

Document public



Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine

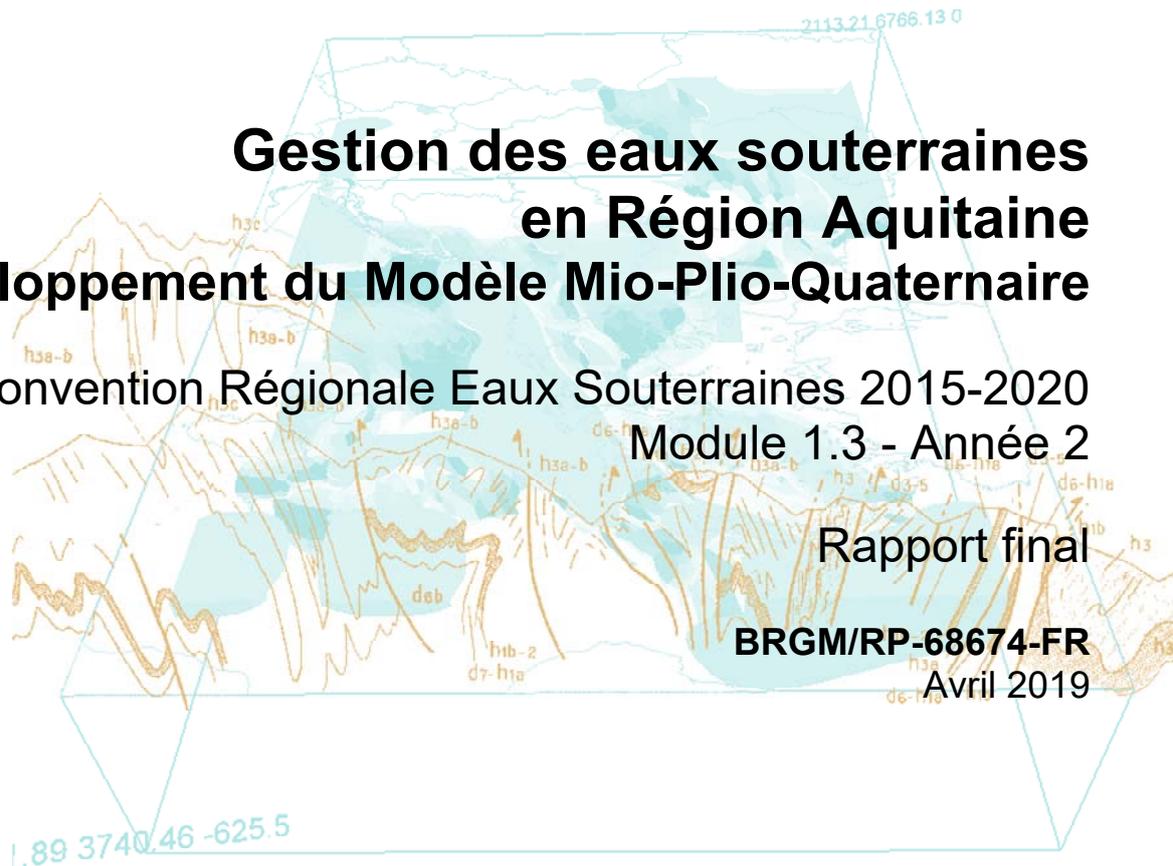
Développement du Modèle Mio-Plio-Quaternaire

Convention Régionale Eaux Souterraines 2015-2020
Module 1.3 - Année 2

Rapport final

BRGM/RP-68674-FR

Avril 2019



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 2

Rapport final

BRGM/RP-68674-FR
Avril 2019

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM AP17BDX021

O. Cabaret, L. Arnaud, F. Crastes de Paulet

Vérificateur :

Nom : A. WUILLEUMIER
Fonction : Hydrogéologue
Date : 15/03/2019

Signature :



Approbateur :

Nom : N. PEDRON
Fonction : Directeur régional du
BRGM Nouvelle-Aquitaine
Date : 10/04/2019

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 : Plio-Quaternaire, Triangle landais, Modèle numérique, Hydrogéologie, Recharge

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

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

Synthèse

Le développement du modèle hydrogéologique Mio-Plio-Quaternaire a été initié lors des deux dernières années du module 6 « Plio-Quaternaire/relations nappes-rivières-étangs » de la Convention Régionale Eaux Souterraines (CRES) 2008-2013. Il s'est poursuivi durant la CRES 2015-2020 et le présent rapport restitue la quatrième année de son développement.

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.

Les premières années du module ont permis d'initier 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 durant la première année, à partir du modèle géologique réalisé antérieurement, 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 en année 2, par la prise en compte du réseau hydrographique. En année 3, les prélèvements pour l'AEP et l'usage industriel ont été introduits au modèle. Concernant les prélèvements agricoles, seuls ceux en Gironde ont été intégrés, en raison du nombre très importants d'ouvrages dans le triangle landais et de la difficulté d'avoir accès à ces données.

La quatrième année de développement du modèle a été consacrée au passage au régime transitoire, au pas de temps mensuel, sur l'ensemble du triangle landais, pour la période 2000 - 2014.

Dans un premier temps, du fait notamment des données hydrogéologiques disponibles dans le secteur (informations piézométriques ou paramètres hydrodynamiques sans distinction de la formation captée, par exemple), il a été décidé d'adapter le modèle actuel en réduisant le nombre de couches. A noter que cette aménagement ne sera que peu préjudiciable, concernant les attentes en termes de connaissance du fonctionnement des nappes du Plio-Quaternaire. Par ailleurs, cet aménagement permet de gagner en temps de calcul, mais aussi d'assurer, *in fine*, une interopérabilité avec le MONA-v4. Des réflexions pour une meilleure prise en compte de la recharge dans ces formations géologiques spécifiques ont également été engagées en parallèle des développements apportés au modèle régional nord-aquitain, dans sa version 4.

Le passage en régime transitoire s'est traduit par une adaptation et une mise en forme des données d'entrée et de sortie du modèle, notamment celles concernant les données de prélèvements annuels qui ont été ventilés mensuellement.

Les premières simulations sont apparues satisfaisantes pour la représentation des niveaux et des débits, à l'échelle du triangle landais. Elles devront cependant être poursuivies, afin d'avoir une vision large des transferts qui s'exercent entre les nappes et le réseau hydrographique.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Simplification du modèle.....	11
2.1. REDUCTION DU NOMBRE DE COUCHES	11
2.2. DEVELOPPEMENT D'UN NOUVEAU MODELE	12
3. Préparation des fichiers du modèle en régime transitoire.....	13
3.1. PRELEVEMENTS.....	13
3.2. RECHARGE	17
3.2.1.Principe de calcul	17
3.2.2.Estimation préliminaire des pluies efficaces et de la recharge.....	18
3.2.3.Modélisation globale GARDÉNIA.....	22
3.3. PIEZOMETRIE	27
3.4. HYDROLOGIE.....	28
4. Poursuite des travaux de modélisation	29
4.1. CALCUL HYDROCLIMATIQUE.....	29
4.1.1.Zones météorologiques.....	29
4.1.2.Zones de sol et paramètres associés.....	30
4.2. CONFIGURATION DU MODELE EN REGIME TRANSITOIRE	35
4.2.1.Fichier des pas de temps	35
4.2.2.Coefficients d'emmagasinement	35
4.2.3.Mailles à historique.....	35
4.3. PREMIERES SIMULATIONS EN REGIME TRANSITOIRE	36
5. Conclusion.....	41
6. Bibliographie	43

Liste des illustrations

Illustration 1 - Simplification de la géométrie du modèle des sables plio-quaternaires.....	11
Illustration 2 - Tableau des pourcentages du volume annuel affecté à chaque mois en fonction du type d'usage, de la localisation ou de l'aquifère exploité (adapté de SMEGREG, 2013).....	13
Illustration 3 - Communes considérées, pour la ventilation « AEP Littoral ».....	14
Illustration 4 - Tableau des pourcentages du volume annuel affecté à chaque mois en fonction du type d'usage, de la localisation ou de l'aquifère exploité (Source : BRGM - adapté de SMEGREG, 2013)	15
Illustration 5 - Pourcentages du volume annuel affecté à chaque mois en fonction du type d'usage, de la localisation ou de l'aquifère exploité (Source : BRGM - adapté de SMEGREG, 2013)	15
Illustration 6 - Évolution du volume annuel prélevé dans les formations plio-quaternaires - tout usage confondu - tout aquifère confondu (Source : BRGM)	16
Illustration 7 - Évolution du volume annuel prélevé dans les formations plio-quaternaires en fonction des usages - tout aquifère confondu (Source : BRGM).....	16
Illustration 8 - Schéma de fonctionnement du calcul de la recharge dans le module GARDÉNIA, intégré à MARTHE (Thiéry, 2014)	18
Illustration 9 - Bassins versants étudiés pour une estimation préalable de la recharge	18
Illustration 10 - Pluies efficaces annuelles moyennes SIM 1 et SIM 2 sur les 13 bassins versants étudiés.....	19
Illustration 11 - BFI calculés, pour les 13 bassins versants étudiés.....	21
Illustration 12 - BFI vs IDPR 2017, pour les 13 bassins versants étudiés.....	22
Illustration 13 - Pluies efficaces GARDÉNIA vs pluies efficaces SIM (version SIM1 à gauche, version SIM2 à droite).....	24
Illustration 14 - Ecoulements lents GARDÉNIA vs BFI	24
Illustration 15 - Résultats des modélisations globales GARDÉNIA.....	25
Illustration 16 - Résultats des modélisations globales GARDÉNIA, conduites en 2016, concernant les bassins de la Petite Leyre, du Canteloup et du Magescq (Saltel et al., 2016)	26
Illustration 17 - Répartition du nombre de mesures en fonction du code de la couche hydrogéologique (Source : BRGM)	27
Illustration 18 - Localisation des points de mesures ponctuelles de débits et des stations hydrométriques	28
Illustration 19 - Grille Safran (de Météo-France) appliquée sur l'emprise du modèle Plio-Quaternaire	29
Illustration 20 - Réserve en eau utile (RU) des horizons A et E, B, C, en fonction de leur texture seule, puis de leur texture et de leur densité (Bruand et al., 2004).....	30
Illustration 21 - Carte de RU obtenue à partir du Référentiel Régional Pédologique de l'INRA (à gauche) et zones de RDE après import dans MARTHE (à droite).....	31
Illustration 22 - IDPR 2017 au pas de 25 m (a), agrégé à l'échelle des entités BDLISA de niveau 2 (b) et de niveau 3 (c)	32
Illustration 23 - RIPE calculé d'après l'IDPR 2017 et forçages à dire d'expert (extrait de Le Cointe et al., 2019).....	33
Illustration 24 - Zones IDPR après import dans MARTHE selon les deux approches retenues	33
Illustration 25 - Zones de sol après import dans MARTHE	34

Illustration 26 - Ecart moyen entre niveaux simulés et niveaux observés au cours de la période 2000-2014 (en m), pour la couche 1 du modèle.....	37
Illustration 27 - Diagrammes de dispersion et quelques chroniques piézométriques des niveaux simulés pour les couches 1, 3 et 5.....	38
Illustration 28 - Ecart moyen entre débits simulés et débits observés au cours de la période 2000-2014	39
Illustration 29 - Débits simulés vs débits observés pour des cours d'eau du SAGE Leyre (2000-2014)....	40

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 convention régionale Eaux Souterraines 2008-2013.

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 a été adaptée depuis le modèle géologique, élaboré dans le cadre de la précédente convention régionale puis a été développée parallèlement au MONA-v4 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 en régime permanent ont permis de s'assurer du bon fonctionnement de l'outil malgré une construction de modèle non encore finalisée, les travaux de modélisation devant se focaliser par la suite 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 Nouvelle-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 au travers d'une campagne de mesures de terrain dans le territoire des Lacs médocains. À 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).

En troisième année de projet, 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 des possibles problèmes de convergence numérique du modèle, que pouvait générer leur intégration. 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, permettant d'obtenir de nouvelles mesures de débits au travers de la réalisation de jaugeages dans les territoires le long de l'estuaire de la Gironde, dans les cours d'eau en rive gauche de Garonne et le long de la façade sud-atlantique. En parallèle, la compilation des données de prélèvements a abouti à la reconstitution des chroniques annuelles de prélèvements, au cours de la période de 2000 à 2014, pour les usages AEP et industriels, dans 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, soit les volumes de 2 709 ouvrages, tous avec une chronique reconstituée pour la période 2000-2014. Au terme de cet exercice, la construction et le calage du modèle en régime permanent ont été poursuivis.

À l'issue de ces trois premières années, la poursuite du développement du modèle devait s'orienter vers un passage, dès cette année, au régime transitoire au pas de temps mensuel, pour l'ensemble du triangle landais, au cours de la période 2000 - 2014. Au préalable, il est apparu nécessaire d'adapter le modèle (réduction du nombre de couches en particulier) aux données existantes, notamment les données hydrogéologiques (informations piézométriques ou paramètres hydrodynamiques) ne distinguant pas chaque formation géologique. A noter que cet aménagement ne sera que peu préjudiciable, concernant les attentes en termes de connaissance du fonctionnement des nappes du Plio-Quaternaire. Par ailleurs, cela permet de limiter le temps de calcul et donc le temps de processus de calage, mais aussi d'assurer, *in fine*, une interopérabilité avec le MONA-v4.

Le présent rapport fait état de cette simplification, puis revient sur le passage cette année en régime transitoire mensuel, pour la période 2000-2014, depuis le traitement des données d'entrée et de sortie du modèle, jusqu'aux résultats des premières simulations.

2. Simplification du modèle

Dans sa version initiale, le modèle hydrodynamique conceptuel était composé de 17 couches (Illustration 1), élaborées à partir des 10 couches du modèle géologique initial.

La taille des mailles du modèle est de 500 m ; le maillage est identique à celui du modèle MONA-v4 lui-même en cours de développement. La surface topographique du modèle a été obtenue à partir du MNT au pas de 25 m de l'IGN : import des valeurs minimums dans les mailles rivière et des valeurs moyennes dans les autres mailles. Des relevés bathymétriques ont été intégrés pour la façade atlantique, le bassin d'Arcachon, l'estuaire de la Gironde et les principaux lacs.

2.1. REDUCTION DU NOMBRE DE COUCHES

La dernière année d'étude du modèle Plio-Quaternaire a fait apparaître qu'il était possible et nécessaire de simplifier la géométrie du modèle hydrogéologique conceptuel initial, en procédant au regroupement des couches 1 à 6 et des couches 13 à 17 (Illustration 1). Ces regroupements ont été effectués et le modèle est désormais constitué de 8 couches.

Le regroupement des 6 premières couches est justifié par les observations suivantes :

- Il n'est bien souvent pas possible de distinguer la ou les formations exploitées, ainsi que les niveaux piézométriques spécifiquement suivis par les piézomètres au sein de ces ensembles ;
- L'épaisseur de ces formations s'avère localement très faibles (< 10 cm), ce qui d'une part, ne représente pas d'intérêt à une échelle régionale et d'autre part, peut compliquer la convergence des calculs hydrodynamiques (mailles quasi-dénoyées) ;
- Pour ces couches, de nombreuses mailles sont isolées, elles n'échangent donc pas d'eau avec le reste de la formation géologique (au sein de la couche considérée).

Concernant le regroupement des dernières couches (couches 14 à 17 du précédent modèle), celles-ci étant issues du modèle MONA-v4 (charges hydrauliques à potentiel imposé), il n'apparaît pas nécessaire de les distinguer.

Version 1		Version 2
Couche 1	Dunes et Sables des Landes	Couche 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 2
Couche 8	Formation d'Onesse	Couche 3
Couche 9	TSP* Arengosse	Couche 4
Couche 10	Formation d'Arengosse	Couche 5
Couche 11	Glaises bigarrées	Couche 6
Couche 12	Sables Fauves semi-perméables	Couche 7
Couche 13	Helvétien	Couche 8
Couche 14	Eponte au sommet de l'Aquitainien	
Couche 15	Aquitainien	
Couche 16	Eponte Chattien-Miocène	
Couche 17	Oligocène	

Illustration 1 - Simplification de la géométrie du modèle des sables plio-quaternaires

2.2. DEVELOPPEMENT D'UN NOUVEAU MODELE

Pour des raisons pratiques, un nouveau modèle à 8 couches a finalement été élaboré. Les différents champs de données spatialisées ont été exportés de l'ancien modèle et importés dans le nouveau après différentes opérations, en fonction des paramètres concernés.

Les substratums des nouvelles couches 1 et 8 ont été déterminées à partir de la topographie et des épaisseurs cumulées des anciennes couches 1 à 6 et 13 à 17.

Concernant les charges hydrauliques initiales, nous avons veillé à conserver les valeurs de la couche supérieure pour chaque regroupement.

Enfin, une perméabilité équivalente aux couches regroupées a été calculée (pondération selon l'épaisseur de la couche). À ce stade, aucune anisotropie de perméabilité n'a été appliquée. Avec une succession de niveaux perméables et semi-perméables, l'ajustement d'un coefficient d'anisotropie entre perméabilité horizontale et perméabilité verticale pourra être étudié lors du calage en régime transitoire.

3. Préparation des fichiers du modèle en régime transitoire

Le développement du modèle Plio-Quaternaire en régime transitoire mensuel pour la période 2000-2014 requiert de préparer les fichiers d'entrée et de sortie du modèle pour chacun de ses 180 pas de temps. Une préparation minutieuse des données (prélèvements opérés dans les nappes du Plio-Quaternaire, piézométries observées et débits dans les cours d'eau ainsi que la recharge vers les nappes) s'avère donc nécessaire. Parfois, l'absence de données exhaustives impose des réflexions quant à la façon de prendre en compte ces données d'entrée et de sortie dans le modèle. Le chapitre suivant parcourt, pour chaque ensemble de données, les modes de préparation des fichiers et les réflexions ayant conduit à leur élaboration.

3.1. PRELEVEMENTS

Les travaux précédents (Cabaret et Vergnes, 2017) avaient permis de compiler les données de prélèvements annuels sur les nappes du Plio-Quaternaire en reconstituant tout d'abord, pour l'ensemble des ouvrages AEP et industriels, les chroniques entre 2000 et 2014. Dans un deuxième temps, ces chroniques ont été établies pour les ouvrages agricoles en Gironde, département bénéficiant historiquement d'une collecte des volumes prélevés faite par le BRGM directement auprès des exploitants, facilitant ainsi l'affectation de ces volumes aux ouvrages de la BSS. Les autres départements ne bénéficient pas encore de ce travail de rapprochement.

Pour les besoins d'une modélisation au pas de temps mensuel, il est nécessaire de répartir les prélèvements connus annuellement sur chaque mois. Selon les usages de l'eau (AEP, industriels ou encore agricoles), cette information est plus ou moins connue. En effet, généralement, seuls les exploitants AEP voire quelques industriels enregistrent les prélèvements effectués aux pas de temps horaires à journaliers. Une réflexion a donc été nécessaire quant à la manière d'aborder la ventilation mensuellement à partir d'informations annuelles.

La répartition des cumuls annuels en volumes mensuels a été réalisée en suivant les recommandations d'un document du SMEGREG¹ [« Note sur la ventilation mensuelle des prélèvements en Gironde », 2013]. Celui-ci permet de définir des pourcentages de prélèvement en fonction du type d'usage et de la localisation (Illustration 2).

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	SOMME
AEP Littoral	5,1	5,9	5,8	6	7,1	8,9	15,6	17,2	11,3	6,1	6	5	100,0
AEP hors littoral	7,6	7,3	7,6	7,8	8,2	9,8	10,1	10	9	8,2	7,4	7,2	100,2*
Agricole sable	0	0	0	2	6	18	30	32	10	2	0	0	100,0
Agricole profond	0	0	0	0,5	3	13	41	37	5	0,5	0	0	100,0
Industriel	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	100,0

**cette somme, indiquant un cumul de 100,2% et probablement liée à des arrondis à un chiffre après la virgule, a été corrigée pour les mois d'août et octobre (avec des valeurs respectivement ajustées à 10 et 8,1%)*

Illustration 2 - Tableau des pourcentages du volume annuel affecté à chaque mois en fonction du type d'usage, de la localisation ou de l'aquifère exploité (adapté de SMEGREG, 2013)

¹ SMEGREG : Syndicat Mixte d'Étude et de Gestion de la Ressource en Eau du département de la Gironde

Provenant de plusieurs producteurs de données, le fichier initial contenait d'autres catégories d'usage de la ressource (chauffage, eau individuelle, eau collective, pisciculture, etc.). Ces catégories ont été regroupées sous les appellations suivantes, pour lesquelles des répartitions mensuelles ont été retenues pour la modélisation (cf. Illustration 4) :

- « Agricole » regroupe les termes *Eau agricole* et *Eau irrigation*. Comme l'indique le document du SMEGREG (2013), il est nécessaire de conserver une distinction entre l'exploitation d'aquifères sableux (datant du Pliocène et Pléistocène) et ceux plus profonds (datant de l'Eocène, l'Oligocène et/ou du Miocène), nommés respectivement « Agricole sable » et « Agricole profond ». Pour ce second groupe, la sélection a été compliquée par l'existence de forages interceptant plusieurs horizons. Elle a été finalement réalisée à partir des catégories suivantes : *Belin & Aquitanien*, *Belin & Oligocène*, *Helvétien & Belin*, *Oligocène & Belin*, *terrasses anciennes & Oligocène*. Les forages agricoles atteignant les autres couches géologiques identifiées dans le fichier initial sont donc considérées comme « Agricole sable » ;
- « Eau Usage Individuel littoral » regroupe les usages suivants : *Chauffage*, *Eau pisciculture*, *Eau collective*, *Eau Service public*, *Eau-irrigation-eau cheptel-eau agricole-eau individuelle*, avec une distinction concernant les communes situées sur le littoral (Illustration 3). En Gironde, 7 communes sont concernées. Elles sont 55 dans les Landes. Les pourcentages appliqués mensuellement sont de « AEP Littoral » ;
- « Eau Usage Individuel hors littoral » regroupe les mêmes usages que le groupe précédent mais ne concerne que les communes éloignées du littoral. Les pourcentages appliqués mensuellement sont ceux de l'« AEP hors littoral ».

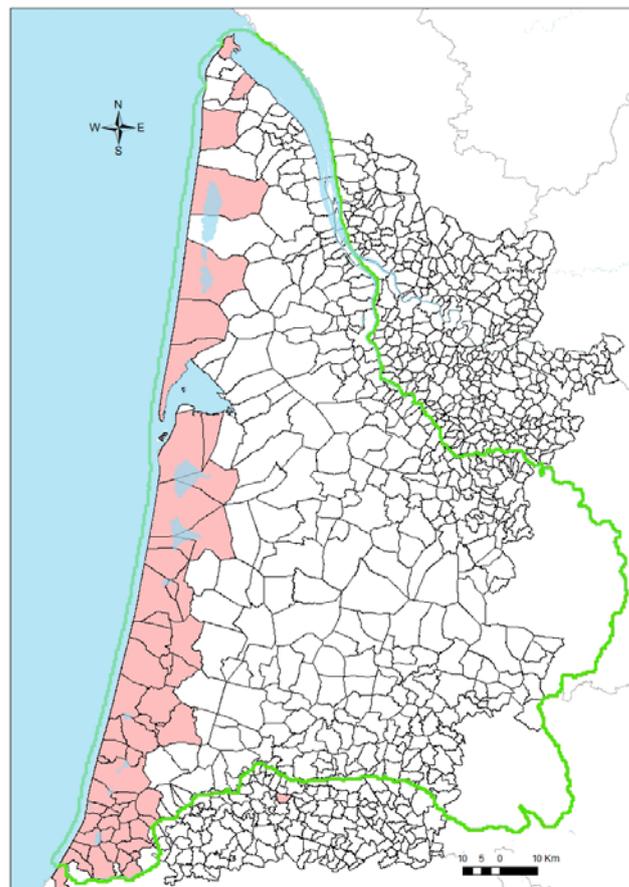


Illustration 3 - Communes considérées, pour la ventilation « AEP Littoral »

Après modifications, le tableau des pourcentages utilisés pour la modélisation est le suivant :

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	SOMME
AEP Littoral	5,1	5,9	5,8	6	7,1	8,9	15,6	17,2	11,3	6,1	6	5	100
AEP hors littoral	7,6	7,3	7,6	7,8	8,2	9,8	10	10	9	8,1	7,4	7,2	100
Agricole sable	0	0	0	2	6	18	30	32	10	2	0	0	100
Agricole profond	0	0	0	0,5	3	13	41	37	5	0,5	0	0	100
Industriel	8,33	8,33	8,33	8,33	8,3	8,3	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	100
Eau Usage Individuel littoral	5,1	5,9	5,8	6	7,1	8,9	15,6	17,2	11,3	6,1	6	5	100
Eau Usage Individuel hors littoral	7,6	7,3	7,6	7,8	8,2	9,8	10	10	9	8,1	7,4	7,2	100

Illustration 4 - Tableau des pourcentages du volume annuel affecté à chaque mois en fonction du type d'usage, de la localisation ou de l'aquifère exploité (Source : BRGM - adapté de SMEGREG, 2013)

Cette répartition peut également être illustrée sous forme graphique (Illustration 5), mettant ainsi en évidence la stabilité des prélèvements pour les usages « AEP hors littoral », « Industriel », « Eau Usage Individuel hors littoral » à l'échelle annuelle. Les variations sont conséquentes pour les usages « AEP littoral » et « Eau Usage Individuel littoral », sans pour autant égaler celles pour les usages « Agricole sable » et « Agricole profond » (plus de 60% du volume annuel prélevé durant les mois de juillet et août).

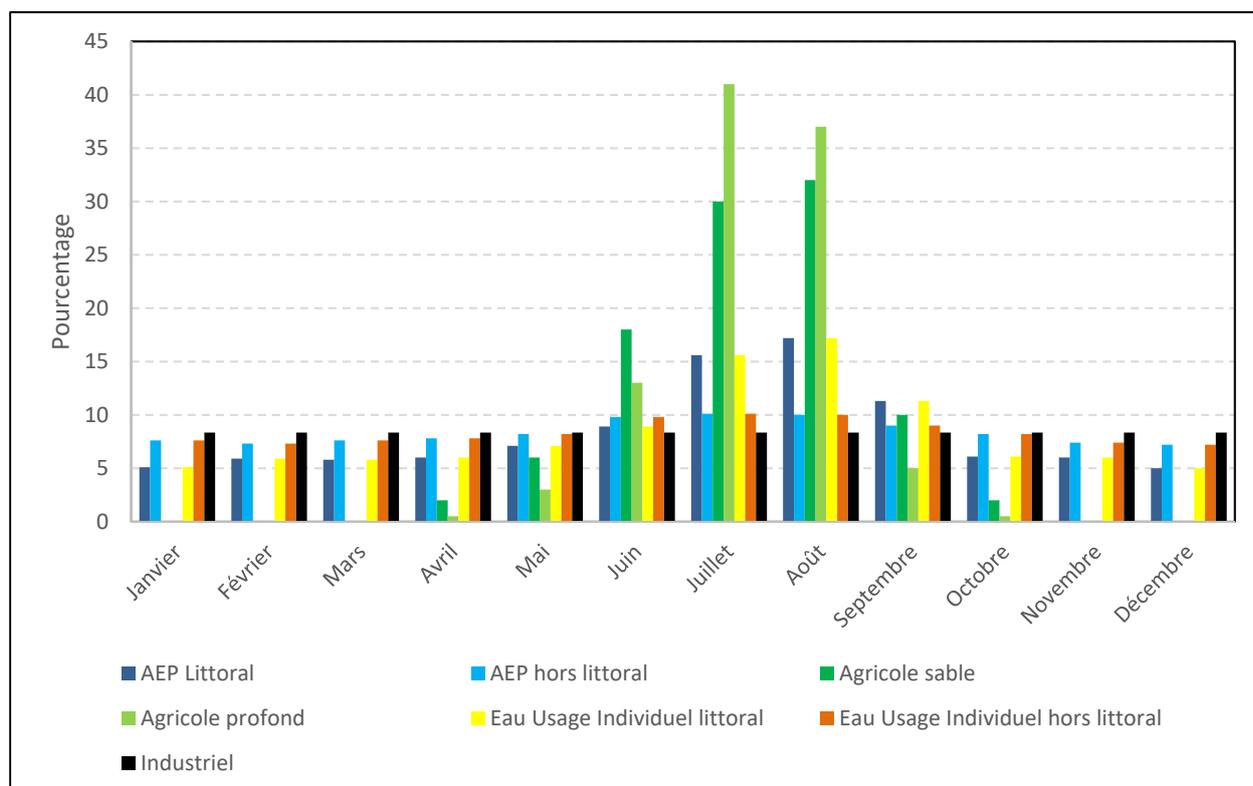


Illustration 5 - Pourcentages du volume annuel affecté à chaque mois en fonction du type d'usage, de la localisation ou de l'aquifère exploité (Source : BRGM - adapté de SMEGREG, 2013)

L'évolution interannuelle des prélèvements (Illustration 6) fait apparaître deux maxima identifiés pour les années 2005 (environ 118 Mm³) et 2010 (environ 117 Mm³) (Illustration 6) ; identiques à ceux indiqués dans le rapport précédent (Cabaret et Vergnes, 2017). Concernant la répartition par usage, il apparaît clairement que l'eau à usage agricole représente la part la plus importante (Illustration 7). Au cours de la période 2000-2014, elle couvre ainsi de 72 à 82% du total. Par ordre décroissant d'importance viennent ensuite l'eau à usage industriel (6 à 17 %) et l'adduction d'eau potable (7 à 12%). Les autres usages (chauffage, pisciculture, etc.) sont clairement minoritaires : leur cumul représente chaque année moins de 2% des prélèvements.

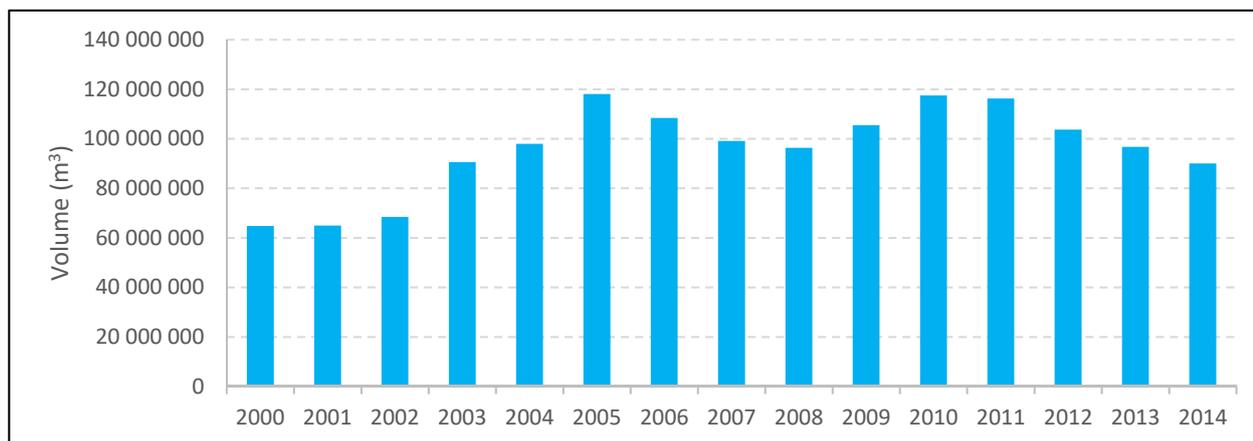


Illustration 6 - Évolution du volume annuel prélevé dans les formations plio-quaternaires - tout usage confondu - tout aquifère confondu (Source : BRGM)

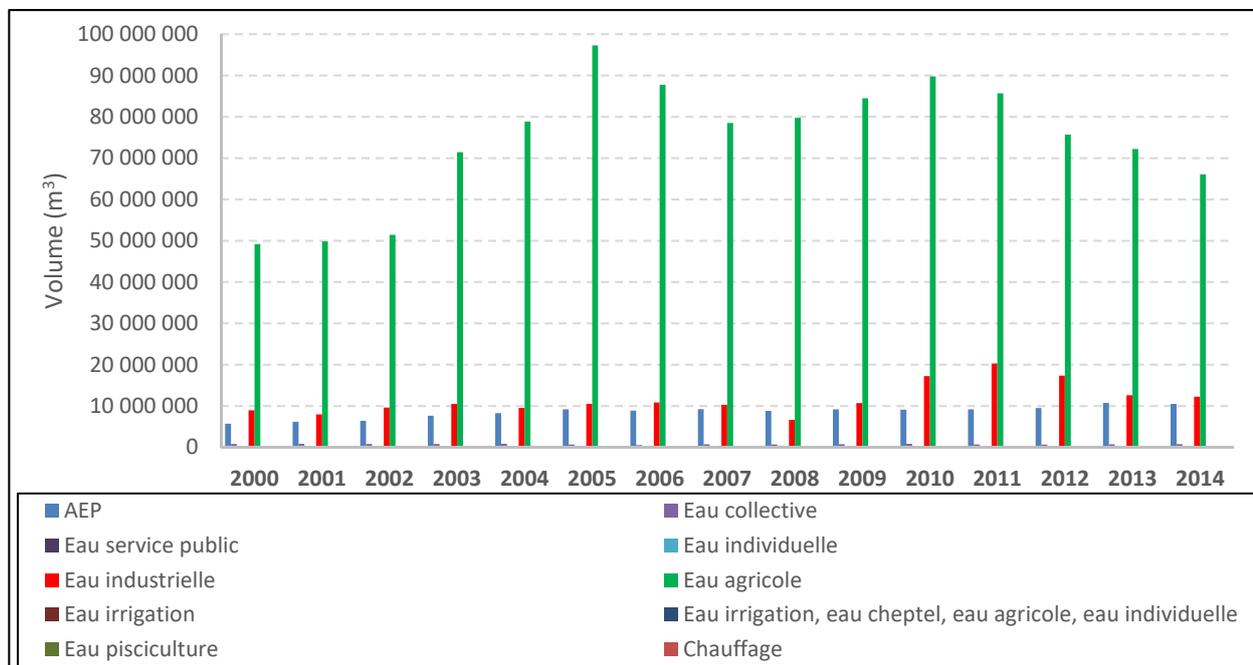


Illustration 7 - Évolution du volume annuel prélevé dans les formations plio-quaternaires en fonction des usages - tout aquifère confondu (Source : BRGM)

3.2. RECHARGE

Dans le cadre du développement des différents modèles (modèle Mio-Plio-Quaternaire et MONA-v4), les modalités d'intégration de la recharge ne s'avèrent plus satisfaisantes (5 stations météorologiques, répartition selon les polygones de Thiessen, utilisation de RU inappropriée, ...) et une prise en compte plus robuste de la recharge s'impose avant de passer à un calage en régime transitoire.

Deux pistes principales d'amélioration de la prise en compte de la recharge ont été identifiées : 1) le principe de calcul et 2) la spatialisation des données climatiques et de la recharge, cette dernière étant abordée dans le chapitre 4.

3.2.1. Principe de calcul

Il a été décidé de calculer les bilans hydroclimatiques à partir du module GARDÉNIA intégré à MARTHE. Cette méthode, visant à calculer au sein du modèle les pluies efficaces et sa partition entre ruissellement et infiltration, et couplée à une modélisation explicite du réseau hydrographique, est en effet l'approche la plus complète pour modéliser les systèmes aquifères régionaux (Barthélémy et al., 2016).

Une telle approche nécessite d'intégrer au modèle :

- **des zones météorologiques** associées à des chroniques de pluie et d'ETP. Pour ce faire, la grille Safran² de Météo-France est utilisée (cf. § 4.1.1) ;
- **des zones de sol** (cf. § 4.1.2) sur lesquelles sont définies la Réserve Disponible pour l'Evapotranspiration (RDE) pour les premiers mètres du sol (autrement appelé réserve utile) et de deux paramètres qui permettent la répartition des pluies efficaces entre écoulement rapide (ruissellement) et écoulement lent (infiltration) : la hauteur d'équi-répartition entre écoulement rapide et percolation (NRUIP, Illustration 8) et le temps de demi-percolation du réservoir représentant la zone non saturée (TPERC, Illustration 8).

La définition de ces zones est détaillée dans le quatrième chapitre, dédié à la poursuite des travaux de modélisation (cf. § 4.1).

Le module GARDÉNIA utilise le principe des modèles réservoirs (Illustration 8) :

- Un premier réservoir U (capacité de rétention du sol) modélise la partie supérieure du sol, sa hauteur maximale est fixée par la RDE. Il se vidange ou se remplit suivant la pluie et l'ETP. L'alimentation du réservoir H sous-jacent est possible lorsque la capacité de rétention en eau du sol est atteinte ;
- Un second réservoir H modélise la zone non saturée au-dessus du niveau de nappe. Il est alimenté par le réservoir U et se vidange par percolation dans le réservoir souterrain (aquifère) suivant une loi exponentielle de constante de temps TPERC ($ALIM_{aquifère} = H \cdot dt / TPERC$) et par ruissellement suivant le paramètre NRUIP. Ce dernier permet de rendre compte du déphasage entre la pluie et la recharge effective de la nappe, associé à la traversée de la zone non saturée.

² Système d'analyse à mésoéchelle de variables atmosphériques près de la surface. Il utilise des observations de surface, combinées à des données d'analyse de modèles météorologiques pour produire 7 paramètres (température, humidité, vent, précipitations solides et liquides, rayonnement solaire et infrarouge incident) au pas de temps horaire. Ces paramètres sont analysés par pas de 300m d'altitude puis interpolés sur une grille de calcul régulière (8 x 8 km).

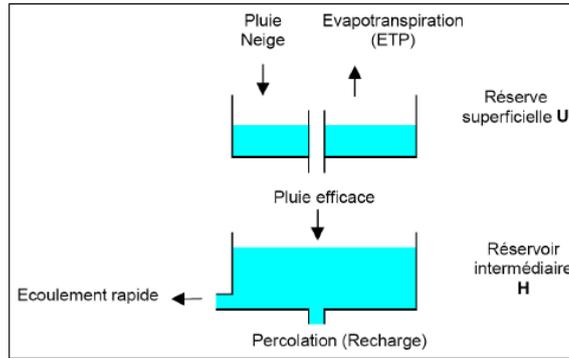


Illustration 8 - Schéma de fonctionnement du calcul de la recharge dans le module GARDENIA, intégré à MARTHE (Thiéry, 2014)

Les trois paramètres (RDE, TPERC et NRUIP) devront donc être ajustés lors du calage du modèle maillé en régime transitoire. Un premier jeu de données est cependant introduit à partir de modélisations globales pluie-niveau-débit et pluie-débit réalisées de façon préliminaire avec le code de calcul GARDÉNIA (cf. § 3.2.3).

3.2.2. Estimation préliminaire des pluies efficaces et de la recharge

Outre les modèles, spatialisés ou globaux, à l'échelle des aquifères, plusieurs méthodes existent pour le calcul de la recharge, chacune avec ses limitations et son domaine d'application spatial et temporel. Préalablement à la configuration du calcul hydro-climatique dans le modèle maillé, une estimation des pluies efficaces et de la recharge a été mise en œuvre sur 13 bassins versants. L'illustration 9 présente les caractéristiques géographiques et géologiques de chacun d'eux. Les bassins drainés par les stations de jaugeage ont été délimités sous ArcGis. Du point de vue des affleurements géologiques, les bassins sont essentiellement couverts par les sables plio-quaternaires (> 90 %), à l'exception de la Jalle de Ludon (65 %), du Céron (78 %) et de l'Estrigon (81 %).

Code Station	Bassin versant	Superficie (km²)	Géologie dominante	Sables PlioQ (%)
O9564010	Le Ciron à Préchac	804	Landes et Castets (27%), Onesse et Belin (39%), Arengosse (12%) + sables verts et fauves (13%) + Molasses du Miocène (9%)	78%
O9785310	La Jalle de Ludon à Pian-Médoc	22	Onesse et Belin (65%) + Calcaires et Dolomies Hettangien-Sinemurien (27%)	65%
Q2364010	L'Estampon à Arue	398	Landes et Castets (26%), Onesse et Belin (47%), Arengosse (19%) + sables verts et fauves (7%)	92%
Q2544310	L'Estrigon à Cère	222	Landes et Castets (11%), Onesse et Belin (46%), Arengosse (24%) + Glaises bigarrées et argiles du Miocène sup. (14%)	81%
S1205110	La Matouse à Hourtin	19	Landes et Castets (13%), Onesse et Belin (84%)	97%
S2134010	La Petite Leyre à Belhade	416	Landes et Castets (10%), Onesse et Belin (77%), Arengosse (9%)	96%
S2224610	Le Grand Arriou à Moustey	117	Onesse et Belin (80%), Arengosse (10%) + Glaises bigarrées et argiles du Miocène sup. (10%)	90%
S2235610	Le Bouron à Belin-Béliet	31	Landes et Castets (19%), Onesse et Belin (81%)	100%
S2242510	L'Eyre à Salles	1603	Landes et Castets (54%), Onesse et Belin (36%), Arengosse (5%)	95%
S2275110	Le Tagon à Biganos	17	Landes et Castets (75%), Onesse et Belin (15%) + argiles de Brach (10%)	90%
S3124310	Le Nassey à Parentis-en-Born	152	Landes et Castets (100%)	100%
S3214010	Le Canteloup à Saint-Paul-en-Born	165	Landes et Castets (99%)	99%
S4214010	Le Magescq à Magescq	68	Landes et Castets (93%)	93%

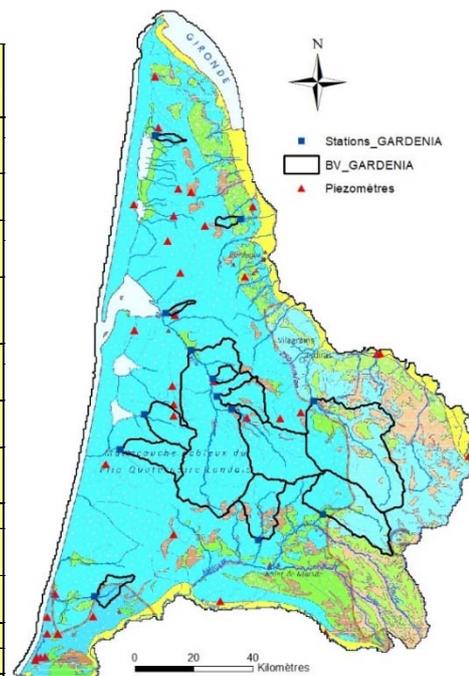


Illustration 9 - Bassins versants étudiés pour une estimation préalable de la recharge

a) *Pluies efficaces SIM*

Dans un premier temps, les pluies efficaces annuelles moyennes (période 1981-2015) ont été calculées à l'échelle des 13 bassins versants, à partir des données journalières de pluie efficace, issues de la chaîne de modélisation hydro-météorologique Safran-ISBA-MODCOU (SIM), développée par Météo-France en partenariat avec l'UMR-Sisyphé et l'Ecole des Mines de Paris (grille de 8 km x 8 km).

La chaîne SIM, activée en mode opérationnel depuis 2003, a évolué pour changer de version en 2016 et devenir SIM 2. Les principales évolutions sont :

- une mise à jour du MNT impactant localement les variables météorologiques en sortie de Safran ;
- une correction apportée sur le rayonnement infrarouge incident impactant les paramètres températures, précipitations, humidité et rayonnement ;
- une nouvelle version du code ISBA (sol discrétisé en 14 couches contre 3 précédemment).

Les deux versions de SIM (SIM 1 et SIM 2) ont été analysées. Des différences notables sont observées, avec des valeurs SIM 2 significativement supérieures à celles de SIM 1 pour les 13 bassins étudiés (Illustration 10).

Pour SIM 1, les précipitations efficaces annuelles moyennes varient entre 228 mm/an (bassin du Ciron à Préchac) et 509 mm/an (bassin du Magescq à Magescq, situé le plus au sud). Pour SIM 2, elles varient entre 354 et 599 mm/an.

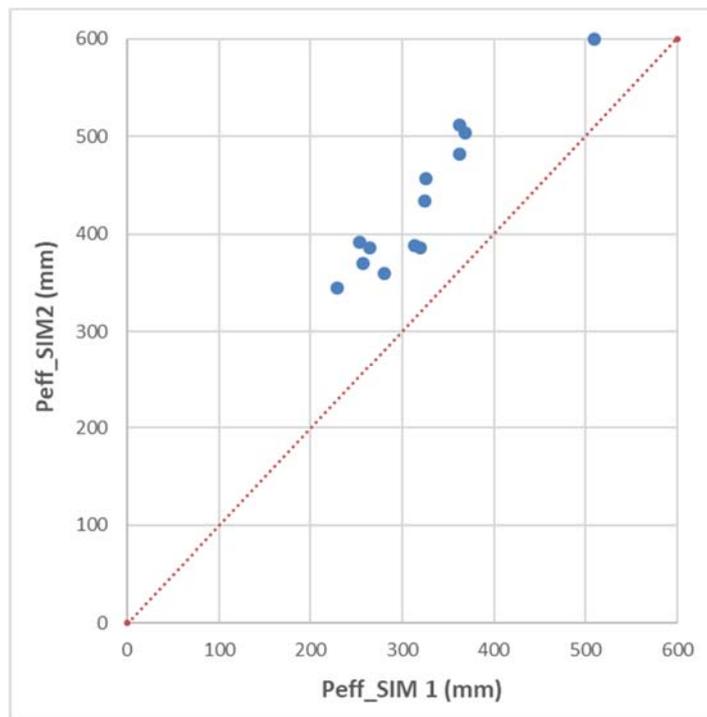


Illustration 10 - Pluies efficaces annuelles moyennes SIM 1 et SIM 2 sur les 13 bassins versants étudiés

b) Base Flow Index (BFI)

La méthode du BFI part de l'analyse de l'hydrogramme d'un cours d'eau, pour obtenir la part du débit du cours d'eau qui provient de la nappe connectée au cours d'eau, part que l'on appelle écoulement de base ("base flow") et qui permet, dans certaines conditions, d'accéder à la recharge. Le concept de BFI a été introduit au début des années 1980 en Angleterre (Centre for Ecology & Hydrology, CEH, Wallingford).

L'index varie de 0,15 pour des bassins très peu perméables avec des cours d'eau réagissant très rapidement à plus de 0,95 pour des bassins à forte capacité d'infiltration et des régimes d'écoulement relativement réguliers.

Le BFI est le rapport entre le débit de base d'un cours d'eau Q_b et le débit total moyen Q , calculé sur une assez longue période. Si, sur cette période, la variation de stock est négligeable, il reste, du bilan global des flux (en supposant un bassin souterrain \approx coïncidence avec un bassin versant) : $\text{Infiltration} = Q_b + Q_{\text{pompages}}$.

Et si les prélèvements sont peu importants, une estimation de la recharge est alors fournie par l'écoulement de base.

Enfin, cette approche implique que la pluie efficace moyenne sur la période considérée soit en totalité à l'origine du débit moyen Q du cours d'eau sur cette période, ce qui suppose un bassin "fermé" et un cours d'eau en régime naturel.

Il est important de garder à l'esprit les hypothèses et approximations afférentes à l'utilisation du BFI et, par conséquent, l'incertitude sur les valeurs de recharge qui en sont déduites.

Les chroniques de débits utilisées pour le calcul sont issues de la banque HYDRO puis les calculs ont été réalisés par l'intermédiaire du logiciel ESPERE (ESTimation de la Pluie Efficace et de la Recharge selon différentes méthodes), développé par le BRGM sous MS Excel (en libre accès : <http://www.brgm.fr/production-scientifique/logiciels-scientifiques/espere-estimation-pluie-efficace-recharge-selon>).

Les BFI varient entre 0.54 pour le bassin versant de la Jalle de Ludon et 0.92 pour le Magescq (Illustration 11). Il faut noter que le bassin de Jalle est le moins couvert par les sables plio-quaternaires. Les autres formations présentes à l'affleurement sur ce dernier sont les calcaires et dolomies de l'Hettangien-Sinémurien, *a priori* moins infiltrantes.

Si on exclut de l'analyse ce bassin moins représentatif des sables plio-quaternaires, la moyenne des BFI calculé est de 0.80, ce qui peut se traduire par une infiltration moyenne de 80 % des pluies efficaces sur la base des hypothèses évoquées précédemment.

A l'instar de la Jalle de Ludon, les BFI les plus faibles concernent les bassins présentant une part plus importante de formations peu perméables à l'affleurement : l'Estrigon avec 13 % de glaises bigarrées (BFI=0.79), le Grand Arriou avec 10 % de glaises bigarrées (BFI=0.73) et le Tagon avec 10 % d'argiles de Brach (BFI=0.62).

En revanche, le BFI calculé pour la Matouse ne semble pas en cohérence avec ces observations (0.57 pour 97 % de sables plio-quaternaires à l'affleurement). Pour celui-ci, il faut souligner que sa superficie est particulièrement faible (19 km²) et que le calage d'un modèle GARDENIA s'est avéré insatisfaisant (cf. § suivant).

Pour le reste, tous les BFI sont supérieurs à 0.80. L'approche de la recharge par le BFI met bien en évidence le caractère infiltrant des sables plio-quaternaires.

Code Station	Bassin versant	Superficie (km²)	Géologie dominante	Sables PlioQ (%)	BFI_Wallingford			
					Période	Min	Max	Moy
O9564010	Le Ciron à Préchac	804	Landes et Castets (27%), Onesse et Belin (39%), Arengosse (12%) + sables verts et fauves (13%) + Molasses du Miocène (9%)	78%	2002-2017	0.77 (2009)	0.96 (2011)	0.86
O9785310	La Jalle de Ludon à Pian-Médoc	22	Onesse et Belin (65%) + Calcaires et Dolomies Hettangien-Sinémurien (27%)	65%	1995-2017	0.37 (2016)	0.87 (2017)	0.54
Q2364010	L'Estampon à Arue	398	Landes et Castets (26%), Onesse et Belin (47%), Arengosse (19%) + sables verts et fauves (7%)	92%	1996-2017	0.67 (2012)	0.94 (2002)	0.82
Q2544310	L'Estrigon à Cère	222	Landes et Castets (11%), Onesse et Belin (46%), Arengosse (24%) + Glaises bigarrées et argiles du Miocène sup. (14%)	81%	1995-2017	0.69 (2000)	0.92 (2002, 2011)	0.79
S1205110	La Matouse à Hourtin	19	Landes et Castets (13%), Onesse et Belin (84%)	97%	1990-2013	0.37 (1994)	0.72 (1996)	0.57
S2134010	La Petite Leyre à Belhade	416	Landes et Castets (10%), Onesse et Belin (77%), Arengosse (9%)	96%	1996-2016	0.69 (2009)	0.93 (2002)	0.80
S2224610	Le Grand Arriou à Moustey	117	Onesse et Belin (80%), Arengosse (10%) + Glaises bigarrées et argiles du Miocène sup. (10%)	90%	1995-2017	0.61 (1996)	0.89 (2011)	0.73
S2235610	Le Bouron à Belin-Béliet	31	Landes et Castets (19%), Onesse et Belin (81%)	100%	1995-2017	0.60 (2014)	0.97 (2002)	0.83
S2242510	L'Eyre à Salles	1603	Landes et Castets (54%), Onesse et Belin (36%), Arengosse (5%)	95%	1995-2017	0.70 (2013)	0.94 (2002, 2011)	0.82
S2275110	Le Tagon à Biganos	17	Landes et Castets (75%), Onesse et Belin (15%) + argiles de Brach (10%)	90%	1997-2005	0.55 (2003)	0.81 (2000)	0.62
S3124310	Le Nasseys à Parentis-en-Born	152	Landes et Castets (100%)	100%	1995-2017	0.66 (2014)	0.93 (2002, 2011)	0.81
S3214010	Le Canteloup à Saint-Paul-en-Born	165	Landes et Castets (99%)	99%	1995-2017	0.76 (1998)	0.92 (2002)	0.82
S4214010	Le Magescq à Magescq	68	Landes et Castets (93%)	93%	1995-2017	0.87 (2000, 2015)	0.97 (2007)	0.92

Illustration 11 - BFI calculés, pour les 13 bassins versants étudiés

Différents travaux du BRGM ont mis en évidence une relation approximativement linéaire entre BFI et IDPR en domaine sédimentaire hors formations karstiques (Seguin, 2016 ; Arnaud, 2017 ; Le Cointe et al., 2019). La droite de régression linéaire jusqu'alors obtenue est reportée sur le graphique suivant (cf. série *relation BFI_IDPR sedim*, Illustration 12).

Comme déjà avancé dans les études précédentes sur le bassin Adour-Garonne, cette relation ne s'applique pas aux sables plio-quaternaires (Le Cointe et al., 2019).

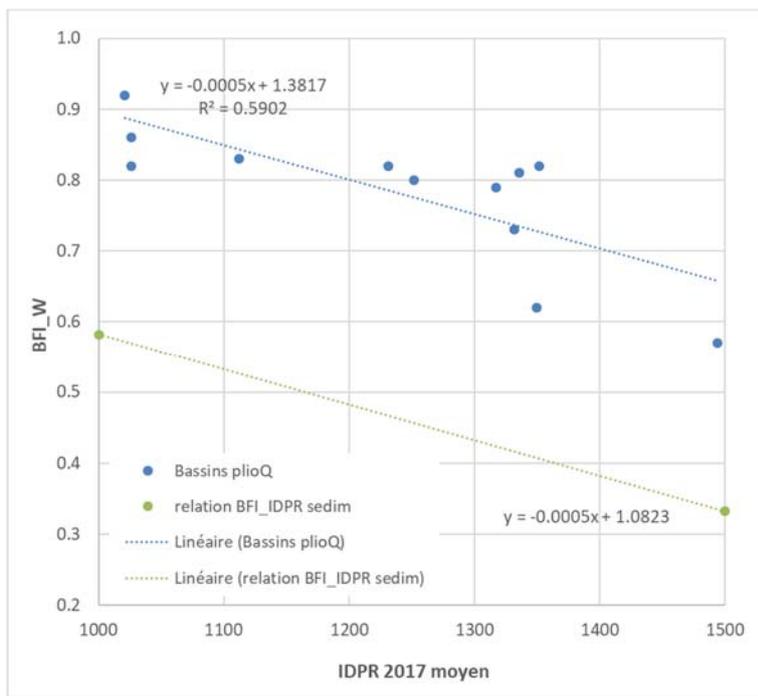


Illustration 12 - BFI vs IDPR 2017, pour les 13 bassins versants étudiés

Dans un contexte de topographie très plane et de réseau hydrographique fortement anthropisé (réseau de fossés de drainage, appelés crastes), l'IDPR ne semble pas adapté pour discriminer le caractère plus ou moins infiltrant des sables plio-quaternaires. En effet, la méthode de calcul de l'IDPR s'appuie sur la comparaison d'un réseau hydrographique théorique (obtenu du MNT) et du réseau réel. Sur le triangle landais, le réseau hydrographique, notamment dans le Médoc, apparaît dense mais n'est en réalité pas naturel, engendrant ainsi un biais dans le calcul de l'IDPR et surestimant le caractère ruisselant des formations plio-quaternaires.

Par ailleurs, le calcul des BFI montre des valeurs assez homogènes d'un bassin à l'autre, ce qui pourrait plaider pour un fonctionnement relativement homogène du point de vue de la partition infiltration / ruissellement.

Pour le reste des formations géologiques rencontrées sur l'emprise du modèle plio-quaternaire, il reste pertinent d'utiliser l'IDPR pour spatialiser les paramètres NRUIP et TPERC. Comme discuté plus loin (§ 4.1.2), une étude spécifique sur le bassin Adour-Garonne a en effet mis en évidence l'intérêt de cartographier la recharge via la relation BFI/IDPR (hors sables plio-quaternaires).

3.2.3. Modélisation globale GARDÉNIA

Pour chacun des bassins versants précédents, une modélisation globale pluie-débit a été mise en œuvre avec le logiciel GARDÉNIA. Trois d'entre eux ont pu faire l'objet d'une modélisation pluie-niveau piézométrique-débit : La Petite Leyre, Le Nasseys et l'Eyres.

Dans le cadre du développement du modèle MONA, des modélisations globales du même type ont été réalisées par Saltel et al. (2016). Concernant les sables plio-quaternaires, quatre bassins versants avaient été étudiés via l'élaboration de modèles pluie-débit : la Petite Leyre, le Magescq, le Canteloup et la Garroueyre. Ce dernier n'a pas été traité dans le cadre de la présente étude.

La dernière version du logiciel (GARDÉNIA V8.6) a été utilisée, elle permet de considérer en entrée les précipitations et ETP journalières de la grille Safran. Il suffit de préciser les numéros de mailles couvrant le bassin versant modélisé et les superficies intersectées. A noter que dans l'étude de Saltel et al. (2016), une seule maille Safran par bassin versant était utilisée en entrée des modèles.

a) Résultats

Les superficies renseignées sont celles calculées sous ArcGis.

Dans un premier temps, les calages ont été réalisés sans autoriser de débits d'échange avec l'extérieur, c'est-à-dire des débits non contrôlés à la station hydrométrique (sous écoulement via les nappes alluviales, les nappes sous-jacentes, les prélèvements, ...). Dans l'ensemble, les calages sont de bonne qualité, avec des coefficients d'ajustement des débits compris entre 0.81 et 0.95 (coefficient de corrélation), à l'exception du modèle de la Matouse à Hourtin (0.7).

Les pluies efficaces simulées ont été contrôlées en confrontant le module du débit simulé au module du débit observé. Pour 4 bassins versants, cet écart apparaît important (> 10 %) : le Ciron, l'Estampon, la Matouse et le Grand Arriou.

Pour ces derniers, le calage a pu être amélioré par un débit sortant : il reste acceptable (< 1/3 du module observé) sauf pour la Matouse où celui-ci apparaît bien trop important pour parvenir à retranscrire les débits. Pour ce dernier, seule une optimisation de la superficie du bassin (de 19 à 10 km²) permet de caler le modèle. Sans plus de justification, le calage du modèle pluie-débit de la Matouse à Hourtin n'est à ce stade pas recevable.

Une des principales limites de ces modélisations est la non prise en compte des prélèvements, qui peut, en partie seulement, expliquer la nécessité de recourir à un débit sortant pour caler certains modèles.

L'illustration 15 récapitule les résultats des différentes modélisations et les valeurs des paramètres hydro-climatiques résultants. Dans la suite des discussions, ne sont analysés que les résultats des bassins versants présentant une superficie supérieure à 30 km², cela se justifie notamment par les incertitudes liées au MNT dans la zone d'étude et donc à la délimitation de ces petites entités (exclusion de la Jalle de Ludon, la Matouse et le Tagon).

Les **pluies efficaces** issues des modélisation GARDÉNIA varient entre 209 mm/an (Le Ciron) et 478 mm/an (Le Magescq) pour une valeur moyenne de 322 mm/an. On constate qu'elles sont très similaires aux pluies efficaces issues de la chaîne de modélisation SIM 1 (Illustration 13) ; au contraire, elles apparaissent inférieures aux valeurs issues de SIM 2. Les modélisations GARDÉNIA plaident donc en faveur de SIM 1 pour la zone d'étude.

La **contribution moyenne des eaux souterraines aux écoulements des rivières** apparaît plus faible que celle appréhendée via le calcul du BFI. Aucune correspondance ne semble se dessiner entre les deux approches (Illustration 14). Les pourcentages d'infiltration issus des modélisations GARDÉNIA s'avèrent notamment beaucoup plus disparates : entre 34 % (le Canteloup) et 79 % (le Nassey) pour une infiltration moyenne de 59 % (contre 82 % pour les mêmes bassins avec le BFI).

Il faut noter que dans le contexte des sables plio-quaternaires, il est possible que l'écoulement rapide simulé par GARDÉNIA puisse correspondre à un ruissellement lié à un refus à l'infiltration dans le cas de terrains saturés en eau (cf. Saltel et al., 2016). Cela pourrait expliquer les différences entre les deux approches.

La **Réserve Disponible pour l'Evapotranspiration (RDE)** est ajustée lors de la phase de calage pour générer une pluie efficace qui soit en adéquation avec le module du débit du cours d'eau. Cet ajustement a été effectué en considérant la possibilité d'une génération de pluie efficace en l'absence d'une saturation complète de la RDE (cf. paramètre RU_prog de GARDÉNIA, illustration 15). Les valeurs obtenues s'échelonnent entre 287 mm (le Canteloup) et 553 mm (l'Estrigon) pour une valeur moyenne de 415 mm. 80 % des valeurs obtenues sont comprises entre 300 et 500 mm.

Ces valeurs de RDE sont supérieures à celles classiquement rencontrées dans les modèles hydrogéologiques (entre 50 et 300 mm) et montrent la nécessité de poursuivre les investigations afin de comprendre ces variations. Plusieurs explications, pouvant se combiner entre elles, sont possibles :

- Dans plusieurs secteurs, l'ETP Safran s'étant avérée inférieure à l'ETP mesurée au sol, la pluie efficace calculée devient plus importante et peut alors nécessiter de considérer une RDE plus importante afin de simuler correctement les débits.
- L'ETP fournie par Météo-France correspond à un gazon, aussi, il n'est pas exclu que l'ETP relative à une culture de pins soit plus forte (la possibilité d'une transpiration via le système racinaire est à l'étude, en collaboration avec l'INRA).
- L'impact de l'occupation du sol resterait également à étudier, bassin versant par bassin versant.

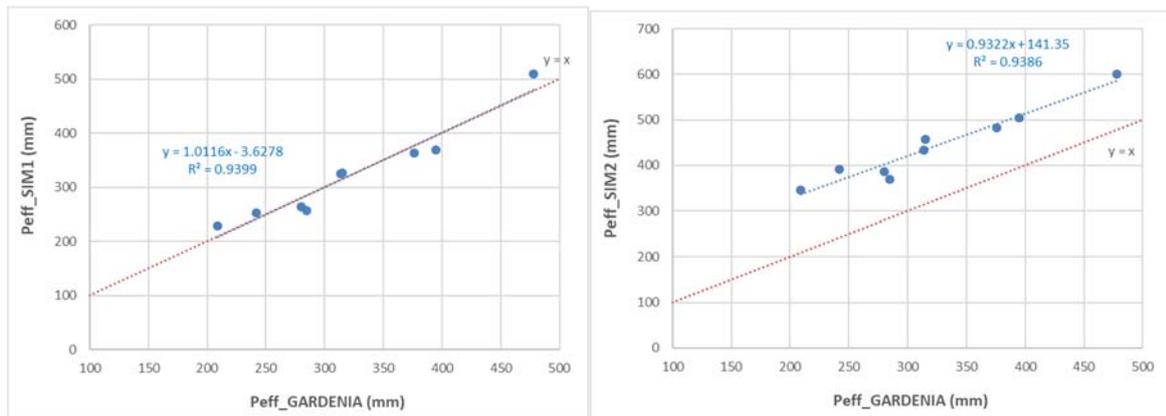


Illustration 13 - Pluies efficaces GARDÉNIA vs pluies efficaces SIM (version SIM1 à gauche, version SIM2 à droite)

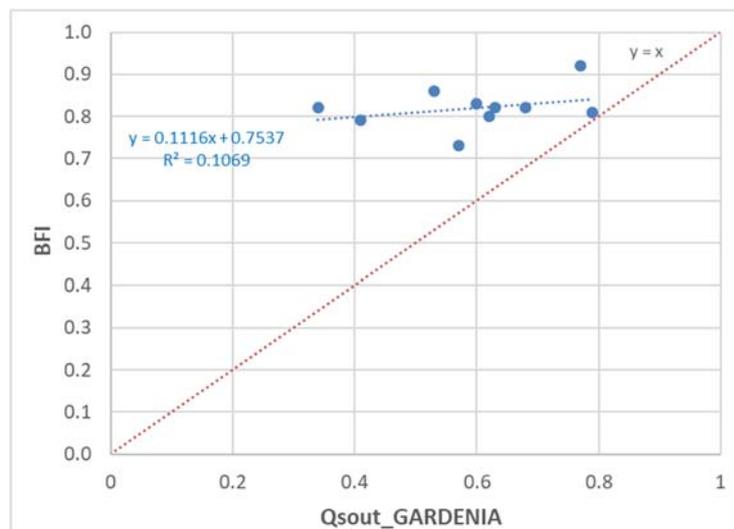


Illustration 14 - Ecoulements lents GARDÉNIA vs BFI

Bassin versant	Superficie (km ²)	Qj_moy (m ³ /s)	Os_moy (L/s/km ²)	Modélisations GARDÉNIA										Commentaires
				Modèle	Opti. surface	Opt. Gext	RU_prog (mm)	RUIPER (mm)	T1/2_perco (mois)	Peff_GARD ENA (mm)	Osout_GAR DENIA (%)	Coef ajustement _Q	Coef ajustement _NP	
Le Ciron à Préchac	804	4.075	5.1	Pluie-Q	non	oui	459	32	1.7	209	0.53	0.93	-	Gext = -1.35 m ³ /s (63% du module)
La Jalle de Ludon à Pian-Médoc	22	0.122	5.5	Pluie-Q	non	non	345	2	1.6	180	0.15	0.85	-	écart sur le module de 2.8%
L'Estampion à Aue	398	2.773	7.0	Pluie-Q	non	oui	391	46	0.8	285	0.63	0.93	-	Gext = -0.84 m ³ /s (30% du module)
L'Estrigon à Cère	222	1.845	8.3	Pluie-Q	non	non	553	15	1.1	280	0.41	0.95	-	écart sur le module de 8.2%
La Matouse à Hourtin	19	0.066	3.5	Pluie-Q	oui	oui	327	12	0.5	267	0.44	0.9	-	Gext = -0.016 m ³ /s (24% du module) / Sur: De 19 à 10 km ²
La Petite Leyre à Belhade	416	3.26	7.8	Pluie-Q-NP	non	oui	494	35	0.6	314	0.62	0.92	0.79	Gext = -0.88 m ³ /s (27% du module) / S=0.03
Le Grand Arrou à Moustey	117	0.87	7.4	Pluie-Q	non	oui	354	37	0.8	327	0.57	0.93	-	Gext = -0.36 m ³ /s (41% du module)
Le Bouron à Belin-Béliet	31	0.236	7.7	Pluie-Q	non	non	403	22	0.5	242	0.6	0.89	-	écart sur le module de 1.1%
L'Eyre à Salles	1603	15.377	9.6	Pluie-Q-NP	non	non	485	40	0.4	315	0.68	0.93	0.78	S=0.033
Le Tagon à Biganos	17	0.153	9.1	Pluie-Q	non	non	237	4	3.1	288	0.14	0.93	-	écart sur le module de 1.8%
Le Nasseys à Parentis-en-Born	152	1.446	9.5	Pluie-Q-NP	non	non	363	84	0.3	376	79	0.84	0.91	écart sur le module de 25% S=0.049 (contraint)
Le Canteloup à Saint-Paul-en-Born	165	2.124	12.9	Pluie-Q	non	non	287	29	2.6	395	0.34	0.94	-	écart sur le module de 3.9%
Le Magescq à Magescq	68	1.005	14.9	Pluie-Q	non	non	363	213	0.9	478	0.77	0.81	-	écart sur le module de 2.8%

Illustration 15 - Résultats des modélisations globales GARDÉNIA

Le **temps de demi-percolation** varie entre 0.3 mois (le Nasseys) et 2.6 mois (le Canteloup), pour une valeur moyenne de 1 mois (Illustration 15). Sept bassins versants sur dix présentent un temps de demi-percolation inférieur à 1 mois. Cela traduit globalement des circulations souterraines relativement rapides au sein des sables plio-quaternaires.

Le caractère plus ou moins infiltrant des formations affleurantes est géré dans le logiciel par la **hauteur de répartition entre ruissellement et percolation** (paramètre NRUIP). Plus sa valeur est élevée, plus le bassin versant modélisé est infiltrant. Les valeurs varient entre 15 mm (l'Estrigon) et 213 mm (le Magescq), pour une valeur moyenne de 55 mm. Le caractère infiltrant du bassin avait déjà été mis en évidence par Saltel et al. (2016). 80 % des bassins présentent un NRUIP inférieur à 50 mm.

Après le Magescq, le bassin le plus infiltrant serait celui du Nasseys (NRUIP = 84 mm). Il faut noter que ces deux bassins sont représentés à l'affleurement de façon quasi-exclusive par les sables des Landes et de Castets. Cette observation ne suffit cependant pas à établir une relation entre lithologie et NRUIP, non vérifiée pour le reste. Les valeurs obtenues ne sont pas non plus clairement corrélées aux valeurs de l'IDPR moyen. Il est rappelé que les sables plio-quaternaires du triangle landais ne constituent pas un contexte favorable à l'utilisation de l'IDPR (nappe sub-affleurante, réseau hydrographique fortement anthropisé, précision MNT).

b) Comparaison avec les modélisations antérieures

Tout d'abord, pour les trois bassins communément étudiés (Petite Leyre, Canteloup et Magescq), l'ETP spatialisée s'avère plus importante que l'ETP de la seule maille Safran retenue en 2016. Ainsi, à paramètres de calage équivalents, l'ETR annuel moyen est supérieure et les pluies efficaces annuelles moyennes sont inférieures dans le cas des modèles avec données d'entrée spatialisées. Il faut noter que cette différence n'est pas observée pour la pluie.

Pour les bassins du Canteloup et du Magescq, même si les superficies diffèrent légèrement et si les périodes de simulation ne sont pas les mêmes, les résultats des deux études sont finalement très proches après optimisation des paramètres de calage (cf. Illustration 16). C'est notamment le cas des partitions écoulement lent / écoulement rapide calculés.

Pour le bassin de la Petite Leyre, la comparaison est plus délicate car un modèle pluie-niveau-débit a été utilisé dans le cadre de la présente étude. Les résultats sont donc ici sensiblement différents, en particulier pour ce qui concerne la RDE, bien plus importante dans le modèle pluie-niveau-débit avec les données d'entrée spatialisées. Dans les deux cas, il a été nécessaire de prendre en compte un débit sortant important (environ 30% du module), ce qui amène à considérer avec précaution les résultats, sans plus de justification.

La modélisation effectuée sur la Garroueyre a abouti à une valeur de RDE de 247 mm. Saltel et al. (2016) mettait ainsi en évidence une diminution de la RDE du sud vers le nord. Ce point n'est pas confirmé avec le traitement de bassins versants supplémentaires.

Bassin versant	Superficie (km ²)	Modélisations GARDENIA								Commentaires
		Opti. Qext	RU_prog (mm)	RUIPER (mm)	T1/2_perco (mois)	Peff_GARD ENIA (mm)	Qsout_GAR DENIA (%)	Coeff ajustement Q	Coeff ajustement NP	
La Petite Leyre à Belhade	403	oui	295	48	1.4	372	0.51	0.89	-	Qext = -1.1 m3/s (32% du module)
Le Canteloup à Saint-Paul-en-Born	155	oui	290	31	2.7	428	0.33	0.87	-	Qext=0.05 m3/s (2% du module)
Le Magescq à Magescq	60	oui	340	158	0.9	524	0.72	0.72	-	Qext=0.07 m3/s 6% du module)
La Garroueyre à Carcans	33		247	14	2.1		0.29	0.85	-	

Illustration 16 - Résultats des modélisations globales GARDENIA, conduites en 2016, concernant les bassins de la Petite Leyre, du Canteloup et du Magescq (Saltel et al., 2016)

c) Conclusions

La forte hétérogénéité des résultats des modélisations GARDENIA, notamment en termes de partition écoulement lent / écoulement rapide, pourrait traduire deux spécificités de la zone d'étude qu'il conviendrait d'étudier plus précisément :

- d'une part, le comportement particulier des sables landais vis-à-vis de l'infiltration, à savoir une capacité d'infiltration réelle qui peut s'avérer notablement différente de la capacité d'infiltration potentielle. En effet, une fois les terrains saturés, un refus à l'infiltration est observé. Ce phénomène devra être reproduit autant que possible par le modèle MARTHE ;
- d'autre part, la forte densité du réseau de drainage (crastes, noues) vient augmenter la part du ruissellement (écoulement rapide).

Par ailleurs, l'impact des cultures de pins sur l'ETP reste à étudier, une collaboration avec l'INRA a été initiée en ce sens.

3.3. PIEZOMETRIE

Dans le cadre de cette modélisation, les données piézométriques sont issues d'observations bancarisées dans ADES³, ainsi que de campagnes piézométriques ponctuelles réalisées, pour la majeure partie d'entre elles, dans le cadre du module « Plio-Quaternaire / relations nappes-rivières-étangs » des conventions régionales Eaux souterraines.

Une base de données regroupant toutes ces mesures a été réalisée. Elle inclut 860 ouvrages dont 31 ne possèdent pas de code BSS. Cette base ne contient que les données des campagnes piézométriques ponctuelles. Pour les besoins du modèle hydrogéologique, les niveaux piézométriques sont affectés à la couche ou les couches captée(s) par le forage. Une simplification du modèle ayant été réalisée, un ajustement a donc dû être apporté par rapport aux précédents développements. Suite aux différentes modifications, 593 (sur 860) ouvrages disposent d'un code de couche. Les autres ouvrages ne peuvent donc temporairement pas être pris en compte.

Ces 593 ouvrages permettent de disposer de 144 143 mesures pour la période 2000-2014. Les mesures sont réparties de la façon suivante :

N° entité hydrogéologique	Nom de l'entité hydrogéologique	nombre de mesures
1	Sable des Landes, Alluvions, Formations de Castets et Belin	89 257
2	TSP* Onesse	0
3	Formation d'Onesse	1 787
4	TSP* Arengosse	0
5	Formation d'Arengosse	12 770
6	Glaises bigarrées	3
7	Sables Fauves semi-perméables	7 601
8	Nappes du Tertiaire (Miocène et Oligocène)	32 725

Illustration 17 - Répartition du nombre de mesures en fonction du code de la couche hydrogéologique (Source : BRGM)

*TSP : Toit Semi-Perméable

³ ADES : banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines, rassemblant sur un site internet public www.ades.eaufrance.fr des données quantitatives et qualitatives relatives aux eaux souterraines

Le nombre de mesures disponible pour la couche hydrogéologique n°1 est élevé et à mettre en regard avec le fait que celle-ci regroupe 6 couches géologiques distinctes. Il en est de même pour la couche n°8 (5 couches regroupées).

Il est à noter que des mesures piézométriques complémentaires ont été réalisées sur des secteurs en défaut d'informations, notamment l'estuaire de la Gironde. Ces mesures ayant été faites dans le cadre du module Plio-Quaternaire entre 2015 et 2017, donc en dehors de la période modélisée actuellement, elles ne peuvent servir pour le moment à contraindre directement le modèle hydrodynamique dans ces secteurs. Toutefois, la régularité des niveaux et des alternances entre hautes et basses eaux pour les nappes dans la région, permet d'envisager l'utilisation de ces mesures pour vérifier la cohérence des niveaux simulés.

3.4. HYDROLOGIE

Les mesures de débit (en m³/s) ont deux origines : la banque Hydro⁴ et la synthèse des données bibliographiques réalisée lors des phases précédentes. Si les données récupérées de la banque hydro correspondent à la moyenne mensuelle, les données de la bibliographie sont davantage des mesures ponctuelles correspondant à 20 campagnes étalées entre avril 2006 et mars 2017 (avec des localisations différentes). Seules 15 d'entre elles concernent la période allant de 2000 à 2014. Afin de pouvoir les intégrer au modèle, les données ponctuelles journalières ont été assimilées à la moyenne mensuelle (comme celles issues de la banque HYDRO). Les données de la banque Hydro représentent 136 stations, réparties sur les 4 départements. Concernant les données issues de la bibliographie, il y a 158 points de mesure (Illustration 18).

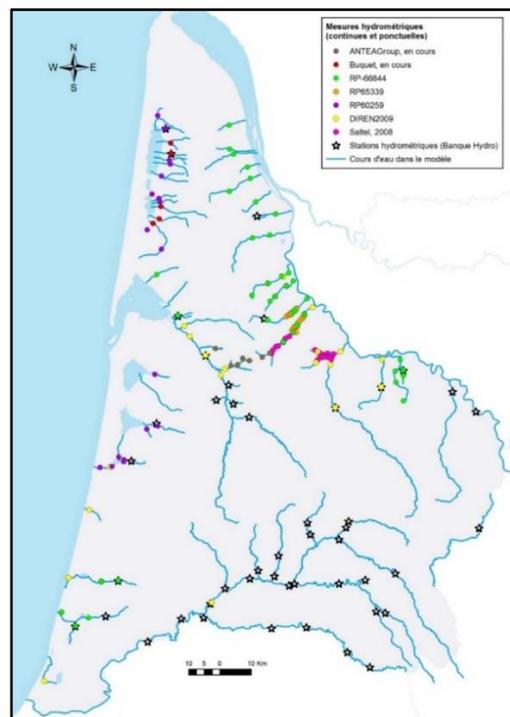


Illustration 18 - Localisation des points de mesures ponctuelles de débits et des stations hydrométriques

⁴ La banque HYDRO stocke les mesures de hauteur d'eau/débit (à pas de temps variable) en provenance d'environ 5 000 stations de mesure (dont environ 3 200 sont actuellement en service) implantées sur les cours d'eau français et permet un accès aux données signalétiques des stations (finalité, localisation précise, qualité des mesures, historique, données disponibles...).

4. Poursuite des travaux de modélisation

Le présent chapitre s'attache à décrire les différentes évolutions apportées au modèle du Plio-Quaternaire durant cette quatrième année de développement.

4.1. CALCUL HYDROCLIMATIQUE

4.1.1. Zones météorologiques

Les données climatiques en entrée du modèle ne reposent plus sur des stations au sol mais sur les précipitations et ETP journalières issues de la grille nationale **Safran** développée par Météo-France (mailles 8 km x 8 km).

Le modèle est couvert par 318 mailles Safran (Illustration 19), soit 318 zones météorologiques au sens du logiciel MARTHE. Dans une zone météorologique, toutes les mailles du modèle reçoivent les mêmes précipitations et les mêmes ETP : 318 chroniques journalières de pluie et 318 d'ETP sont ainsi lues en entrée du modèle.

Le modèle a été reconfiguré pour permettre cette nouvelle spatialisation des précipitations et des ETP.

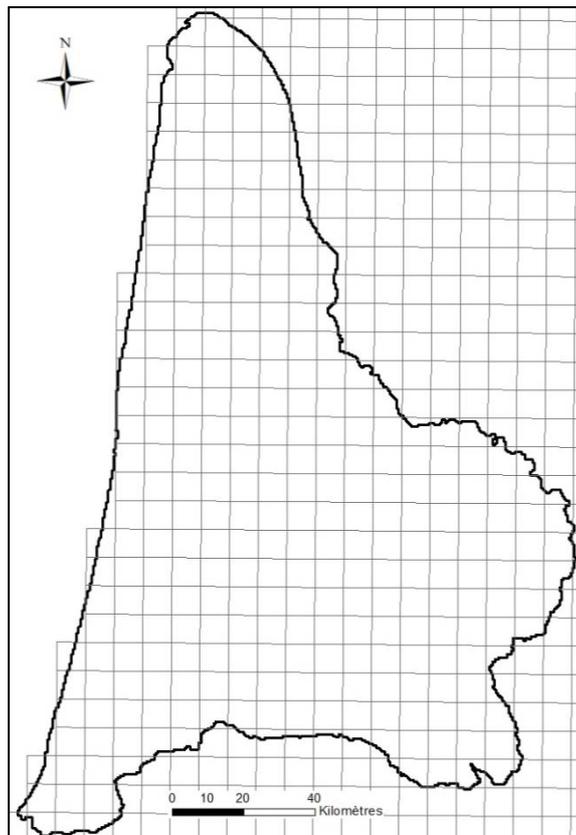


Illustration 19 - Grille Safran (de Météo-France) appliquée sur l'emprise du modèle Plio-Quaternaire

4.1.2. Zones de sol et paramètres associés

La méthode retenue pour la détermination des zones de sol est similaire à celle développée par le BRGM pour les besoins des modèles hydrodynamiques du Poitou-Charentes (Doez et al., 2015). Il faut noter que les réflexions méthodologiques ont été menées conjointement avec celles portant sur le développement du modèle MONA-v4.

Les nouvelles zones de sol ont été obtenues après croisement de zones de réserve utile homogène et de zones d'IDPR⁵ homogène. D'un point de vue conceptuel, les premières visent à spatialiser le paramètre RDE tandis que les secondes permettent de spatialiser les paramètres TPER et NRUIP (cf. § 3.2.2).

a) Zones de RDE

Dans le cadre d'un conventionnement avec l'INRA, les systèmes d'information géographique associés aux Référentiels Régionaux Pédologiques (RRP) couvrant l'emprise des modèles plio-quaternaire et MONA ont été mis à disposition du BRGM. À partir des informations sur la granulométrie et l'épaisseur des différentes unités de sol cartographiées, la réserve utile (RU) a été calculée par application de la fonction de pédo-transfert de Bruand et al., 2004. La densité apparente des sols, peu renseignée dans les base de données RRP, n'a pas été prise en compte (Illustration 20).

Type d'horizon	Texture	Réserve en eau en mm cm ⁻¹				
		Sans prise en compte de Da		Da horizon	Avec prise en compte de Da	
		$\theta_{1,5} - \theta_{4,2}$ (pF 1,5 - pF 4,2)	$\theta_{2,0} - \theta_{4,2}$ (pF 2,0 - pF 4,2)		$\theta_{1,5} - \theta_{4,2}$ (pF 1,5 - pF 4,2)	$\theta_{2,0} - \theta_{4,2}$ (pF 2,0 - pF 4,2)
A	ALO	1,42	1,24	1,10	1,53	1,30
				1,30	1,56	1,31
	AL	1,49	1,36	1,30	1,53	1,41
				1,50	1,50	1,41
	AS	1,73	1,73	1,30	1,80	1,58
	A	-	-	-	-	-
	LA	1,88	1,73	1,30	1,81	1,71
				1,50	1,85	1,76
	LAS	1,82	1,67	1,30	1,84	1,72
				1,50	1,73	1,67
	LSA	1,63	1,43	1,50	1,55	1,48
	LM	2,28	2,13	1,30	2,37	2,26
				1,50	2,33	2,19
	LMS	1,94	1,83	1,30	1,98	1,83
				1,50	2,00	1,92
	LS	1,73	1,62	1,70	1,77	1,72
LLS	-	-	-	-	-	
LL	-	-	-	-	-	
SA	1,47	1,28	1,70	1,52	1,34	
SL	1,74	1,31	1,50	1,57	1,28	
			1,70	1,89	1,49	
S	0,83	0,60	1,30	1,00	0,72	
			1,50	0,72	0,49	
E, B, C	ALO	1,24	1,12	1,25	1,67	1,49
				1,35	1,25	1,04
				1,45	1,23	1,12
				1,55	1,01	0,93
				1,65	0,75	0,68
	AL	1,29	1,13	1,35	1,42	1,26
				1,45	1,30	1,20
				1,55	1,27	1,11
				1,65	1,14	1,04
	AS	1,15	0,95	1,55	1,28	1,10
				1,65	1,15	1,01
				1,75	0,98	0,85
	A	1,10	0,93	1,65	1,18	1,07
				1,75	0,96	0,87
	LA	1,68	1,49	1,45	1,81	1,55
				1,55	1,78	1,57
LAS	1,65	1,48	1,55	1,68	1,44	
			1,65	1,63	1,50	
LSA	1,50	1,27	1,55	1,41	1,08	
			1,65	1,48	1,24	
LM	2,15	2,07	1,55	2,42	2,36	
LMS	2,19	1,96	1,55	2,11	1,80	
LS	-	-	-	-	-	
LLS	-	-	-	-	-	
LL	-	-	-	-	-	
SA	1,26	1,03	1,65	1,34	1,07	
SL	1,55	1,16	1,55	1,74	1,44	
S	1,27	0,73	1,65	1,32	0,92	

Illustration 20 - Réserve en eau utile (RU) des horizons A et E, B, C, en fonction de leur texture seule, puis de leur texture et de leur densité (Bruand et al., 2004)

⁵ Indice de Développement et de Persistance des Réseaux, créé par le BRGM pour qualifier l'aptitude du sous-sol à laisser s'infiltrer l'eau

Même s'il est rappelé que la RDE est conceptuellement différente de la notion de RU employée en agronomie et qui est définie comme la différence entre le volume d'eau contenu dans le sol à la capacité de rétention et le volume d'eau restant au point de flétrissement, il est admis que les cartes de RU peuvent servir de base pour la définition des zones de RDE utilisées pour le calcul de la recharge à l'aide du module GARDÉNIA dans MARTHE. Les valeurs de RDE et RU peuvent en revanche différer de façon significative.

Afin de spatialiser la RDE, quatre classes de RU ont été considérées (< 70 mm, 70-120, 120-170, > 170 mm). Cela aboutit à quatre zones numérotées de 1 à 4, ainsi qu'à une zone correspondant aux zones urbaines, lacs, etc. (Illustration 21).

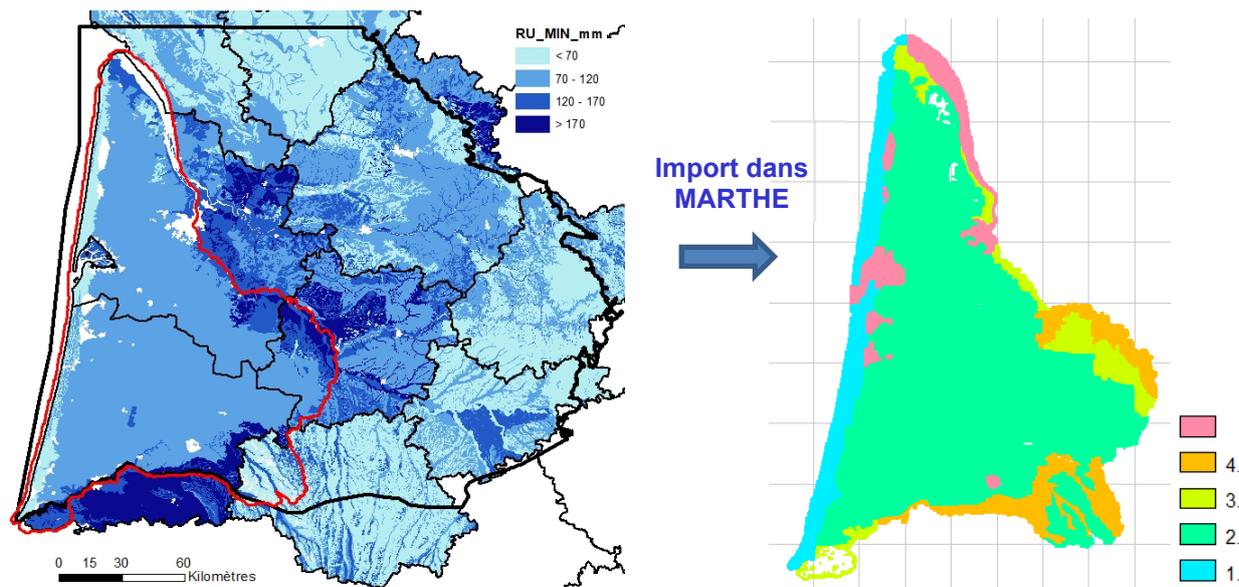


Illustration 21 - Carte de RU obtenue à partir du Référentiel Régional Pédologique de l'INRA (à gauche) et zones de RDE après import dans MARTHE (à droite)

b) Zones IDPR

La version 2017 de l'IDPR a été utilisée (pas de 25 m). Dans un premier temps, les valeurs de l'IDPR ont été agrégées selon les entités BDLISA de niveau 2 et de niveau 3 (Illustration 22). Le niveau 3 peut permettre de mieux distinguer les différents corps sableux du Plio-Quaternaire.

Deux approches ont finalement été suivies :

- La première repose sur la création de zones d'IDPR homogènes s'appuyant sur les entités de la BDLISA (niveau 3 pour les formations sableuses du Plio-Quaternaire et niveau 2 pour le reste). Cette spatialisation conduit à la définition de 8 zones distinctes (Illustration 24) ;
- La seconde se base sur les travaux réalisés dans le cadre de l'Etat des lieux DCE du bassin Adour-Garonne (Le Cointe et al., 2019). Pour spatialiser la recharge à l'échelle de ce dernier, une cartographie du RIPE (Ratio d'infiltration de Pluie Efficace) a été proposée après élaboration d'une table de correspondance entre BFI et IDPR à l'échelle nationale et enrichie sur le bassin Adour-Garonne. Dans les secteurs où les résultats n'étaient pas en adéquation avec les connaissances d'experts locaux, des forçages ont été proposés (cf. carte finale, Illustration 26). Cette spatialisation conduit à la définition de 5 zones distinctes.

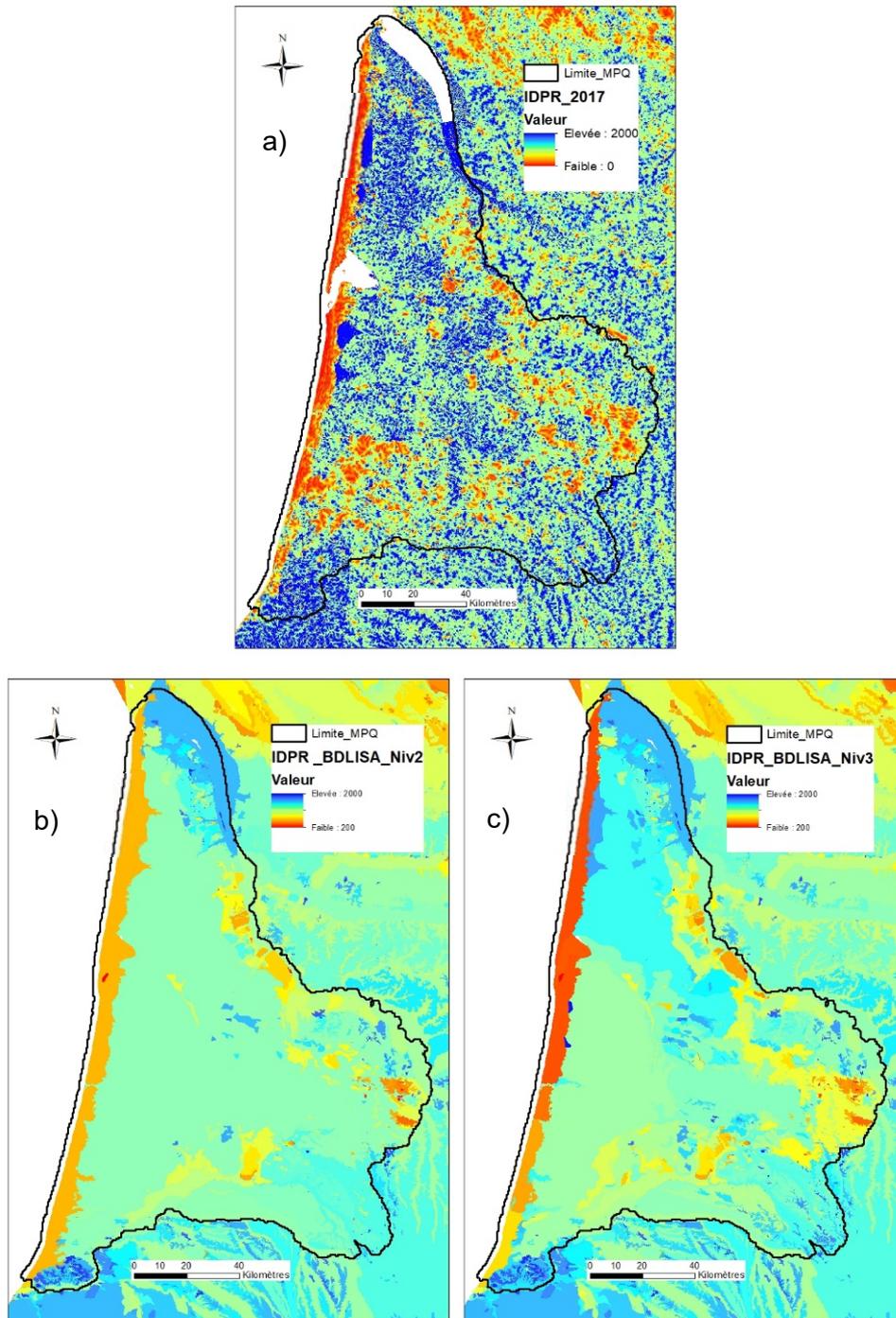


Illustration 22 - IDPR 2017 au pas de 25 m (a), agrégé à l'échelle des entités BDLISA de niveau 2 (b) et de niveau 3 (c)

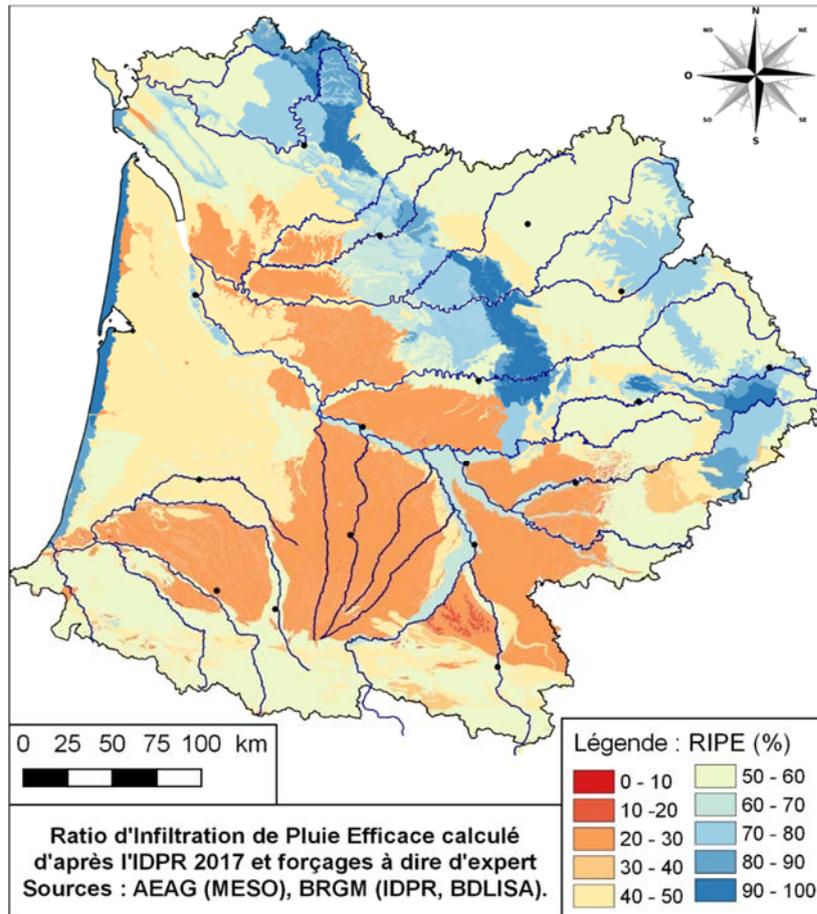


Illustration 23 - RIPE calculé d'après l'IDPR 2017 et forçages à dire d'expert (extrait de Le Cointe et al., 2019)

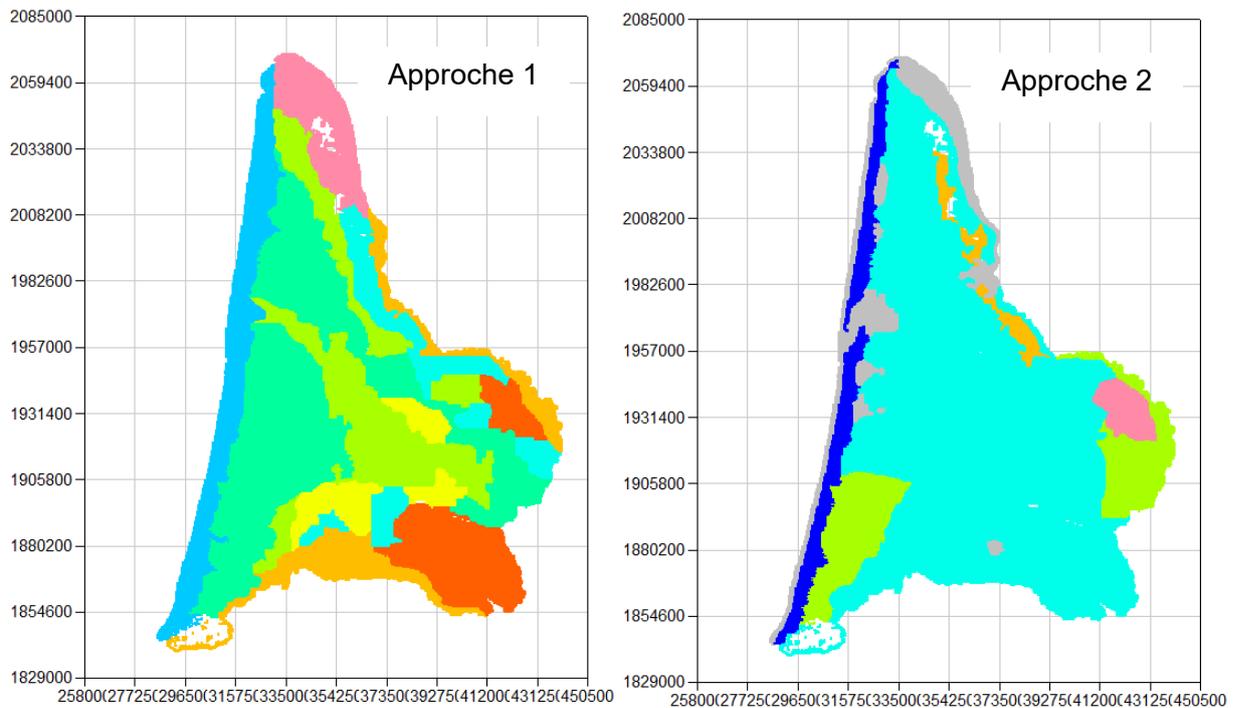


Illustration 24 - Zones IDPR après import dans MARTHE selon les deux approches retenues

c) Zones de sol

Après croisement des zones RDE et des zones IDPR, 21 zones de sol sont obtenues dans le cadre de la première approche et 11 pour la seconde (Illustration 25). En périphérie du modèle, les résultats sont très proches, la principale différence concerne le triangle landais où la première approche conduit à une zonation plus fine mais difficile à justifier au regard des estimations de recharge réalisées de façon préliminaire (cf. § 3.2).

En définitive, comme discuté précédemment, le contexte des sables plio-quaternaires n'étant pas favorable à l'utilisation de l'IDPR, il a été décidé de retenir en première approche les résultats de la seconde approche. En effet, celle-ci fait ressortir un fonctionnement homogène des sables vis-à-vis de la recharge, à l'image des BFI calculés précédemment (cf. § 3.2.2).

Le cas échéant, il sera bien entendu possible de revenir à cette première approche lors de la phase de calage du modèle en régime transitoire si celle-ci s'avère plus adaptée à la retranscription des niveaux piézométriques et des débits de rivières.

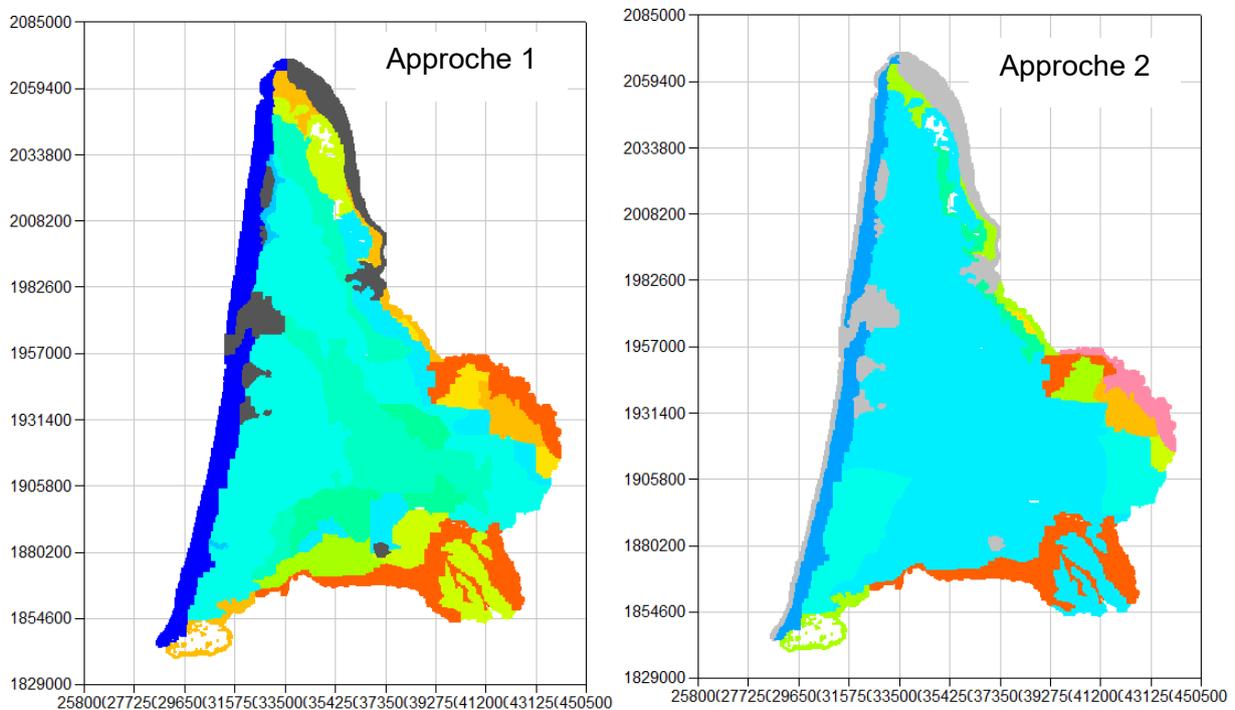


Illustration 25 - Zones de sol après import dans MARTHE

4.2. CONFIGURATION DU MODELE EN REGIME TRANSITOIRE

4.2.1. Fichier des pas de temps

Au regard des données disponibles, le fichier des pas de temps du modèle a été construit au pas de temps journalier. Le calcul du bilan hydro-climatique (ruissellement + recharge) est réalisé au pas de temps journalier tandis que l'hydrodynamique (écoulements souterrains + débits de rivière) est calculé au pas de temps mensuel à ce stade.

Le recours à un calcul hydro-climatique au pas de temps journalier n'est pas pénalisant du point de vue du temps de calcul puisque celui-ci est avant tout induit par les calculs hydrodynamiques.

Le modèle couvre pour l'instant la période du 01/08/1999 au 31/12/2014, soit 5 632 pas de temps journaliers et 185 pas de temps mensuels. Le démarrage au 01/08/1999 s'explique par la structure des fichiers Safran fournis par Météo-France (fichiers annuels du 01/08 au 31/07).

Dans cette configuration, si l'inertie de l'hydrosystème le justifie, il sera tout à fait possible de réduire le pas de temps des calculs hydrodynamiques à l'avenir (hebdomadaires par exemple).

A partir de la compilation des données de prélèvements réalisée en 2018 (cf. § 3.1), des fichiers de prélèvements mensuels ont été générés pour la période 2000-2014. Ceux-ci sont appelés au premier jour de chaque mois dans le fichier des pas de temps.

4.2.2. Coefficients d'emmagasinement

De façon à initier les simulations en régime transitoire, les coefficients d'emmagasinement ont été renseignés de façon uniforme : 1 % pour l'emmagasinement en nappe libre et 1.10^{-5} (sans dimension) en nappe captive.

Ceux-ci devront être ajustés lors du calage en régime transitoire.

4.2.3. Mailles à historique

Dans le but de confronter les niveaux de nappe et les débits simulés par le modèle aux observations de terrain, un fichier de mailles à historique a été créé. Il s'agit de préciser les points pour lesquels le modèle enregistre les niveaux et les débits à chaque pas de temps.

Sur la base de la compilation de données réalisée en 2018, le modèle peut s'appuyer sur 494 points d'observation des niveaux piézométriques et 136 pour les débits (Illustration 26 et Illustration 28). Contrairement aux chiffres discutés dans le troisième chapitre, il ne s'agit ici que des points compris dans l'emprise du modèle.

Tous ces points ne disposent pas d'une chronique de suivi : seules 38 chroniques piézométriques (présentant plus de 500 valeurs) et 40 chroniques de débit sont disponibles. Pour le reste, il s'agit de relevés ponctuels (en majorité, 1 à 4 mesures sur toute la période de modélisation).

4.3. PREMIERES SIMULATIONS EN REGIME TRANSITOIRE

Suite aux différents travaux menés en 2018, le modèle du Plio-Quaternaire fonctionne désormais en régime transitoire pour la période 2000-2014 au pas de temps mensuel. Après différentes adaptations, les calculs convergent de façon satisfaisante.

À titre indicatif, le temps de calcul est de l'ordre de 1h45⁶ (hydro-climatique au pas de temps journalier et hydrodynamique au pas de temps mensuel).

Le calage du modèle initié en régime permanent ces dernières années (Corbier et al., 2014 ; Corbier et al., 2015 ; Cabaret et al., 2017) a été poursuivi en régime transitoire. Une première analyse des résultats a cependant été engagée dans le but d'orienter au mieux la phase de calage en régime transitoire à venir.

A ce stade, l'indicateur de performance utilisé correspond pour chaque point de suivi à l'écart entre la moyenne des simulations et la moyenne des observations. Si un tel indicateur n'est pas adapté en phase de calage (besoin de considérer les écarts à chaque pas de temps), il permet de cibler de façon simple et rapide les écarts importants.

L'illustration 26 présente la répartition de ces écarts pour les niveaux piézométriques simulés au niveau de la couche 1 du modèle. A quelques exceptions près, les résultats apparaissent globalement satisfaisants pour les SAGE Leyre, Born-et-Buch et Lacs médocains. Cela est également bien traduit par le diagramme de dispersion de l'illustration 27.

En revanche, des écarts très importants (> 10 m) sont à souligner dans certains secteurs : SAGE Ciron et SAGE Midouze. Le plus souvent, les écarts sont négatifs, c'est-à-dire que les niveaux simulés sont largement sous-estimés (Illustration 26). Ce constat est également fait pour la couche 3 (formation d'Onesse). Par contre, aucun écart important n'est observé pour la couche 5 (formation d'Arengosse) (Illustration 27).

Les secteurs à écarts importants sont principalement situés en bordure des couches concernées. Les biais observés semblent résulter des charges imposées au niveau de la couche 8. Il convient de préciser que dans ces secteurs, les relations avec les nappes sous-jacentes et les formations plio-quaternaires sont importantes. Des incohérences significatives y ont en effet été relevées entre ces charges imposées, issues du MONA-v3, et la géométrie du modèle Plio-Quaternaire, issue du MONA-v4. Dans la suite des travaux de modélisation, des précautions supplémentaires devront être prises quant aux potentiels imposés sur ces nappes lorsque qu'un calage sera réalisé dans ces secteurs. Les écarts importants peuvent s'expliquer dans certains cas par une chronique d'observation ne disposant que d'un point, donc très peu représentatif. Il conviendrait donc de compléter, notamment pour la couche 3, le jeu de données d'observations disponibles.

⁶ Sur un ordinateur de bureau utilisé en ingénierie au BRGM

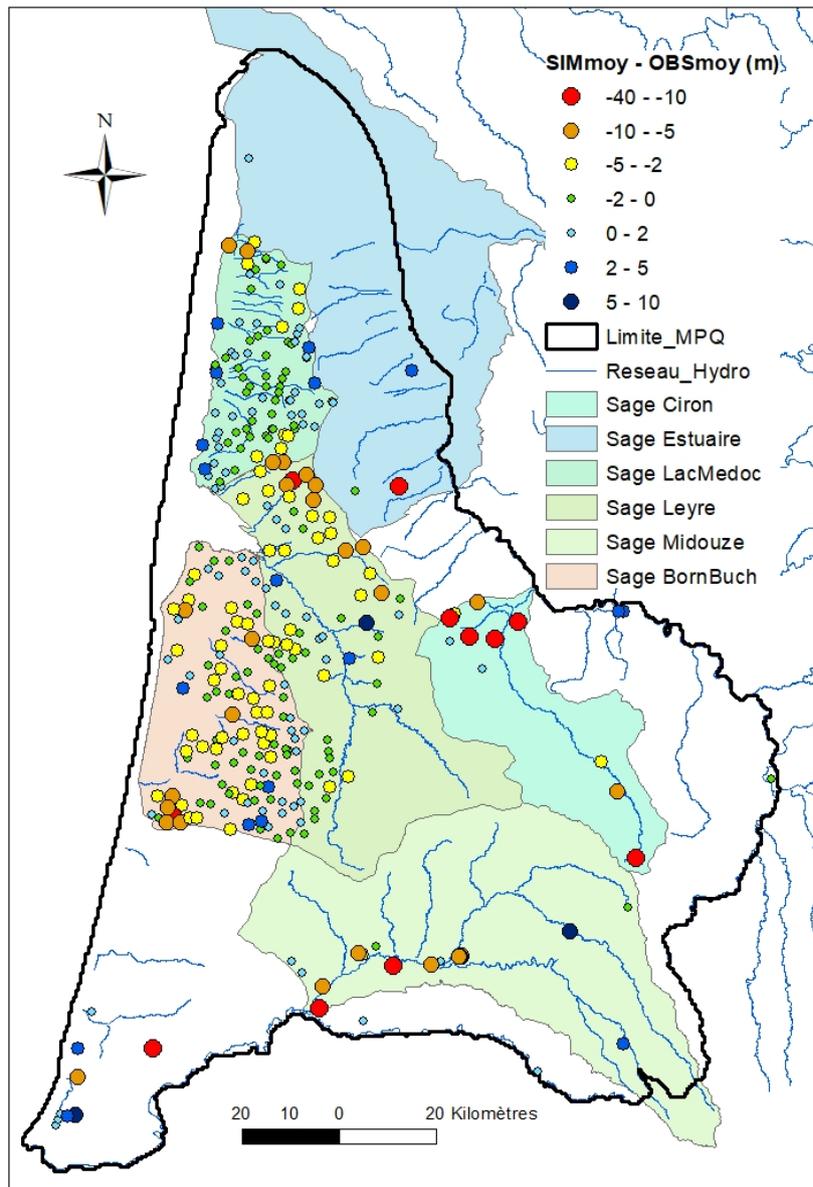


Illustration 26 - Ecart moyen entre niveaux simulés et niveaux observés au cours de la période 2000-2014 (en m), pour la couche 1 du modèle

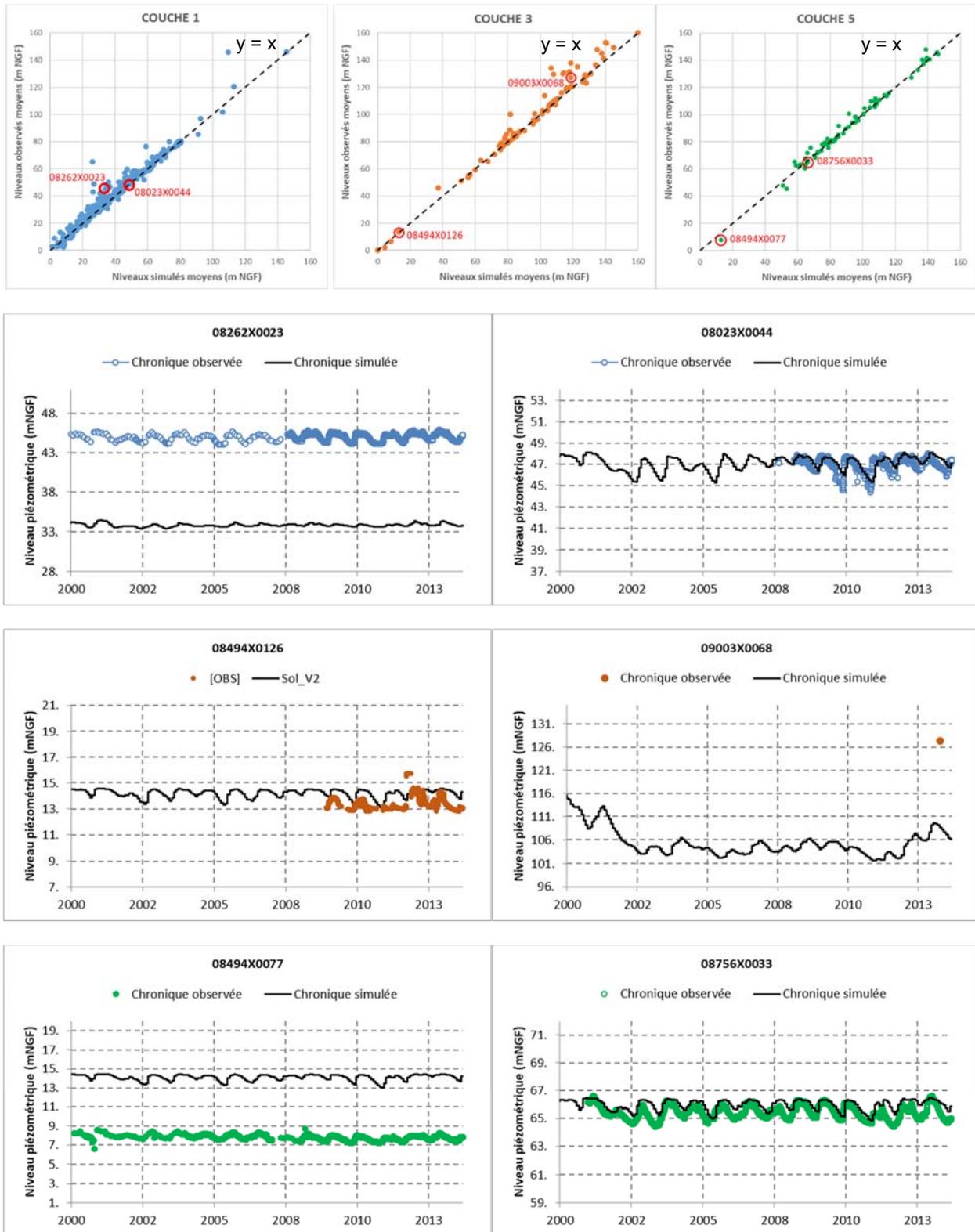


Illustration 27 - Diagrammes de dispersion et quelques chroniques piézométriques des niveaux simulés pour les couches 1, 3 et 5

En ce qui concerne les débits des cours d'eau, les ordres de grandeur sont une nouvelle fois correctement retranscrits par le modèle au droit des SAGE Leyre, Born-et-Buch et Lacs médocains (Illustration 28). Les écarts un peu plus importants sur la Leyre sont trompeurs, car comme le montre l'illustration 29, le calage est tout à fait satisfaisant : les écarts ici calculés s'expliquent par un nombre d'observations très limité et ne concernant que les étiages. Les débits d'étiage sur le Bouron restent, en revanche, sous-estimés par le modèle.

En revanche, des écarts très importants ($> 20 \text{ m}^3/\text{s}$) sont observés en périphérie du modèle (Illustration 28). Ils correspondent à des cours d'eau s'écoulant directement sur la couche 8 (Helvétien à Oligocène). Les charges hydrauliques imposées sur cette dernière viennent impacter fortement les débits de rivière avec une contribution d'eau souterraine totalement disproportionnée.

Un premier test, visant à libérer les charges hydrauliques au centre la couche 8, a été mis en œuvre. Les charges alors calculées par le modèle permettent de retrouver des débits de rivière cohérents avec la réalité du terrain. Cette piste d'amélioration sera suivie pour caler le modèle.

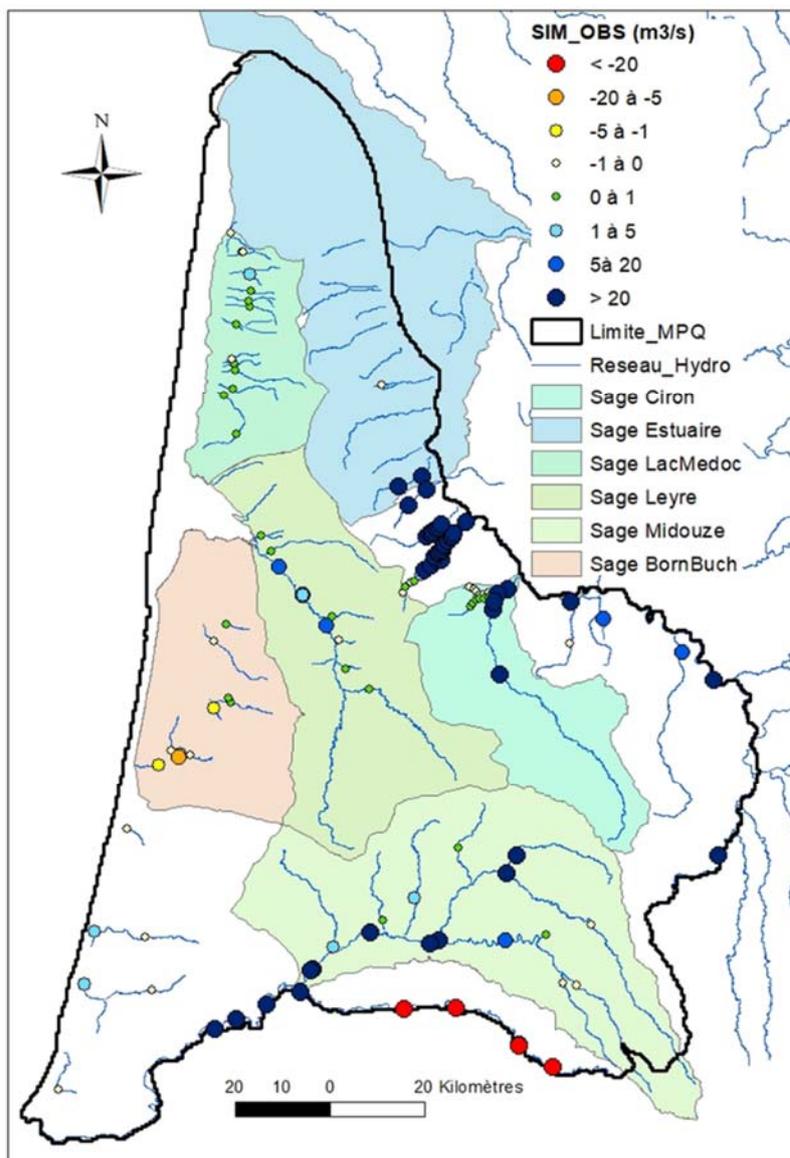


Illustration 28 - Ecart moyens entre débits simulés et débits observés au cours de la période 2000-2014

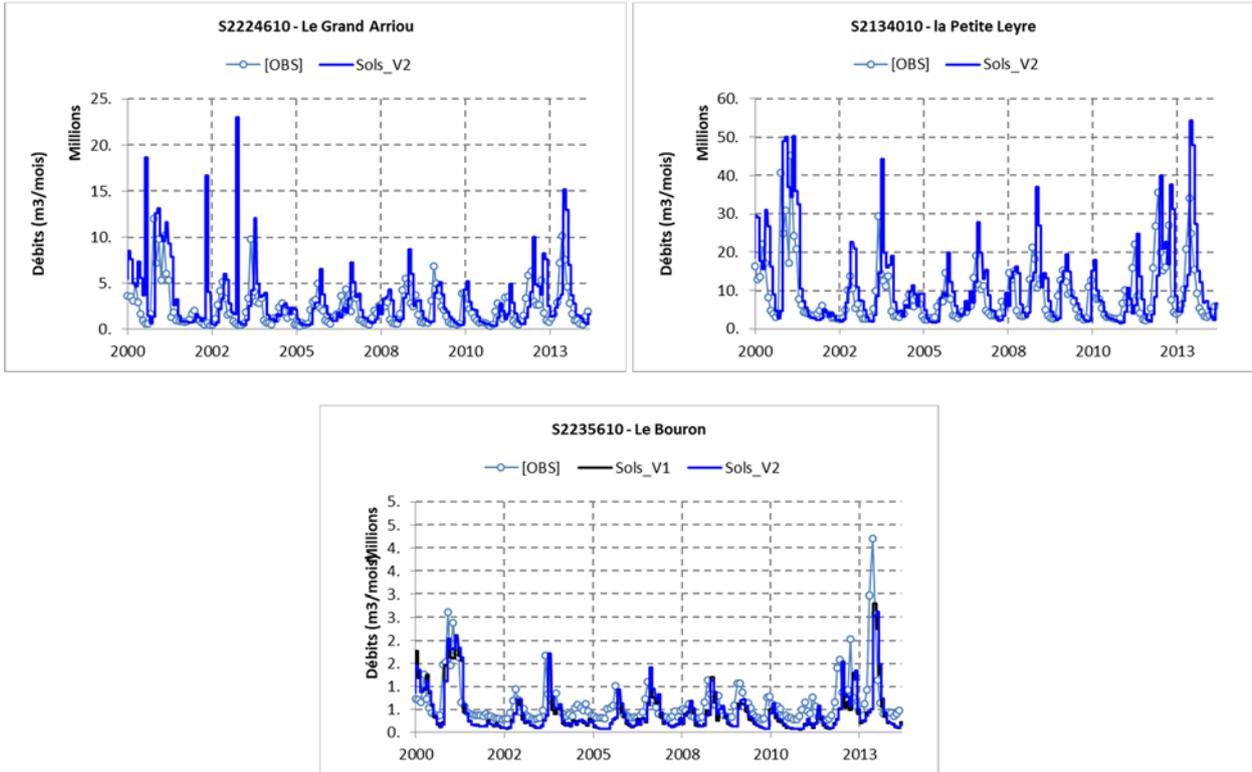


Illustration 29 - Débits simulés vs débits observés pour des cours d'eau du SAGE Leyre (2000-2014)

5. Conclusion

Les travaux engagés cette année ont consisté, en premier lieu, à effectuer une simplification du nombre de couches dans le modèle, permettant de faciliter la gestion des données, de limiter les temps de calculs et surtout d'être davantage représentatif de la réalité hydrodynamique des aquifères plio-quaternaires.

La seconde avancée a été le passage au régime transitoire. Une adaptation et une mise en forme des données d'entrée et de sortie du modèle ont été réalisées. Pour ce faire, des réflexions ont été menées sur la ventilation mensuelle des prélèvements connus annuellement. Puis, en parallèle du développement du modèle régional nord-aquitain dans sa version 4 (MONA-v4), la manière d'appréhender la recharge dans ces aquifères a été revisitée à la fois dans le domaine spatial (prise en compte des données de pluie et ETP des modèles météorologiques maillés) et physique (définition de zones de sol avec paramètres d'infiltration).

Les premières simulations sont apparues encourageantes pour la représentation des niveaux et des débits à l'échelle du triangle landais. Elles devront cependant être poursuivies afin d'avoir une vision large des transferts, qui s'exercent entre les nappes et le réseau hydrographique.

6. Bibliographie

ARNAUD L. (2017) - Estimation prélèvements / ressource dans le cadre de la DCE : compléments méthodologiques pour les eaux souterraines. Rapport final. BRGM/RP-67212-FR, 31 p., 22 ill.

BARTHELEMY Y., SEGUIN J.-J. (2016) - Modélisation maillée des écoulements souterraines. Principes, démarche et recommandations. Rapport BRGM/RP-62549-FR, 140 p., 50 ill., 2 tab., 3 ann.

BRUAND A., DUVAL O., COUSIN I. (2004) - 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. Etude et gestion des sols, Volume 11, 3, 2004, pp 323 à 332.

CABARET O., VERGNES J.-P. (2017) - 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, 33 p.

CORBIER P., CABARET O. (2014) - 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 4. Rapport final, BRGM/RP-63168-FR, 113 p., 81 ill., 3 ann.

CORBIER P., 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. Rapport final. BRGM/RP-64983-FR, 79 p., 46 ill., 5 ann.

DOUEZ O. (2015) - Actualisation 2008-2011 du modèle maillé des aquifères du Jurassique. Rapport BRGM/RP-64816-FR – Rapport final, 161 p., 223 ill., 4 ann.

LE COINTE P., ARNAUD L., BERANGER S., CABALLERO Y., LANINI S. (2019) - Réponse des Eaux souterraines au CHangement climatique dans le bassin AdouR-GaronnE (RECHARGE). Rapport final. BRGM/RP-67149-FR, 146 p., 47 ill., 12 tab., 7 ann.

SALTEL M., WUILLEUMIER A., CABARET O. (2016) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Développement et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes. Module 1 - Année 5 - Convention 2008-2013. Rapport BRGM/RP-65039-FR, 82 p., 39 ill., 10 ann.

SEGUIN J.J. (2016) - Méthodes d'évaluation de la recharge des nappes. Complément d'étude pour la caractérisation des pressions et impacts sur les eaux souterraines. BRGM/RP-65635-FR, 219 p., 106 ill., 49 tabl., 7 ann.

SMEGREG (2013) - Note sur la ventilation mensuelle des prélèvements en Gironde. 7 p., 1 ann.

THIERY D. (2014) - Logiciel GARDENIA version 8.2, Guide d'utilisation. Rapport BRGM/RP-62797-FR, 128 p., 65 fig., 2 ann.



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

Direction régionale Nouvelle-Aquitaine
24, Avenue Léonard de Vinci
33600 - Pessac - France
Tél. : 05 57 26 52 70