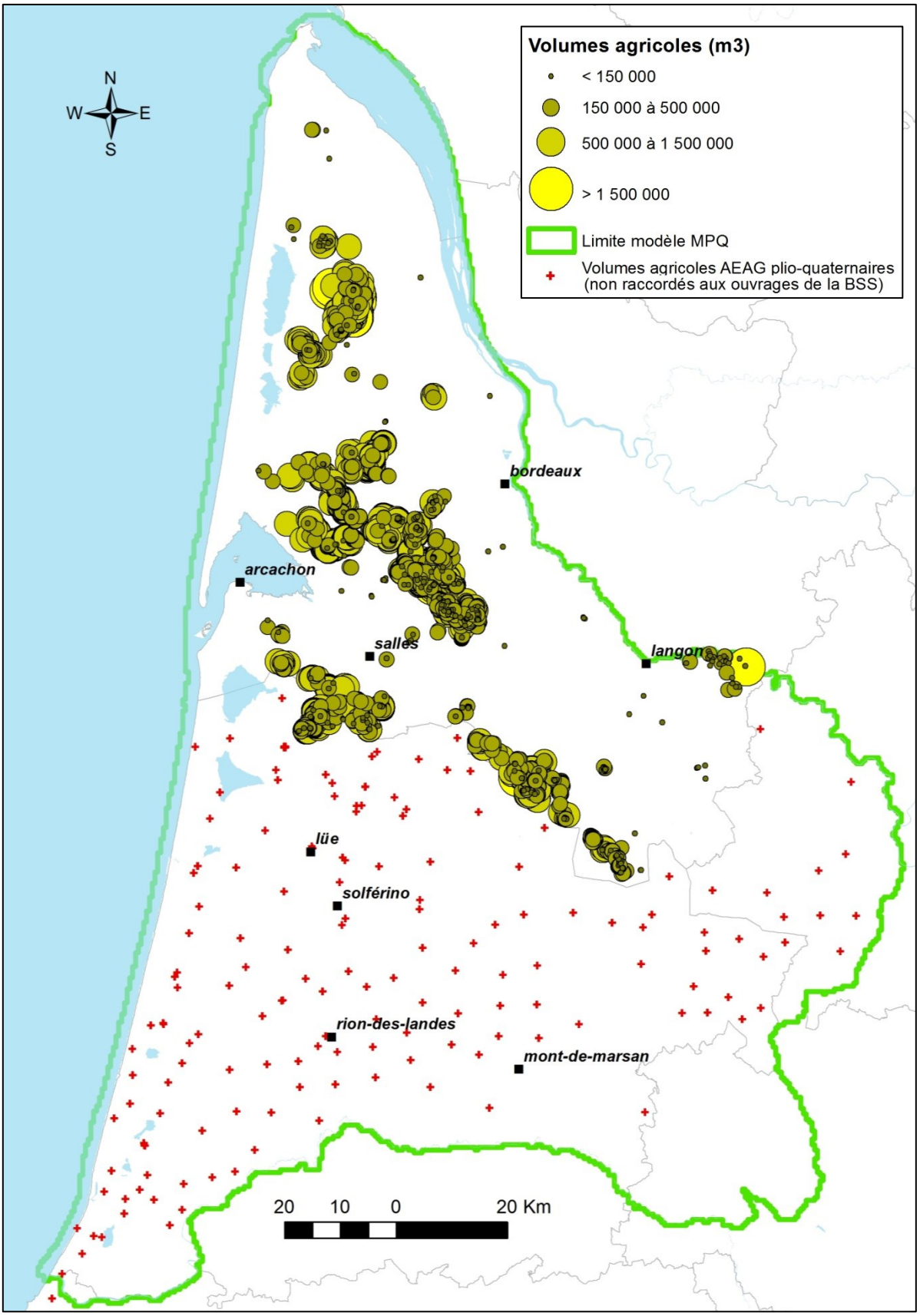

Illustration 8 - Répartition et volumes prélevés sur la période 2000-2014 des ouvrages destinés à l'usage agricole intégrés dans le modèle

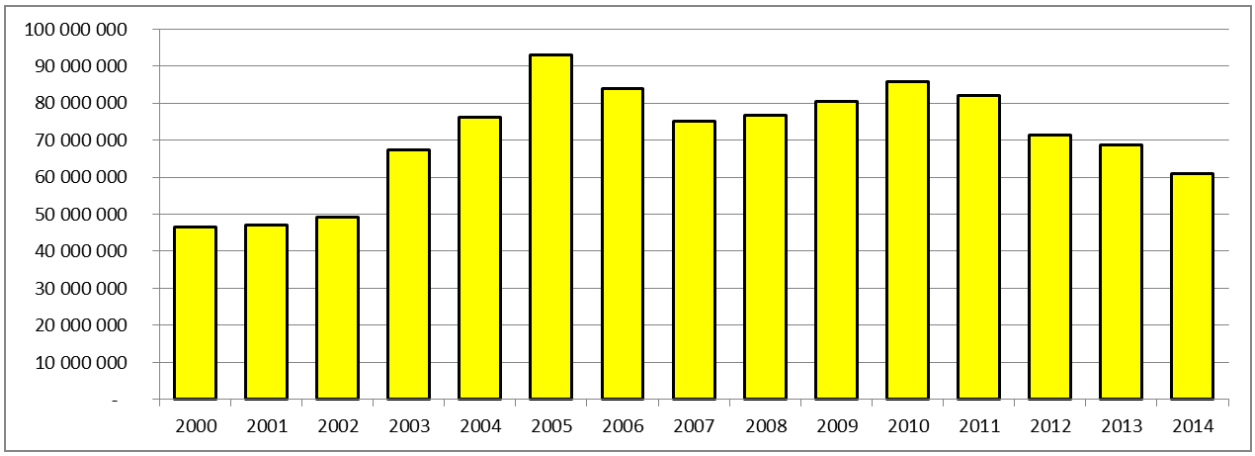

Illustration 9 - Chronique des prélèvements des volumes agricoles plio-quaternaires en Gironde

Le travail de rapprochement devra se poursuivre sur les autres départements et principalement sur celui des Landes. Dans ce département, plus de 9000 ouvrages agricoles sont recensés dans la BSS et captent potentiellement les aquifères plio-quaternaires. Le travail important de rapprochement des bases bénéficiera des travaux menés en parallèle au BRGM Aquitaine et ayant donné lieu à une collaboration avec la Chambre d'Agriculture des Landes (AGIL) et la DDTM40 pour retrouver les volumes prélevés à l'ouvrage. Dans les autres départements du triangle landais, à savoir le Gers et le Lot-et-Garonne, le nombre d'ouvrages agricoles est moindre et a déjà été en partie mené. Il devra être finalisé avant le passage en régime transitoire sur ces secteurs.

Enfin, une attention sera portée à la ventilation des volumes prélevés au pas de temps mensuel. Des travaux sont en cours sur la compréhension des modalités de prélèvements des irrigants, notamment dans le cadre du projet GAÏA (Wuilleumier et al, 2017). Le SMEGREG (Note sur la ventilation mensuelle des prélèvements en Gironde, 2013) a par ailleurs déjà abordé cette question sur les ouvrages girondins et son travail servira de base pour cette ventilation.

3. Développement / Calage du modèle

3.1. ETAPES D'AMELIORATION DU MODELE

3.1.1. Quelques rappels sur le modèle

La description des caractéristiques géométriques et hydrodynamiques du modèle est disponible dans le rapport RP-63168-FR (Corbier & 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, 2014) complété du RP64983-FR (Corbier et al., 2015). On se contentera de rappeler les éléments suivants :

- Le modèle est constitué de 12 couches de calcul (Illustration 10) dont la géométrie est reprise et adaptée du modèle géologique (Illustration 11) élaboré au cours de la précédente convention (Karnay et al., 2008) ;

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*
Couche 14	*Eponte au sommet de l'Aquitanien*	
Couche 15	*Aquitanien*	
Couche 16	*Eponte Chattien-Miocène*	
Couche 17	*Oligocène*	

TSP = Toit Semi-Perméable

Illustration 10 - Agencement schématique des différentes couches du modèle hydrodynamique et correspondance avec le modèle géologique (Corbier et al., 2014)

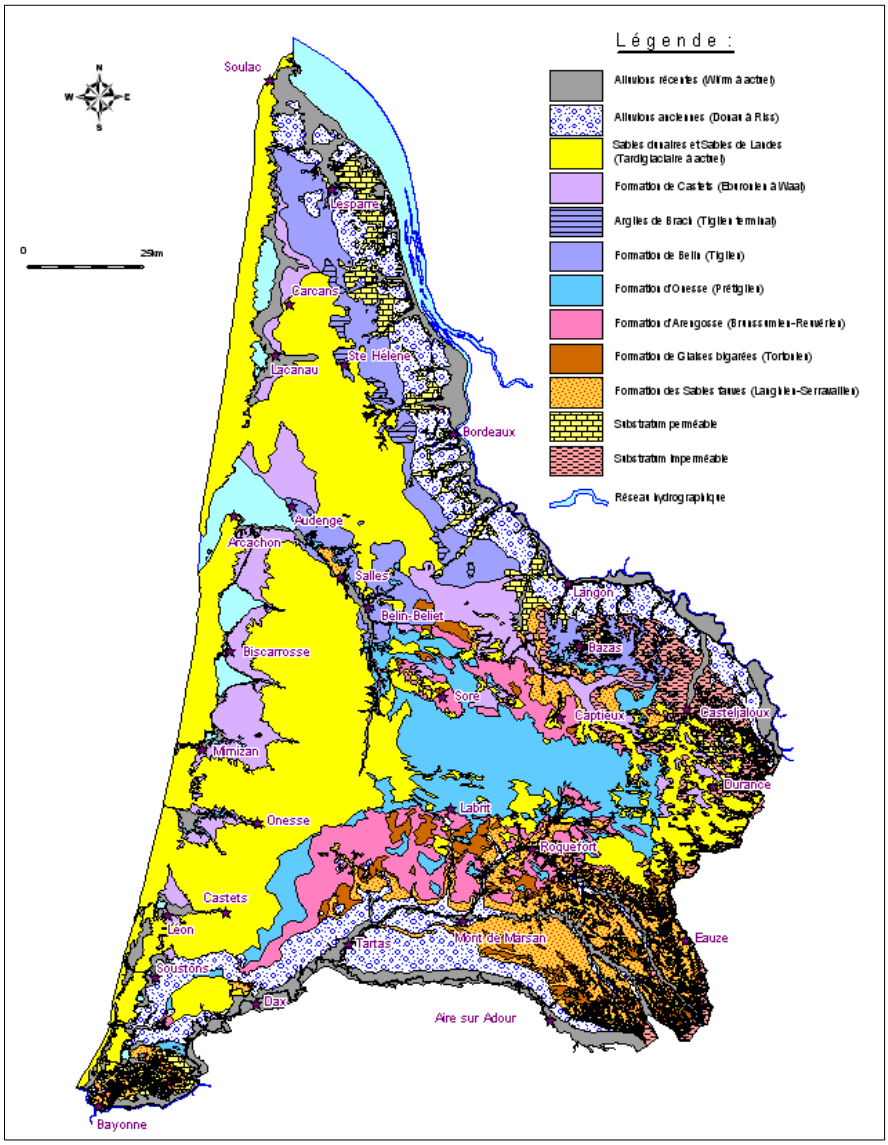

Illustration 11 - Carte géologique simplifiée du Triangle Landais

- Son maillage au pas de 500 m est le même que celui du MONAv4 afin d'assurer une compatibilité des deux modèles. Dans cette même optique, les couches en potentiel imposé du modèle Mio-Plio-Quaternaire (couches 13 à 17 correspondant au Miocène, à l'Oligocène et à leurs épontes respectives) sont issues du MONAv4.
- La modélisation s'effectue en régime permanent en utilisant les données de l'année 2009 comme référence. Dans ce modèle :
    - des potentiels imposés sont positionnés au niveau des lacs et de l'océan ;
    - les paramètres hydrodynamiques sont moyennés ;
    - la recharge correspond à un état moyen calculé à partir des pluies efficaces sur la période 2000-2009 ;
    - 70 cours d'eau sont intégrés pour un linéaire de 1996 km : 65 stations de mesures sont utilisables en permanent ;

- les prélèvements AEP et industriels sur l'ensemble du triangle landais ainsi que les prélèvements agricoles uniquement en Gironde sont intégrés (cf 2.2) ;
- 373 points d'observation, 4 cartes piézométriques (1 générale de 2002 et 3 sur secteurs SAGE) et les débits moyennés des cours d'eau (cf. illustration 2) servent pour évaluer le calage du modèle.

Les principales modifications apportées au modèle dans le cadre de la première année de la convention régionale eaux souterraines 2015-2020 comprennent :

- l'introduction des prélèvements en eau potable, industriels et agricoles (cf. 2.2) ;
- la prise en compte du transfert du ruissellement vers le réseau hydrographique (cf. 3.1.2) ;
- des corrections mineures de la géométrie du modèle (cf. 3.1.3) ;
- le calage des champs de perméabilité en régime permanent (cf. 3.1.4).

3.1.2. Transfert du ruissellement vers le réseau hydrographique

En l'absence d'indications spécifiques, le ruissellement généré sur chaque maille du domaine est transféré instantanément vers le cours d'eau le plus proche. Afin d'obtenir un comportement plus réaliste, des directions de drainage, ou directions d'écoulement, ont été calculées en chaque maille affleurante : ceci permet en effet d'orienter le ruissellement dans la bonne direction. Ces directions d'écoulement sont calculées à partir de la topographie incluse dans le modèle et permettent de prendre en compte les transferts du ruissellement vers le réseau hydrographique en suivant les directions d'écoulement.

3.1.3. Corrections de bugs géométriques

Certains défauts de géométrie ont été corrigés par rapport à la version précédente du modèle. Dans un premier temps, les mailles isolées au sein d'une couche du modèle ont été supprimées. Ces mailles n'ont pas de voisines dans la couche à laquelle elles appartiennent et aucun flux latéral n'est calculé lors de la simulation. D'un point de vue hydrogéologique, ces mailles n'ont pas d'effet sur les écoulements. Aussi, si leur présence n'entrave pas le calcul en régime permanent, elles pourraient poser des problèmes de convergence lors du passage en régime transitoire. C'est pourquoi il convient de les enlever. Au total, 487 de ces mailles ont été supprimées (Illustration 12).

Couche	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13
Nombre de maille	72	209	67	20	2	16	1	6	6	1	8	27

Illustration 12 - Nombre de mailles isolées supprimées par numéro de couche.

Outre la suppression de ces mailles, des corrections mineures ont également été apportées sur la topographie de certaines mailles rivières afin de s'assurer que le niveau de l'eau ne soit pas inférieur à l'altitude du fond de rivière. Cela concerne une quinzaine de mailles réparties sur les affluents des étangs du SAGE Born et Buch.

3.1.4. Recalage des perméabilités

Sur la base des éléments bibliographiques collectés (Corbier & 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, 2014), le faible nombre de valeurs de perméabilité ne permet pas de les interpoler ni d'identifier les zones plus ou moins productives des différentes formations du Plio-Quaternaire. En première approche, une valeur uniforme avait été attribuée pour l'ensemble des mailles de chaque couche. Ces valeurs oscillent entre des perméabilités de l'ordre de 10^{-4} à 10^{-5} m/s.

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

3.2. RESULTATS

3.2.1. Résultats du calage sur les hauteurs piézométriques

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 13). Il montre l'amélioration du calage du modèle en termes de piézométrie. Les points rouges correspondent au diagramme de dispersion issu de la deuxième année de réalisation du modèle et les points bleus à celui obtenu à l'issue des nouveaux développements apportés au modèle lors de l'année 3. En complément, les statistiques fournies (Illustration 14) 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).

Le développement réalisé cette année aboutit globalement à une meilleure adéquation entre les niveaux piézométriques observés et simulés. L'introduction des prélèvements en nappe implique un abaissement des niveaux piézométriques se retrouvant sur la droite du diagramme de dispersion et expliquant la diminution importante de l'erreur moyenne qui passe de 2.35 m à -0.29 m après la mise à jour du modèle. Il en est de même pour les autres indicateurs que sont l'erreur absolue moyenne et l'écart-type, traduisant une nette amélioration des restitutions de la piézométrie dans le modèle.

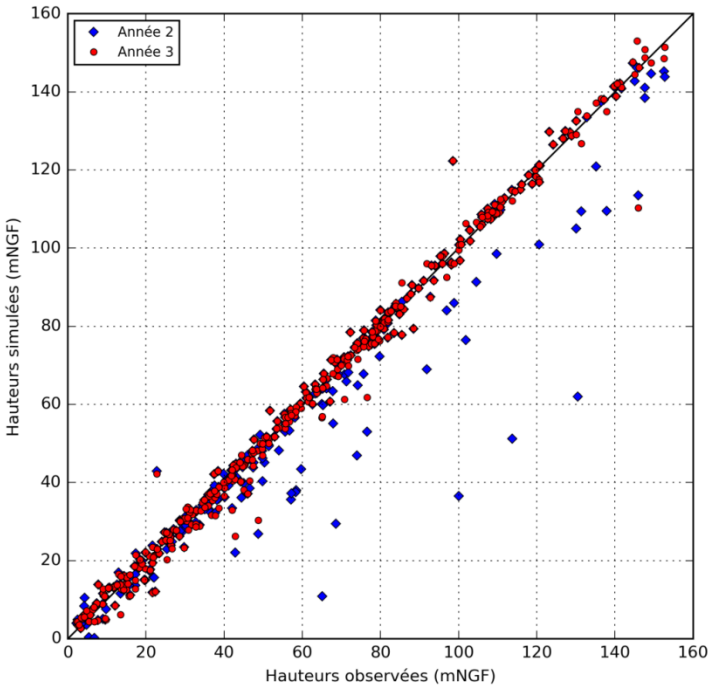

Illustration 13 - Diagramme de dispersion entre piézométries simulées et observées (évolution entre l'année 2 de développement (RP-64983-FR) et l'année 3) toutes couches confondues

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 14 - Statistiques entre hauteurs piézométriques simulées et observées (évolutions entre l'année 2 de développement (RP-64983-FR) et l'année 3) toutes couches confondues.

3.2.2. Résultats du calage sur les débits

Le calage des débits sur les cours d'eau est illustré dans un premier temps par la comparaison des distributions spatiales des écarts entre les débits moyens simulés et ceux observés sur l'ensemble du domaine. Ces écarts sont présentés comparativement à l'issue des travaux de développements de l'année 2 et de l'année 3 (Illustration 15). Il convient de garder à l'esprit que ces derniers ne correspondent pas uniquement à des débits moyens étant donné qu'ils sont collectés à des périodes différentes de l'année (cf. chapitre 2.1). Ainsi, les écarts parfois importants entre les débits simulés et ceux observés s'expliquent par le fait que ces derniers correspondent à des mesures ponctuelles de crues ou d'étiage que le modèle ne permet pas de retranscrire encore puisque celui-ci calcule un débit moyen. Il conviendra d'affiner cela lors du passage en régime transitoire permettant mieux de restituer les variations parfois importantes de débits.

Les modifications apportées au modèle n'ont pas engendré d'amélioration nette sur les débits de certains cours d'eau en raison de restitutions par le modèle déjà cohérents avec la réalité en année 2. C'est le cas ainsi des débits sur la Grande Leyre, sur les affluents des lacs médocains, et sur les ruisseaux côtiers dans le sud-ouest du triangle landais.

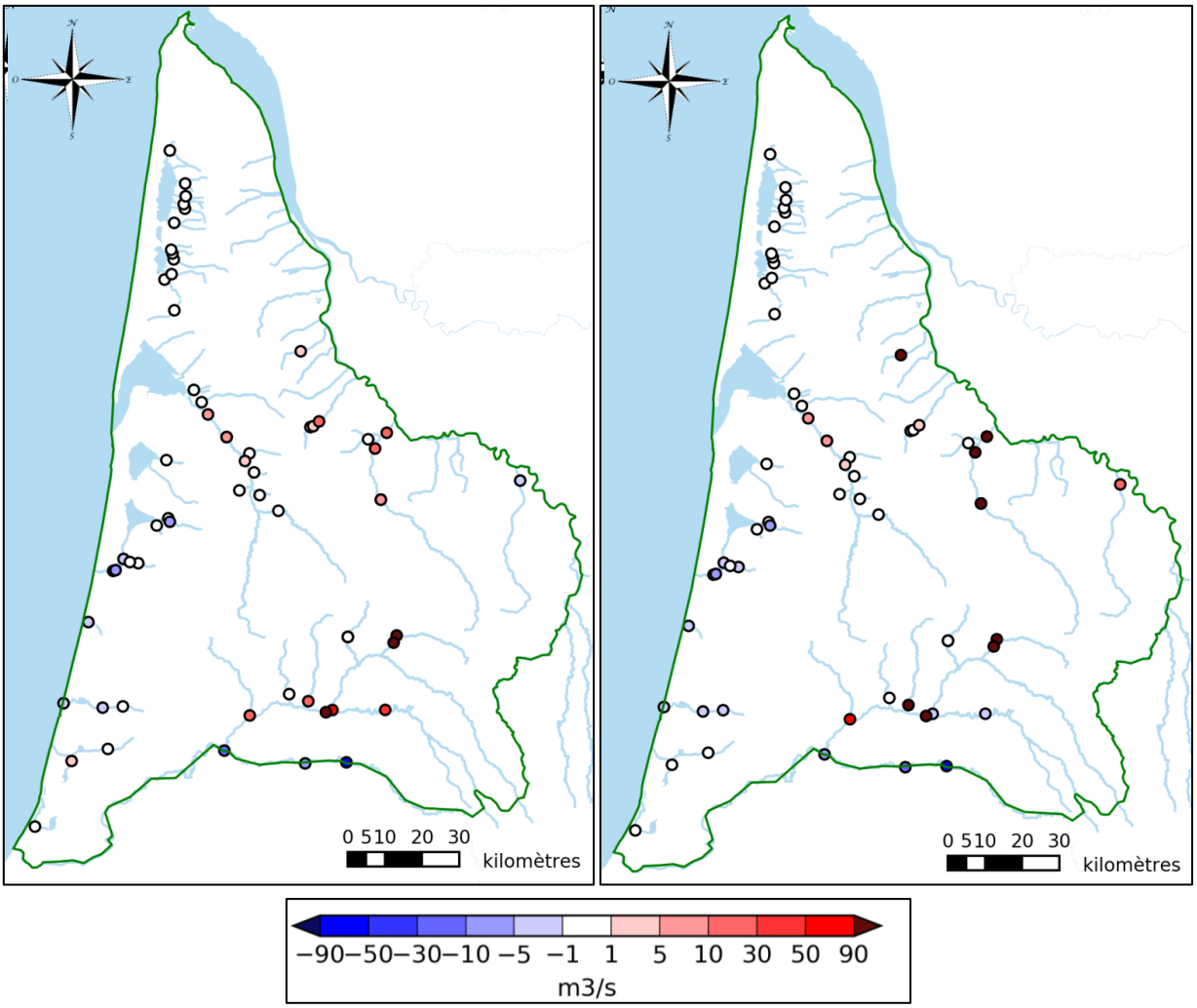

Illustration 15 - Comparaison entre les travaux de l'année 2 (à gauche) et de l'année 3 (à droite) des distributions spatiales des écarts entre débits simulés et observés sur les 65 stations de mesure

Globalement, les écarts n'ont que peu évolué entre les deux versions du modèle, exceptés pour certaines stations de mesure affichant des écarts supérieurs en valeur absolue à 90 m^3/s sur plusieurs affluents de la Garonne et de l'Adour. Ces écarts sont dus à de très forts coefficients d'échange nappe/rivière se produisant le long des cours d'eau. Ces échanges excessifs sont dus à l'affleurement de couches à potentiel imposé (Miocène et Oligocène) engendrant un très fort gradient hydraulique entre le niveau de la rivière et la hauteur imposée par la nappe. Pour les affluents de l'Adour, les forts écarts rencontrés sur les stations de mesures hydrométriques sont engendrés par les affleurements de l'Helvétien qui est en potentiel imposé. Pour les affluents de la Garonne, les stations dont les échanges nappe-rivière sont élevés sont dues aux affleurements des couches de l'Aquitanien et de l'Oligocène, toutes deux à potentiel imposé. En tout, 10 points de mesure du débit sont concernés.

Les couches du Miocène et de l'Oligocène correspondent aux couches du MONAv4 qui ont été intégrées au modèle du Plio-Quaternaire en vue d'une interopérabilité future. Ces couches n'ont toutefois pas été modifiées et le travail de validation des valeurs adoptées pour les potentiels imposés demeure à effectuer. C'est pourquoi les erreurs introduites par la présence de ces couches sur les échanges nappe/rivière n'ont pas été traitées dans cette phase.

L'illustration 16 représente le diagramme de dispersion des écarts entre débits simulés et observés avant et après les travaux de développement de l'année 3. En complément, l'illustration 17 présente les statistiques calculées à partir des écarts entre débits simulés et observés. Les 10 stations de mesure ayant des débits aberrants ne sont pas prises en compte dans les calculs. On note ainsi une légère amélioration de la restitution des débits en année 3 par rapport à l'année 2 qui reste néanmoins à relativiser compte-tenu du faible écart entre les erreur-type respectives (l'erreur type passe de 15.41 m^3/s à 15.14 m^3/s).

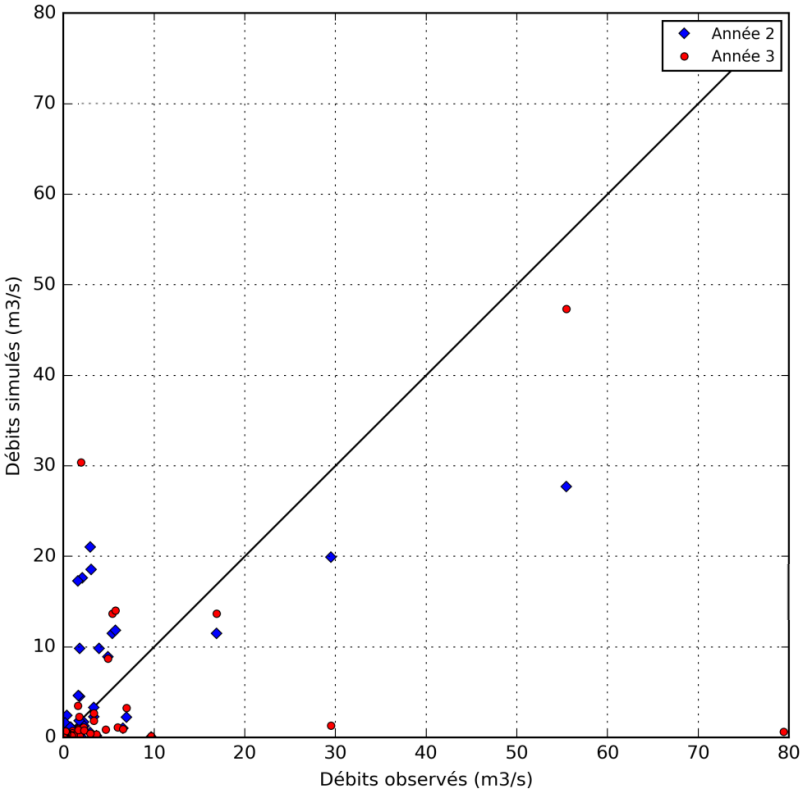

Illustration 16 - Diagramme de dispersion entre débits simulés et observés suite au travail de l'année 3

Simulation	Erreur moyenne (m^3/s)	Erreur absolue moyenne (m^3/s)	Erreur-type (m^3/s)
Année 2	1,85	6,46	15,41
Année 3	-0.89	5,19	15,14

Illustration 17 - Statistiques calculées à partir des écarts entre débits simulés et observés pour les travaux de l'année 2 et de l'année 3

3.2.3. Synthèse

À ce stade de développement du modèle, il n'apparait pas pertinent de présenter un bilan global des flux par couche puisque les calculs réalisés ne prennent pas en compte les volumes agricoles dans le département des Landes. Comme expliqué dans le chapitre 2.2.3, le nombre très important d'ouvrages à destination de cet usage impose un travail spécifique du même ordre que celui effectué en Gironde afin de reconstituer la chronique des prélèvements agricoles sur ce territoire. À l'image des prélèvements effectués en Gironde (plus de 60 Mm^3

d'eau par an depuis 2003), les prélèvements agricoles dans les Landes seront probablement très importants et seront susceptibles de modifier les équilibres actuels et donc le bilan.

En conclusion, ce travail a permis d'apporter des modifications légères à la géométrie du modèle et d'améliorer le calage en régime permanent des niveaux piézométriques et, dans une moindre mesure, des débits pour une situation de recharge en moyennes eaux. Il a mis en évidence la nécessité d'une meilleure intégration des couches éocènes et oligocènes afin d'obtenir des débits en rivière plus réalistes sur certains affluents. Il conviendra par exemple d'ajuster le potentiel imposé de ces couches. Un travail sur la valeur des coefficients d'échanges nappe/rivière peut aussi être utile.

À l'heure actuelle, le modèle retranscrit bien dans l'ensemble des niveaux piézométriques et il est difficile d'améliorer le calage en régime permanent sur les débits dans les cours d'eau étant donné que le modèle calcule des débits moyens pouvant être très différents des débits d'observation dont nous disposons et pouvant être obtenus en basses eaux ou hautes eaux. Il conviendrait probablement de passer à une phase de calage en régime transitoire se concentrant notamment sur des zones de SAGE spécifiques, comme par exemple le territoire des Lacs Médocains, de Born-et-Buch ou encore de la Leyre, qui sont dans des secteurs pour lesquels un nombre conséquent de données d'observation est disponible (piézométrie, débits dans les cours d'eau, …), l'exhaustivité des volumes prélevés est importante et l'influence des nappes profondes est moindre.

4. Conclusion

Le développement du modèle Mio-Plio-Quaternaire s'est poursuivi autour de deux axes au cours de cette troisième année.

Le premier a permis de collecter des informations servant in fine à alimenter le modèle numérique. Ainsi, des acquisitions de mesures de débits ont été réalisées en complément de celles réalisées dans le cadre du module 3.2 « Plio-Quaternaire - Relations nappes / rivières / étangs » de la même convention régionale. Il a permis d'obtenir de nouvelles mesures de débits en basses eaux (à l'été 2016) sur plusieurs cours d'eau affluents en rive gauche de l'Estuaire de la Gironde puis, en mars 2017, des mesures en moyennes eaux complétant celles de basses eaux sur un nombre important de cours d'eau en rive gauche de Garonne et sur la façade sud atlantique. Ces acquisitions ont été complétées par des mesures issues de travaux en cours sur les lacs médocains et sur la structure anticlinale de Villagrains-Landiras. En parallèle, la compilation des données de prélèvements a abouti à la reconstitution des chroniques de prélévement sur la période de 2000 à 2014 pour les usages AEP et industriels sur l'ensemble du triangle landais. Concernant l'usage agricole, le nombre d'ouvrages, la complexité des modes de prélèvements et la difficulté de rattachement des compteurs de redevance de l'Agence de l'Eau à des ouvrages physiques n'ont permis d'intégrer que les volumes girondins comptant toutefois 2 709 ouvrages, tous avec une chronique reconstituée sur la période 2000-2014.

Le second axe de travail a consisté en la poursuite de la construction du modèle, notamment au travers de la correction des défauts de géométrie, et en une amélioration de son calage en régime permanent. Il a permis de mieux restituer les niveaux piézométriques et, dans une moindre mesure, les débits dans les cours d'eau. Ceci permet d'envisager un passage en régime transitoire dans le cadre de la deuxième année de la convention régionale eaux souterraines 2015-2020, portant sur un secteur spécifique du Triangle landais.

En prévision d'une modélisation au pas de temps mensuel, une réflexion devra être apportée sur la manière de ventiler mensuellement les prélèvements annuels reconstitués, notamment pour l'usage agricole. En ce sens, les travaux réalisés dans le cadre du projet GAÏA (Wuilleumier et al., 2017) seront exploités.

5. Bibliographie

ANTEAGroup (en cours) - Etude de faisabilité d'un champ captant au Cénomanien en Sud Gironde - Etude des relations eaux souterraines – eaux superficielles.

Barrière J. et Saltel M. (2017) **-** Gestion des Eaux souterraines en Aqutiaine - Plio-Quaternaire - Relations nappes / rivières / étangs - Module 3.2. BRGM/RP- 66844-FR.

Buquet D. (en cours) - Cycle des éléments biogènes dans les lacs côtiers en Gironde. Thèse de l'Université de Bordeaux.

Corbier P., Abou Akar A., Mazurier C., B. Bourgine, Capéran F., Grabenstaetter L., De Las A.., Hoareau A. et Ayache B. (2015) - Que retenir de l'évolution de l'état des nappes de Gironde en 2014 ? BRGM/RP-65309-FR, 127 p., 59 ill., 6 tab., 3 ann.

Corbier P. et Cabaret O. avec la collaboration de Pasquier S. (2015) - Reconnaissance des potentialités aquifères du Mio-Plio-Quaternaire des Landes de Gascogne et du Médoc en relation avec les SAGE - Module 6 - Année 5 – Convention 2008-2013. Rapport final. BRGM/RP-64983-FR, 79 p., 46 ill., 5 ann.

Corbier P. et Cabaret O. (2014) - 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.

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

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

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

Karnay G., Corbier P., avec la collaboration de Jaouen T., Porquet M., Peter M. et Blanchin R. (2008) – 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 p., 25 ill., 6 tabl.

Saltel M., Dewandel B. et Bodiniet J. (2015) - 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.

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

UNPG (2016) - La gestion des eaux en carrières. Document de l'Union nationale des producteurs de granulats, 5 p.

Wuilleumier A., André L., Cabaret O., Douez O., Saltel M., avec la collaboration de Bouchard S. et Thicoipé P. (2017) – Projet GAIA – année 3. Avancement du volet hydrogéologique. Rapport final. BRGM/RP-66849-FR.

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