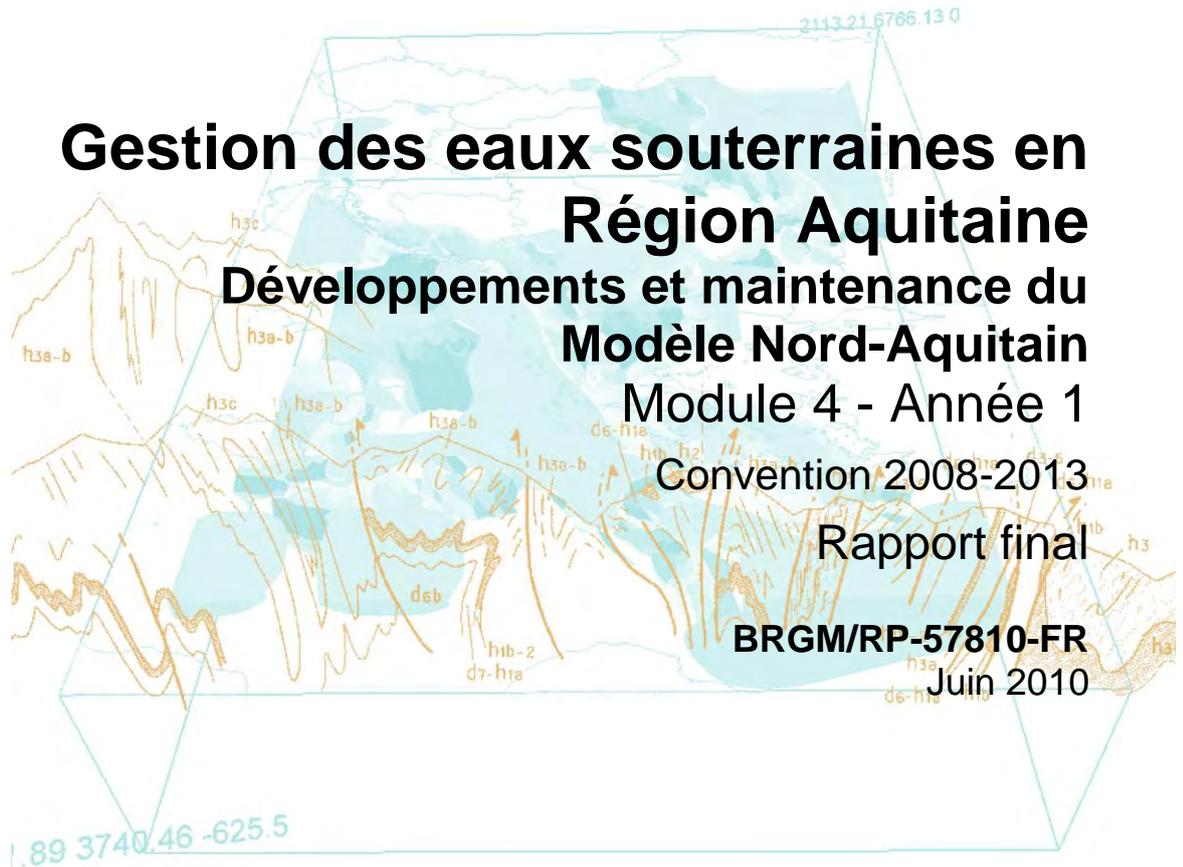


Document public



Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain Module 4 - Année 1 Convention 2008-2013 Rapport final

BRGM/RP-57810-FR
Juin 2010



**Gestion des eaux souterraines en
Région Aquitaine
Développements et maintenance du
Modèle Nord-Aquitain
Module 4 - Année 1
Convention 2008-2013
Rapport final**

BRGM/RP-57810-FR
Juin 2010

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2009 EAUK 14

E. Gomez, M. Saltel et N. Pédrón

Vérificateur : J.J. SEGUIN

Date : 11 mars 2011

Approbateur : P. DUTARTRE

Date : 11 mars 2011

En l'absence de signature, et pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots clés : Bassin Nord-Aquitain, Modèle Nord-Aquitain, régime transitoire, calage, Bajocien, Bathonien, Callovo-Oxfordien, Kimméridgien, Tithonien, Cénomanién, Turonien, Coniacien-Santonien, Campano-Maastrichtien.

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

E. Gomez, M. Saltel et N. Pédrón (2010) - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain. Module 4 - Année 1 - Convention 2008-2013. BRGM/RP-57810-FR, 38 pages, 15 illustrations, 8 annexes.

© BRGM, 2010, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Cette étude s'inscrit dans le prolongement des travaux de modélisation des aquifères d'Aquitaine engagés au Service Géologique Régional depuis plus de 15 ans pour disposer d'outils de gestion et d'aide à la décision et définir ainsi au mieux des stratégies d'exploitation des ressources souterraines de la région. Certaines nappes sont en effet très sollicitées et mises en situation de déséquilibre.

Le modèle Nord-Aquitain (**MONA**), initié au départ pour apporter des réponses à la problématique de la baisse continue des niveaux de la nappe de l'Éocène en Gironde, a connu depuis le début des années 1990 de nombreuses évolutions notamment dans le cadre des deux précédentes conventions pluriannuelles régionales « Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine » (1996-2001 et 2002-2006).

Initialement composé de 3 couches (Oligocène, Éocène et Crétacé supérieur) et à mailles carrées de 5 km de côté, ce modèle intègre aujourd'hui (version 3.3) 15 couches (du Plio-Quaternaire au Bajocien) à mailles carrées de 2 km de côté (66 953 mailles de calcul).

Ce rapport présente la démarche de calage du modèle Nord-Aquitain (MONA) pour les couches du Crétacé et du Jurassique.

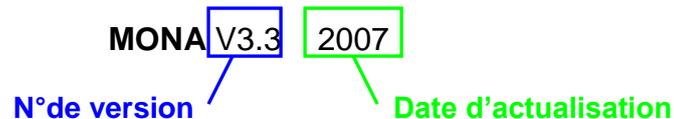
Pour l'ensemble du modèle (15 couches), les niveaux piézométriques simulés dans ces couches seront comparés aux valeurs mesurées. Par ailleurs, un bilan des flux par couche est présenté, quantifiant la recharge, les flux de drainance, le stockage-destockage des différentes nappes au cours du temps.

Préambule

Depuis près de 15 ans, le SGR Aquitaine développe des outils régionaux d'appui à la gestion de la ressource en eaux souterraines. Le plus ancien et le plus abouti de ces outils est le Modèle Nord-Aquitain qui simule les écoulements au sein des grands aquifères captifs du nord du Bassin aquitain.

Au cours des différents développements qui se sont enchaînés notamment dans le cadre des conventions « Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine », ce modèle régional de gestion de la ressource a beaucoup évolué et les versions se sont succédées. Cela a conduit le BRGM à réfléchir à la mise en place d'une codification pour désigner ces différentes versions et ainsi permettre à ses partenaires et clients de pouvoir facilement identifier les versions en cours d'utilisation et les évolutions apportées au modèle.

Il a donc été décidé de désigner le **MOD**èle **Nord-Aquitain** par **MONA** et d'y adjoindre systématiquement le numéro de version du modèle et son année d'actualisation (dernière date pour laquelle tous les paramètres, recharge, prélèvements, piézométrie, du modèle sont mis à jour). Cette codification est illustrée par l'exemple ci-dessous :



De façon à restituer la numérotation actuelle dans son contexte historique, celles des anciennes versions du modèle (qui pour certaines n'existent plus) ont été reconstituées de façon rétrospective. Pour cela, un bref historique a été établi et est présenté ci-dessous.

Historique du Modèle Nord-Aquitain

MONA V1

Elaboration d'un 1er modèle régional à mailles carrées de 5 km de côté au début des années 90 ([Braneyre, 1993] ; [Braneyre et al., 1993] et [Braneyre et al., 1994]) fonctionnant en régime transitoire sur la période 1972-1992 et simulant les écoulements au sein de 4 couches aquifères : Mio-Plio-Quaternaire (à potentiels imposés), Oligocène, Éocène et Campano-Maastrichtien.

En 1996, L'Agence de l'Eau Adour-Garonne, la Communauté Urbaine de Bordeaux et le Conseil Général de la Gironde ont décidé la mise en place d'un schéma directeur de gestion des ressources en eau de la Gironde, proposant des solutions alternatives permettant de limiter les prélèvements dans l'Éocène. Les partenaires ci-dessus ont demandé au BRGM d'utiliser le **MONA V1** pour tester les différentes solutions proposées par les cabinets d'étude du schéma. En 1998, une expertise du modèle

réalisée à la demande de l'Agence de l'Eau a montré qu'il devait être amélioré pour arriver à un niveau de représentativité du milieu souterrain suffisant pour fonder des décisions d'investissements lourds, nécessaires pour mettre en œuvre les solutions du schéma. La prise en compte des différentes recommandations de l'expertise a permis de faire évoluer le modèle et d'aboutir à la version 2 décrite ci-dessous.

MONA V2

Version du modèle au pas de 5 km fonctionnant en régime transitoire sur la période 1972-1996 (**MONA V2-1996**) et simulant les écoulements au sein de 5 couches aquifères : Mio-Plio-Quaternaire (à potentiels imposés), Oligocène, Éocène, Campano-Maastrichtien, Turonien-Coniacien-Santonien [Amraoui et al., 1999].

Cette version du modèle a été par la suite actualisée à deux reprises :

- en 1999 [Seguin, 1999] avec les données 1997 et 1998 (**MONA V2-1998**). Cette version du modèle a permis de reprendre les simulations du Schéma Directeur de Gestion des Ressources en Eau de la Gironde pour tester différents scénarios d'exploitation des nappes et de réduction des prélèvements dans l'Éocène.
- en 2001 [Seguin, 2002] avec les données 1999 et 2000 (**MONA V2-2000**). Le modèle ainsi actualisé a été utilisé dans le cadre du SAGE "Nappes profondes de Gironde" pour simuler différents scénarios d'économie d'eau, aider à la définition des VMPO (Volumes Maximum Prélevables Objectifs) pour chacune des nappes visées par le SAGE, et proposer des indicateurs de l'état de la ressource.

Parallèlement, à la demande de la MISE de Gironde, des simulations ponctuelles ont été réalisées pour fonder les autorisations d'implantation et de prélèvements d'une dizaine d'ouvrages devant solliciter des nappes visées par le SAGE « Nappes Profondes ».

MONA V2B : Il existe une version du modèle 5 km fonctionnant en régime permanent avec 7 couches (+Cénomaniens et Jurassiques) développé au cours de l'année 2 de la convention « Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine 1996-2001 ».

MONA V3

Développements réalisés dans le cadre de la précédente convention régionale « Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine ». Au cours de l'année 1 [Pédron et al., 2003], les améliorations suivantes ont été apportées :

- Passage du modèle à mailles carrées de 5 km de côté (**MONA V2-2000**) à une version 2 km avec adjonction de l'Aquitain-Burdigalien, de l'Helvétien et du Plio-Quaternaire en remplacement de l'ancienne couche Mio-Plio-Quaternaire à potentiels imposés (**MONA V3-2000**).
- Subdivision de l'Éocène en 3 couches distinctes et réajustement de la géométrie de l'Oligocène (**MONA V3.1-2000**).

Au cours de l'année 2, la finalisation de la géométrie de l'Oligocène a été réalisée et le calage des trois couches de l'Éocène et celle de l'Oligocène effectuées.

La version **MONA V3.1** du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes intègre donc 9 couches : Plio-Quaternaire, Helvétien, Aquitanien-Burdigalien, Oligocène, Éocène supérieur, Éocène moyen, Éocène inférieur, Campano-Maastrichtien, et l'ensemble Turonien-Coniacien-Santonien.

Cette version du modèle a été actualisée en 2005 [Pédron et Lopez, 2006] avec les données de la période 2001-2003 (**MONA V3.1-2003**), puis partiellement en 2007 (uniquement les 3 couches de l'Éocène et du Campano-Maastrichtien) sur la période 2004-2006 (**MONA V3.1-2006p**) pour les besoins de l'étude sur l'évaluation des ressources dans le Bergeracois [Pédron et al., 2008a].

Au cours de l'année 3 [Pédron et al., 2006], les travaux réalisés ont permis la subdivision de la couche du Turonien-Coniacien-Santonien en deux couches distinctes (Turonien et Coniacien-Santonien) et l'actualisation de la géométrie du Campano-Maastrichtien (**MONA V3.2**).

L'année 4 [Pédron et al., 2008b] a été consacrée à la réalisation d'un modèle géologique régional des couches du Cénomaniens et du Jurassique (Bajocien, Bathonien-Callovo-Oxfordien, Kimméridgien et Tithonien) et à l'intégration de ces couches dans le modèle hydrodynamique pour aboutir à une version **MONA V3.3**.

Le présent rapport rend compte des travaux effectués au cours de l'année 1 de la nouvelle convention régionale (2008-2013).

Sommaire

1. Introduction	11
2. Description du modèle Nord-Aquitain	13
2.1. PRESENTATION GENERALE	13
2.1.1. Délimitation	13
2.1.2. Représentation numérique	13
2.1.3. Logiciel utilisé	14
2.2. GEOMETRIE DU MODELE	14
2.2.1. Modèle numérique de terrain (MNT)	14
2.2.2. Extensions, toits et mur des formations aquifères	15
2.2.3. Affleurements.....	20
2.2.4. Failles	20
2.3. CONDITIONS AUX LIMITES.....	21
2.3.1. Charges et flux imposés.....	21
2.3.2. Flux nuls	21
2.3.3. Conditions internes	21
2.3.4. Conditions d'échanges Nappe-Estuaire	22
2.4. ENTREES DU MODELE	23
2.4.1. Prélèvements.....	23
2.4.2. Recharge des nappes	27
3. Calage du modèle en régime transitoire	29

3.1. DEMARCHE ET DONNEES UTILISEES	29
3.1.1. Objectifs	29
3.1.2. Données piézométriques utilisées pour le calage	29
3.2. RESULTATS	32
3.2.1. Résultats : perméabilités - emmagasinement - recharge	32
3.2.2. Piézométrie calculée - Evaluation du calage	35
3.2.3. Bilan des flux	36
4. Conclusion	37
5. Bibliographie	39

Liste des illustrations

Illustration 1 - Discrétisation des couches d'un modèle aux différences finies	14
Illustration 2 - Extension des différentes couches du Modèle Nord Aquitain.....	17
Illustration 3 - Exemple de coupe verticale réalisée à l'aide du logiciel Marthe.....	19
Illustration 4 - Nombre de mailles et superficie de chaque couche du MONA en version V3.3.....	19
Illustration 5 - Superficie des affleurements pour chaque couche du MONA version 3.3	20
Illustration 6 - Carte de répartition des 3 759 captages recensés dans la BD « Prélèvements » et limite d'extension du modèle MONA.....	24
Illustration 7 - Évolution des prélèvements par département (tous usages confondus) pour les 3 759 ouvrages contenus dans base de données des prélèvements.....	25
Illustration 8 - Évolution des prélèvements par département (tous usages confondus) – 3 248 ouvrages pris en compte dans le modèle	26
Illustration 9 - Évolution des prélèvements par usage – 3 248 ouvrages pris en compte dans le modèle.....	26
Illustration 10 - Localisation des zones d'affleurement du modèle pour chaque nappe et source des données de pluies efficaces utilisées pour le calcul de la recharge	28
Illustration 11 - Nombre de chroniques piézométriques recensées utilisables pour le calage du modèle (193 chroniques).....	30
Illustration 12 - Localisation des points d'observation	31
Illustration 13 - Statistiques descriptives des perméabilités appliquées aux réservoirs du Secondaire	33
Illustration 14 - Comparaison entre les charges hydrauliques simulées et mesurées sur l'ensemble des piézomètres de contrôles pour les nappes du Campanien au Bajocien sur la période 1972-2006	35
Illustration 15 - Distribution des écarts moyens entre charges simulées et observées pour les couches du Campanien au Bajocien (1972-2006).....	36

Liste des annexes

Annexe 1 Extension des zones d'affleurement	41
Annexe 2 Distribution des mailles à charges imposées	51
Annexe 3 Paramètres définis pour la prise en compte des conditions d'échanges Nappe-Estuaire	59
Annexe 4 Champ des perméabilités des aquifères issues du calage en régime transitoire	65
Annexe 5 Champ des perméabilités des épontes issues du calage en régime transitoire	75
Annexe 6 Chroniques de calage du modèle en régime transitoire	85
Annexe 7 Cartes de distribution des écarts moyens entre les charges hydrauliques simulées et observées sur la période 1972-2006.....	135
Annexe 8 Bilan global des débits du modèle Nord Aquitain (parties libres et captives) - moyenne des flux sur la période 1997-2007	145

1. Introduction

L'étude dont ce rapport rend compte a été effectuée dans le cadre de la convention pluriannuelle "Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine" signée entre l'Etat, la Région Aquitaine et le BRGM pour la période 2008-2013 avec le concours financier de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

Elle s'inscrit dans le processus de développements du MOdèle Nord-Aquitain (MONA) qui se poursuit depuis presque 20 ans afin d'obtenir une plus grande finesse de représentation des aquifères. Il s'agit, notamment, de mieux traiter les problèmes posés à une échelle plus locale, comme ceux soulevés par le SAGE « Nappes profondes » en Gironde, mais aussi ceux qui émergent dans les départements voisins de Lot-et-Garonne et de la Dordogne sur les nappes du Crétacé et du Jurassique.

Suite à l'intégration des couches du Cénomaniens et du Jurassique [Pédron et al., 2008b], le développement et la maintenance du MOdèle Nord-Aquitain, dans sa version **MONA V3.3.**, a été mené en réalisant le calage en régime transitoire de l'ensemble des couches du Crétacé et du Jurassique. Ce calage a été effectué sur la base des chroniques piézométriques existantes à ce jour.

A l'issue de la phase de calage, un bilan des flux a été dressé pour chacune des couches afin d'évaluer la recharge, les flux de drainance, le stockage-déstockage de ces nappes au cours du temps.

2. Description du modèle Nord-Aquitain

2.1. PRESENTATION GENERALE

Les contextes géologiques et hydrogéologiques ont été décrits en détail dans le cadre des deux dernières conventions « Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine » ([Pédron et al., 2006] ; [Pédron et al., 2008b]) et ne seront pas repris ici . Le lecteur pourra se référer à ces rapports pour plus de précision ainsi qu'à l'Atlas hydrogéologique de l'Aquitaine [Bichot et al., 2001].

La géométrie du modèle est décrite en détail dans le rapport BRGM-56614-FR (2008). Les principales caractéristiques sont rappelées ci-dessous.

2.1.1. Délimitation

Dans sa version V3.2, MONA comportait 10 couches aquifères, du Plio-Quaternaire au Turonien. A l'issue du travail mené au cours de la quatrième année d'étude [Pédron et al., 2008b], le modèle hydrodynamique simule à présent les écoulements au sein de 15 aquifères : Plio-Quaternaire, Helvétien, Aquitanien-Burdigalien, Oligocène, Éocène supérieur, Éocène moyen, Éocène inférieur, Campano-Maastrichtien, Coniacien-Santonien, Turonien, Cénomanién, Tithonien, Kimméridgien, Bathonien-Callovo-Oxfordien et Bajocien.

Ces aquifères sont séparés par 14 épontes. Cette construction relève d'une approche hydrogéologique, qui n'est pas purement stratigraphique. Toutefois, le nom de chaque couche correspond à un étage par souci de simplification.

La géométrie des couches allant du Campano-Maastrichtien au Bajocien a été construite à l'aide du logiciel GDM du BRGM et de son composant Multilayer [Bourgine, 2006]. Les altitudes des toits et des murs des horizons concernés ont été exportées vers le logiciel de modélisation WinMARTHE.

La zone modélisée occupe ainsi une superficie de 46 032 km² limitée par les affleurements du Crétacé et du Jurassique à l'est et au nord, le littoral et l'estuaire de la Gironde à l'ouest et une limite sud considérée comme séparation entre les bassins nord et sud aquitains.

Les conditions imposées sur ces limites sont précisées au chapitre 2.3.

2.1.2. Représentation numérique

Le modèle est construit suivant un schéma aux différences finies. Chacune des couches est représentée en plan par un maillage constitué de mailles carrées de 2 km x 2 km. Il est du type multicouche : chaque couche est discrétisée en mailles

parallélépipédiques dont la face supérieure correspond au toit de la formation considérée et la face inférieure au mur de cette formation (Illustration 1).

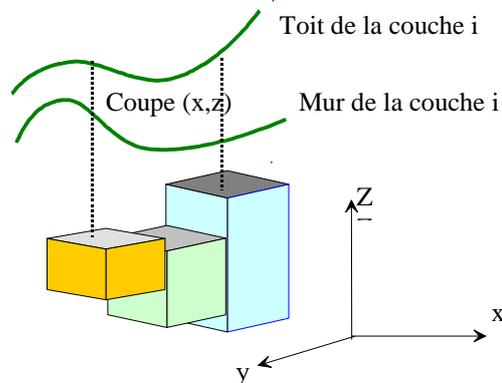


Illustration 1 - Discrétisation des couches d'un modèle aux différences finies

Les épontes ne figurent pas explicitement en tant que couches de calcul (modèle « quasi 3D ») : les charges hydrauliques n'y sont pas calculées. Les épontes servent cependant à régler les échanges verticaux entre aquifères.

2.1.3. Logiciel utilisé

Le modèle est supporté par le logiciel WinMARTHE [Thiéry, 2006] développé au BRGM. Il s'agit d'un logiciel complet de modélisation hydrodynamique pouvant traiter toutes les configurations d'écoulements justiciables de la méthode des différences finies : en 2D (plan ou coupe verticale), en 3D ou en multicouche, en zone saturée et/ou non saturée, en régime permanent et/ou transitoire.

WinMARTHE permet de prendre en compte les échanges entre un réseau hydrographique (introduit avec ses caractéristiques propres) et les nappes sous-jacentes.

Des problèmes thermiques et densitaires peuvent être traités, couplés à l'hydrodynamique.

Notons que dans le cas présent, les phénomènes thermiques et densitaires n'ont pas été pris en compte. En revanche, les charges hydrauliques mesurées ont été corrigées de ces effets pour permettre une comparaison avec les résultats de simulation.

2.2. GEOMETRIE DU MODELE

2.2.1. Modèle numérique de terrain (MNT)

Le MNT de l'IGN (2005) au pas de 50 m a été utilisé dans un premier temps pour contrôler l'altitude de tous les forages et assigner la cote des contacts des formations

affleurantes issus des cartes géologiques vectorisées. Il a ensuite été échantillonné au pas de 2 km pour correspondre à la maille du modèle Nord-Aquitain.

Au niveau des mailles traversées par le réseau hydrographique simplifié, l'altitude minimale calculée à partir du MNT de 50 m est considérée comme la valeur topographique afin de mieux prendre en compte les échanges possibles entre nappes et rivières.

2.2.2. Extensions, toits et mur des formations aquifères

Le travail d'interprétation géologique réalisé à partir des coupes de forages et des zones d'affleurements repérées sur les cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 a permis de définir les limites des différentes couches du modèle (Illustration 2).

La géologie du Bassin aquitain présente une grande complexité géométrique, notamment dans les formations du Cénomaniens et du Jurassique (Illustration 3) :

- compartimentages liés aux failles (posant des problèmes lors des interpolations), variations latérales de faciès, biseautage des formations aux abords des aires d'affleurements ;
- approfondissement important vers l'ouest ; le peu de données géologiques disponibles dans ces secteurs ont rendu le travail de modélisation géologique délicat (géométrie, cohérence 3D).

Le modèle géologique 3D, élaboré à l'aide du logiciel GDM, développé par le BRGM, a permis d'intégrer les couches jurassiques, dont l'extension orientale est supérieure à l'emprise du modèle dans sa version V3.1-V3.2.

Après avoir généré la nouvelle grille MONA V3.3, plus étendue vers l'est de 46 km par rapport à la version précédente, les toits et murs des aquifères du Cénomaniens et des couches jurassiques ont été implémentés dans le modèle hydrodynamique via l'interface graphique WinMARTHE [Pédron et al., 2008b].

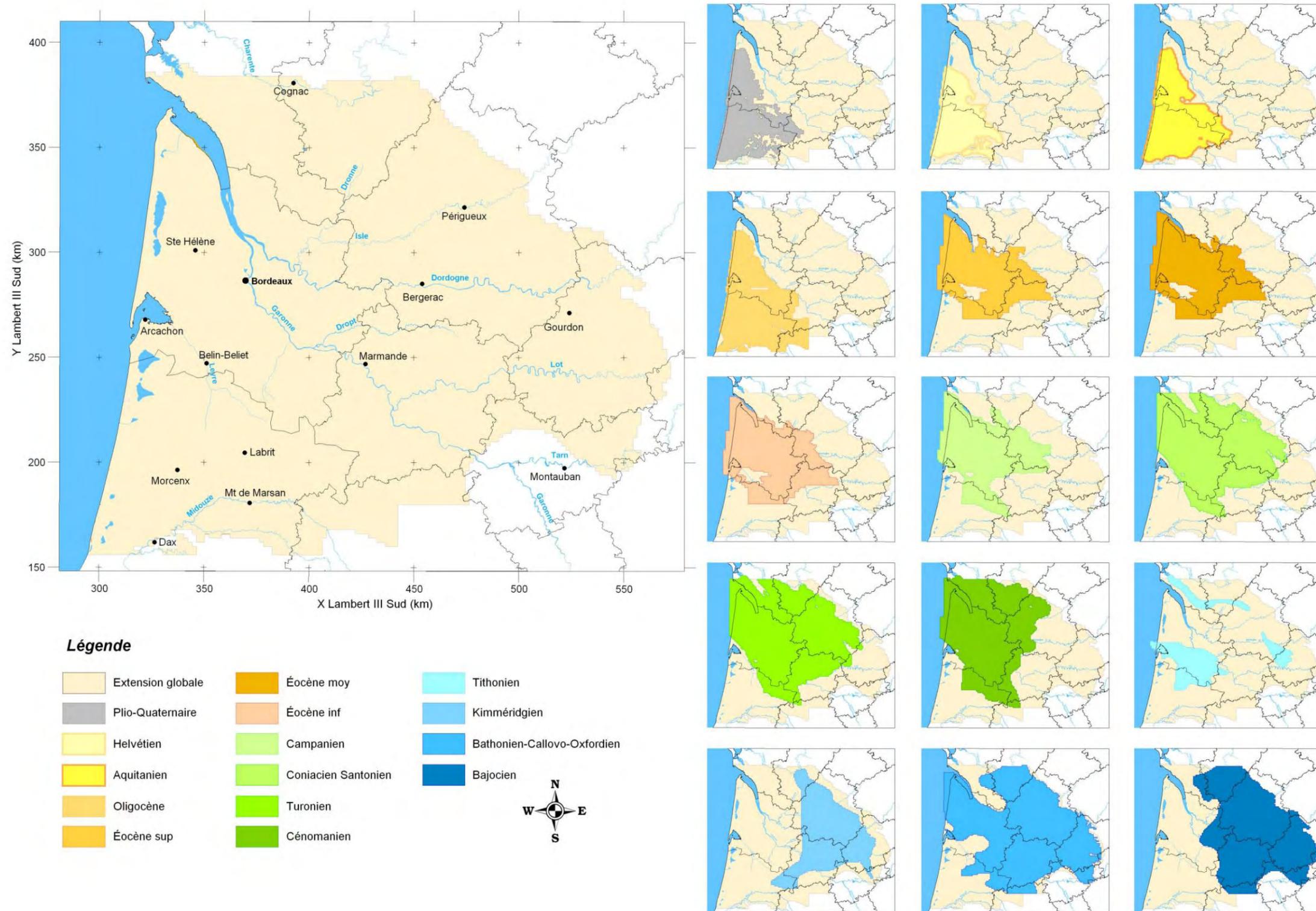


Illustration 2 - Extension des différentes couches du Modèle Nord Aquitain

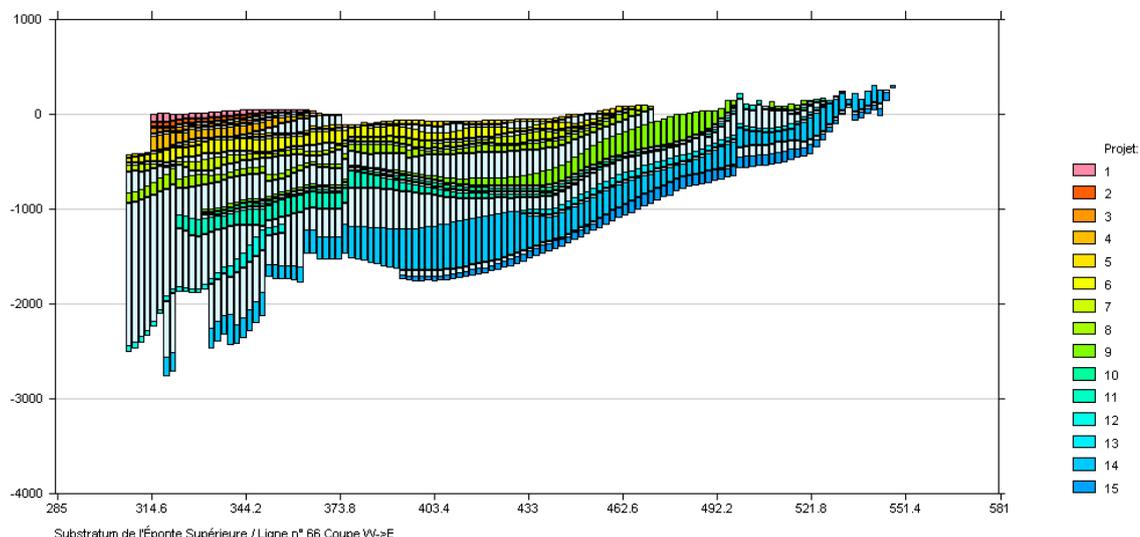


Illustration 3 - Exemple de coupe verticale réalisée à l'aide du logiciel Marthe

Ainsi, dans sa configuration actuelle (version V3.3), le modèle comprend 15 couches aquifères et 14 épontes, soit 66 953 mailles de calcul effectives. Le nombre de mailles dans chaque couche aquifère du modèle est rappelé dans le tableau ci-dessous :

FORMATION	N° COUCHE	CODIFICATION MONA	NOMBRE DE MAILLES	SUPERFICIE km ²
Plio-Quaternaire	1	MNA-PLIOQ	2 841	11 364
Helvétien	2	MNA-HELV	2 227	8 908
Aquitaniens-Burdigalien	3	MNA-AQUI	3 161	12 644
Oligocène	4	MNA-OLIGNP	4 055	16 220
Éocène supérieur	5	MNA-EOCS	3 899	15 596
Éocène moyen	6	MNA-EOCM	4 331	17 324
Éocène inférieur	7	MNA-EOCI	4 326	17 304
Campano-Maastrichtien	8	MNA-CAMP	4 337	17 348
Coniacien-Santonien	9	MNA-COST	6 218	24 872
Turonien	10	MNA-TURO	6 667	26 668
Cénomaniens	11	MNA-CENO	5 772	23 088
Tithonien	12	MNA-TITH	1 838	7 352
Kimméridgien	13	MNA-KIMM	3 381	13 524
Bathonien-Calovo-Oxfordien	14	MNA-BACX	7 856	31 424
Bajociens	15	MNA-BAJO	6 044	24 176

Illustration 4 - Nombre de mailles et superficie de chaque couche du MONA en version V3.3

2.2.3. Affleurements

La carte régionale géologique harmonisée a été utilisée pour définir au mieux les mailles de recharge des différentes formations. Le tableau ci-dessous récapitule la superficie à l'affleurement de chaque formation considérée dans le modèle. Le détail des mailles affleurantes est présenté couche par couche en Annexe 1.

Formation	n° couche MONA	Superficie de l'affleurement (km ²)	Superficie affleurement (% du domaine modélisé)
Plio-Quaternaire	1	11364	100.0%
Helvétien	2	168	1.9%
Aquitainien-Burdigalien	3	556	4.4%
Oligocène	4	324	2.0%
Éocène supérieur	5	956	6.1%
Éocène moyen	6	1268	7.3%
Éocène inférieur	7	220	1.3%
Campano-Maastrichtien	8	1360	7.8%
Coniacien-Santonien	9	2512	10.1%
Turonien	10	908	3.4%
Cénomanién	11	552	2.4%
Tithonien	12	480	6.5%
Kimméridgien	13	472	3.5%
Bathonien-Callovo-Oxfordien	14	2540	8.1%
Bajocien	15	860	3.6%

Illustration 5 - Superficie des affleurements pour chaque couche du MONA version 3.3

2.2.4. Failles

Plusieurs failles distensives majeures (Bordeaux et Nord-Arcachonnaise) ou de réactivation des accidents post-hercyniens (failles de Meyssac, de Condat, etc...) ont été prises en compte lors de l'interpolation du toit et du mur des formations géologiques.

Ces failles peuvent introduire une rupture de continuité des écoulements (barrière étanche), mettre en communication plusieurs couches aquifères (zone faillée très conductrice) ou bien jouer un rôle intermédiaire, induisant une zone de faible conductivité hydraulique.

Ces possibilités peuvent être simulées à l'aide du code de calcul MARTHE. Dans le cas où le rôle de la faille n'est pas connu, l'incertitude peut éventuellement être levée lors de la phase de calage, en testant différentes hypothèses.

2.3. CONDITIONS AUX LIMITES

Les conditions aux limites se présentent dans le modèle sous la forme de charges ou de flux imposés, de flux nuls, de conditions d'échanges Nappe-Estuaire (uniquement pour l'Éocène et le Campano-Maastrichtien) et de cotes de débordements.

2.3.1. Charges et flux imposés

Les charges sont imposées sur la limite ouest des couches crétacées et jurassiques (excepté pour le Kimméridgien et le Bajocien) du modèle. Une marge empiétant de 4 à 10 km (2 à 5 mailles) sur l'Atlantique a été ménagée de façon à réduire l'influence des charges imposées sur la partie continentale du modèle où des forages peuvent être présents le long du littoral. En cours de calage, il s'est avéré nécessaire de représenter des échanges hydrauliques latéraux vers le sud du Bathonien Callovo-Oxfordien par le biais de charges imposées (connexion avec la partie méridionale de la couche qui n'est pas représentée dans le modèle).

Il n'y a pas de conditions de flux imposés pour ces couches dans ce modèle. La distribution des mailles à charges imposées est détaillée dans les cartes de l'Annexe 2.

2.3.2. Flux nuls

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

1. soit à la disparition des aquifères par biseautage à proximité des zones d'affleurement ou à la faveur de lacunes au niveau de grandes structures anticlinales (ex : Villagrains-Landiras),
2. soit à des limites de faciès lorsque la lithologie passe progressivement à des molasses ou à des marnes,
3. soit à des lignes de partage des eaux si l'aquifère se poursuit sans qu'il soit modélisé
4. soit à des accidents structuraux (exemple des limites sud des aquifères au droit des structures anticlinales de Roquefort-Créon d'Armagnac qui correspondent à une séparation nette entre le nord et le sud du bassin Aquitain).

2.3.3. Conditions internes

Il s'agit :

- des flux (exprimés en hauteur d'eau) correspondant à la recharge des nappes par infiltration et imposés dans les mailles occupées par des affleurements (voir § 2.4.2),
- de cotes de débordement.

Pour tous les aquifères, les mailles considérées comme affleurantes ont été affectées de cotes de débordements. Elles constituent des zones où la nappe est libre et donc où elle est susceptible de déborder.

Il y a débordement si la charge calculée par le modèle est supérieure à la cote de débordement (topographie). *Pour les zones d'affleurement localisées dans les vallées, cette cote de débordement ne correspond pas à l'altitude moyenne fournie par le MNT au pas de 2 km mais à l'altitude de la vallée relevée sur carte topographique.*

Les mailles à cotes de débordement sont toutes les mailles considérées comme mailles de recharge, donc identifiées dans le modèle comme zones météorologiques (ZMTO = dénomination du logiciel MARTHE), exceptées celles numérotées 551 et 552 dans l'Éocène supérieur [Pédron et al., 2005].

2.3.4. Conditions d'échanges Nappe-Estuaire

Le modèle intègre une surcouche qui gère les échanges entre l'estuaire de la Gironde et les couches qui affleurent au droit de celui-ci.

Paramètres

Les quatre couches concernées par les échanges de flux d'eau avec l'estuaire sont le Campano-Maastrichtien, l'Éocène inférieur, l'Éocène moyen et dans une moindre mesure l'Éocène supérieur. Les données nécessaires à la prise en compte de ces conditions d'échanges Nappe-Estuaire sont pour chaque maille :

- longueur et largeur du tronçon de cours d'eau (paramètre 1) ;
- cote du fond de l'estuaire (paramètre 2) ;
- cote du plan d'eau de l'estuaire (paramètre 3) ;
- épaisseur de colmatage du lit de l'estuaire (paramètre 4) ;
- perméabilité du lit de l'estuaire (paramètre 5).

Méthodologie

Dans un premier temps, les paramètres 2 et 4 issus du modèle 5 km ont été affectés au nouveau maillage par interpolation bilinéaire. Le paramètre 5 a, lui, été affecté par interpolation dite conservative. La largeur et la longueur des tronçons d'estuaire (paramètre 1) dans chaque maille ont été recalculées sous SIG à partir de fonds cartographiques de l'estuaire.

Le paramètre « cote du plan d'eau » (paramètre 3) a été apprécié à partir des valeurs moyennes relevées sur deux marégraphes de l'Estuaire (Ile Verte [+0.43 NGF] et Le Verdon [+0.21 NGF]) puis interpolées sur la zone.

Dans un second temps, l'étude menée sur les relations entre l'estuaire de la Gironde et l'Éocène [Platel et al., 1997], qui avait permis d'évaluer ces paramètres dans la version

5 km du modèle Nord-Aquitain (MONA V2), a été reprise pour affiner les paramètres ci-dessus, à l'exception de la perméabilité du lit de l'estuaire, non connue, qui est un paramètre de calage.

Des cartographies illustrant les différents paramètres actualisés sont présentées en Annexe 3.

2.4. ENTREES DU MODELE

2.4.1. Prélèvements

Afin d'actualiser la base de données des prélèvements, les acteurs locaux ont été sollicités dans le cadre de l'étude « Utilisation du modèle nord-aquitain pour appuyer la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds du nord du Bassin aquitain » (Rapport BRGM/RP-57878-FR) pour vérifier les données connues du BRGM et fournir toutes les informations d'actualisation :

- forages non connus du BRGM ou volumes prélevés inexacts,
- mise à jour des données jusqu'à fin 2007,
- projets d'abandons de captages et création de nouveaux forages (et années de mise en service)

Dans chaque département, un correspondant a été désigné pour valider et compléter l'ensemble les données :

- Dordogne : CG 24
- Gironde : CG 33 et SMEGREG
- Lot : CG 46
- Lot-et-Garonne : CG 47
- Tarn-et-Garonne : AEAG

Chaque correspondant a suivi le circuit local de consultation des partenaires et a centralisé les retours qui ont ensuite été transmis au BRGM.

Plusieurs étapes ont été nécessaires pour obtenir une base de données de prélèvements la plus à jour possible :

- homogénéisation et concaténation de tous les jeux de données fournis par les acteurs locaux,
- prise en compte d'études récentes (chambre d'agriculture 33, Gestion des nappes en Gironde),
- compléments de mise à jour effectués à partir des fichiers de l'Agence de l'eau,
- obtention de quelques données directement auprès des producteurs.

Lorsque les informations de prélèvements n'ont pas pu être récupérées sur un ouvrage, les prélèvements ont été reportés depuis la dernière année d'exploitation connue.

La base de données de prélèvements [Gomez et al., 2010] comprend actuellement 3 759 ouvrages sollicitant les 14 nappes (hors Plio-quaternaire) répartis comme suit (Illustration 6) : 3 en Tarn-et-Garonne (82), 85 en Lot-et-Garonne(47), 0 dans le Lot (46), 536 dans les Landes (40), 1412 en Gironde (33), 404 en Dordogne (24), 1179 en Charente-Maritime (17) et 150 en Charente (16).

Certains ouvrages recensés se trouvent cependant hors des limites du MONA. Il s'agit principalement des ouvrages du Crétacé libre de Charente et de Charente Maritime. Le Modèle Nord-Aquitain ne modélise pas les aquifères crétacés et jurassiques, dans leurs parties libres, au nord d'une ligne Angoulême /Royan. Le Service Géologique Régional de Poitou Charentes du BRGM dispose d'un modèle sur ce secteur plus à même de répondre à ces problématiques de nappes libres.

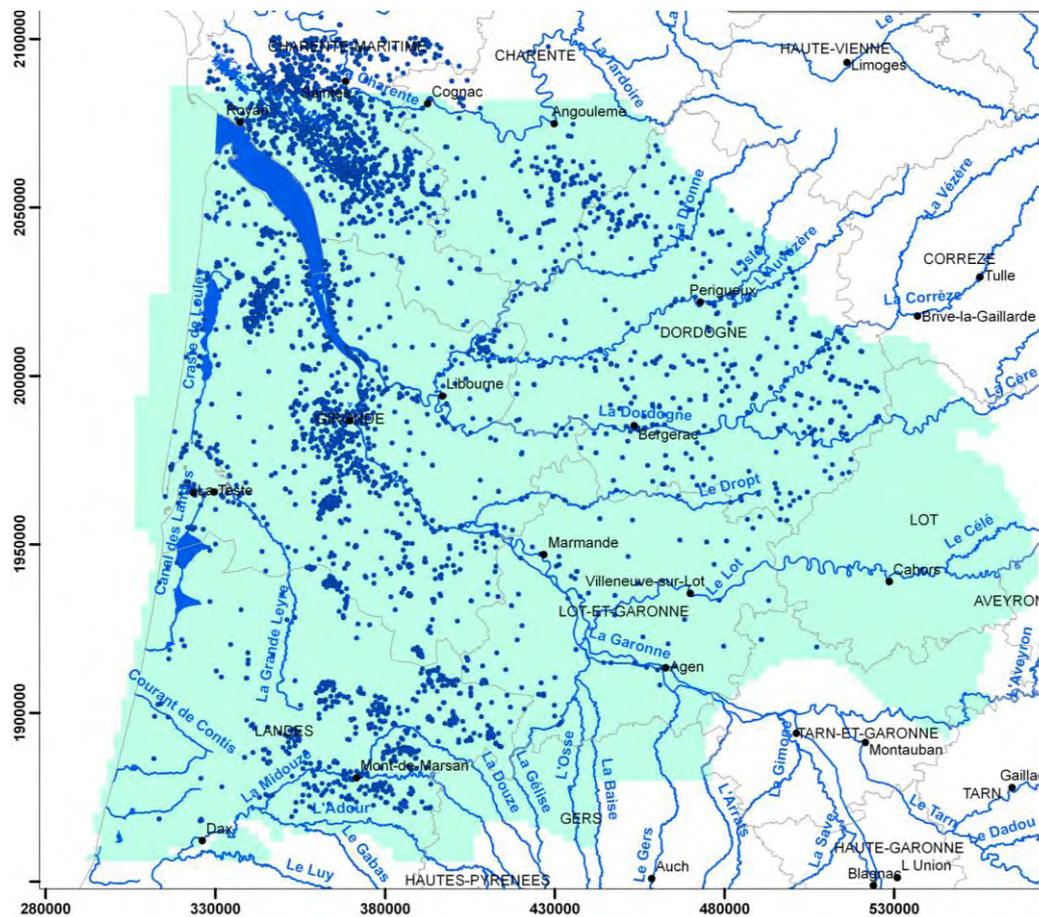


Illustration 6 - Carte de répartition des 3 759 captages recensés dans la BD « Prélèvements » et limite d'extension du modèle MONA

Les volumes prélevés en 2007, sur les 3 759 captages recensés, étaient de 325,5 millions de m³. Les prélèvements maximum ont été enregistrés en 2003 avec 360 millions de m³ prélevés (Illustration 7).

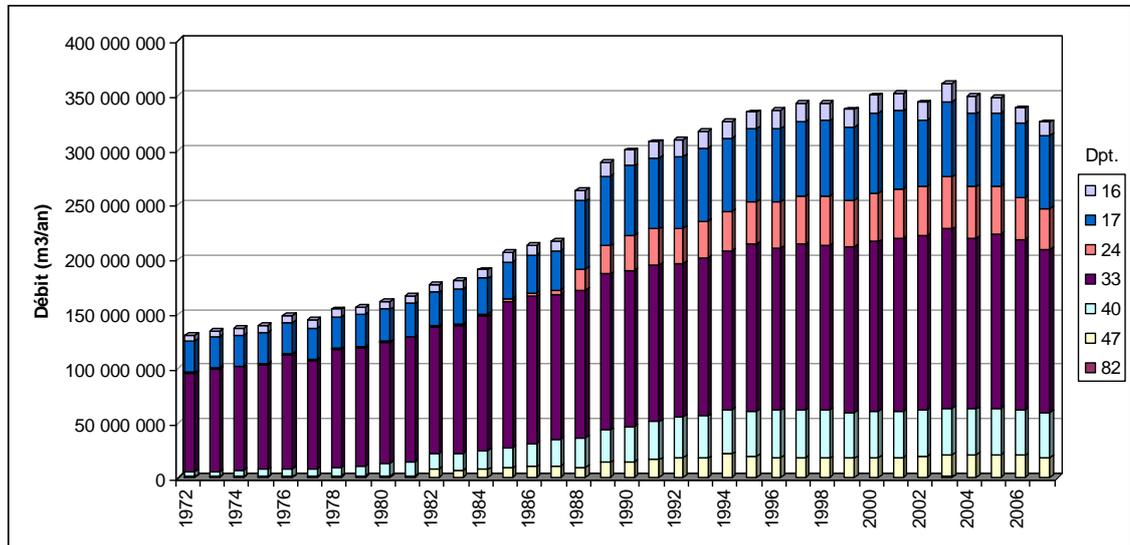


Illustration 7 - Évolution des prélèvements par département (tous usages confondus) pour les 3759 ouvrages contenus dans base de données des prélèvements

Remarque : la distribution spatiale des captages issue de la base de données dépasse les limites d'extension du modèle. Par conséquent, une partie de ces données ne sera pas introduite dans le modèle, en particulier sur la partie nord des départements 16 et 17.

En sélectionnant uniquement les captages pris en compte dans le MONA, on dénombre 3 248 ouvrages sollicitant les 14 nappes modélisées (hors Plio-Quaternaire) répartis comme suit : 3 en Tarn-et-Garonne (82), 85 en Lot-et-Garonne(47), 0 dans le Lot (46), 536 dans les Landes (40), 1406 en Gironde (33), 400 en Dordogne (24), 687 en Charente-Maritime (17) et 131 en Charente (16).

Les volumes prélevés en 2007 sur les 3 248 captages intégrés dans le modèle, étaient d'environ 291 millions de m³. L'illustration 8 retrace l'évolution des prélèvements pris en compte dans le modèle (dans les parties libres et captives des nappes). Le volume maximum enregistré correspond à l'année 2003 avec 322 millions de m³.

Remarque : sur les 3 248 ouvrages considérés comme entrant dans les limites du MONA, 69 ouvrages très proches des limites du modèle mais situés à l'extérieur du maillage (en raison de la taille des mailles : 2 x 2 km) ont été légèrement déplacés afin d'être pris en compte. Tous ces ouvrages sont situés au nord de la zone d'étude et captent le Campanien (49), le Coniacien (2) et le Turonien (18).

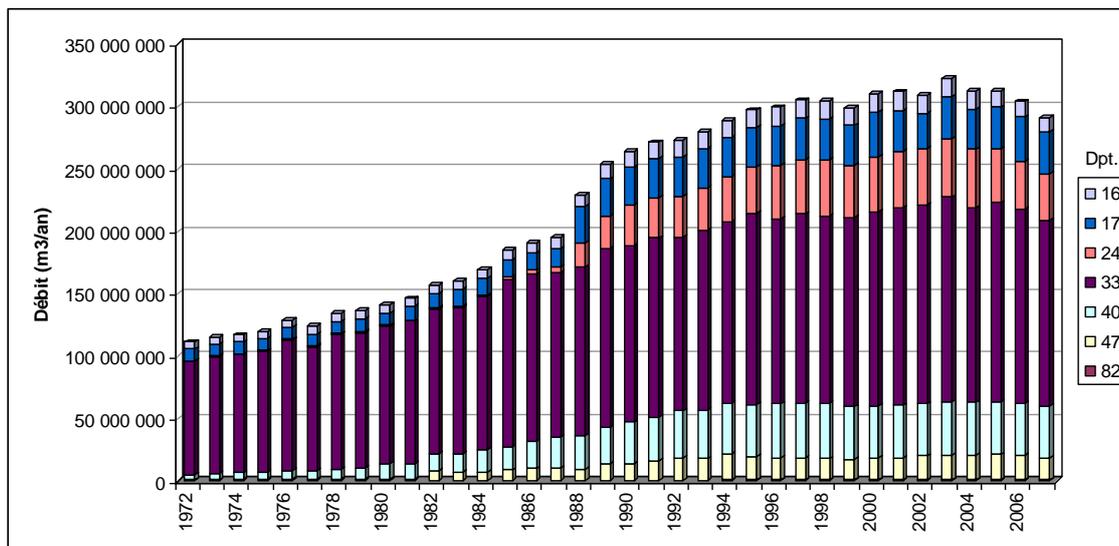


Illustration 8 - Évolution des prélèvements par département (tous usages confondus) - 3 248 ouvrages pris en compte dans le modèle

La part de l'eau destinée à un usage industriel (Illustration 9) tend à diminuer depuis 1972 (baisse du débit annuel de l'ordre de 10 millions de m³/an). Les volumes prélevés pour l'agriculture et l'alimentation en eau potable ont fortement progressé jusqu'au milieu des années 90. L'évolution des prélèvements et des usages apparaît beaucoup plus stable depuis. Il semble même apparaître une tendance à la diminution des prélèvements pour ces deux usages depuis quelques années.

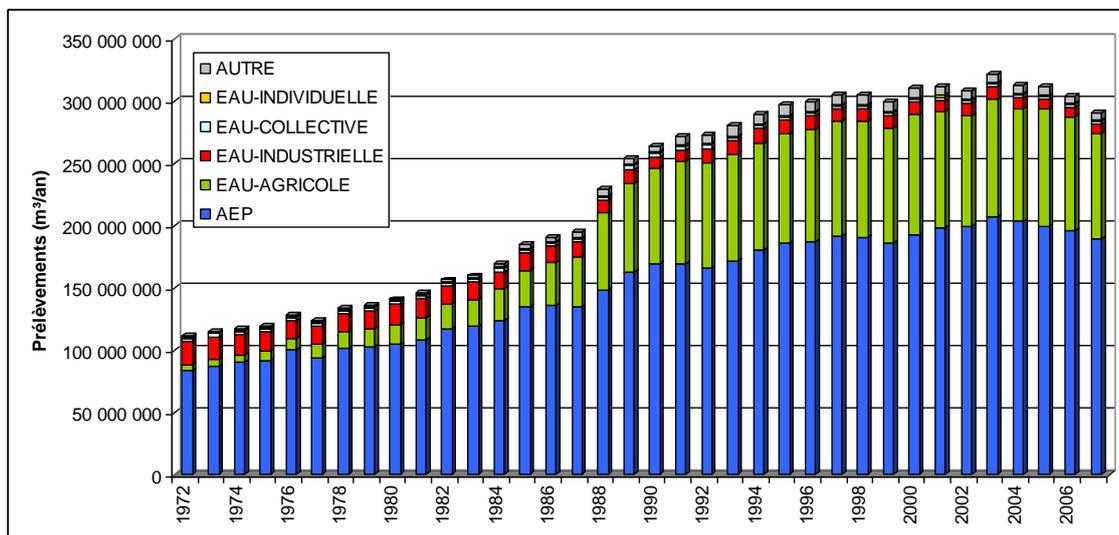


Illustration 9 - Évolution des prélèvements par usage – 3 248 ouvrages pris en compte dans le modèle

2.4.2. Recharge des nappes

a) Estimation de la recharge

La recharge par infiltration des différentes nappes ne peut être estimée a priori par un bilan classique fournissant la pluie efficace, c'est à dire la lame d'eau disponible pour le ruissellement et l'infiltration. Un tel bilan, dont les termes sont les précipitations P, l'évapotranspiration potentielle ETP et la "réserve utile" RU, fournirait des valeurs nettement supérieures aux valeurs effectives de recharge, le ruissellement étant d'ailleurs une inconnue. Les flux d'eau de surface subissent en effet des interceptions multiples (drainage superficiel, nappes alluviales...) conduisant à une réduction notable des flux calculés a priori. La recharge sera donc un paramètre de calage estimé à partir de la superficie des affleurements, de la nature lithologique (sables plus ou moins argileux, calcaires...) et la densité du réseau hydrographique dans les zones affleurantes.

b) Constitution des zones de recharge

Le Plio-Quaternaire constitue l'aquifère le plus superficiel du modèle Nord-Aquitain et affleure sur toute la partie ouest de la zone d'étude. L'attribution des flux d'infiltration s'y fait donc par grandes plages [Pédron et al., 2001]. Par contre, les zones d'affleurement des aquifères plus profonds sont peu nombreuses et souvent localisées. Il peut y avoir des écarts importants entre la superficie réelle des affleurements et la superficie des mailles correspondantes, ce qui impose de distribuer le flux d'infiltration dans les mailles en fonction de la superficie réelle des affleurements. Les superficies des affleurements dans les mailles de la nouvelle grille du modèle (2 x 2 km) ont été entièrement recalculées et regroupées en classes (0 à 10%, 10 à 20%...) en année 1 de l'étude [Pédron et al., 2003] pour les couches 1 à 7 (jusqu'à l'Éocène inférieur). Ce travail a été effectué pour l'ensemble des nappes du Crétacé et du Jurassique au cours de l'année 4.

Chaque maille de recharge directe a ensuite été rattachée (en utilisant une polygonation de Thiessen) à une station météorologique en fonction de sa localisation géographique (Illustration 10) de façon à moduler la recharge calculée en fonction de la variabilité spatiale des pluies efficaces. 5 stations météorologiques (Mérignac, Bergerac, Gourdon, Cognac et Mont de Marsan) sont utilisées pour le calcul de la recharge dans les mailles d'affleurement. Celles-ci ont été choisies car elles sont jugées représentatives, équi-réparties sur le territoire modélisé et surtout elles présentent des chroniques de pluies et d'ETP sur plus de 35 ans. Elles permettent donc de calculer la recharge du modèle pour chaque pas de temps depuis l'état initial (1972).

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

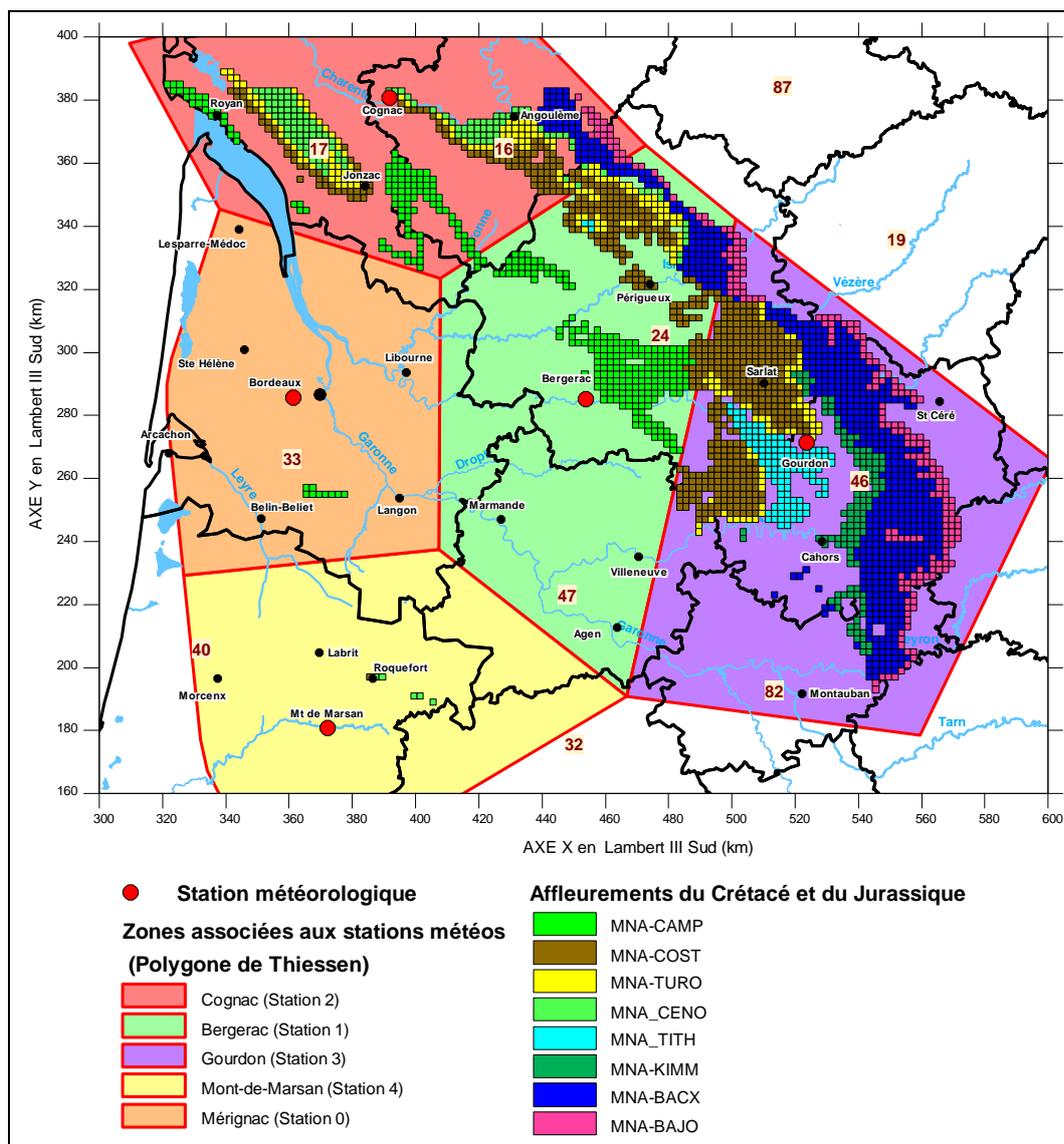


Illustration 10 - Localisation des zones d'affleurement du modèle pour chaque nappe et source des données de pluies efficaces utilisées pour le calcul de la recharge

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

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

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

3. Calage du modèle en régime transitoire

Le calage du modèle en régime transitoire a pour point de départ les différents champs de valeurs obtenus lors de la phase d'ajustement en régime permanent :

- perméabilités de chaque couche et perméabilités des épontes ;
- valeurs de la recharge par zone.

Le travail réalisé ici concerne les couches du Crétacé et du Jurassique récemment ajoutées au **MO**dèle **N**ord **A**quitain [Pédrón et al., 2008b].

3.1. DEMARCHE ET DONNEES UTILISEES

3.1.1. Objectifs

La première étape de calage du modèle est menée en régime permanent afin de sérier les difficultés. Elle doit permettre d'obtenir, en particulier, un premier champ de perméabilités et une estimation de la recharge. L'année 1996 a été choisie pour effectuer le calage en régime permanent, de nombreuses données piézométriques (119 mesures) étant disponibles simultanément cette année.

Ce régime implique une stabilité des niveaux piézométriques au cours du temps. Or, avec l'accroissement des prélèvements, le régime hydrodynamique est loin d'être stabilisé en 1996. Le calage a donc nécessairement été repris et affiné en régime transitoire.

L'objectif de cette étape de calage permet de tester les réactions du modèle, d'analyser la cohérence des données utilisées et d'émettre des hypothèses sur le fonctionnement hydrodynamique d'ensemble, notamment sur les échanges entre couches.

A ce stade, les inconnues du calage sont nombreuses : les perméabilités et les coefficients d'emmagasinement des couches aquifères ; les perméabilités des épontes ; les valeurs de recharge et leur répartition spatiale ; les charges imposées sur les limites (façade atlantique et limite sud), non connues ; le rôle des failles.

L'ajustement des paramètres hydrodynamiques en régime transitoire a été mené sur la période 1972-2007 afin de restituer au mieux les évolutions piézométriques mesurées au niveau des 193 chroniques disponibles, sollicitant un aquifère du Crétacé ou du Jurassique.

3.1.2. Données piézométriques utilisées pour le calage

Le calage des couches en année 1 de la nouvelle Convention régionale s'appuie sur des chroniques piézométriques de référence que le modèle devra restituer au mieux

en respectant à la fois les niveaux observés (les moyennes annuelles sont calculées pour être comparables à la restitution du modèle qui se fait au pas de temps annuel), la pente, la phase et l'amplitude des variations.

Pour qu'une chronique piézométrique soit exploitable, elle doit être suffisamment étoffée et longue. L'aquifère capté doit être connu avec certitude et être unique (sauf lorsque deux réservoirs sont sollicités mais pas individualisés par une épente).

Dans un premier temps, les chroniques piézométriques de référence utilisées par le modèle 5 km (MONA V2) pour les couches du Campanien et du Turonien-Coniacien-Santonien ont été reprises et les coupes géologiques des ouvrages correspondants revalidées par le géologue régional (notamment pour individualiser les ouvrages captant le Turonien de ceux sollicitant le Coniacien-Santonien).

Cette liste d'ouvrages a été complétée avec les piézomètres crétacés et jurassiques suivis dans le cadre des réseaux « quantitatifs » de gestion patrimoniale et départementale (Gironde, Dordogne, Lot-et-Garonne et Midi-Pyrénées) ou d'études ponctuelles [Platel et al., 2008]. Les piézomètres de référence utilisés pour le calage du modèle Turonien-Coniacien de Poitou-Charentes (qui modélise aussi le Cénomanién et le Campano-Maastrichtien) ont également été récupérés dans la zone de chevauchement avec le Modèle Nord-Aquitain.

La recherche de nouvelles chroniques a permis d'enrichir de manière conséquente le nombre des points (Illustration 11) utilisés pour le calage.

Aquifère	N° de couche	Code MONA	Nombre de chroniques disponibles pour le calage
Campano-Maastrichtien	8	MNA-CAMP	57
Coniacien-Santonien	9	MNA-COST	22
Turonien	10	MNA-TURO	38
Cénomanién	11	MNA-CENO	18
Tithonien	12	MNA-TITH	7
Kimméridgien	13	MNA-KIMM	7
Bathonien-Callovo-Oxfordien	14	MNA-BACX	32
Bajocién	15	MNA-BAJO	12

Illustration 11 - Nombre de chroniques piézométriques recensées utilisables pour le calage du modèle (193 chroniques)

La localisation de toutes les chroniques utilisables pour le calage des couches du Crétacé et du Jurassique est présentée en Illustration 12.

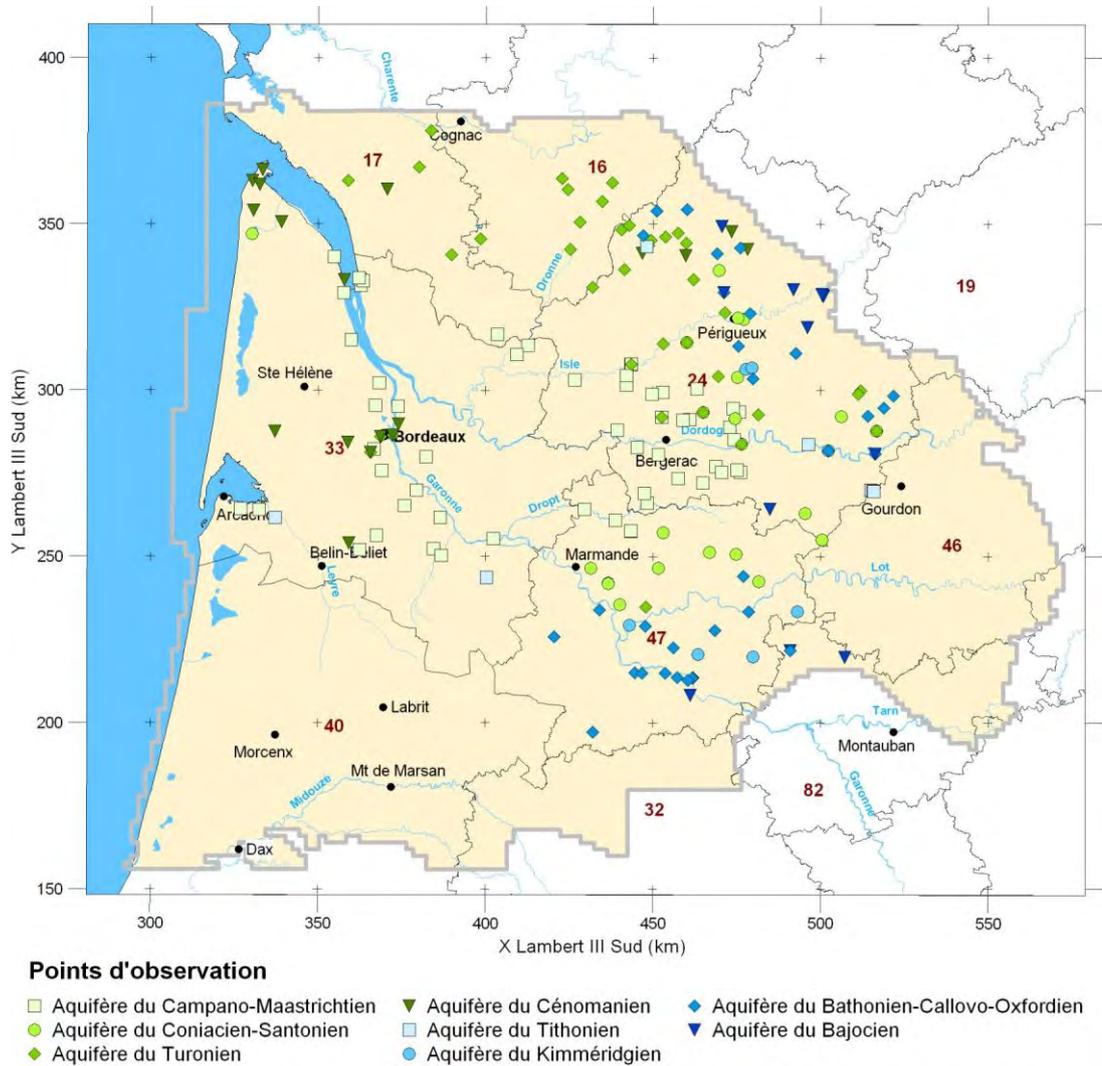


Illustration 12 - Localisation des points d'observation

En complément, une vingtaine d'ouvrages disposant de très peu de données piézométriques ont aussi été retenus ; ils permettront de cerner les niveaux d'eau et parfois la tendance générale d'évolution (hausse, baisse, stabilité) dans des secteurs où les lacunes d'informations subsistent.

3.2. RESULTATS

3.2.1. Résultats : perméabilités - emmagasinement - recharge

Perméabilités

Les cartes de perméabilités issues du calage des couches allant du Campanien au Bajocien sont reportées en Annexe 4. A noter qu'au droit des zones d'affleurement des réservoirs, les perméabilités intégrées dans le modèle peuvent paraître relativement élevées. En raison de la taille des mailles, le relief ne peut être représenté suffisamment précisément induisant un biais dans la restitution des axes de drainage que constituent les rivières plus encaissées. Afin de compenser ces effets, des perméabilités parfois très fortes ont dû être intégrées. Par ailleurs, la karstification de certains réservoirs a pu localement participer à l'intégration de fortes valeurs de perméabilités.

- **Campanien**

La plage de variation s'étend de 6.10^{-8} m/s à $6,3.10^{-4}$ m/s. Près de 40 % des valeurs sont comprises entre 1.10^{-6} m/s et 6.10^{-6} m/s, la médiane de l'ensemble des valeurs étant de 6.10^{-6} m/s. Le réservoir apparaît donc peu perméable dans son ensemble. Les valeurs les plus fortes sont rencontrées aux abords des affleurements du réservoir. Les perméabilités les plus médiocres ont été introduites à l'ouest de Bordeaux et dans les environs de Bergerac.

- **Coniacien Santonien**

Le champ des perméabilités défini dans l'aquifère du Coniacien-Santonien s'étend de $1,25.10^{-7}$ m/s à $1,4.10^{-2}$ m/s. La majorité des valeurs (92%) sont comprises entre 2.10^{-6} m/s et 6.10^{-6} m/s. Les valeurs les plus fortes ont été intégrées aux alentours de Cognac.

- **Turonien**

Les perméabilités sont comprises entre 1.10^{-7} m/s et 5.10^{-2} m/s. Les valeurs peuvent être regroupées en deux ensembles : un premier groupe compris entre 8.10^{-4} m/s et 1.10^{-3} m/s qui représente près de 40 % du total des mailles renseignées et un deuxième groupe de valeurs comprises entre 4.10^{-6} m/s et 6.10^{-6} m/s. La médiane de la totalité des données de perméabilités intégrées est de $5,0.10^{-4}$ m/s. Tout comme pour l'aquifère du Coniacien-Santonien, les plus fortes valeurs ont été appliquées dans le secteur de Cognac.

- **Cénomaniien**

La gamme des perméabilités appliquées au réservoir du Cénomaniien s'étend de 6.10^{-6} m/s à 8.10^{-4} m/s. Les valeurs intégrées à cette couche sont relativement homogènes.

Plus de 75 % des valeurs sont comprises entre 1.10^{-4} m/s et 6.10^{-4} m/s. Les valeurs les plus fortes (8.10^{-4} m/s) ont été appliquées aux alentours de l'agglomération bordelaise.

- **Tithonien**

La plage de variation des perméabilités s'échelonne de 4.10^{-7} m/s à 8.10^{-4} m/s. Avec une médiane de 4.10^{-6} m/s, ce réservoir peut être considéré globalement comme peu perméable. C'est notamment le cas pour la partie du réservoir localisée au sud-ouest de Bordeaux.

- **Kimméridgien**

Le champ de perméabilités défini dans l'aquifère du Kimméridgien s'étend de 1.10^{-6} m/s à $2,5.10^{-4}$ m/s. Tout comme l'aquifère du Tithonien, ce réservoir peut être considéré globalement comme peu perméable. En effet, 95 % des valeurs sont comprises entre 1.10^{-6} m/s et 6.10^{-6} m/s. La moyenne s'établissant à 5.10^{-6} m/s.

- **Bathonien-Calovo-Oxfordien**

Les perméabilités pour ce réservoir sont comprises entre $5,6.10^{-7}$ m/s et 8.10^{-3} m/s. Les valeurs peuvent être regroupées en deux ensembles : un premier groupe compris entre 1.10^{-6} m/s et 2.10^{-6} m/s (30 % du total des mailles renseignées) et un deuxième groupe de valeurs centrées autour de 1.10^{-4} m/s (55% du total des mailles renseignées). Les valeurs les plus faibles ont été appliquées aux zones d'affleurement.

- **Bajocien**

La gamme des perméabilités affectées au réservoir du Bajocien s'étend de $1,2.10^{-7}$ m/s à $1,6.10^{-2}$ m/s. Les valeurs sont regroupées autour de deux pôles centrés sur 2.10^{-6} m/s (près de 30 % du total des mailles renseignées) et 6.10^{-5} m/s (près de 50% du total des mailles renseignées).

Le tableau ci-dessous regroupe quelques statistiques effectuées sur les différents champs de perméabilités intégrés dans le modèle pour les couches allant du Campanien au Bajocien.

Statistique	K Camp.	K Co.St.	K Turo.	K Céno.	K Tithon.	K Kim.	K BaCX	K Bajo
Nb. d'observations	4337	6205	6667	5772	1838	3381	7856	6044
Minimum	$6,0.10^{-8}$	$1,3.10^{-7}$	$1,0.10^{-7}$	$2,0.10^{-6}$	$4,0.10^{-7}$	$1,0.10^{-6}$	$5,6.10^{-7}$	$1,2.10^{-7}$
Maximum	$6,3.10^{-4}$	$1,4.10^{-2}$	$5,0.10^{-2}$	$8,0.10^{-4}$	$8,0.10^{-4}$	$2,5.10^{-4}$	$8,0.10^{-3}$	$1,6.10^{-2}$
1er Quartile	$3,0.10^{-6}$	$2,8.10^{-6}$	$5,5.10^{-6}$	$1,0.10^{-4}$	$1,0.10^{-6}$	$1,0.10^{-6}$	$8,0.10^{-7}$	$2,0.10^{-6}$
Médiane	$6,0.10^{-6}$	$5,0.10^{-6}$	$5,0.10^{-4}$	$2,0.10^{-4}$	$4,0.10^{-6}$	$1,0.10^{-6}$	$1,0.10^{-6}$	$1,5.10^{-5}$
3ème Quartile	$2,1.10^{-5}$	$5,0.10^{-6}$	$8,0.10^{-4}$	$2,0.10^{-4}$	$2,0.10^{-5}$	$5,0.10^{-6}$	$1,0.10^{-4}$	$6,0.10^{-5}$
Moyenne	$3,9.10^{-5}$	$3,3.10^{-4}$	$9,3.10^{-4}$	$1,9.10^{-4}$	$1,0.10^{-4}$	$8,5.10^{-6}$	$8,5.10^{-5}$	$1,5.10^{-4}$

Illustration 13 - Statistiques descriptives des perméabilités appliquées aux réservoirs du Secondaire

Les champs de perméabilités des épontes obtenus par calage sont présentés en Annexe 5. Faute d'informations sur ces couches, la distribution des valeurs obtenues n'est probablement pas la seule possible. Cependant il faut noter ici l'importance que ces perméabilités ont eue dans le processus de calage. Ce fut particulièrement le cas pour l'éponte au sommet du Campanien. En effet, les relations étroites existant entre cet aquifère et les réservoirs éocènes sus-jacents ont nécessité une définition plus détaillée des perméabilités des épontes correspondantes.

Les plages de variations des perméabilités des épontes des formations secondaires sont comprises entre 1.10^{-7} m/s et 1.10^{-11} m/s.

Emmagasinement

Chaque maille du modèle possède deux coefficients d'emmagasinement, l'un de type « libre » et l'autre de type « captif ». Lorsque la maille est en charge, c'est le coefficient de type « captif » qui intervient. Dans les zones d'affleurement des couches (mailles à cote de débordement) ou si une maille se dénoie, c'est le coefficient de type « libre » qui est utilisé.

Pour le coefficient d'emmagasinement captif, c'est le coefficient spécifique (c'est-à-dire par unité d'épaisseur) qui a été introduit (rappelons que le coefficient d'emmagasinement captif est une mesure du volume d'eau extrait d'un aquifère captif par décompression de l'eau et du terrain sous l'effet d'une variation de charge de 1 m, Noté **Ss**, l'emmagasinement spécifique s'exprime en m^{-1}). Pour les couches allant du Coniacien-Santonien au Bajocien, les coefficients d'emmagasinement captif spécifique ont été définis de manière à obtenir un coefficient d'emmagasinement **S** homogène. En effet, très peu de données sont disponibles pour définir ce paramètre. Par ailleurs, un pas de temps annuel ne permet pas d'aboutir à un calage fin de cette variable. C'est pourquoi en première approche, les valeurs appliquées sont de l'ordre de 10^{-3} .

Recharge

La recharge année par année des couches du Campanien au Bajocien a été évaluée par secteur, en prenant comme référence la pluie efficace moyenne de la station météorologique correspondante calculée sur la période 1972-2000 (avec une RU maximale de 150 mm). A partir des valeurs de recharge obtenues en régime permanent (1996), les valeurs, année par année, pour chaque zone météorologique (ZMTO), sont obtenues par la loi de recharge générale ci-dessous :

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

$R_{z,k}$: recharge de l'année k affectée à la zone météorologique z,
 R_z : valeur de recharge du régime permanent pour la zone météorologique z,
 $P_{eff}(k)$: pluie efficace de l'année k calculée pour la station météorologique considérée,
 $\overline{P_{eff}}$: pluie efficace moyenne calculée sur la période 1972-2000 pour la station météo considérée.

3.2.2. Piézométrie calculée - Evaluation du calage

L'effort de calage du modèle s'est porté essentiellement sur les parties les plus profondes des couches dans la mesure où les cotes de débordement sont définies à l'échelle de la taille des mailles (2 km de côté). La représentation du relief étant lissée au niveau des affleurements, les cotes de débordement introduites dans le modèle ne permettent pas de représenter correctement les échanges entre le domaine souterrain et les échanges avec les eaux de surface.

La restitution des charges hydrauliques simulées au niveau des piézomètres retenus pour le calage figure en Annexe 6.

Le graphe ci-dessous présente de manière synthétique les écarts moyens entre les charges hydrauliques simulées et observées sur la période 1972-2006.

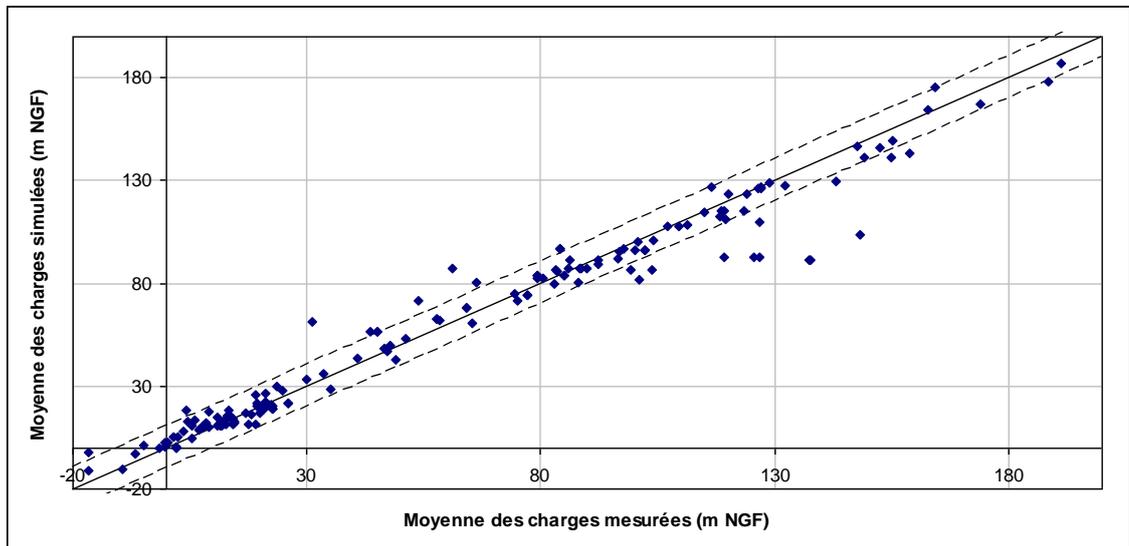


Illustration 14 - Comparaison entre les charges hydrauliques simulées et mesurées sur l'ensemble des piézomètres de contrôles pour les nappes du Campanien au Bajocien sur la période 1972-2006

Pour l'ensemble des piézomètres recoupant les formations campanienne à bajocienne, les écarts moyens entre les piézométries simulées et observées évoluent entre les bornes -46,4 m et 30,4 m avec une valeur moyenne de -1 m et un écart-type de 10 m.

La distribution des écarts moyens par couche simulée est présentée en Illustration 15.

Ecart moyen entre piézométrie simulée et observée de 1972 à 2006 (m)		Fréquence par aquifère simulé							
Borne inf	Borne sup	CAMP	COST	TURO	CENO	TITH	KIMM	BACX	BAJO
-50	-45	0%	0%	0%	0%	0%	0%	6%	0%
-45	-40	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%
-40	-35	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-35	-30	0%	0%	0%	0%	0%	17%	3%	0%
-30	-25	0%	0%	0%	0%	14%	0%	0%	0%
-25	-20	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-20	-15	0%	6%	5%	0%	0%	0%	3%	0%
-15	-10	0%	6%	5%	0%	0%	0%	3%	0%
-10	-5	3%	18%	3%	11%	14%	17%	3%	42%
-5	0	33%	24%	25%	84%	43%	17%	32%	25%
0	5	47%	29%	33%	5%	0%	33%	45%	17%
5	10	10%	12%	13%	0%	14%	17%	3%	0%
10	15	7%	0%	18%	0%	0%	0%	0%	0%
15	20	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
20	25	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
25	30	0%	0%	0%	0%	14%	0%	0%	0%
30	35	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%

Illustration 15 - Distribution des écarts moyens entre charges simulées et observées pour les couches du Campanien au Bajocien (1972-2006)

Pour l'ensemble des piézomètres retenus, la majeure partie des écarts moyens (84 %) se situent entre -10 et +10 m. A noter cependant que certains points restent mal restitués. Les erreurs les plus importantes apparaissent dans les nappes du Bathonien-Calovo-Oxfordien et du Bajocien où localement les écarts entre piézométrie observée et simulée peuvent être grande (entre 35 et 45 m de delta). L'Annexe 7 présente les cartes de distribution des écarts moyens constatés au niveau des piézomètres entre les charges hydrauliques simulées et mesurées sur la période de simulation (1972-2007). Concernant les limites d'utilisation du modèle, il convient de noter que le modèle Nord-Aquitain ne permet pas d'apprécier dans le détail le fonctionnement hydraulique des nappes libres au droit des zones d'affleurements compte-tenu de ses caractéristiques : taille des mailles (2 x 2 km), pas de temps annuel, pas de prise en compte des échanges nappes-rivières... Le modèle permet néanmoins d'évaluer les flux d'infiltration rejoignant les parties captives, dans la mesure où le drainage des nappes dans leurs parties libres (par effet de débordement) permet, par déduction, d'évaluer la part de l'eau « non-drainée » alimentant les parties profondes des nappes. C'est donc un outil régional qui répond principalement, à l'heure actuelle, à des problématiques de nappes profondes à renouvellement lent.

3.2.3. Bilan des flux

Le bilan des flux a été établi pour l'ensemble du système considéré. Il permet d'obtenir « une image » globale du fonctionnement hydraulique de l'aquifère. A titre d'illustration, le schéma de fonctionnement général du système multicouche nord-aquitain est présenté de manière synthétique en Annexe 8. Celui-ci s'appuie sur les bilans des flux moyennés calculés par le modèle régional sur la période 2000-2007. Il ressort de ce bilan que sur la période 1997-2007, la totalité des nappes captives représentées dans ce modèle sont déficitaires. Ceci peut s'expliquer par la faible intensité de la recharge globalement observée sur cette période. Les nappes les plus déficitaires sont celles de l'Éocène moyen, du Coniacien Santonien et du Bathonien-Calovo-Oxfordien en raison de leur forte exploitation.

4. Conclusion

A l'issue de la dernière convention, le Modèle Nord Aquitain dans sa version 3.3 comportait un total de 15 couches. Le travail réalisé au cours de l'année 1 de la convention 2008-2013 a permis dans un premier temps d'intégrer les données spatio-temporelles et les paramètres hydrodynamiques dans les couches du Cénomanién et du Jurassique. Dans un second temps, le processus de calage des couches allant du Campanien au Bajocien (8 couches au total) a pu être entrepris.

Le calage des 8 couches allant du Campanien au Bajocien a été effectué en s'appuyant sur 193 chroniques piézométriques. Au terme du calage, la majorité de ces chroniques est bien reproduite en phase, en amplitude, en pente et en niveau. Il reste cependant certains secteurs moins bien restitués, notamment dans les nappes du Bathonien-Callovo-Oxfordien et du Bajocien. A noter qu'il n'a pas été possible d'effectuer d'évaluation statistique du calage réalisé sur ces chroniques car un grand nombre d'entre elles sont trop récentes (La période d'observation est donc trop courte). Par ailleurs, la distribution spatiale des points d'observation n'est pas optimale et certains secteurs sont caractérisés par l'absence de piézomètres. Il reste donc des incertitudes liées à la méconnaissance de certains réservoirs qui ont pu être reconnus en forage lors de prospections pétrolières mais dont l'hydrodynamisme reste mal connu. Néanmoins, le comportement général des aquifères est globalement bien reproduit.

Le modèle dans sa version MONA V3.3-2007 est à présent opérationnel et peut donc être utilisé pour la réalisation de simulations.

La maintenance du Modèle Nord-Aquitain sera poursuivie au cours de l'année 2 du projet. Elle sera consacrée à tester sa robustesse dans sa version 3 en réalisant des simulations au pas de temps trimestriel sur une courte période pour valider les coefficients d'emmagasinement pris en compte dans l'outil. A l'issue de ce travail, une analyse de sensibilité du modèle sur les principaux paramètres (recharge, perméabilités et emmagasinement) sera effectuée.

Parallèlement, la réflexion et le travail visant à un développement du MONA en version V4 (passage à une maille de 1 km et multicouches 3D (prise en compte des épontes en tant que couches de calcul) seront entrepris dans un premier temps de façon à disposer d'une version encore plus détaillée et représentative de cet outil. Il est prévu d'ouvrir, au cours de cette année 2, une large concertation avec les différents acteurs des eaux souterraines du nord de l'Aquitaine pour que les futurs développements continuent d'être en adéquation avec les besoins exprimés.

5. Bibliographie

Amraoui N., Bichot F., Seguin J.J., Platel J.P., et Sourisseau B. (1999), Restructuration du modèle nord aquitain de gestion des nappes, Réalisation de 6 simulations pour le Schéma de Gestion des Eaux du département de la Gironde, BRGM/RR-40224-FR, Rapport technique, BRGM,

Bichot F., Alexandre A. et Baraton A. (2001), Gestion des eaux souterraines en Aquitaine, année 5, Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines, Atlas hydrogéologique de l'Aquitaine, BRGM/RP-51175-FR, Rapport technique, BRGM,

Bourgine B. (2006), Modélisation géologique 3D à l'aide du programme MultiLayer - Version 3 - BRGM/RP-53111-FR, Rapport technique, BRGM,

Braneyre M. (1993), Modèle conceptuel sommaire, Multicouche aquitain, BRGM/RR-37322-F, Rapport technique, BRGM,

Braneyre M., Chigot D., Lambert M., Moreau C., Sourisseau B., Platel J.P., Dubreuilh J. et Gaaloul N. (1993), Modélisation mathématique multicouche des trois aquifères exploités du bassin sédimentaire nord-aquitain (Oligocène - Éocène - Crétacé) - BRGM/RR-37361-FR, Rapport technique, BRGM,

Braneyre M., Lambert M. et Sourisseau B. (1994), Rapport de synthèse du modèle régional multicouche du Bassin Nord-aquitain, Calage en régime transitoire et simulations - BRGM/RR-38006-FR, Rapport technique, BRGM,

Gomez E., Pédrón N. et Buscarlet E. (2010), Utilisation du Modèle Nord-Aquitain (MONA) pour appuyer la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds du Nord du Bassin aquitain - BRGM/RP-57878-FR, Rapport technique, BRGM,

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

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

Pédrón N., Platel J.P. et Bourguine B. (2006), Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes - Module 4 - Année 3 - BRGM/RP-55242-FR, Rapport technique, BRGM,

Pédron N., Platel J.P., Bourguin B. et Loiseau J.B. (2008b), Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Année 4 - Module 4 - Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes - BRGM/RP-56614-FR, Rapport technique, BRGM,

Pédron N., Platel J.P. et Lopez B. (2005), Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine - Développements et maintenance du Modèle Nord Aquitain de gestion des nappes - Module 4 - Année 2 - Rapport final - BRGM/RP-53659-FR, Rapport technique, BRGM,

Pédron N., Seguin J.J. et Bichot F. (2001), Gestion des eaux souterraines en Aquitaine, Année 5, Évaluation des ressources, Modélisation des aquifères du Miocène, Calage et simulations - BRGM/RP-51176-FR, Rapport technique, BRGM,

Pédron N., Seguin J.J. et Capdeville J.P. (2003), Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine - Développements et maintenance du Modèle Nord Aquitain de gestion des nappes - Module 4 - Année 1 - BRGM/RP-52602-FR, Rapport technique, BRGM,

Platel J.P., Benhammouda S., Le Jeune F., Besse A., Sourisseau B., Bonnery H. et Dubreuilh J. (1997), Gestion des eaux souterraines en Aquitaine, Année 1, Opération sectorielle, Relations entre l'estuaire de la Gironde et la nappe de l'Éocène, Synthèse des connaissances géologiques, état des connaissances hydrogéologiques - BRGM/RR-39328-FR, Rapport technique, BRGM,

Platel J.P., Gomez E., Pédron N., Fondin A., Serrano O., Winckel A., Poux E. Calas C. et Rodriguez G. (2008), Perspectives de gestion des nappes du Secondaire en Agenais-Périgord, Partie 1 - Synthèse géologique et hydrogéologique, Rapport intermédiaire - BRGM/RP-56419-FR, Rapport technique, BRGM,

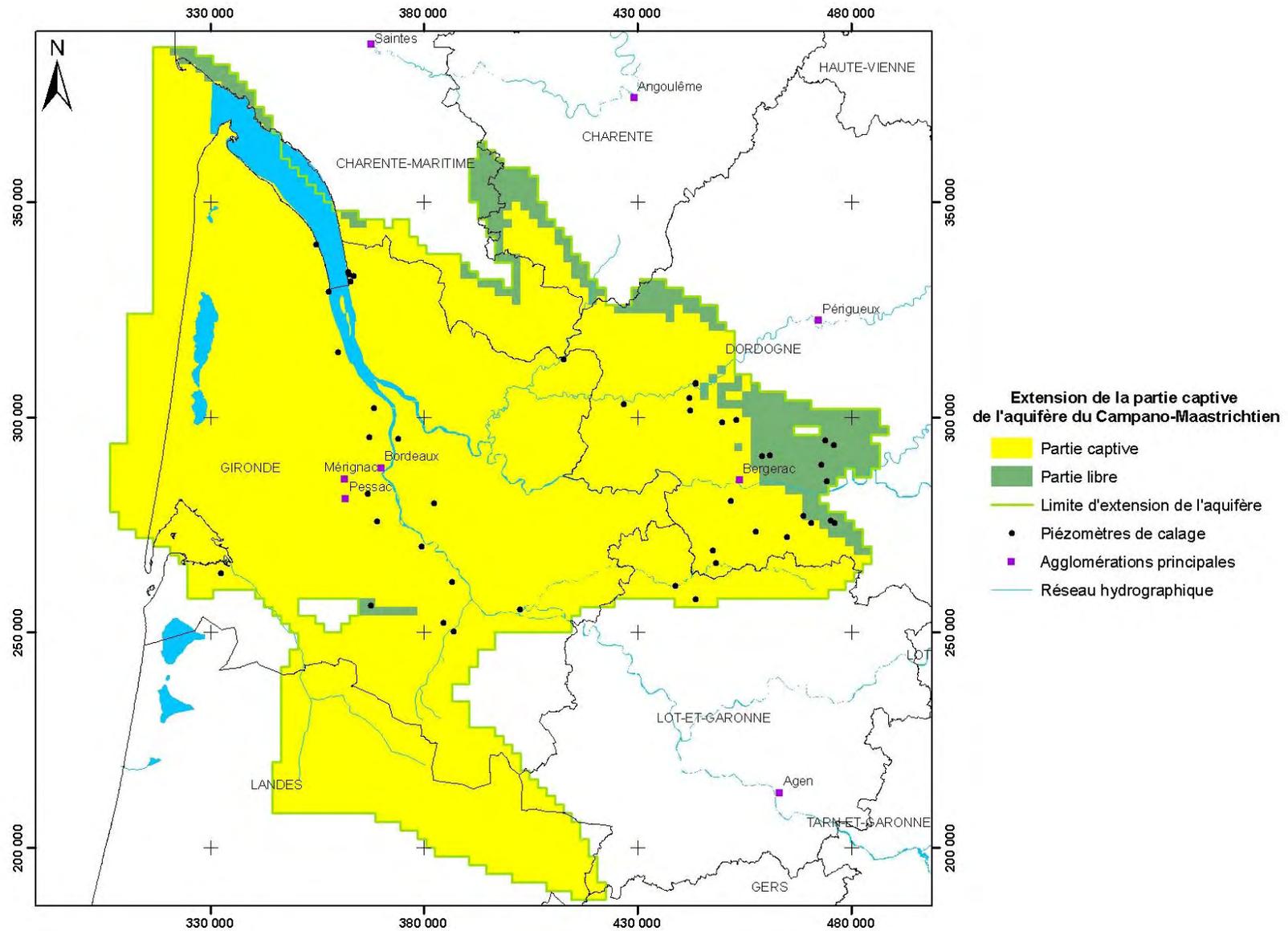
Seguin J.J. (1999), Contrôle qualité et gestion des nappes d'eaux souterraines en Gironde, Actualisation du modèle nord-aquitain de gestion des nappes, Période 1997-1998 - BRGM/RR-40760-FR, Rapport technique, BRGM,

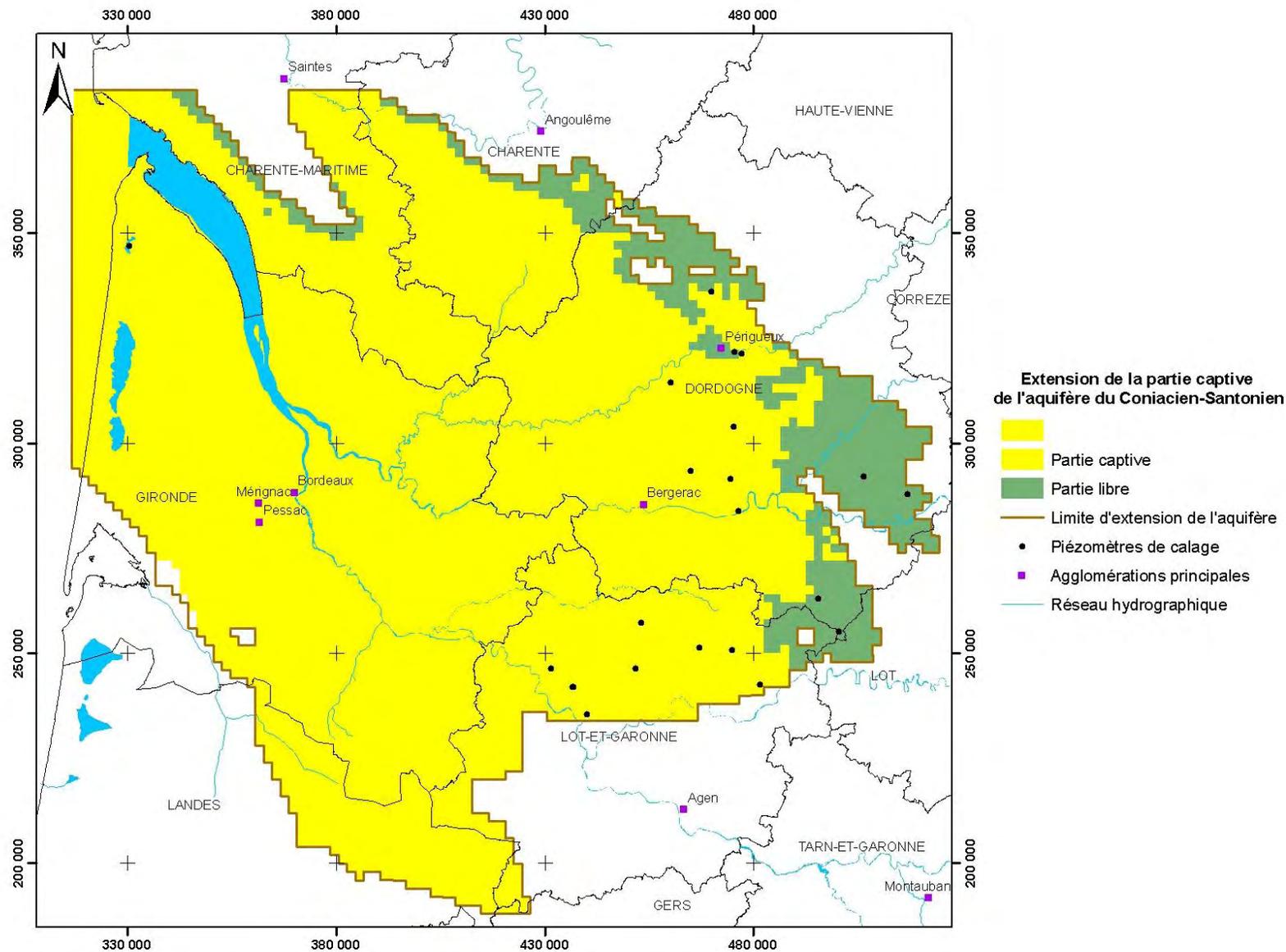
Seguin J.J. (2002), Gestion des eaux souterraines en Aquitaine, Actualisation du modèle nord-aquitain, Période 1999-2000 - BRGM/RP-51758-FR, Rapport technique, BRGM,

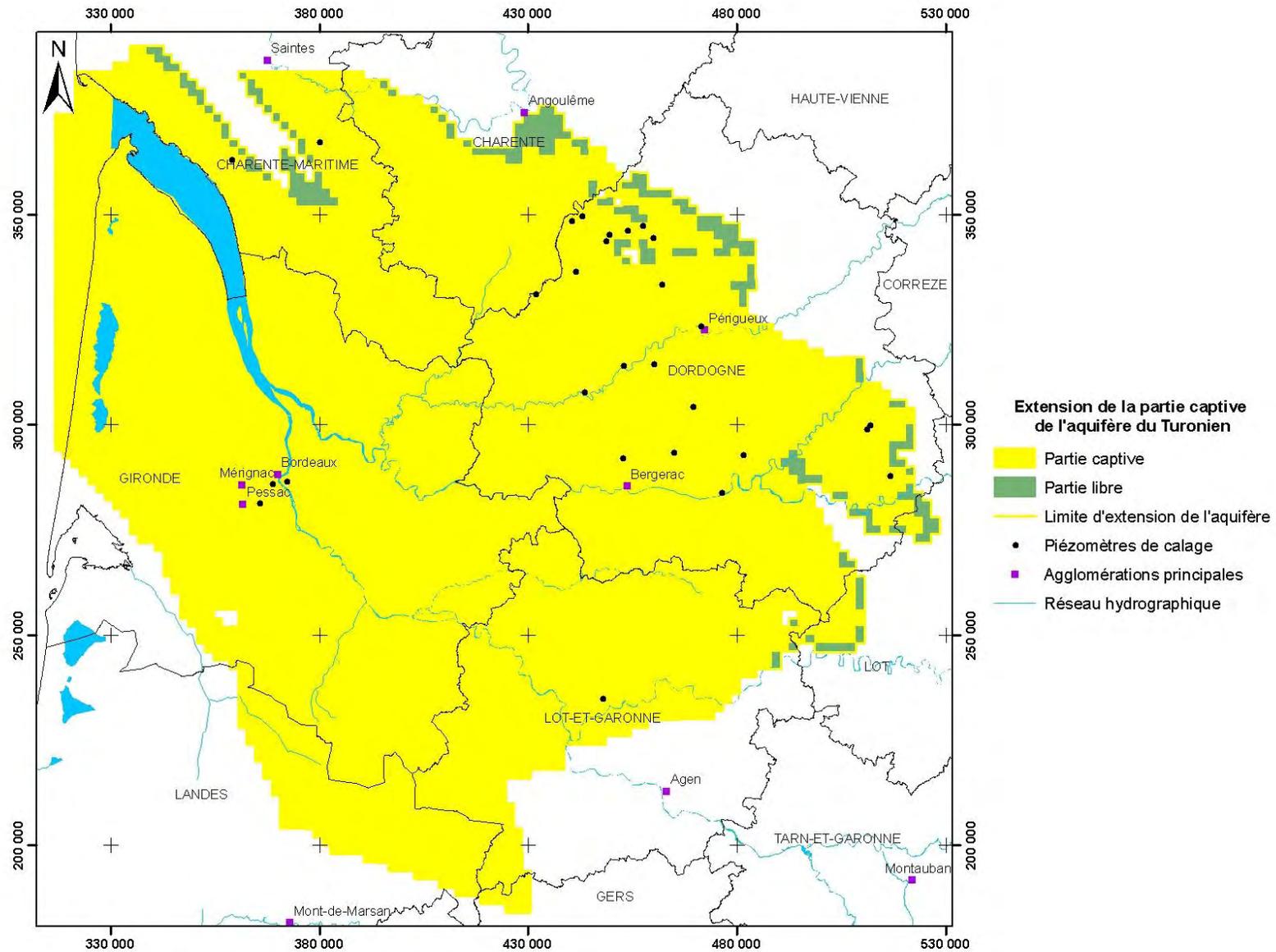
Thiéry D. (2006), Didacticiel du pré-processeur WinMarthe v4,0 - Rapport final - BRGM/RP-54652-FR, Rapport technique, BRGM,

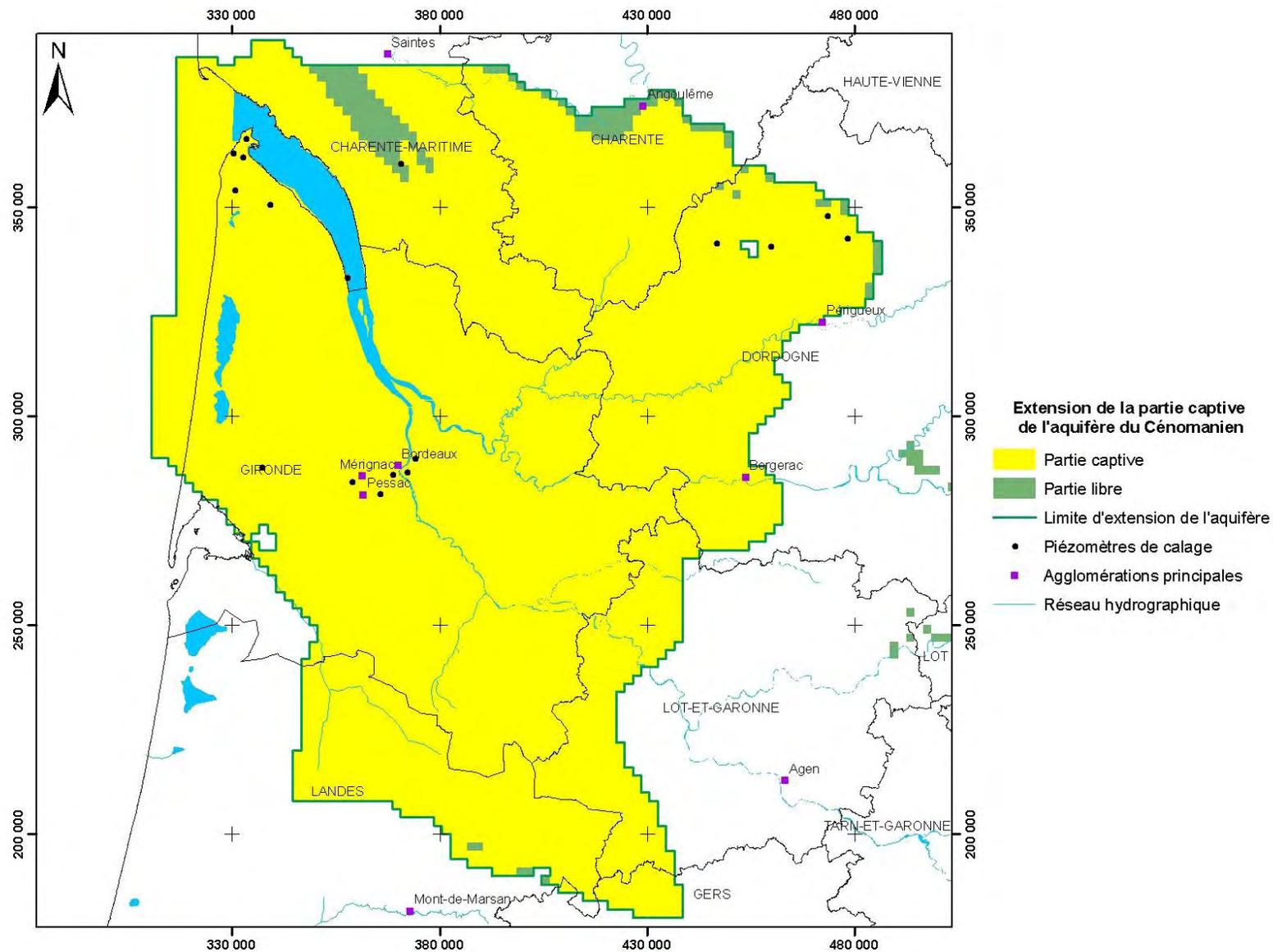
Annexe 1

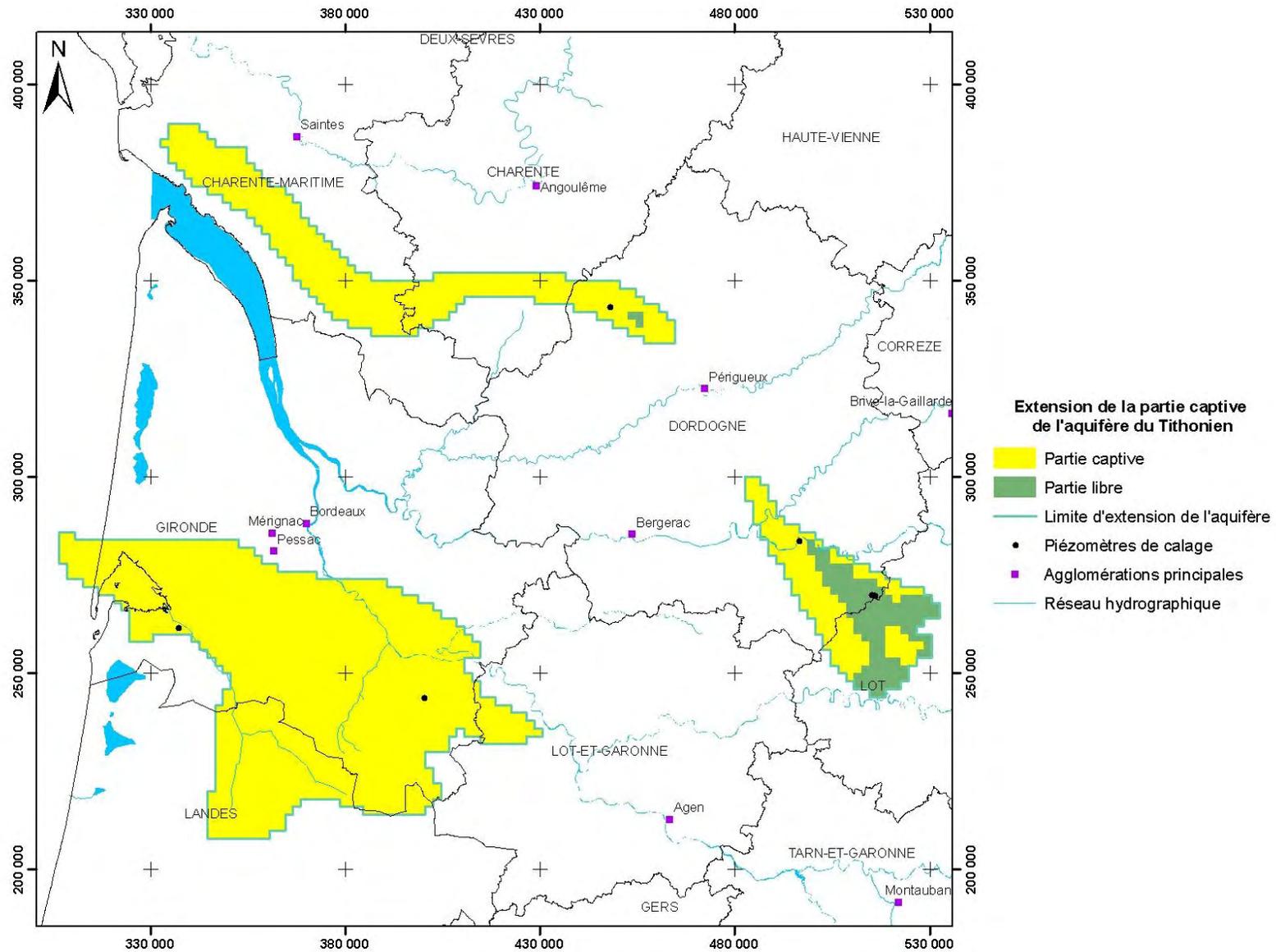
Extension des zones d'affleurement

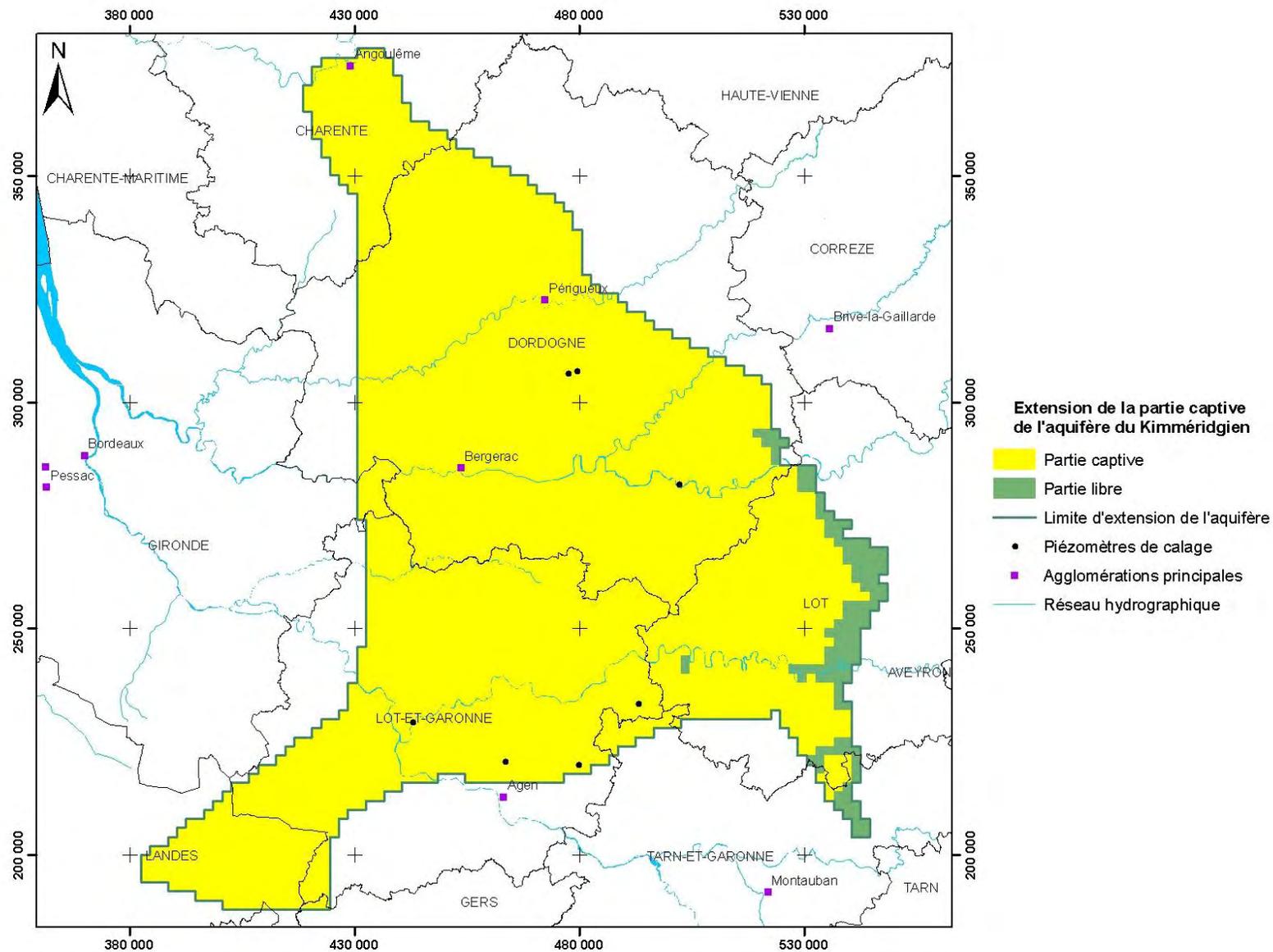


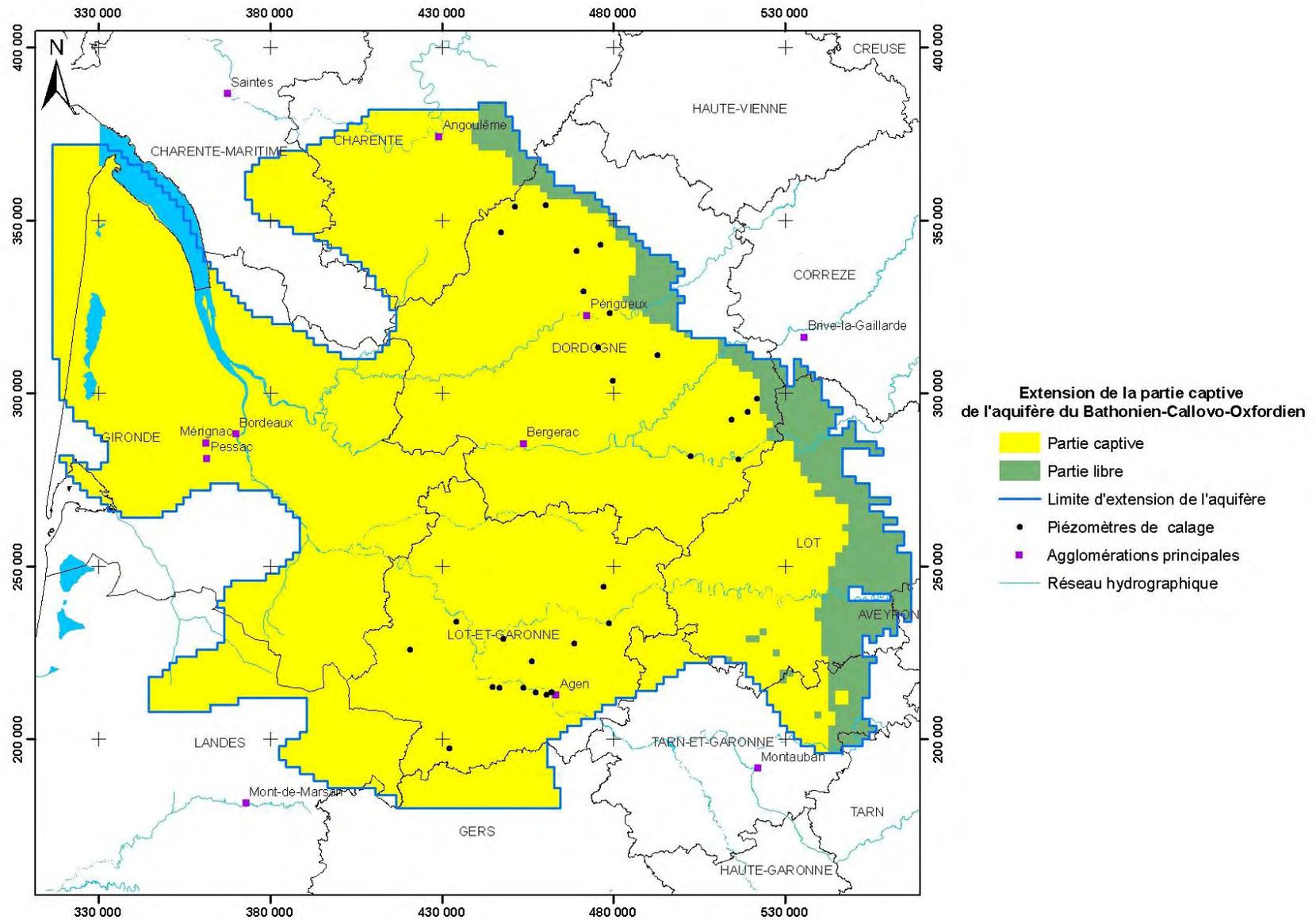


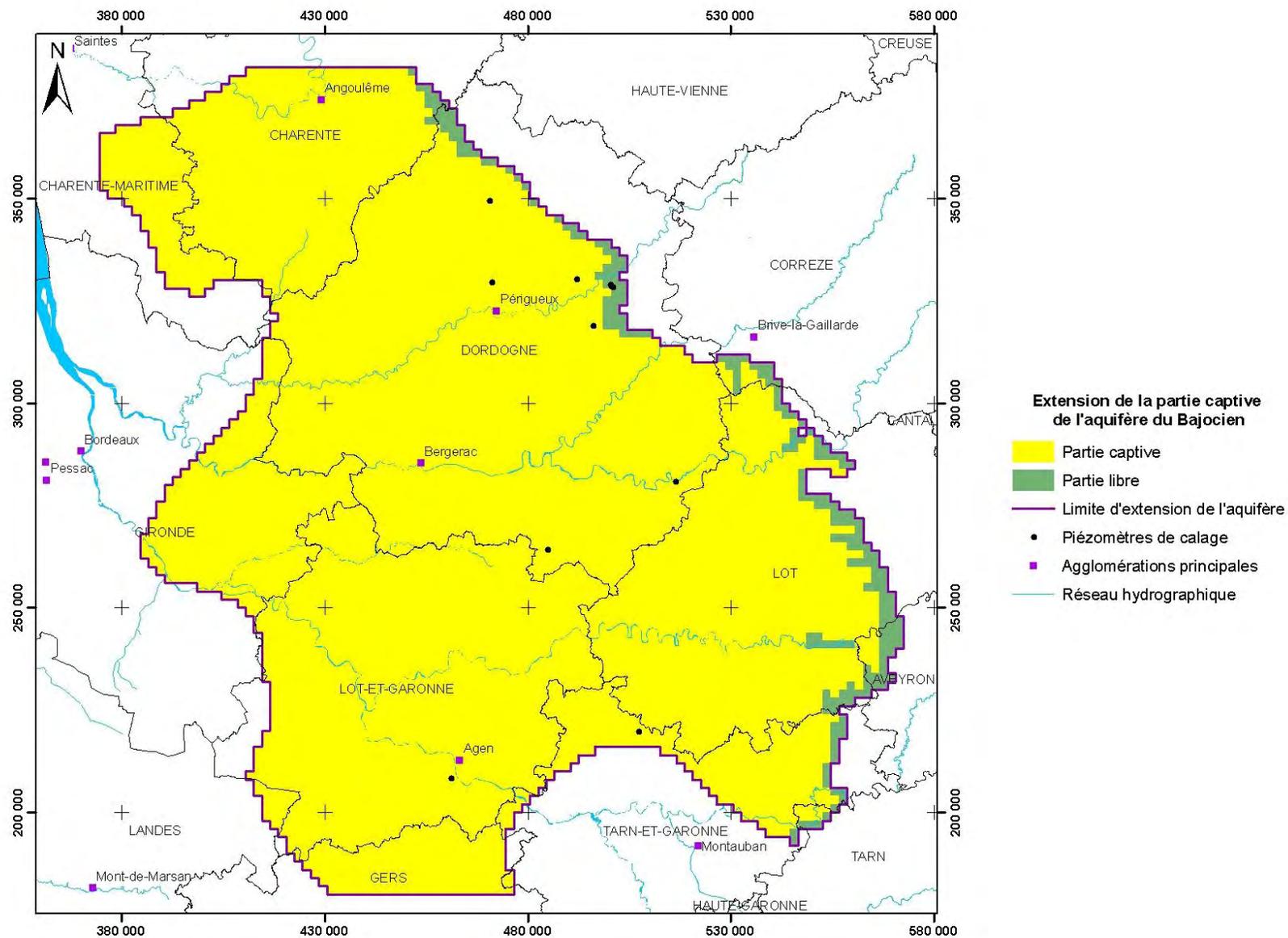






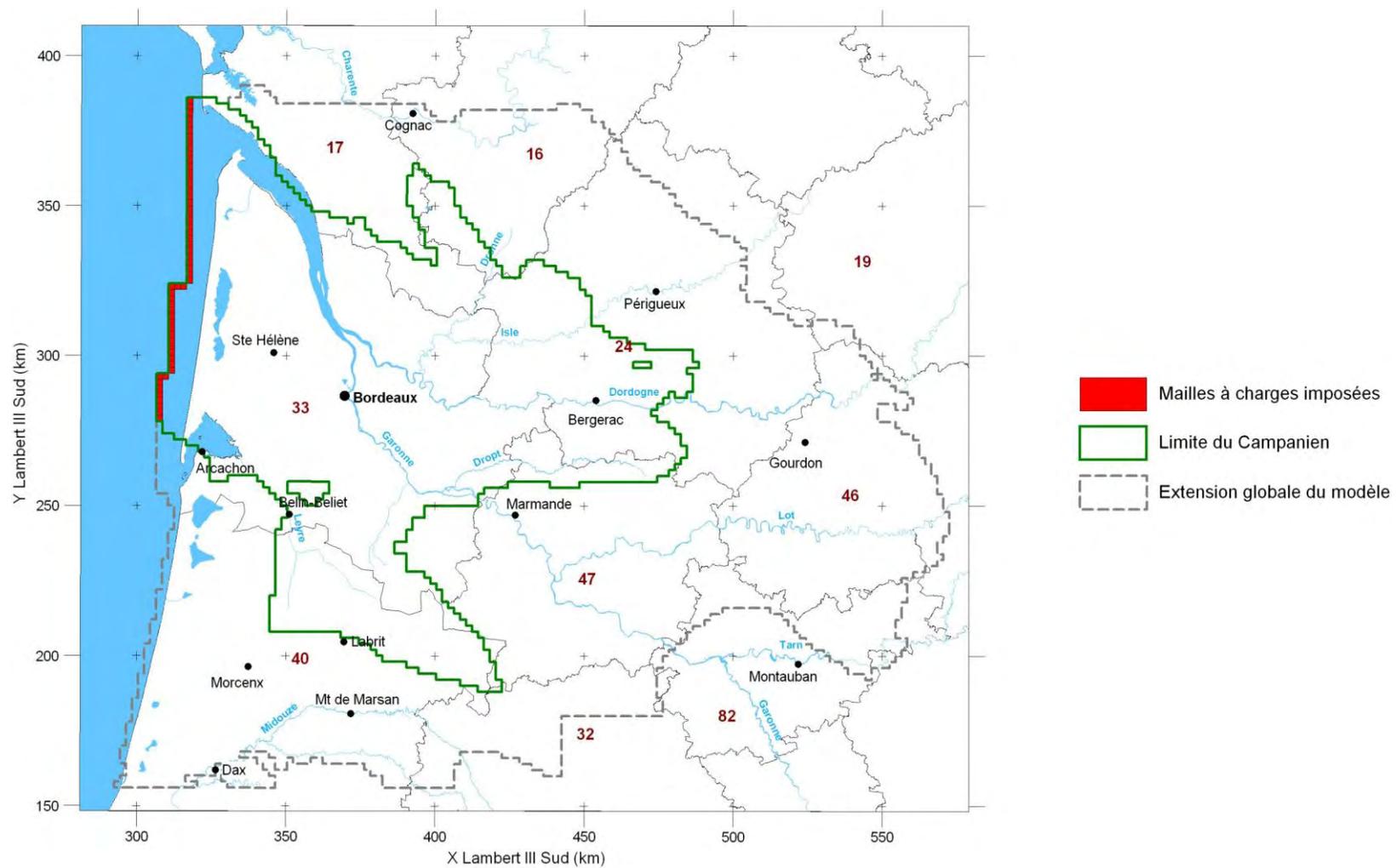


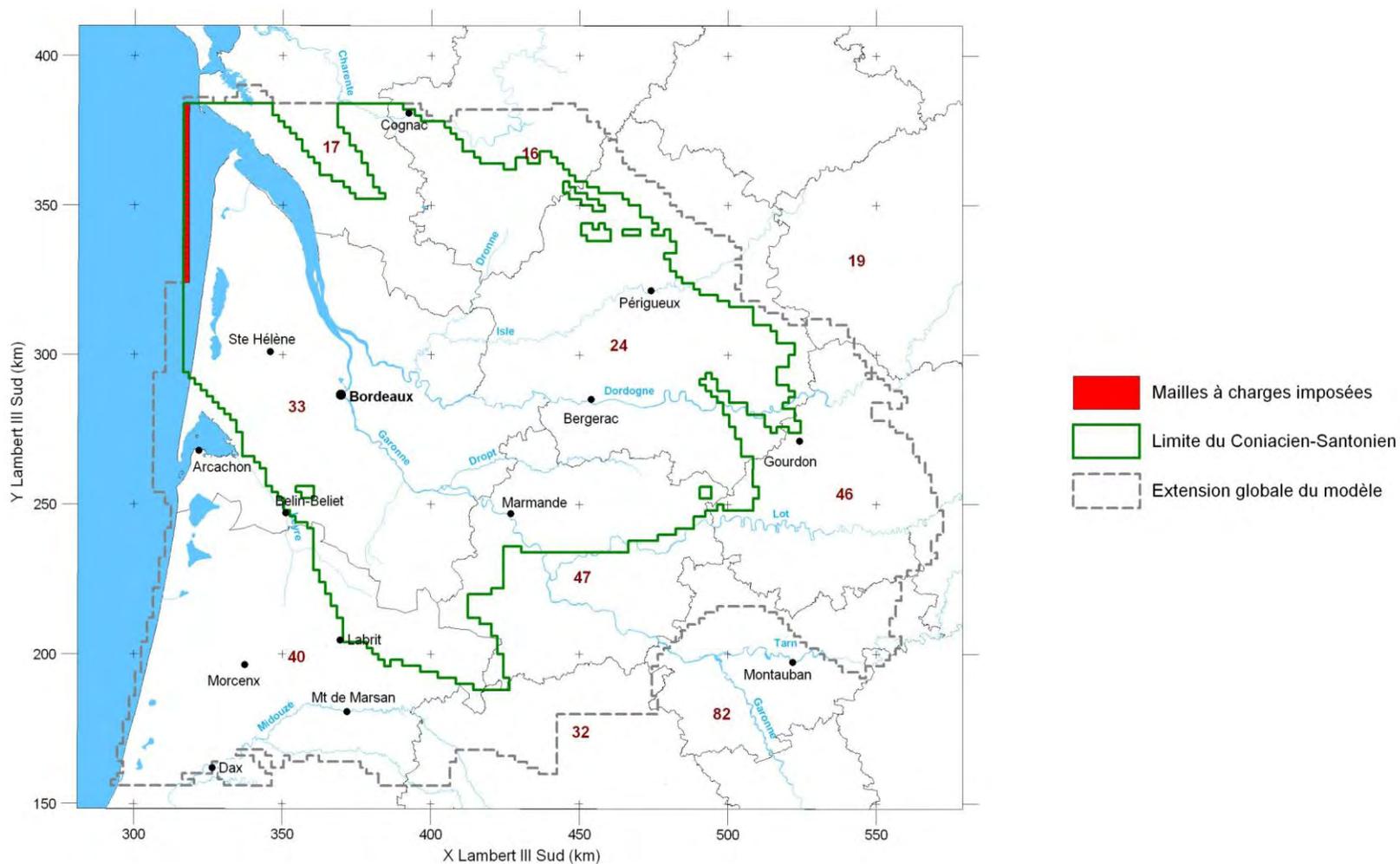


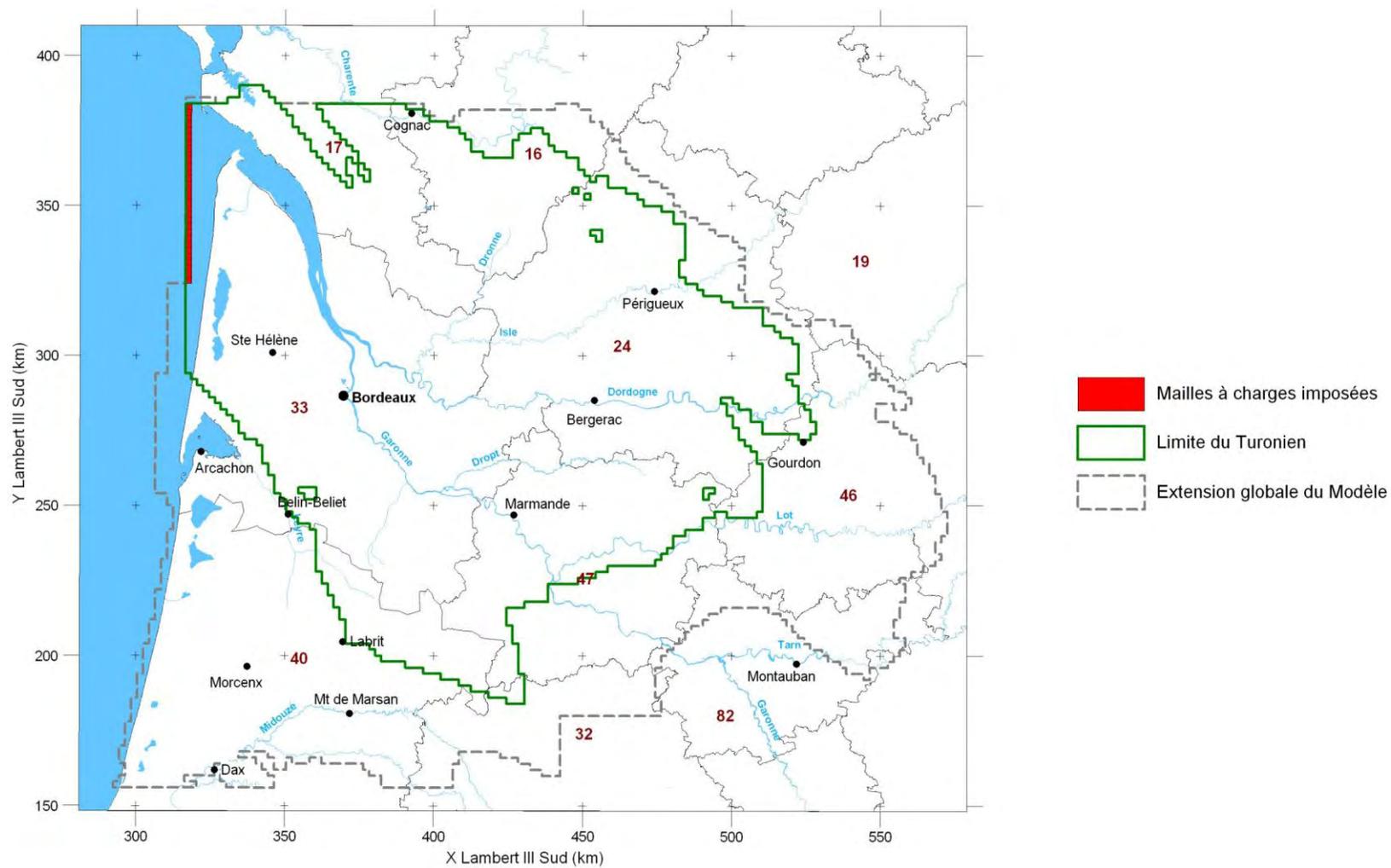


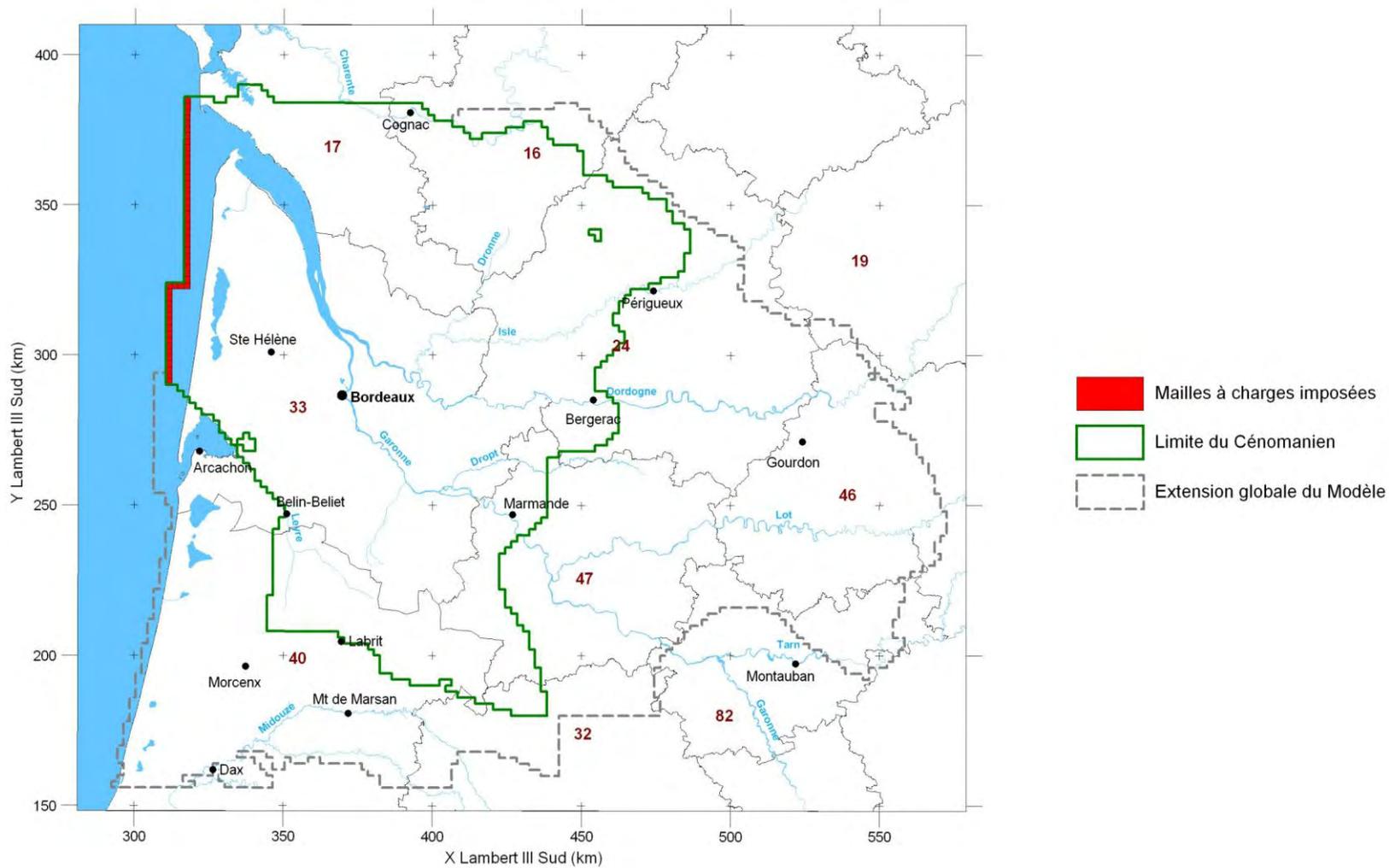
Annexe 2

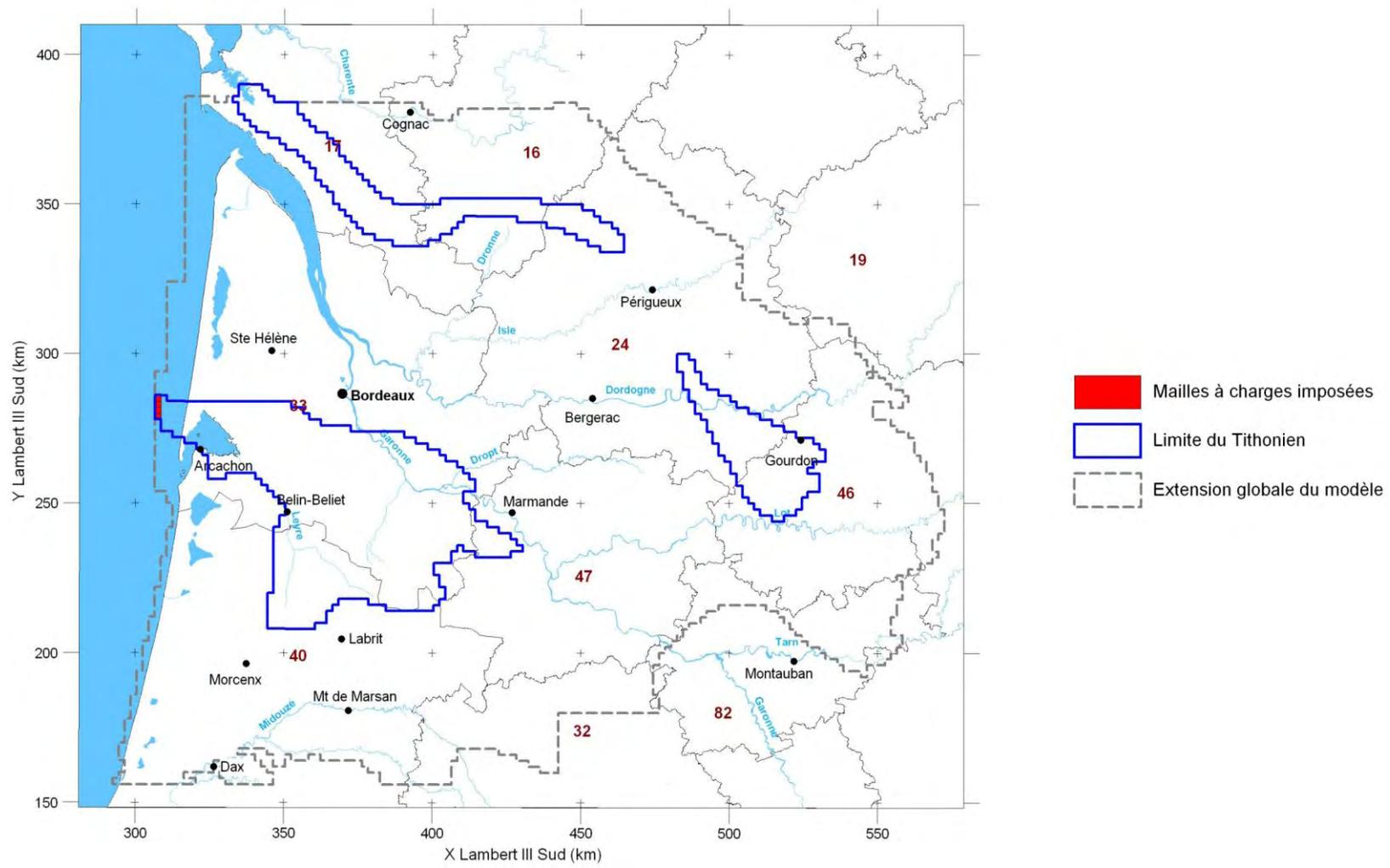
Distribution des mailles à charges imposées

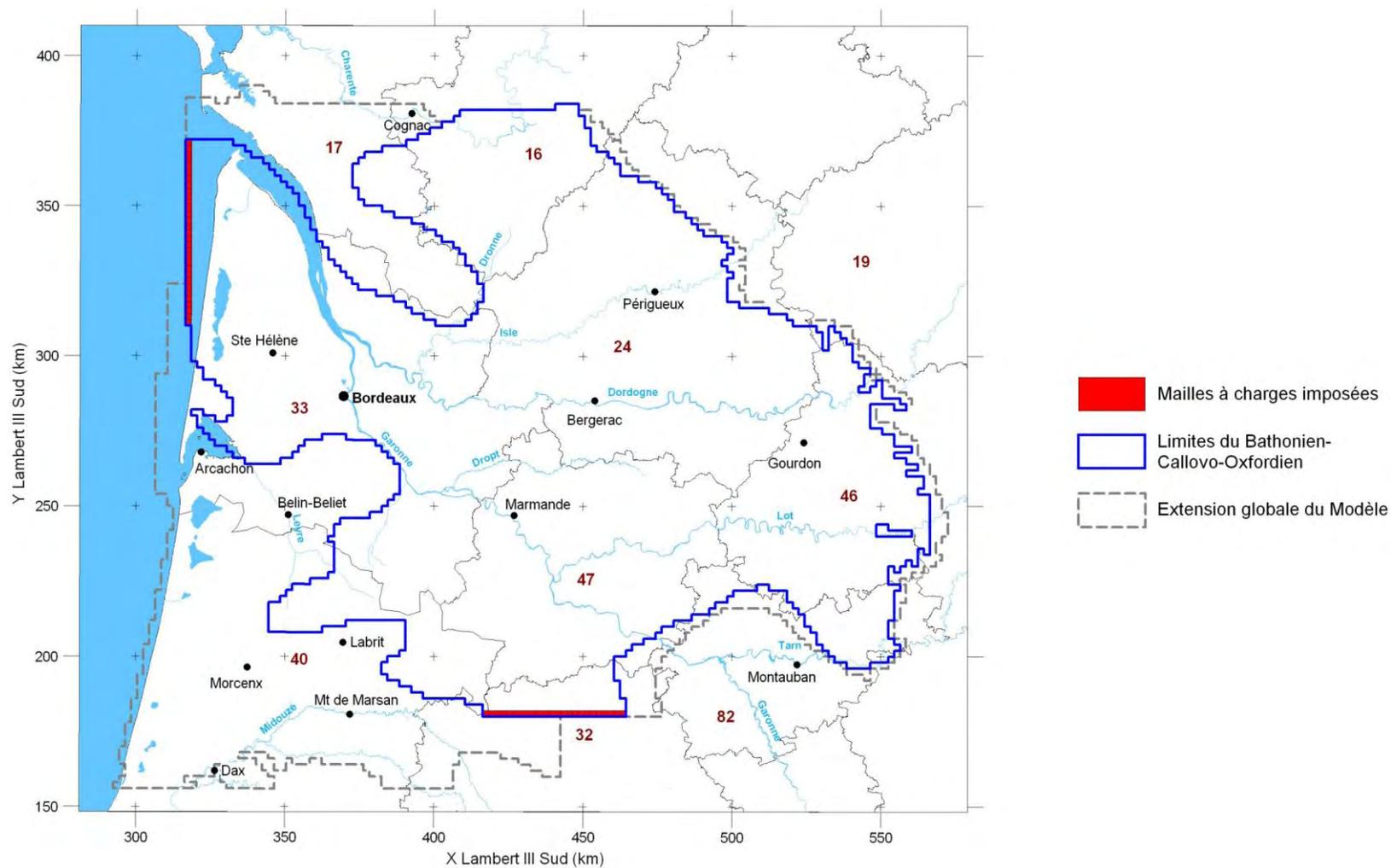








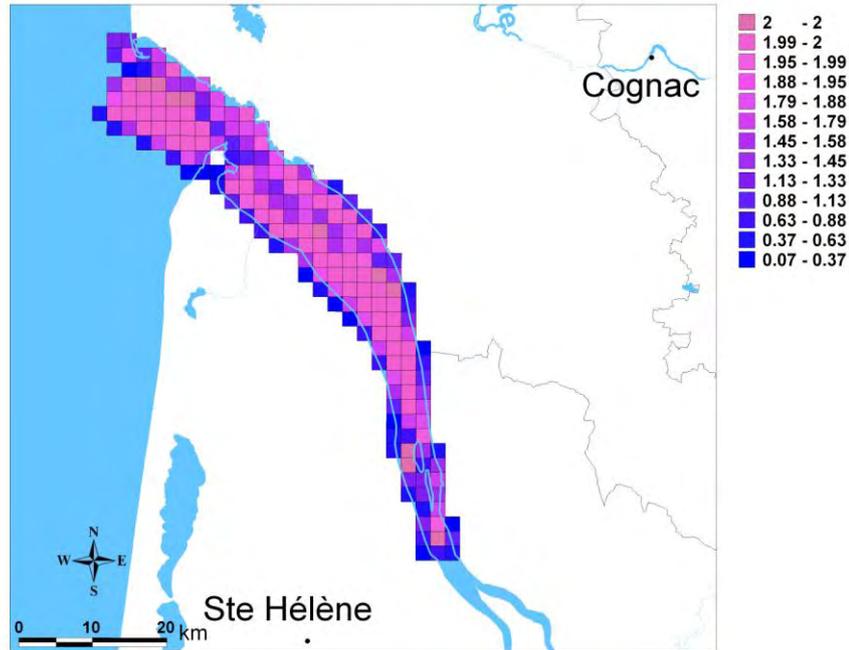




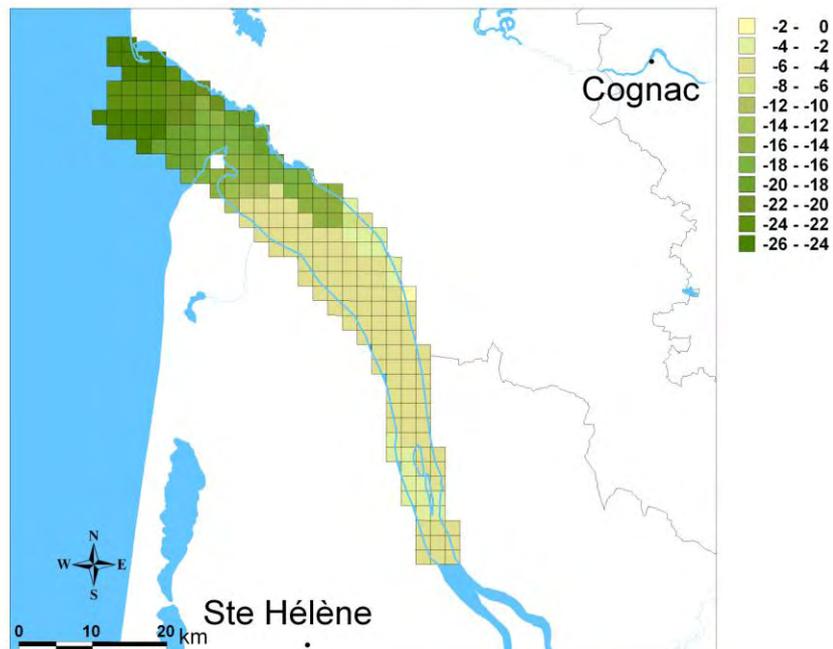
Annexe 3

Paramètres définis pour la prise en compte des conditions d'échanges Nappe-Estuaire

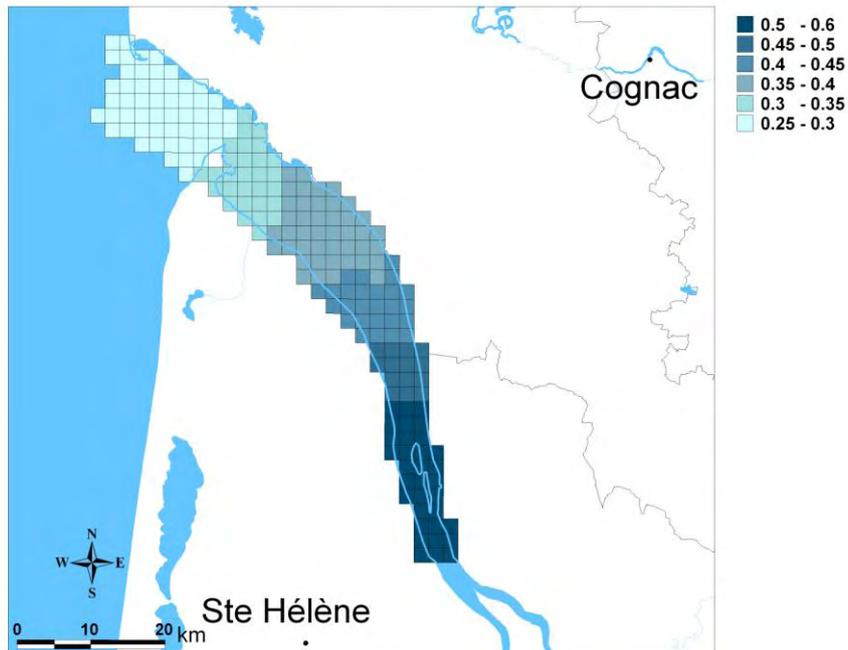
Largeur du tronçon des mailles représentant l'estuaire (km)



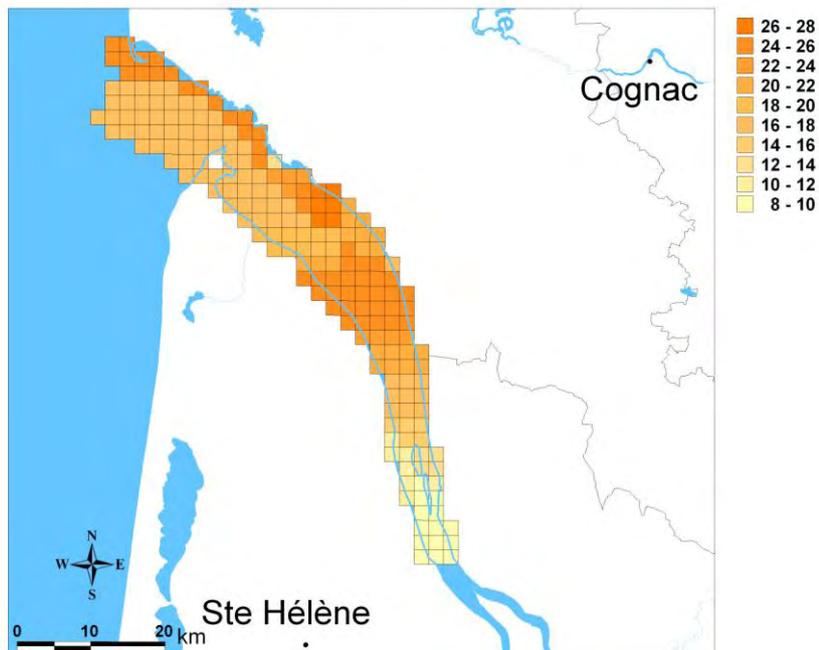
Cote du fond de l'estuaire (m)



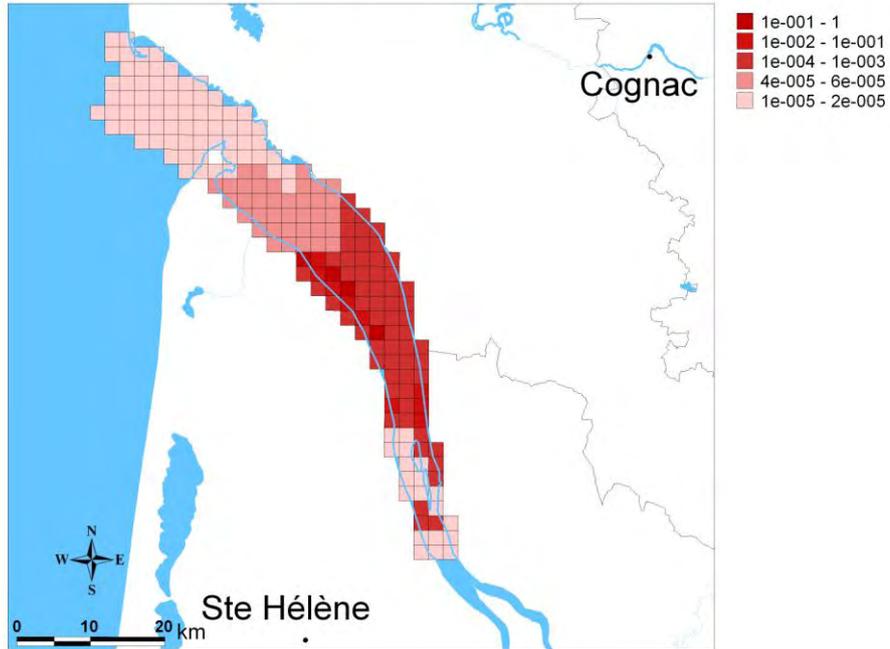
Cote du plan d'eau de l'estuaire (m)



Épaisseur de colmatage du lit de l'estuaire (m)

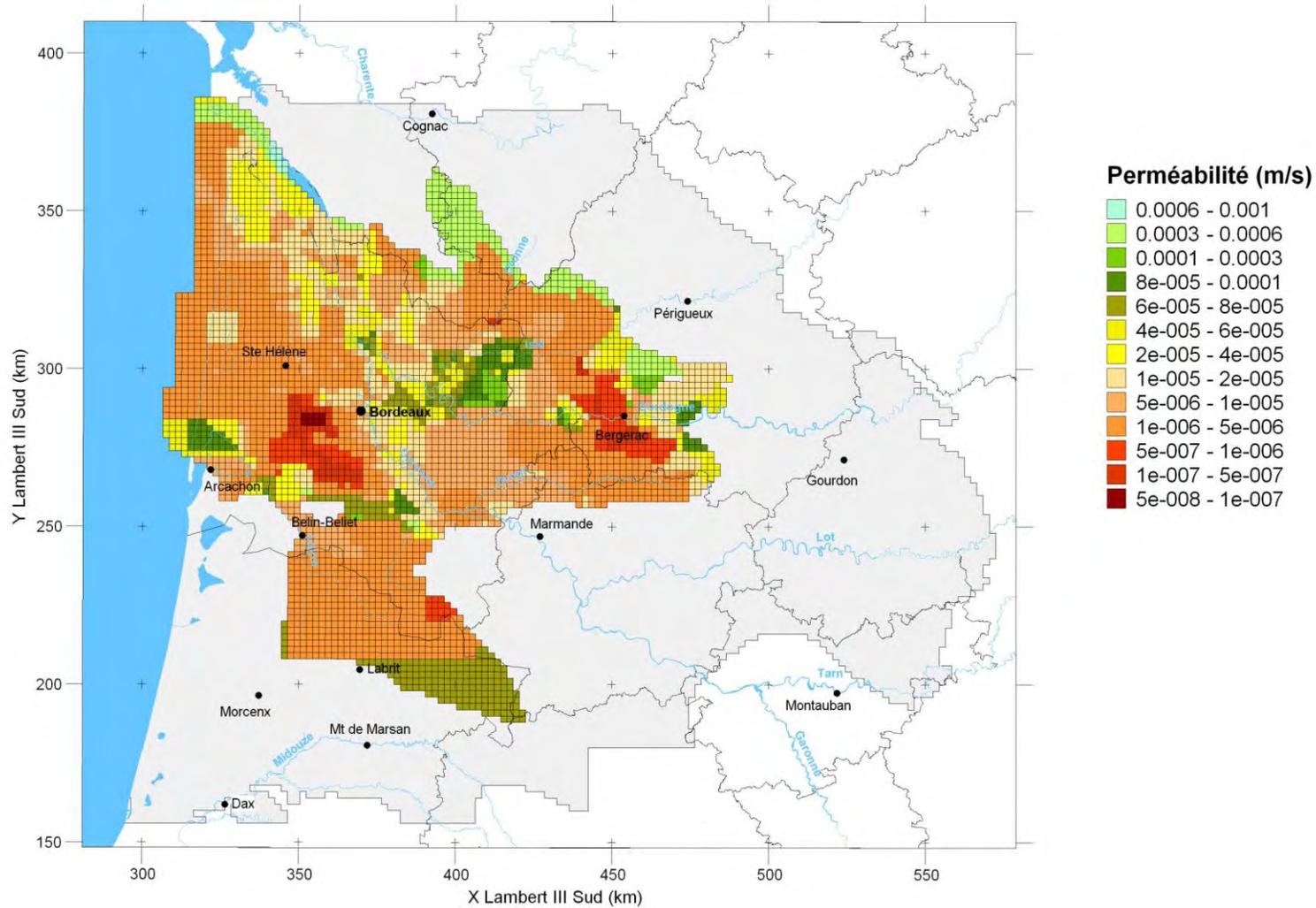


Perméabilité du lit de l'estuaire (10-5 m/s)

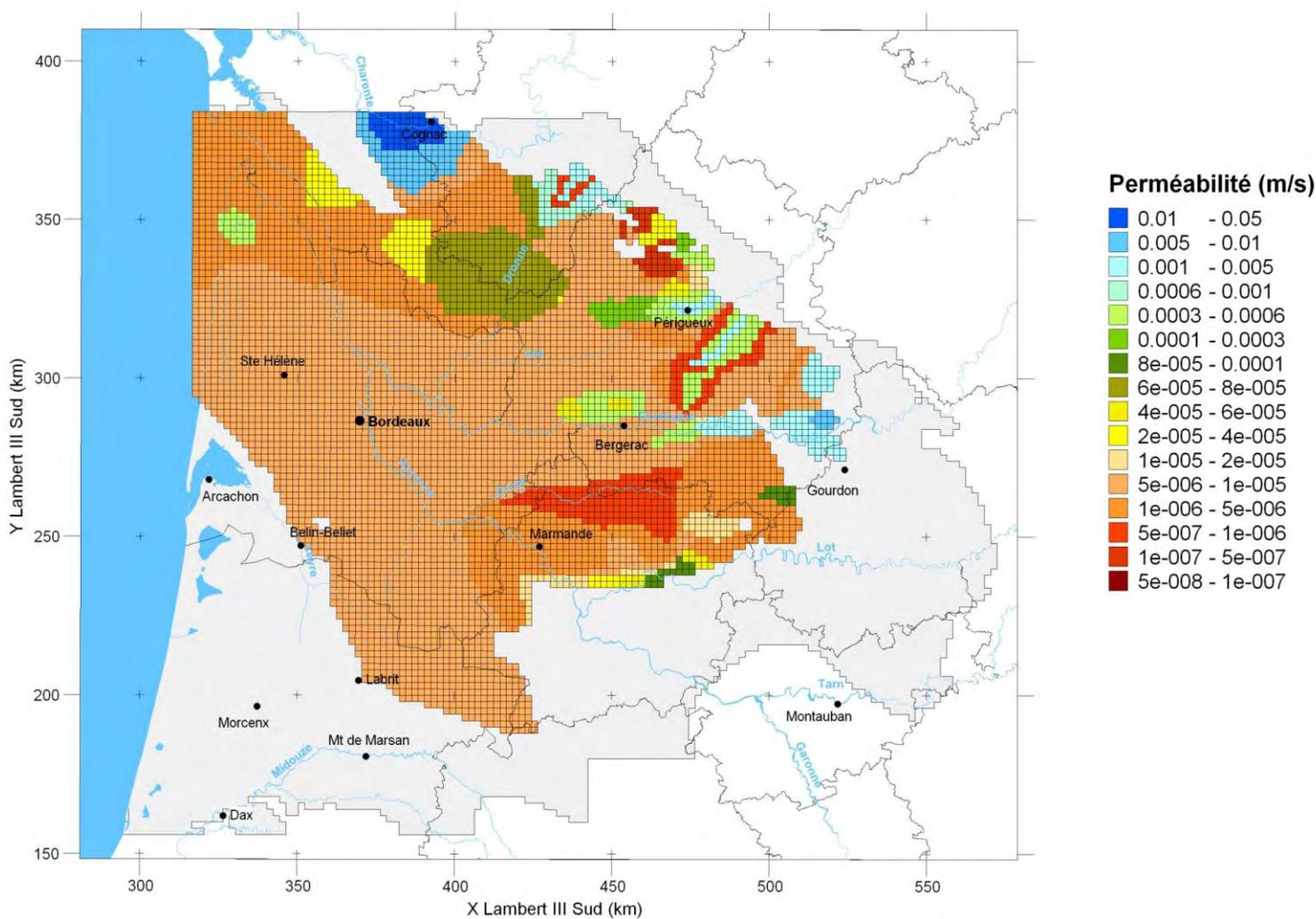


Annexe 4

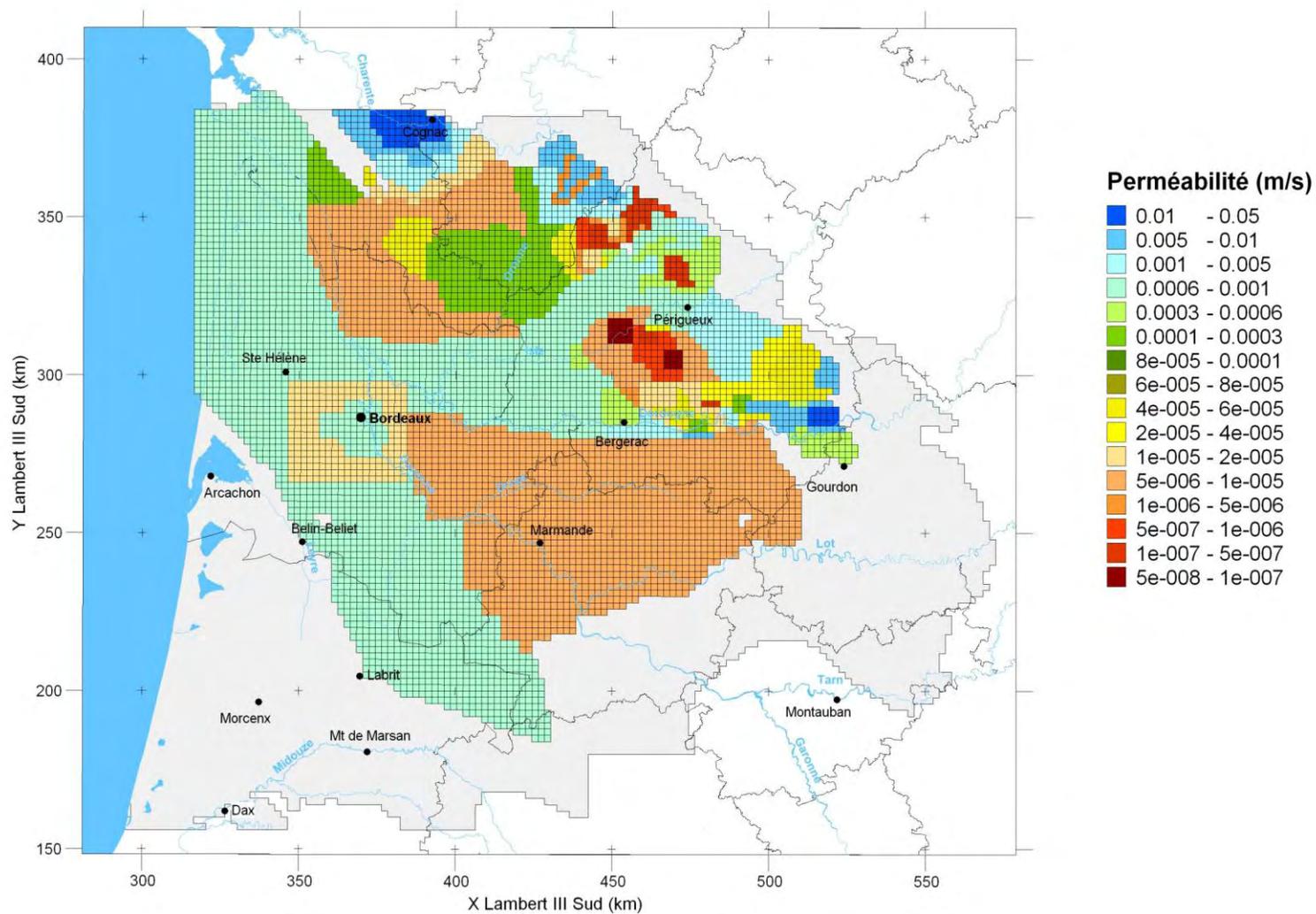
Champ des perméabilités des aquifères issues du calage en régime transitoire



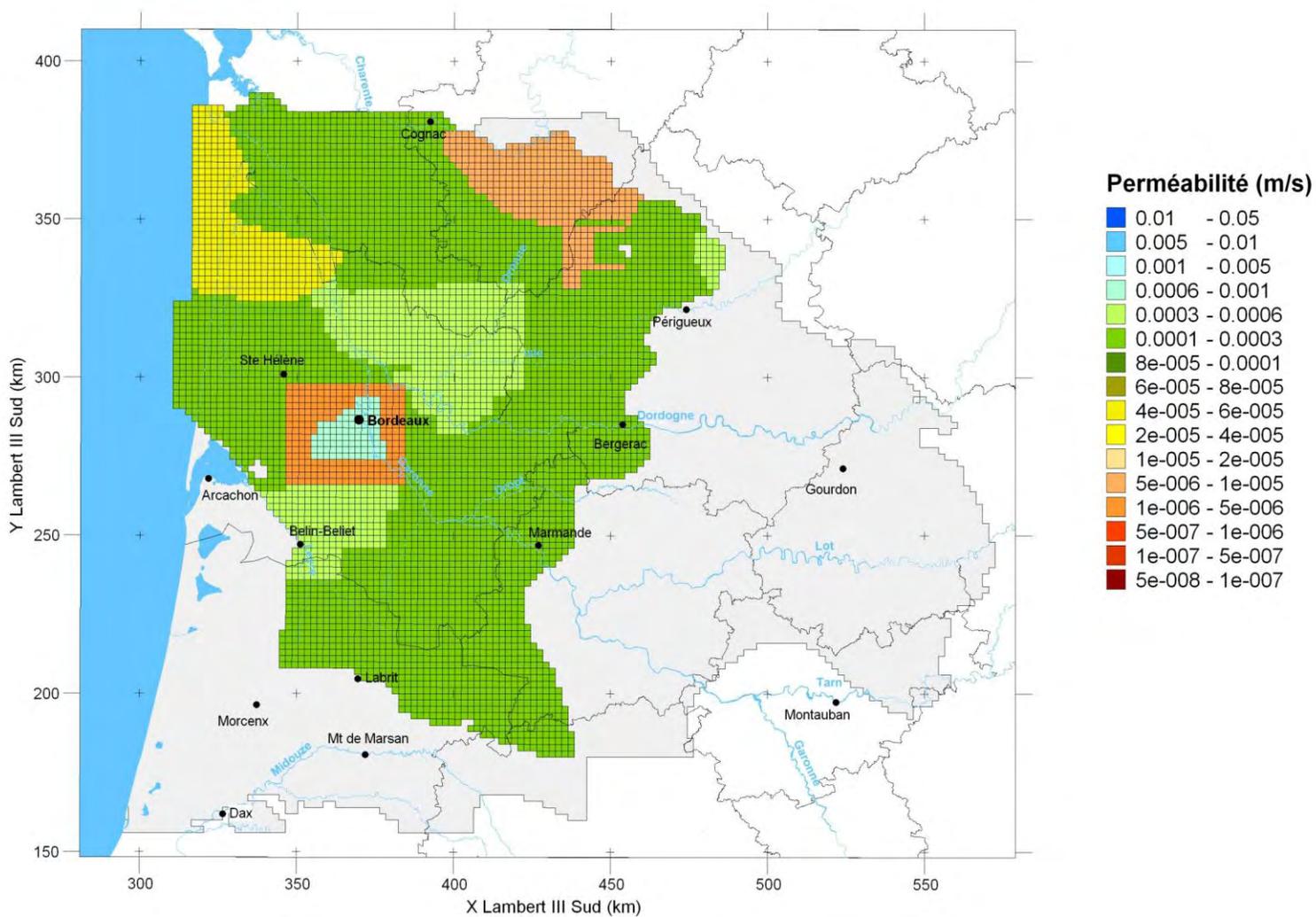
Campanien - Carte des perméabilités issues du calage en régime transitoire



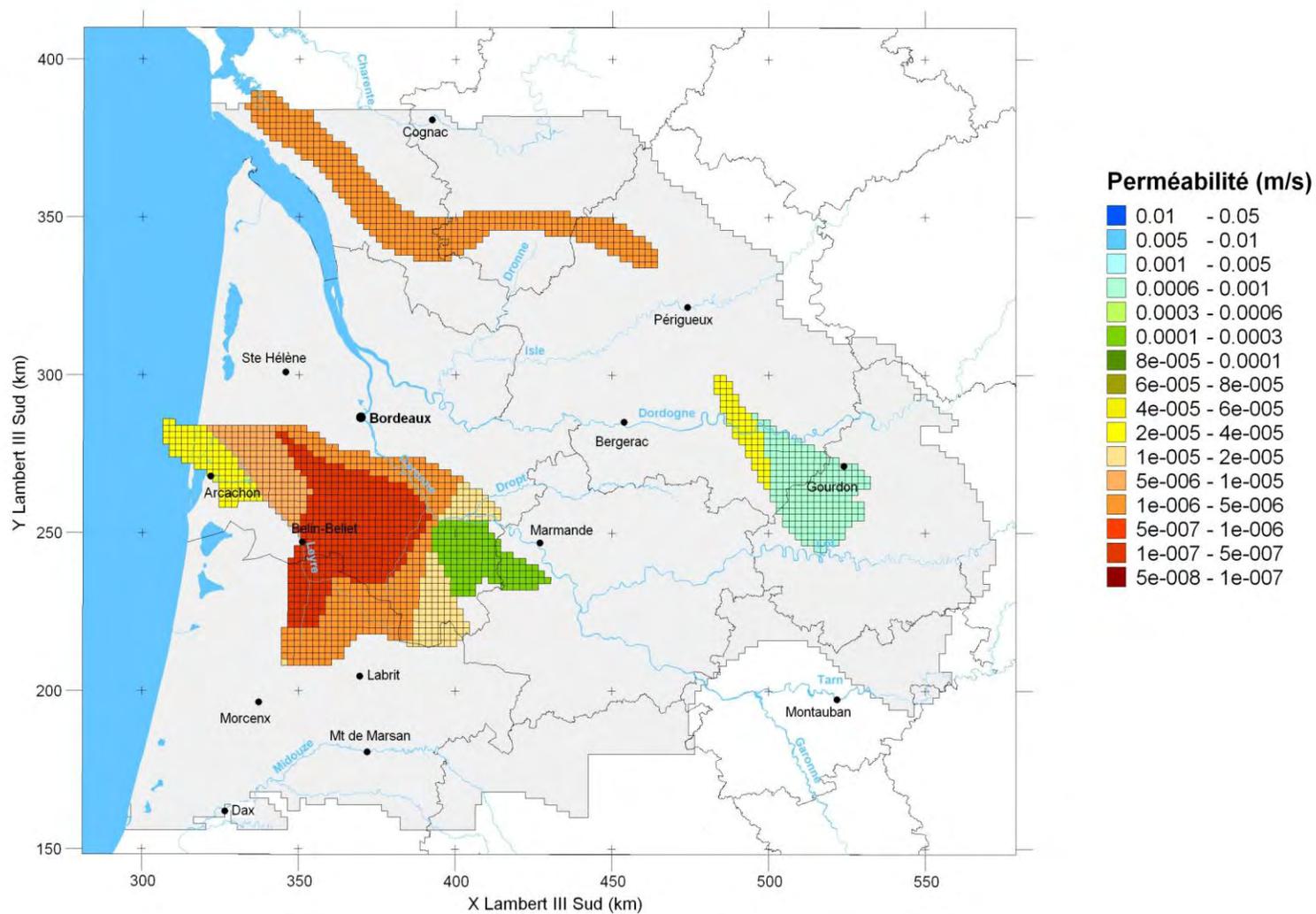
Coniacien-Santonien - Carte des perméabilités issues du calage en régime transitoire



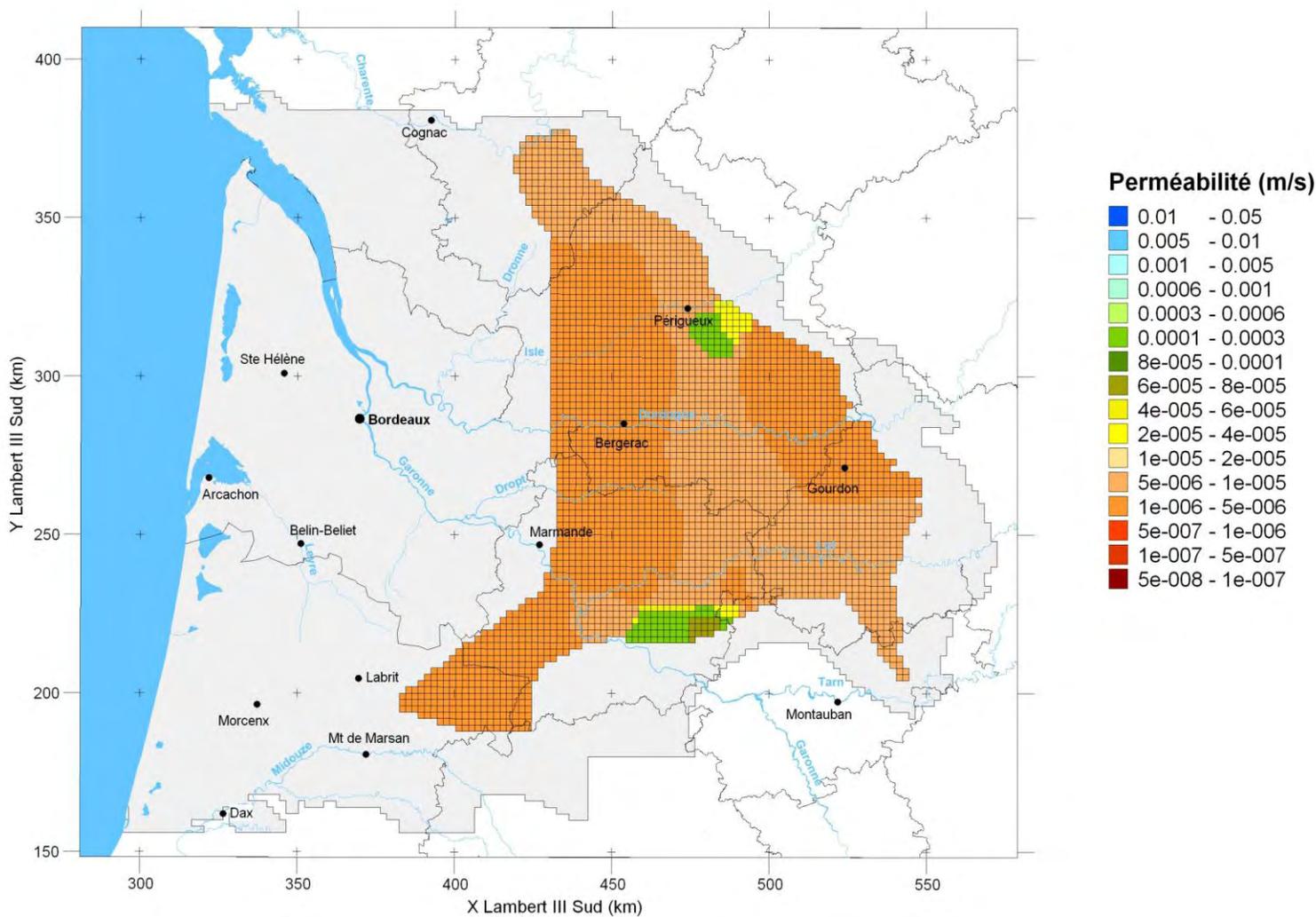
Turonien - Carte des perméabilités issues du calage en régime transitoire



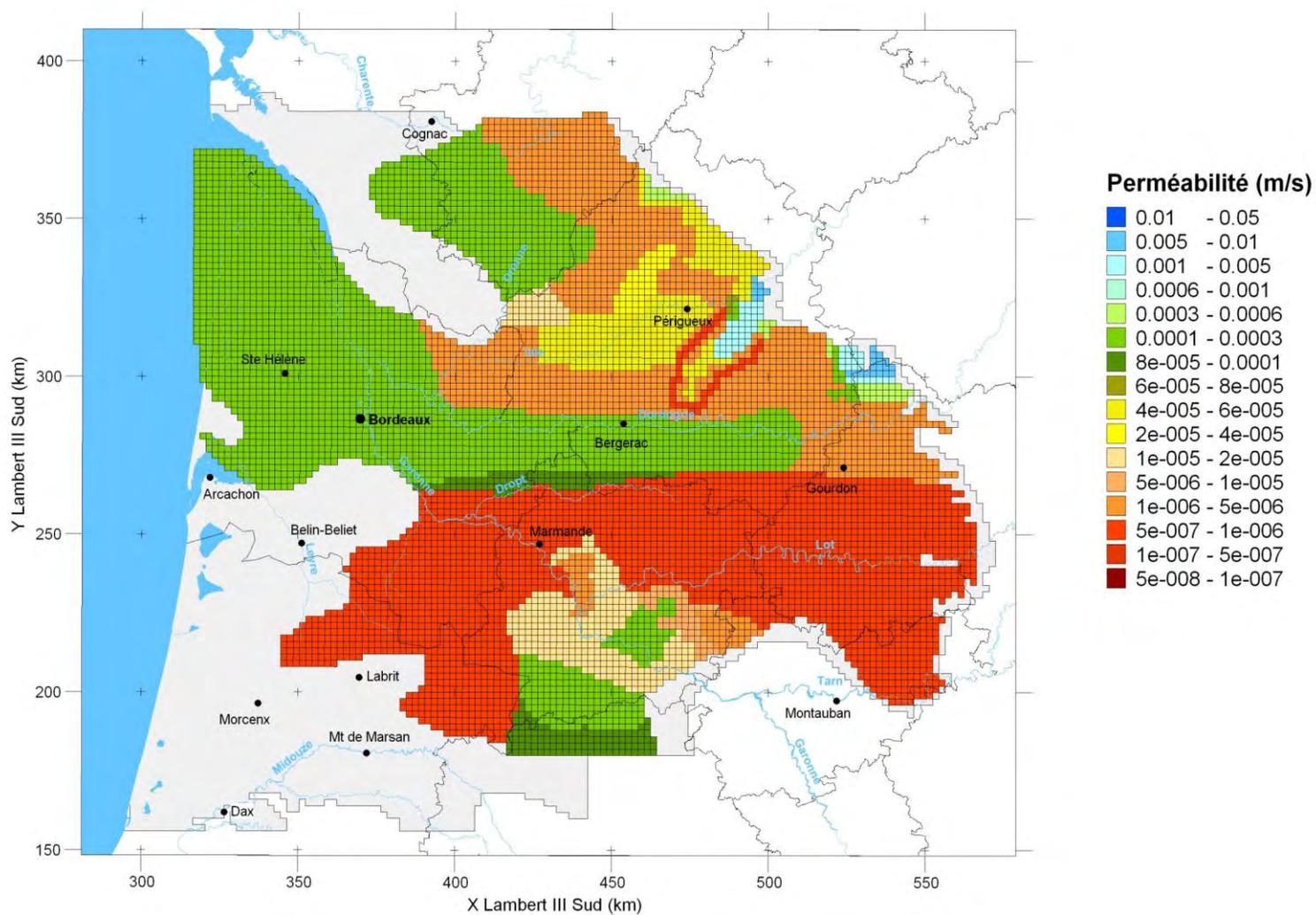
Cénomanien - Carte des perméabilités issues du calage en régime transitoire



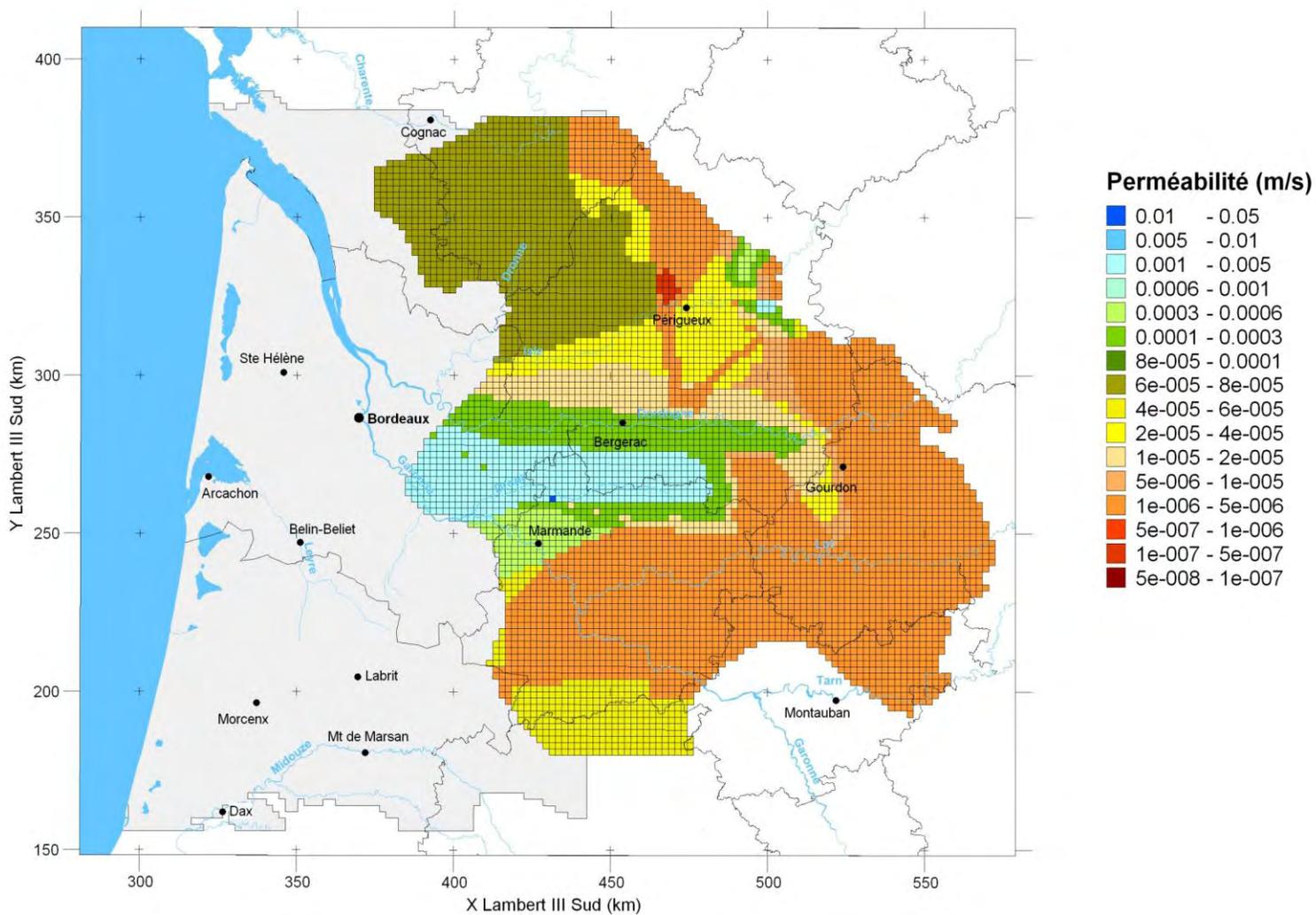
Tithonien - Carte des perméabilités issues du calage en régime transitoire



Kimméridgien - Carte des perméabilités issues du calage en régime transitoire



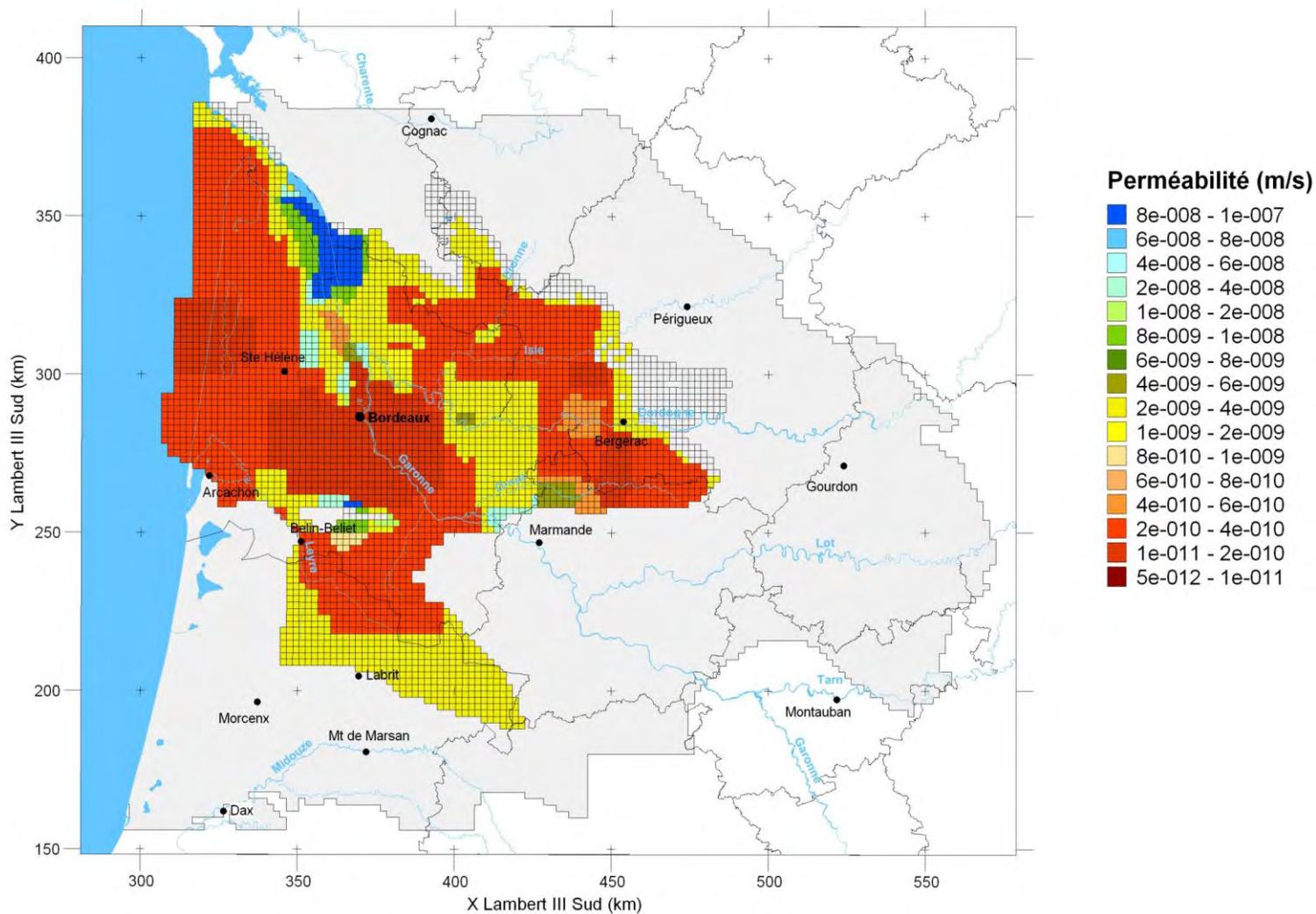
Bathonien Callovo-Oxfordien - Carte des perméabilités issues du calage en régime transitoire



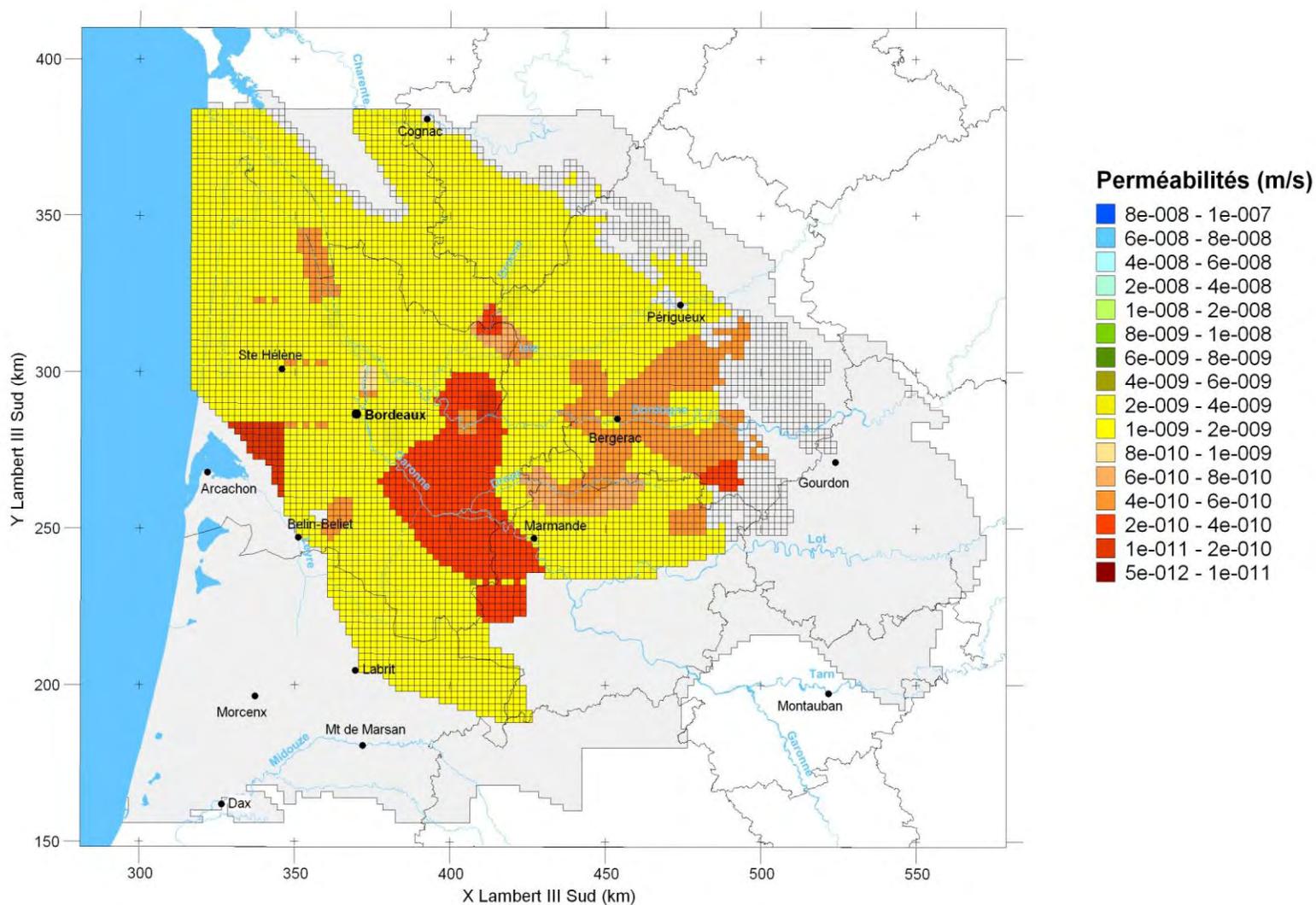
Bajocien - Carte des perméabilités issues du calage en régime transitoire

Annexe 5

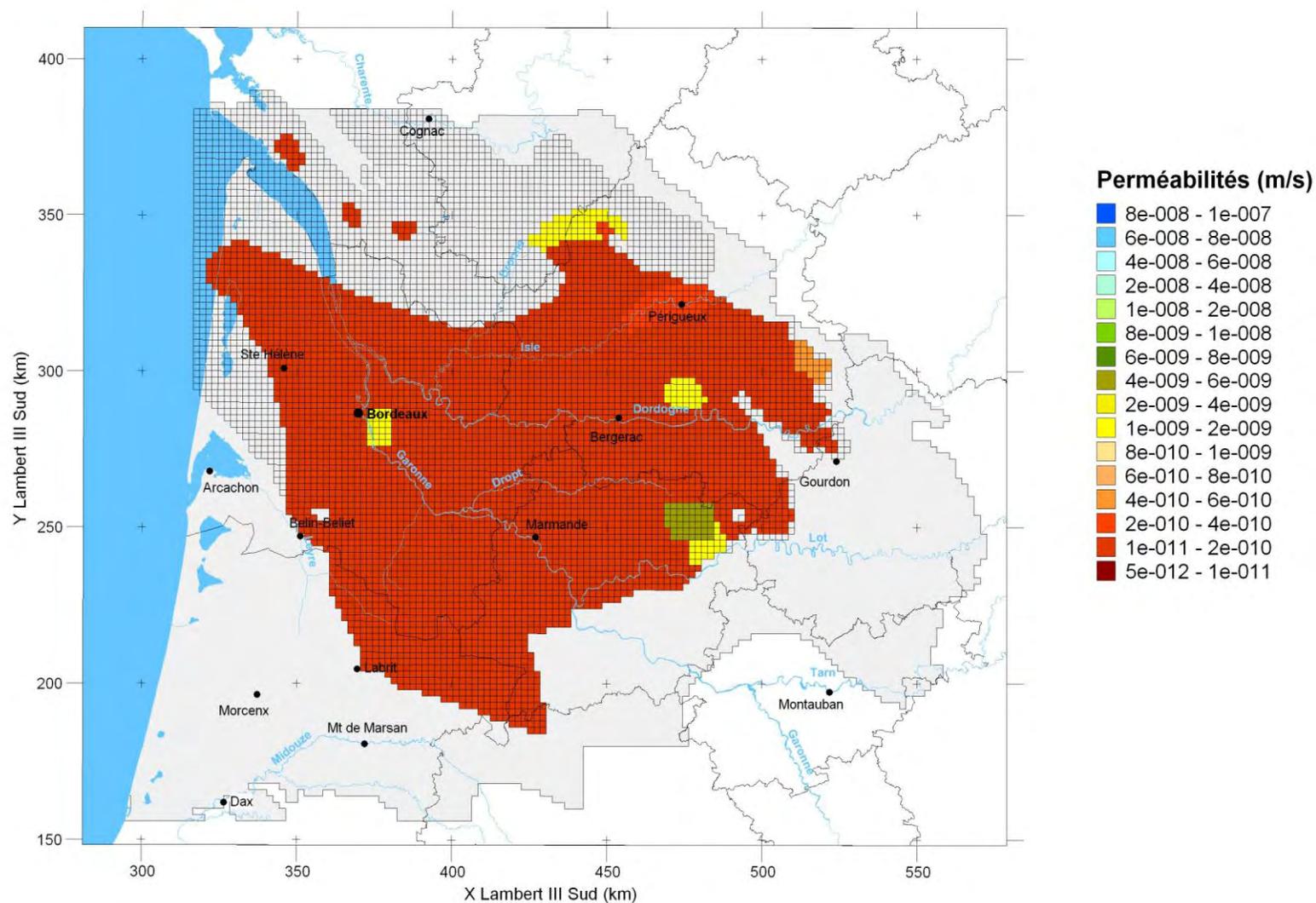
Champ des perméabilités des épontes issues du calage en régime transitoire



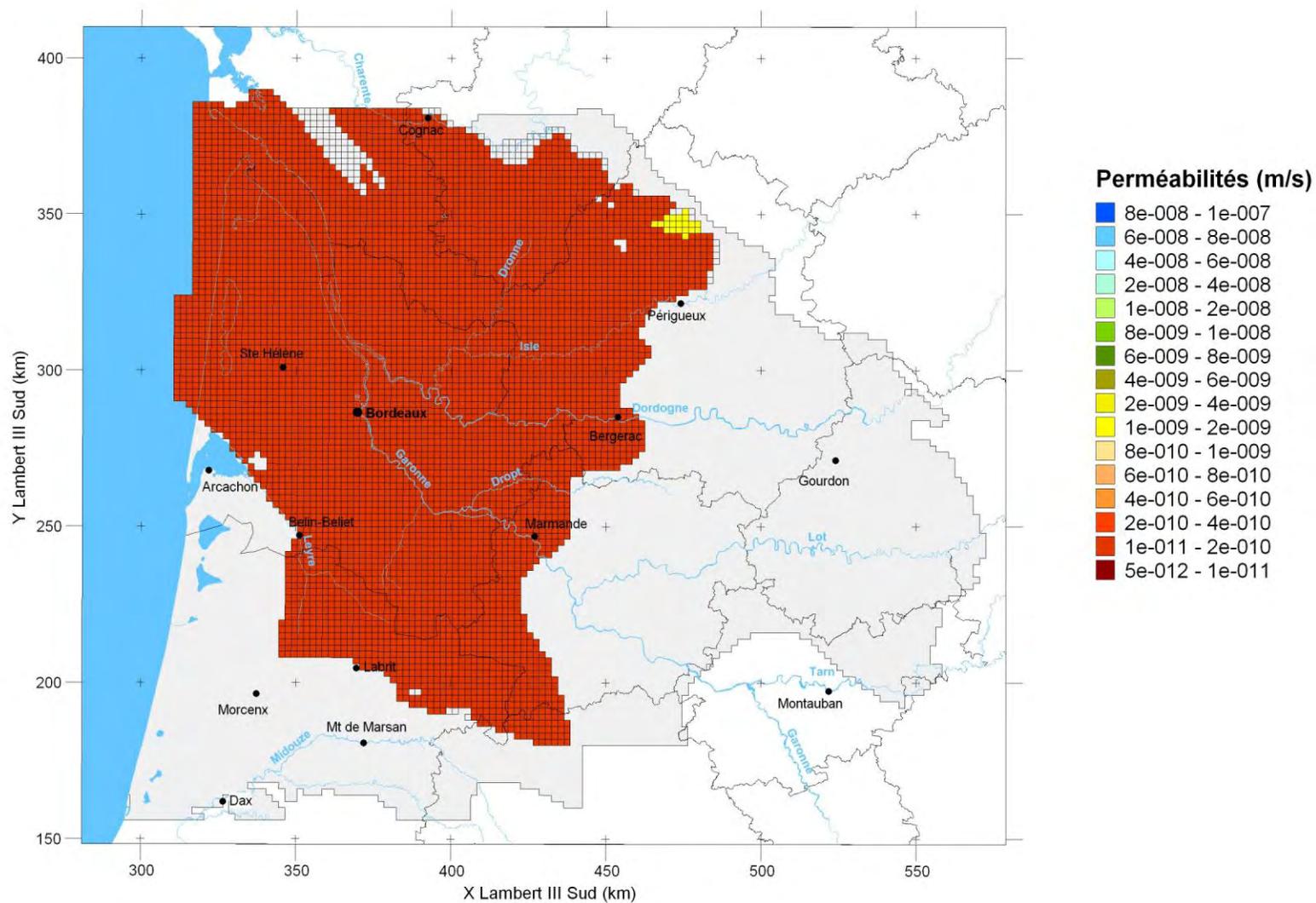
Campanien - Carte des perméabilités des épontes issues du calage en régime transitoire



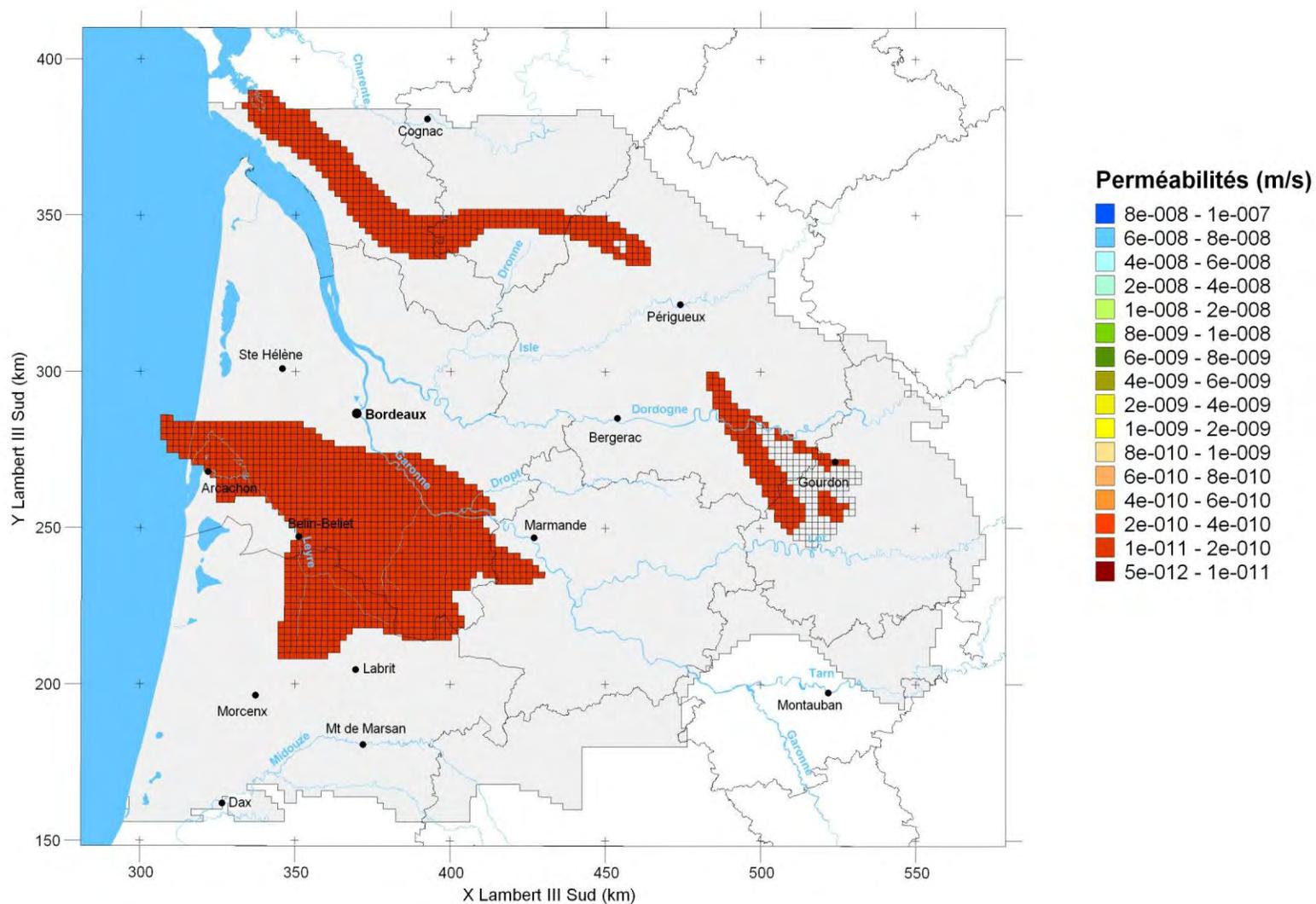
Coniacien-Santonien - Carte des perméabilités des épontes issues du calage en régime transitoire



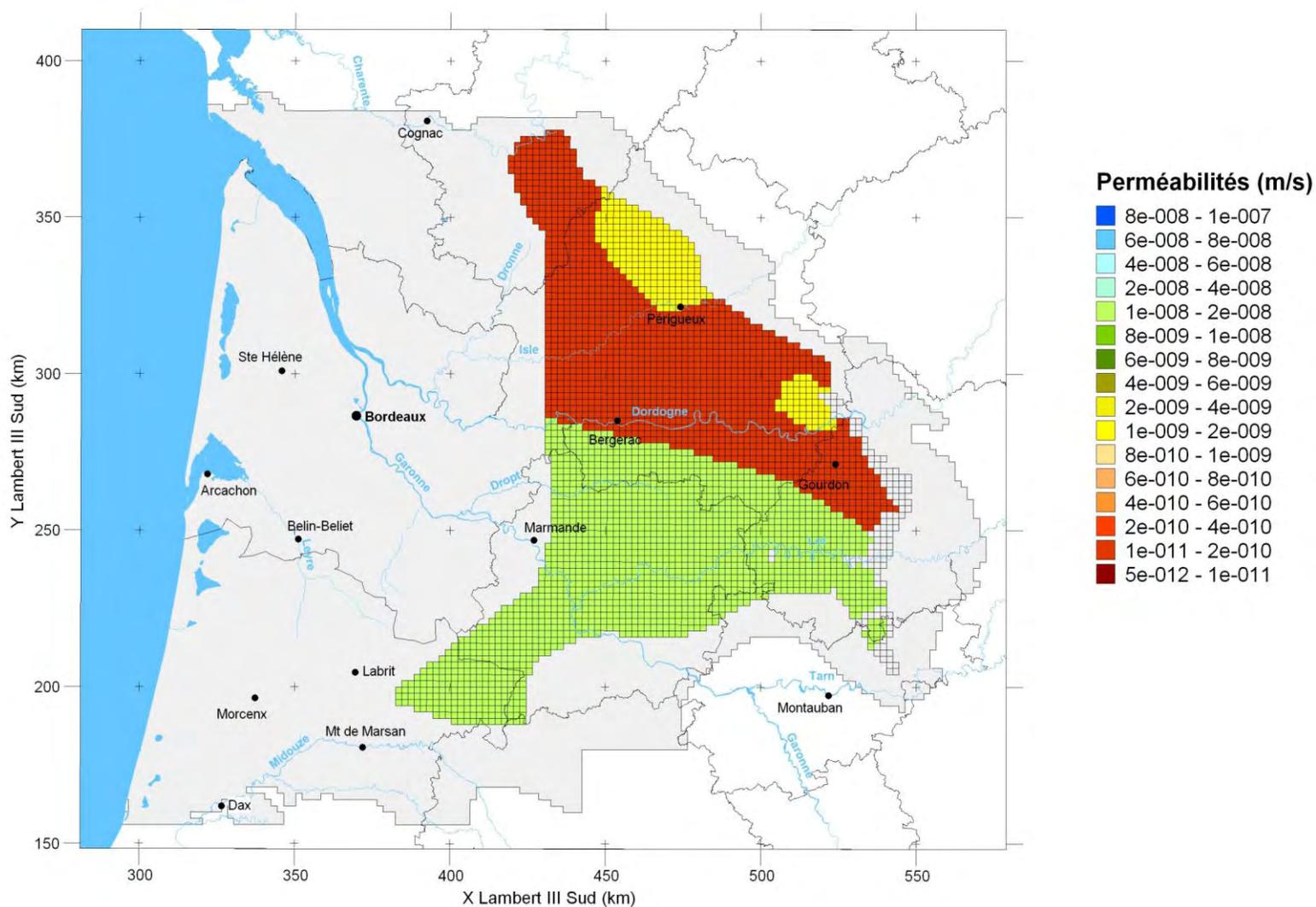
Turonien - Carte des perméabilités des épontes issues du calage en régime transitoire



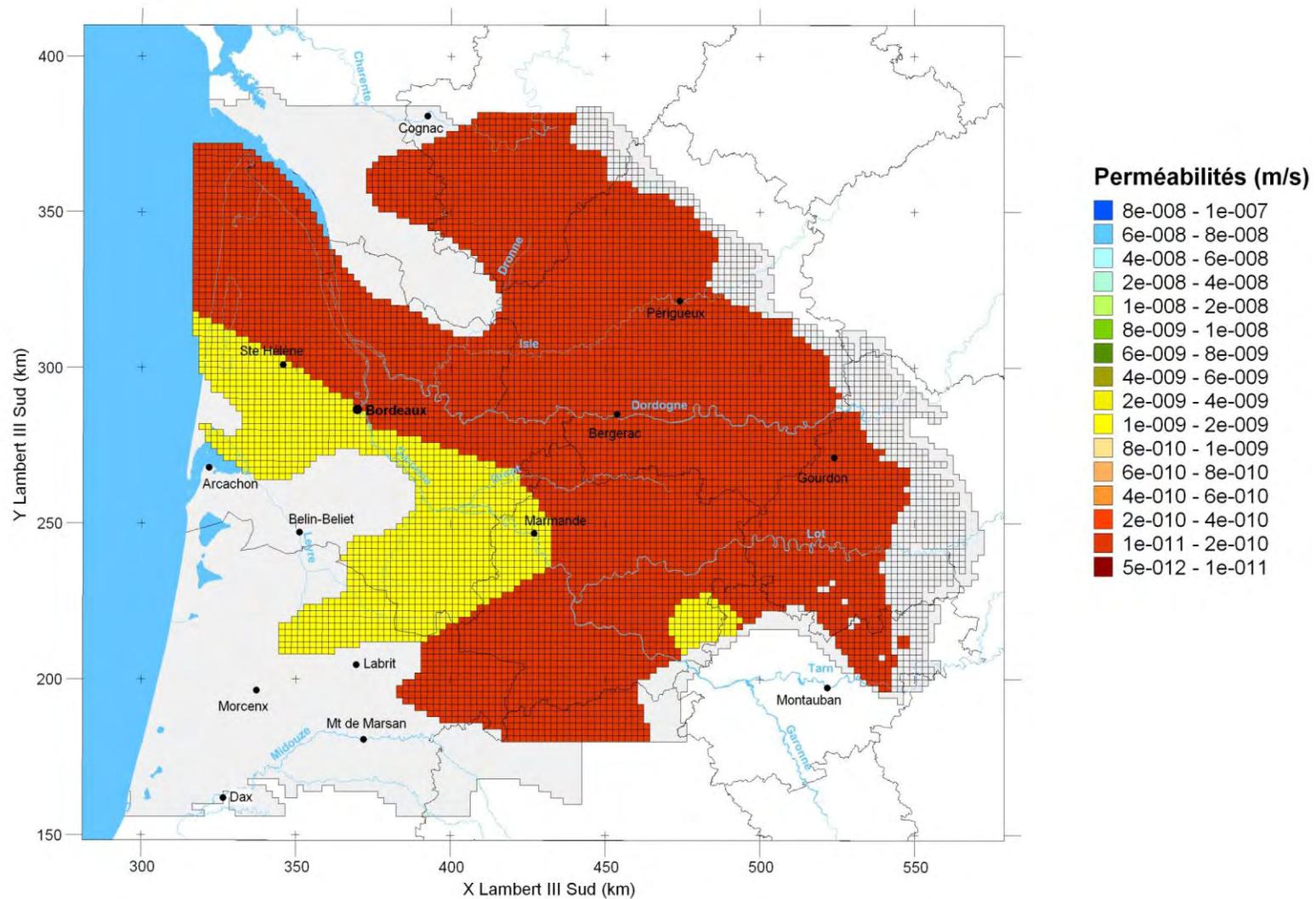
Cénomanien - Carte des perméabilités des épontes issues du calage en régime transitoire



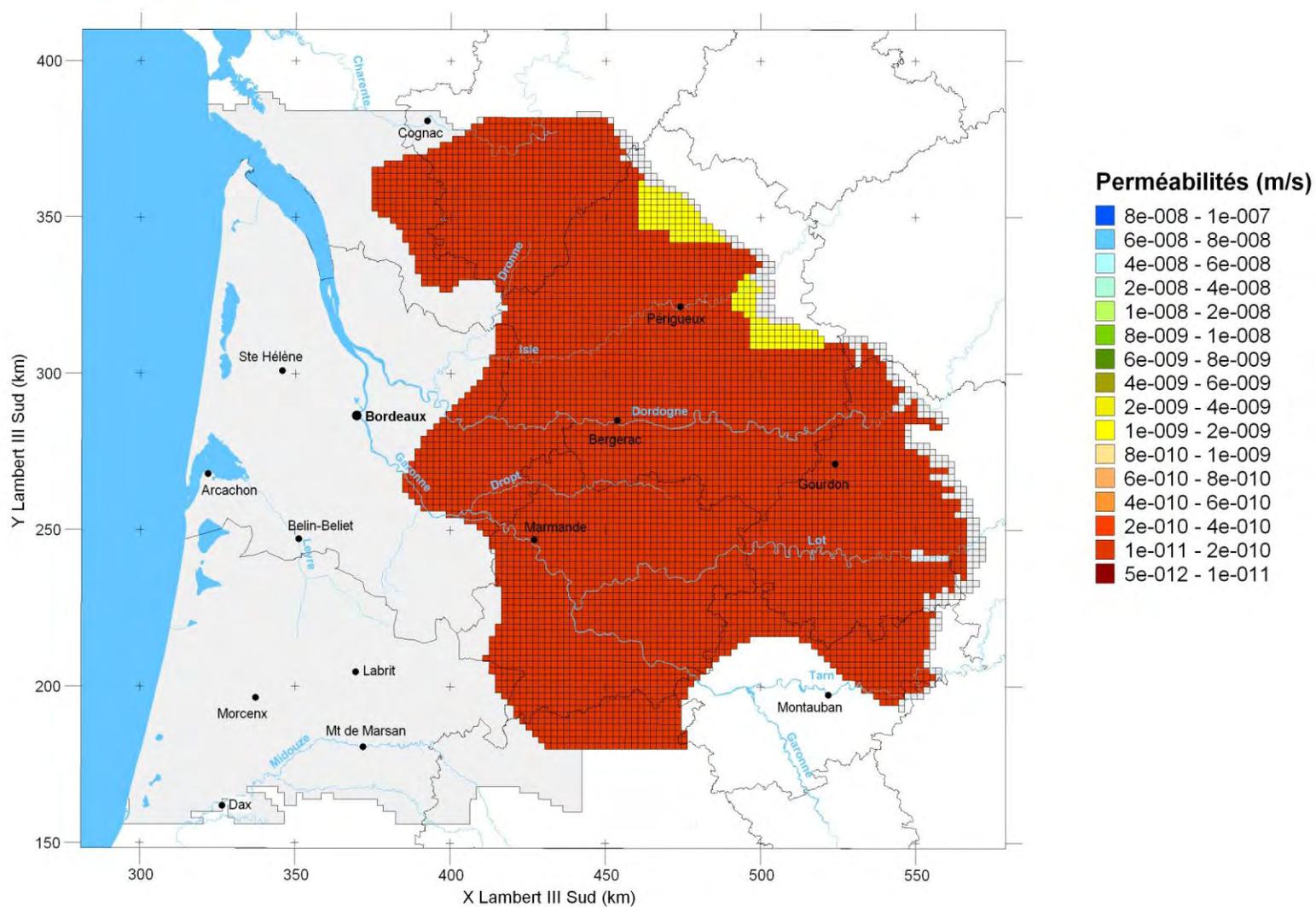
Tithonien - Carte des perméabilités des épontes issues du calage en régime transitoire



Kimméridgien - Carte des perméabilités des épontes issues du calage en régime transitoire



Bathonien Callovo-Oxfordien - Carte des perméabilités des épontes issues du calage en régime transitoire

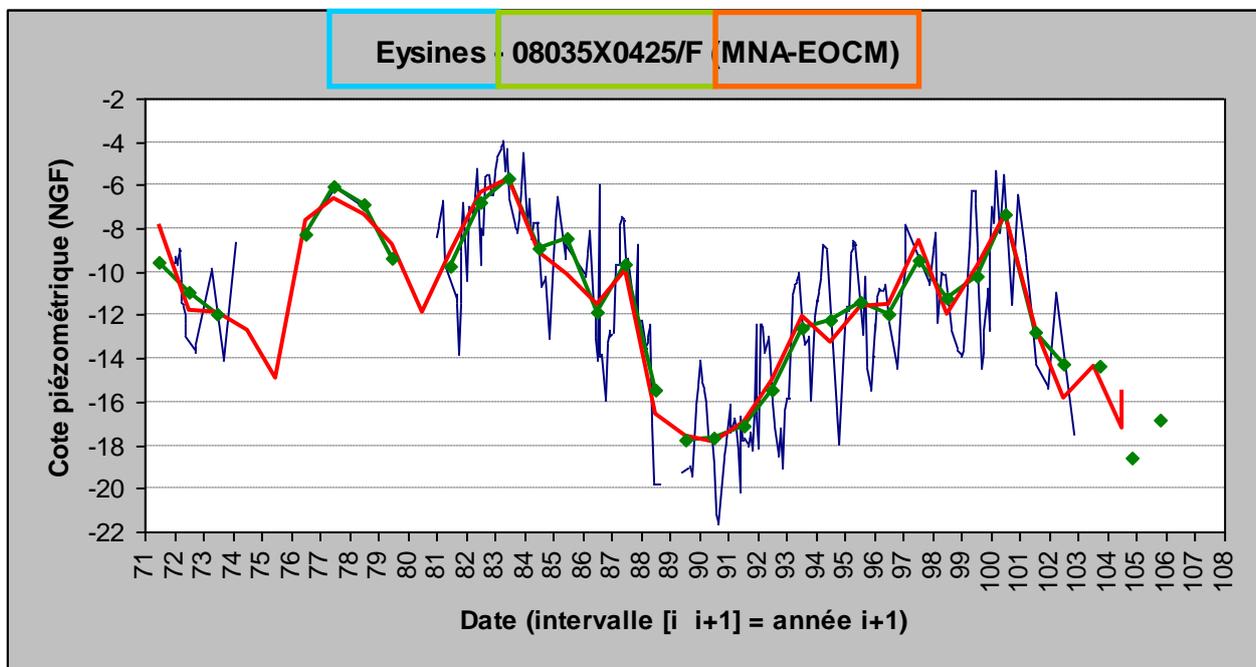


Bajocien - Carte des perméabilités des épontes issues du calage en régime transitoire

Annexe 6

Chroniques de calage du modèle en régime transitoire

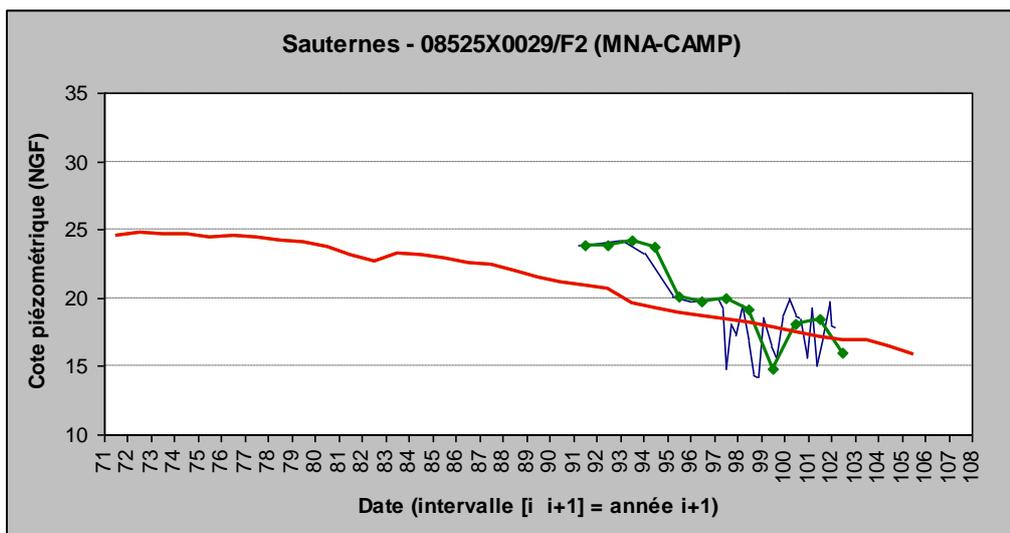
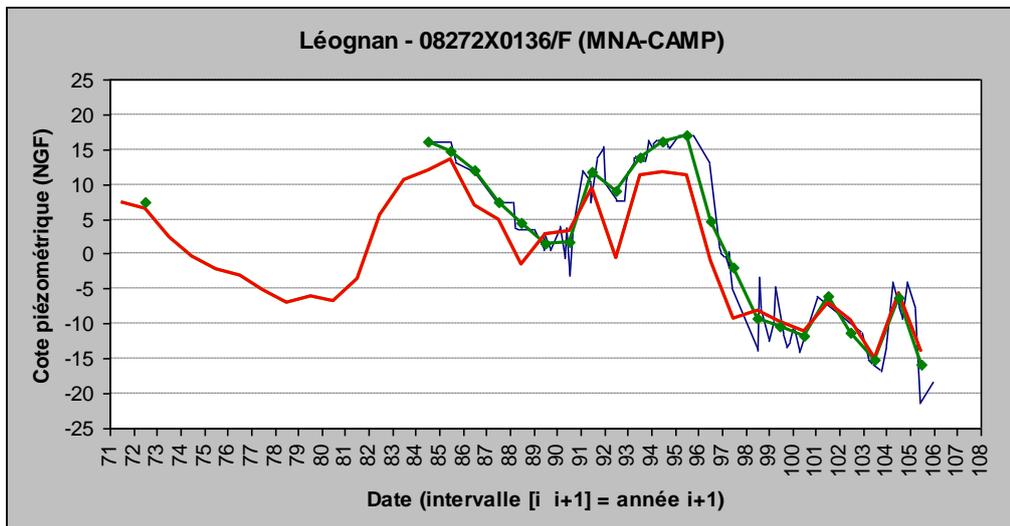
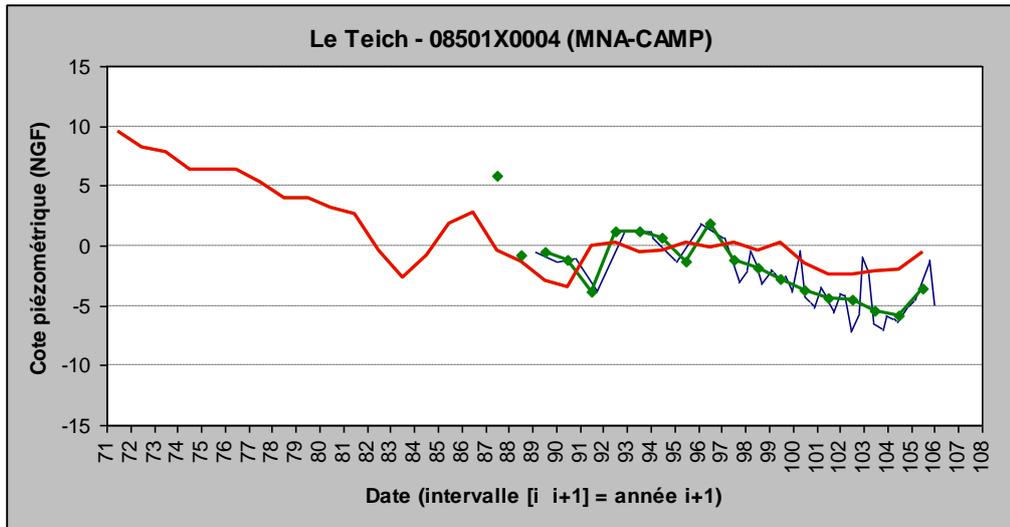
Légende :

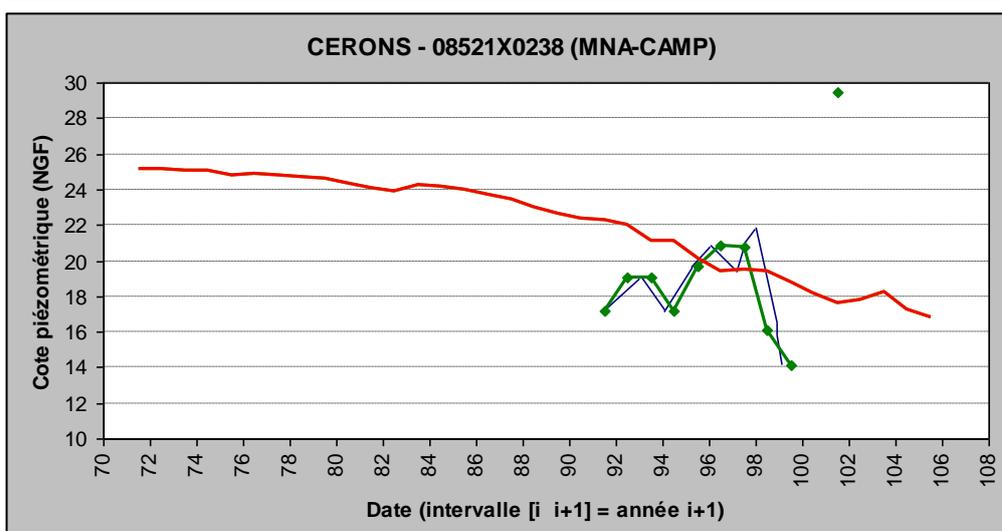
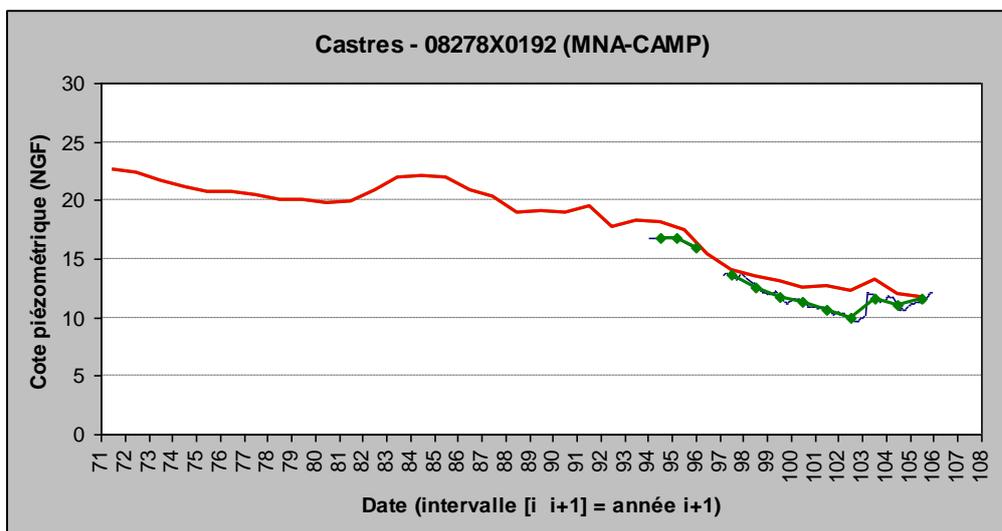
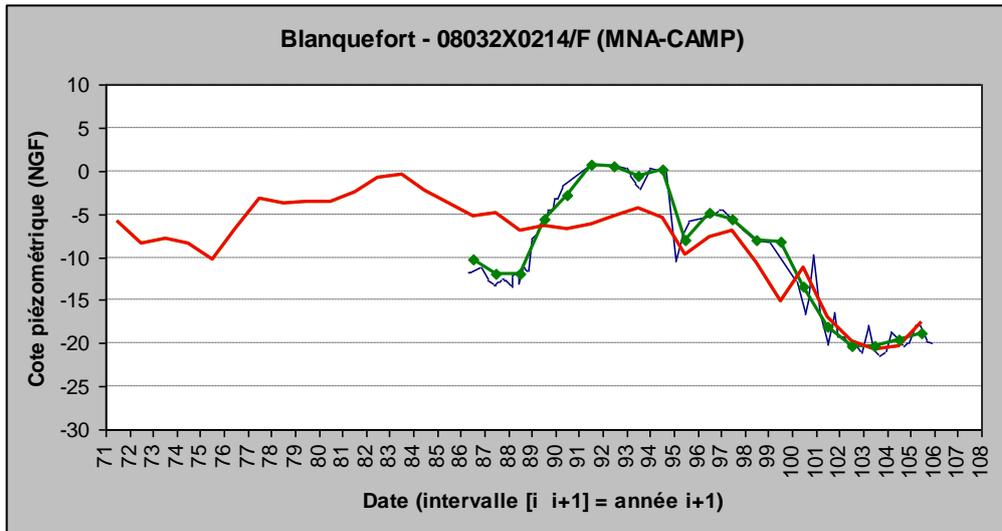


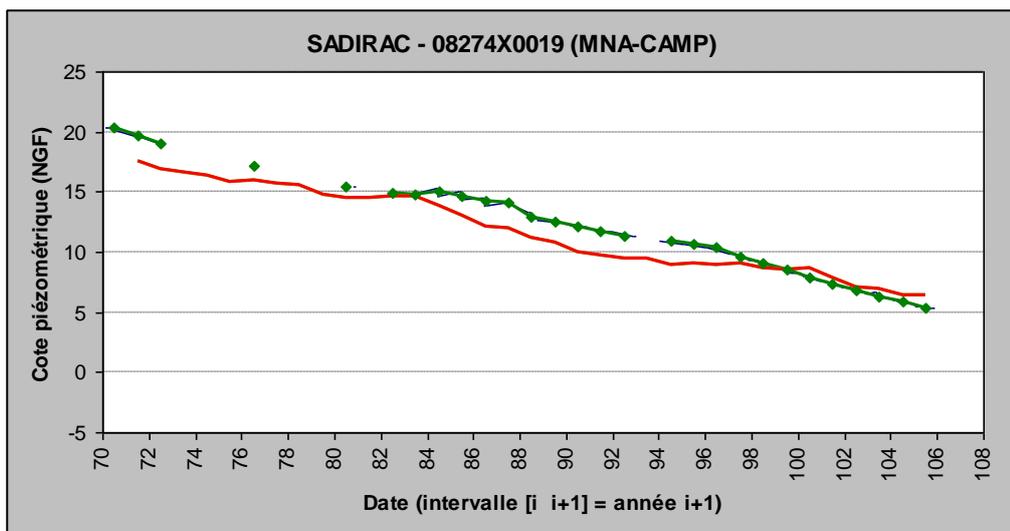
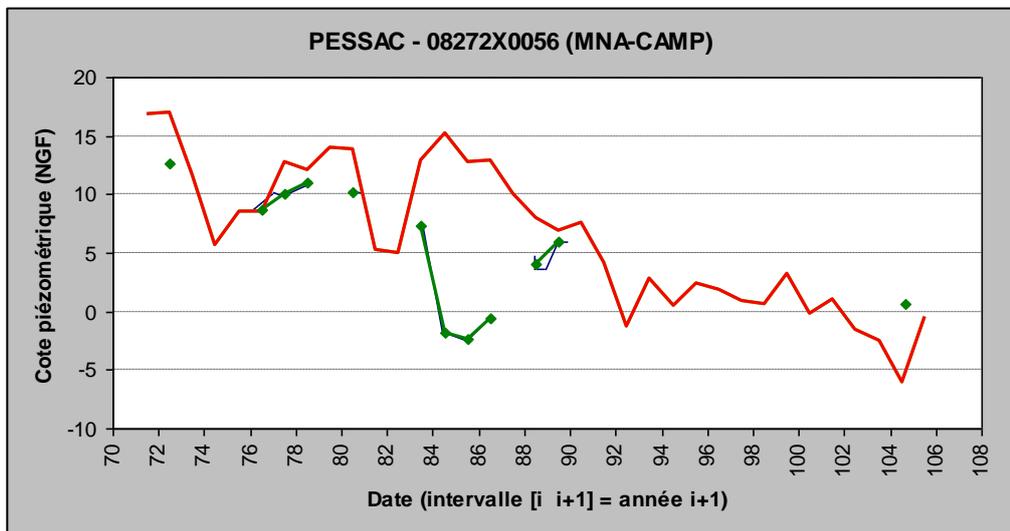
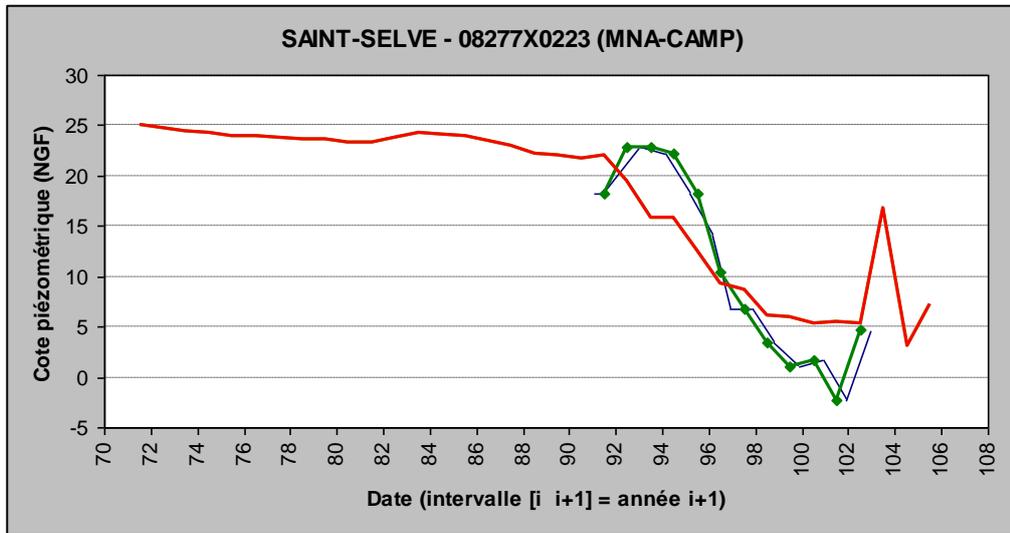
- Commune d'implantation de l'ouvrage
- Indice national BSS de l'ouvrage
- Nappe(s) captée(s) par l'ouvrage
- Niveaux piézométriques observés
- Moyennes annuelles des niveaux piézométriques observés
- Niveaux piézométriques annuels simulés sur la période 1972-2007 par la version actuelle du **MO**dèle **Nord-Aquitain (MONA V33-2007)**
- - - Charge hydraulique observée corrigée des effets de la température et de la salinité

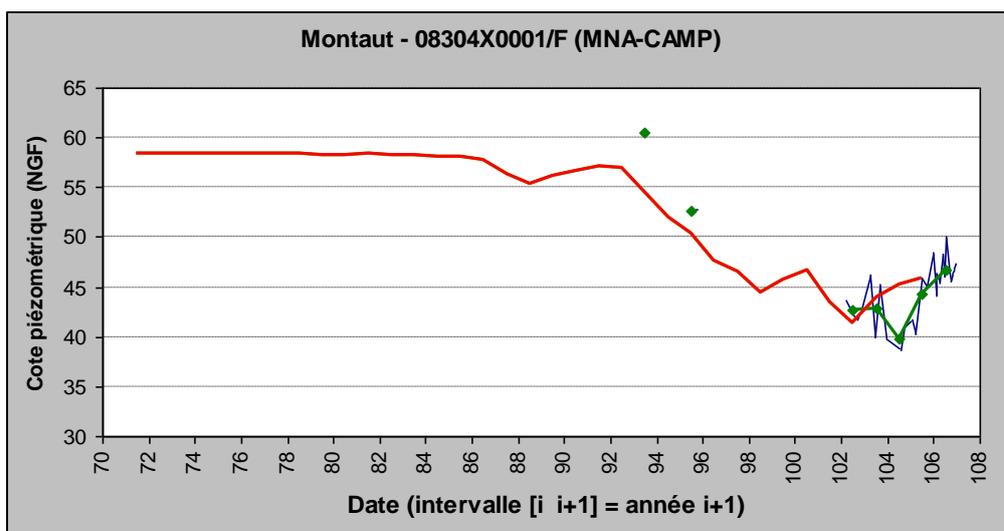
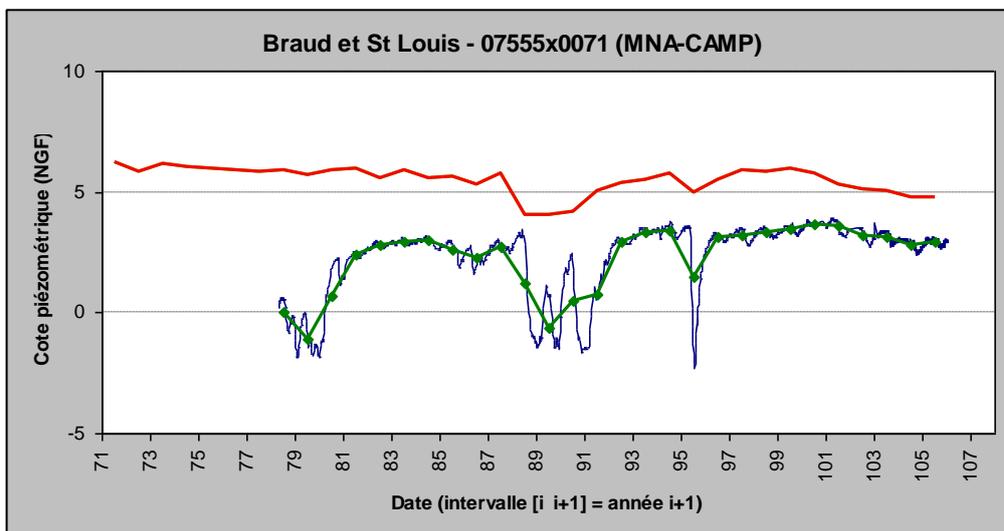
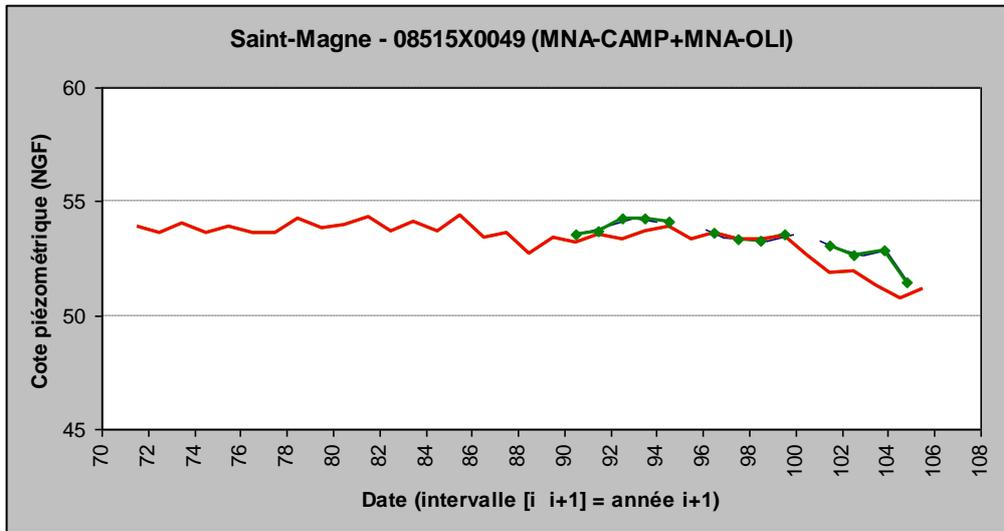
Nappe du Campano-Maastrichtien

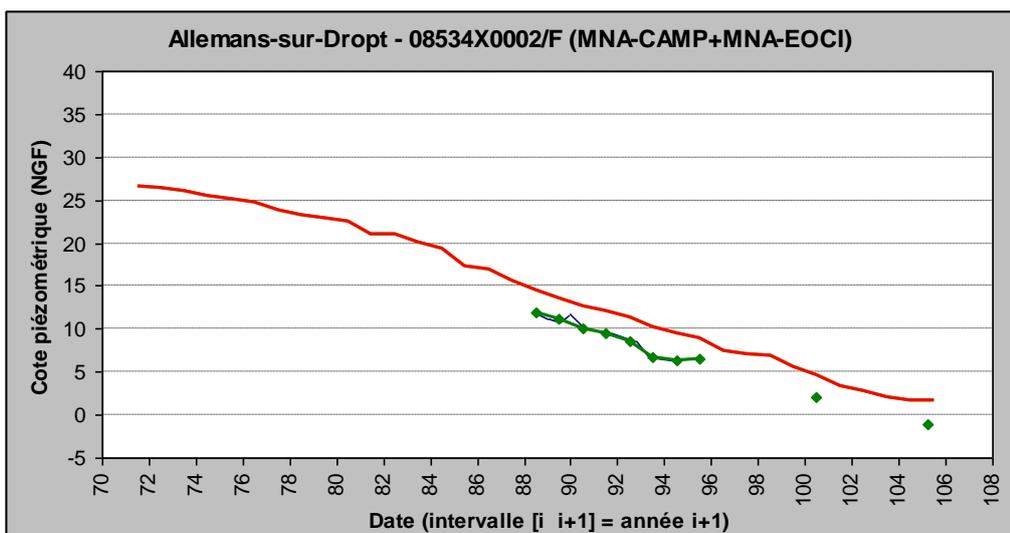
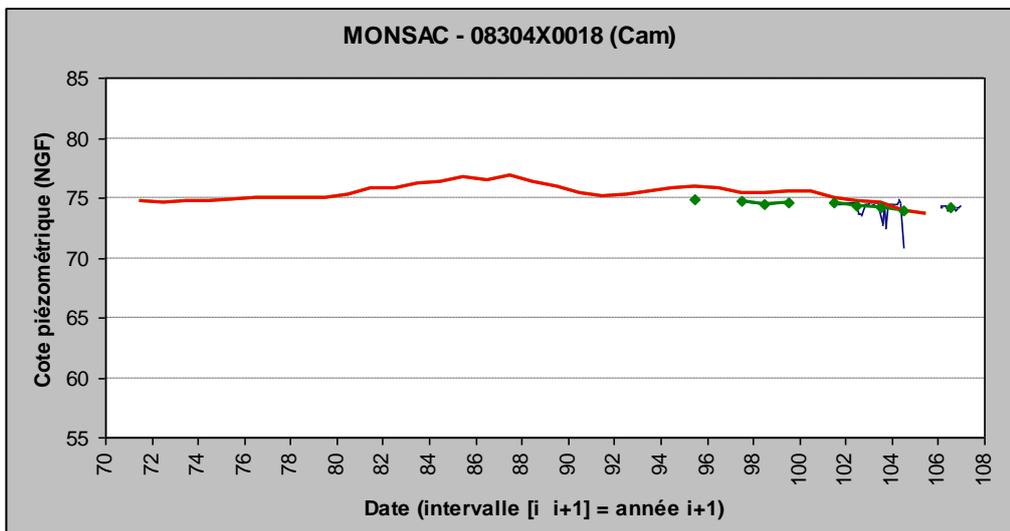
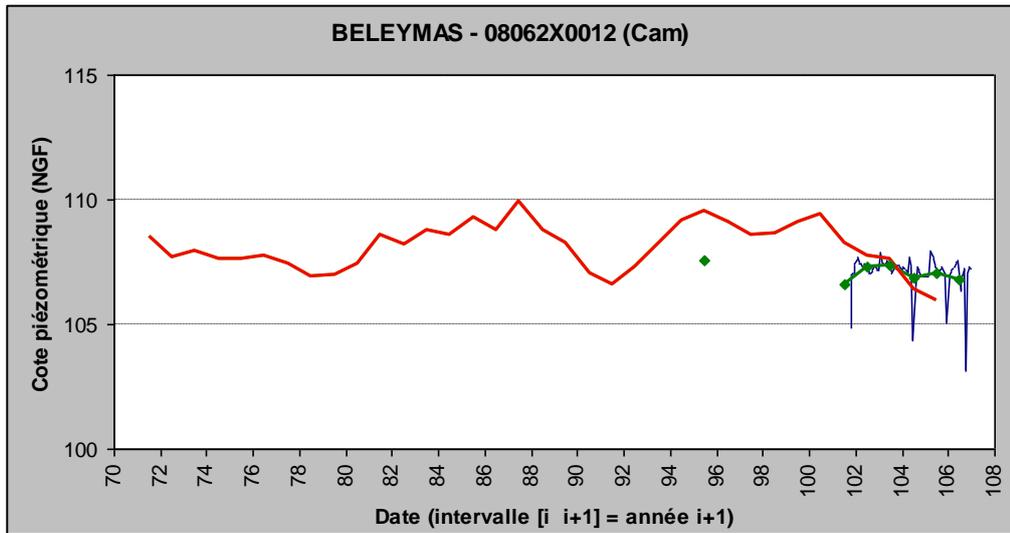
MNA-CAMP

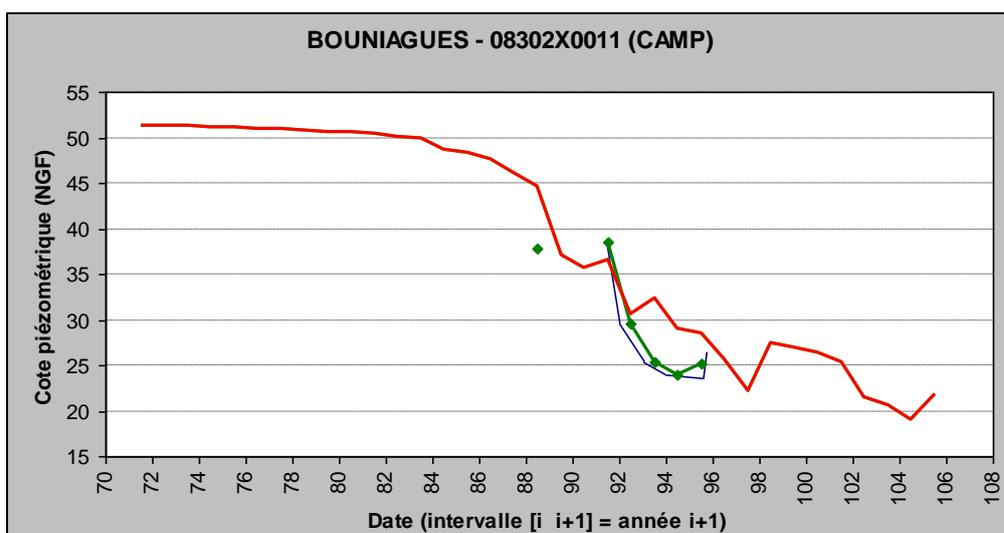
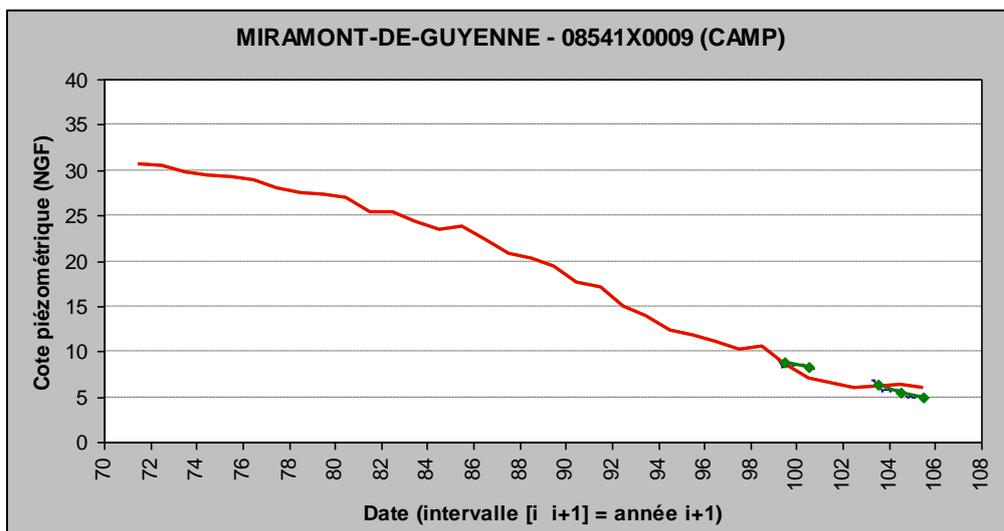
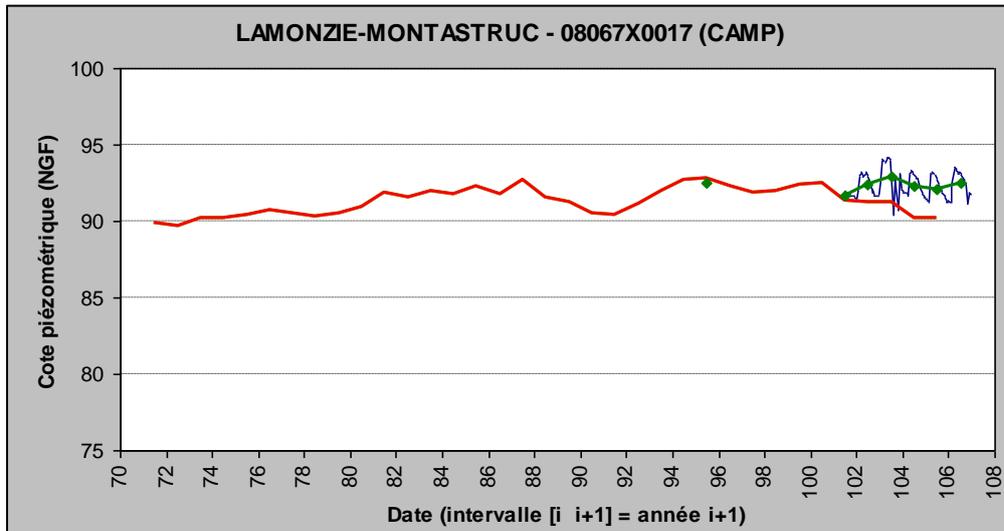






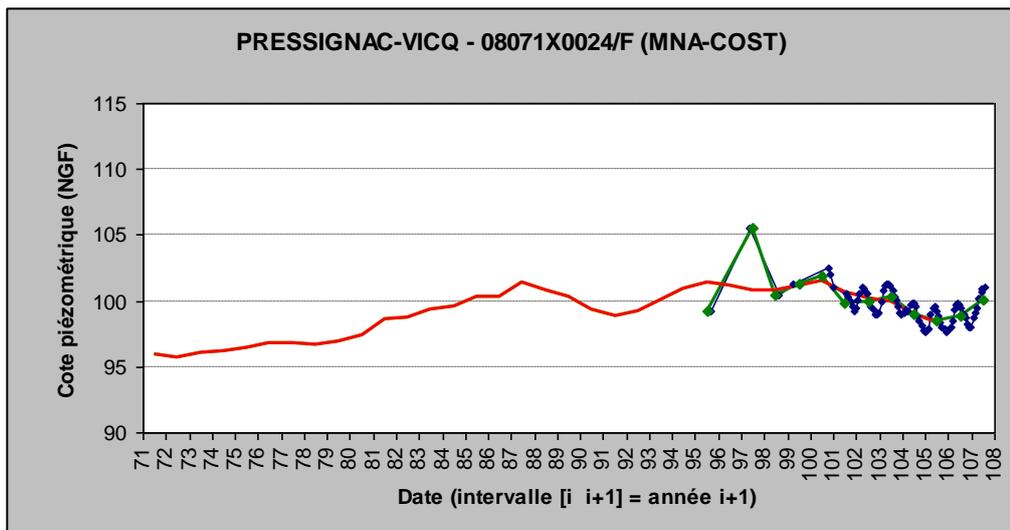
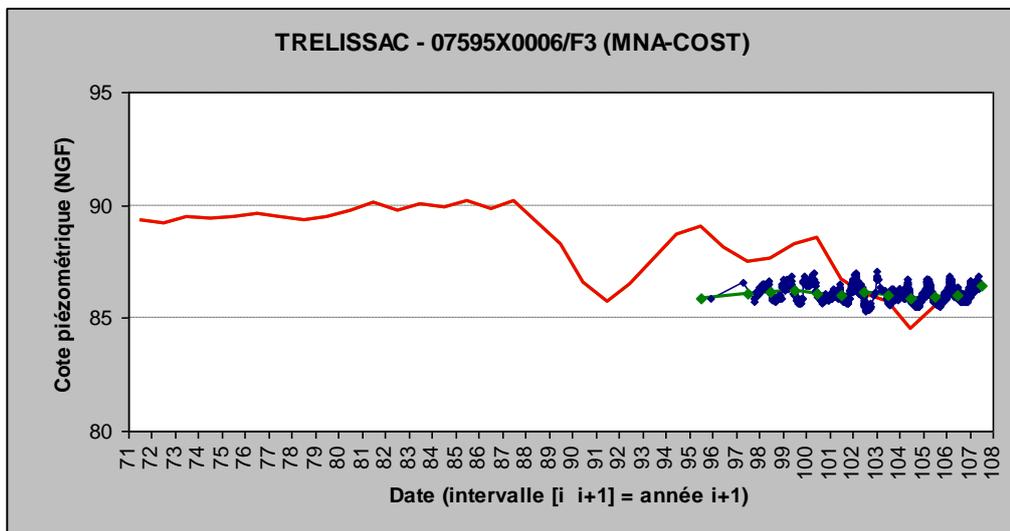
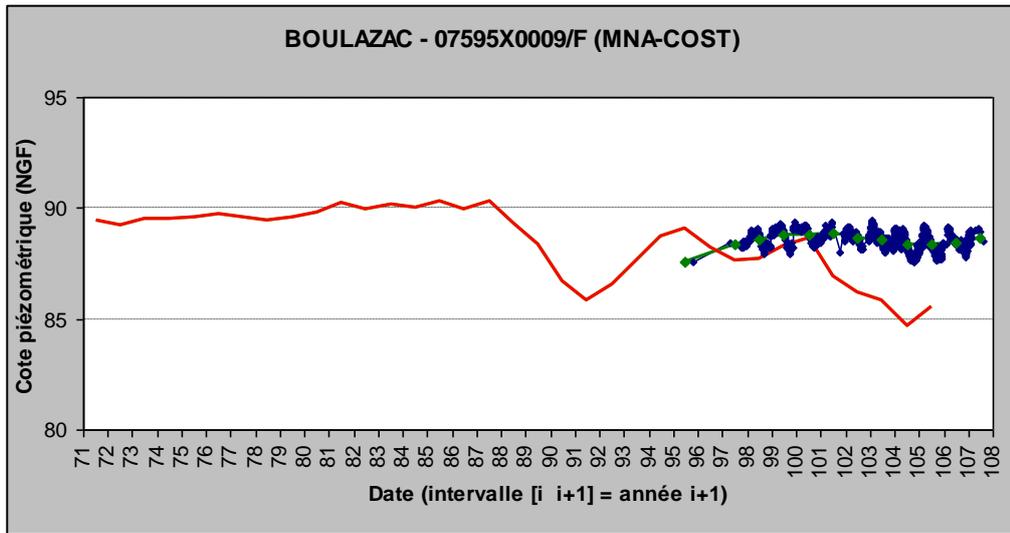


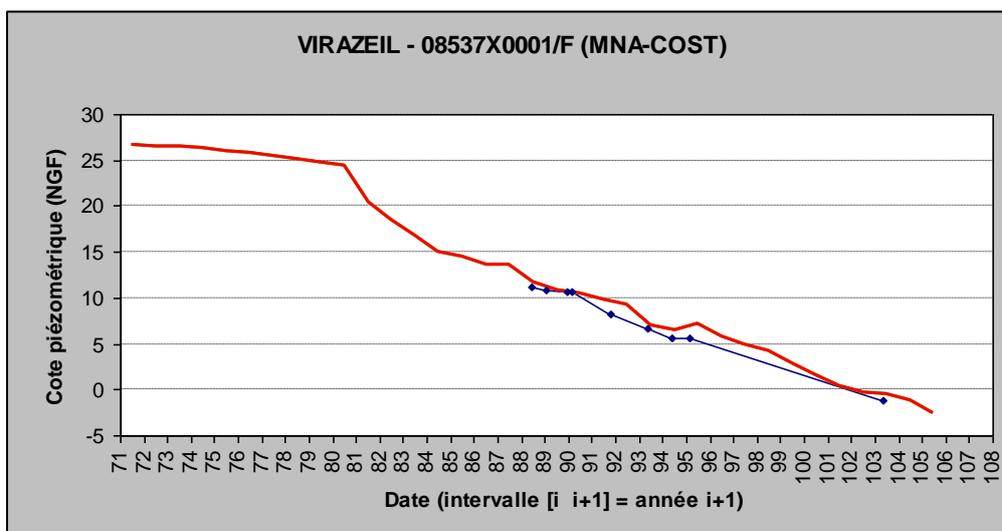
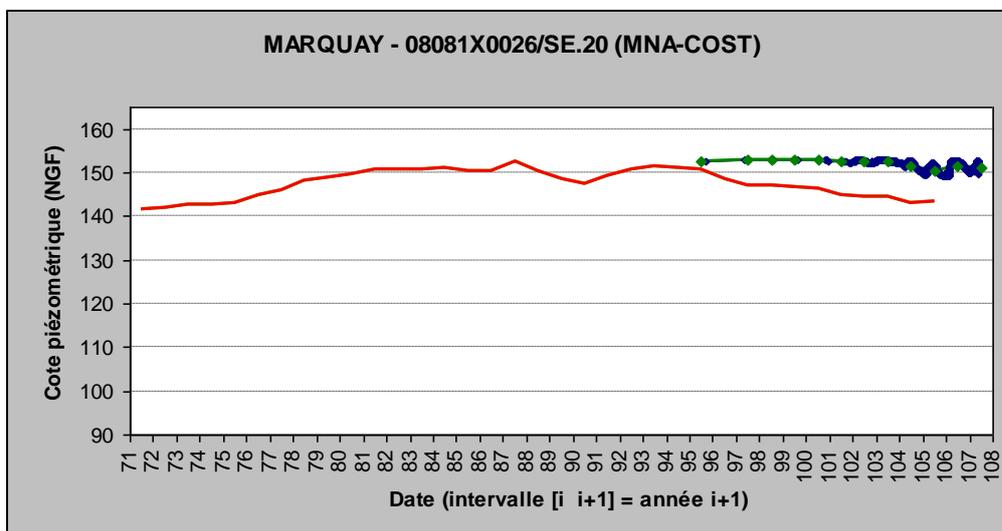
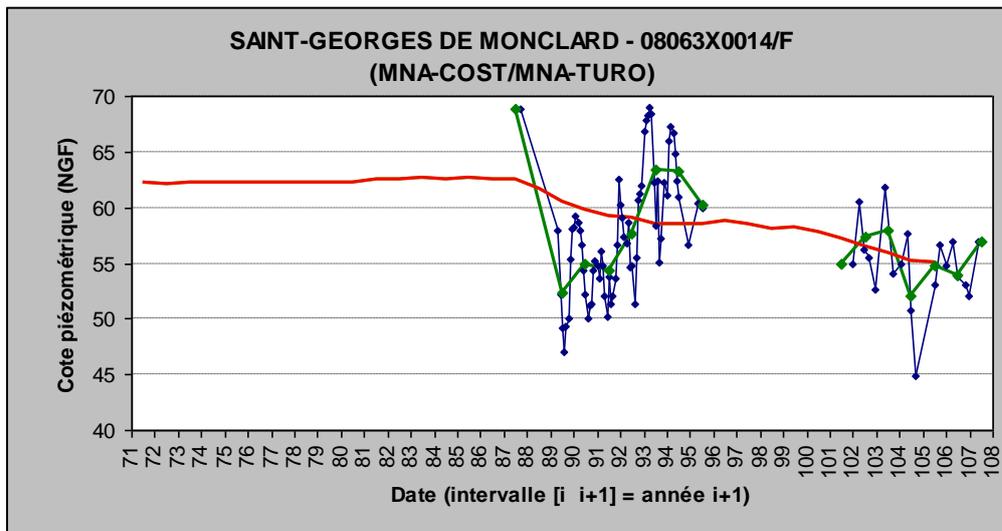


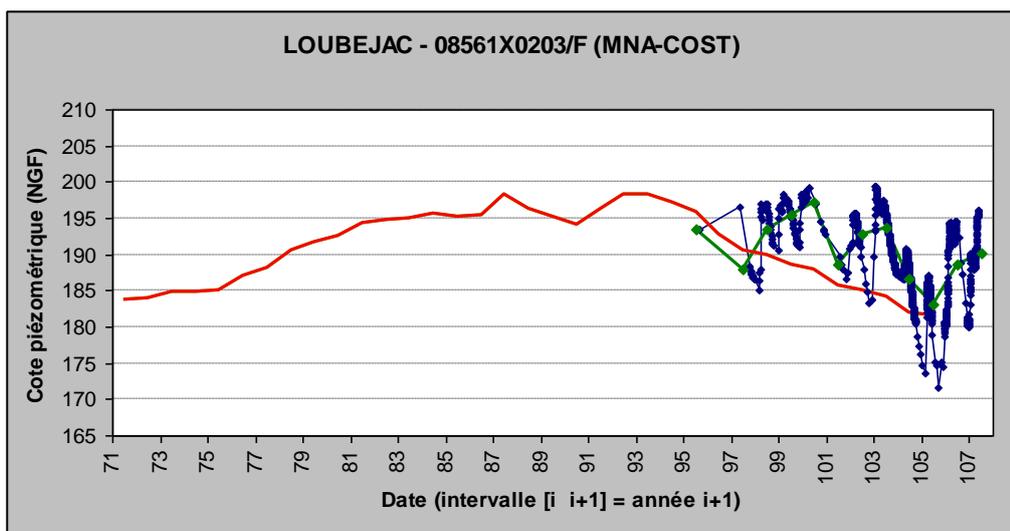
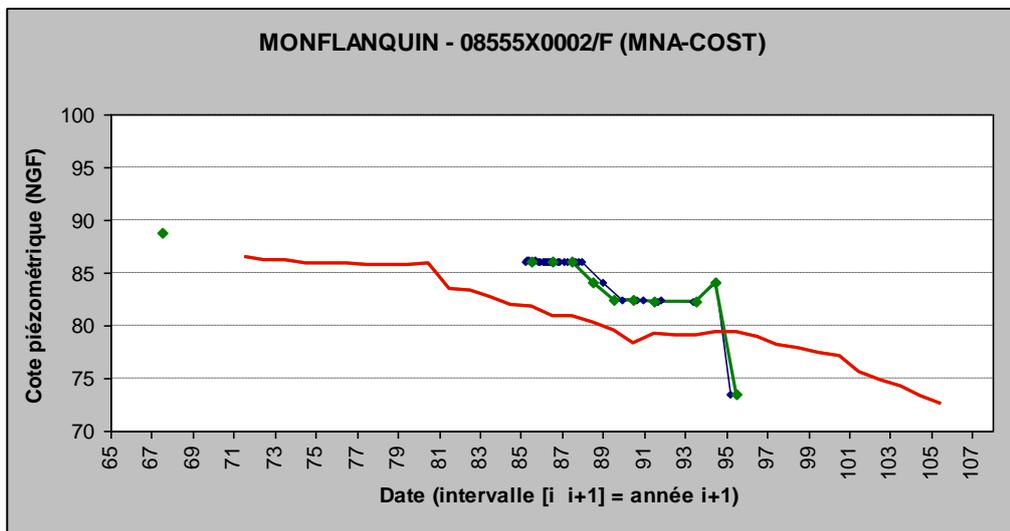
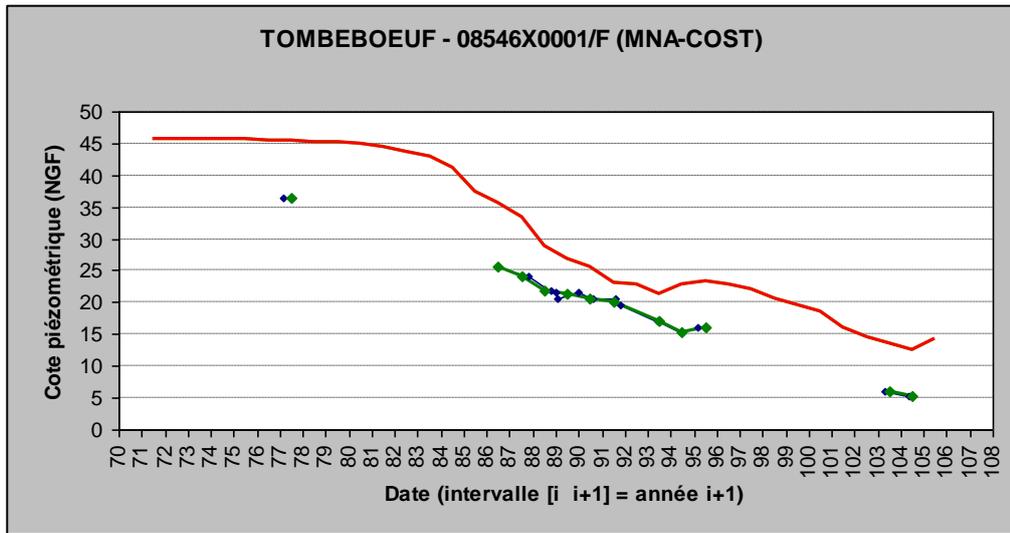


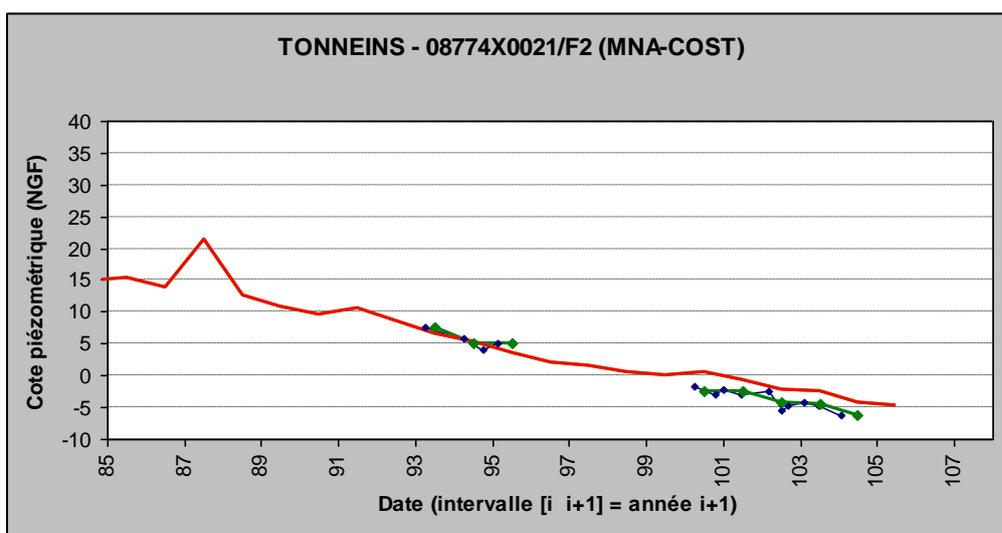
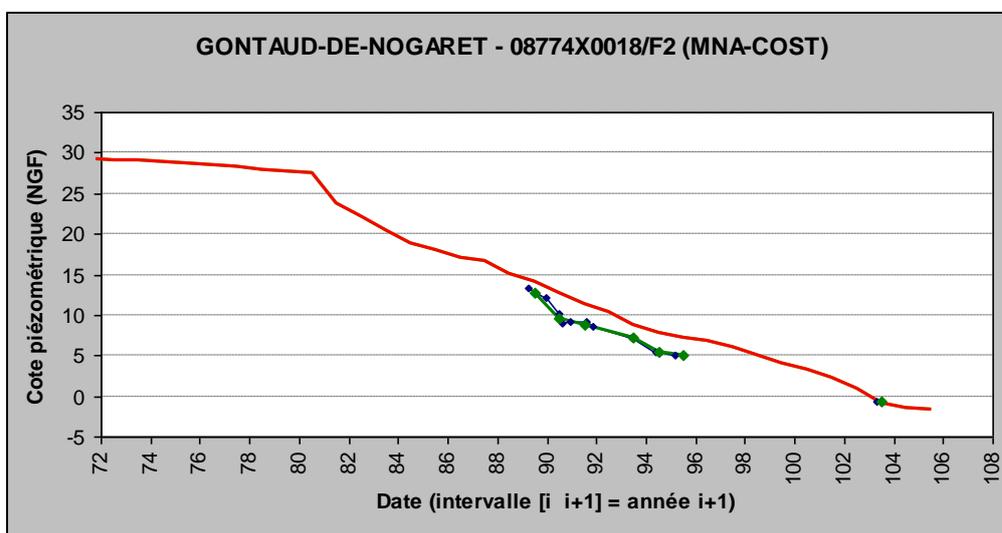
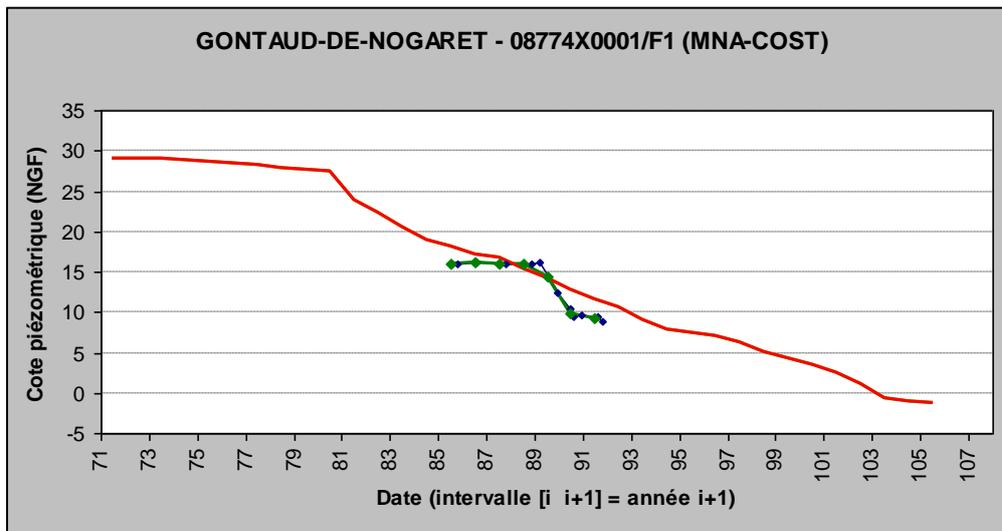
Nappe du Coniacien-Santonien

MNA-COST



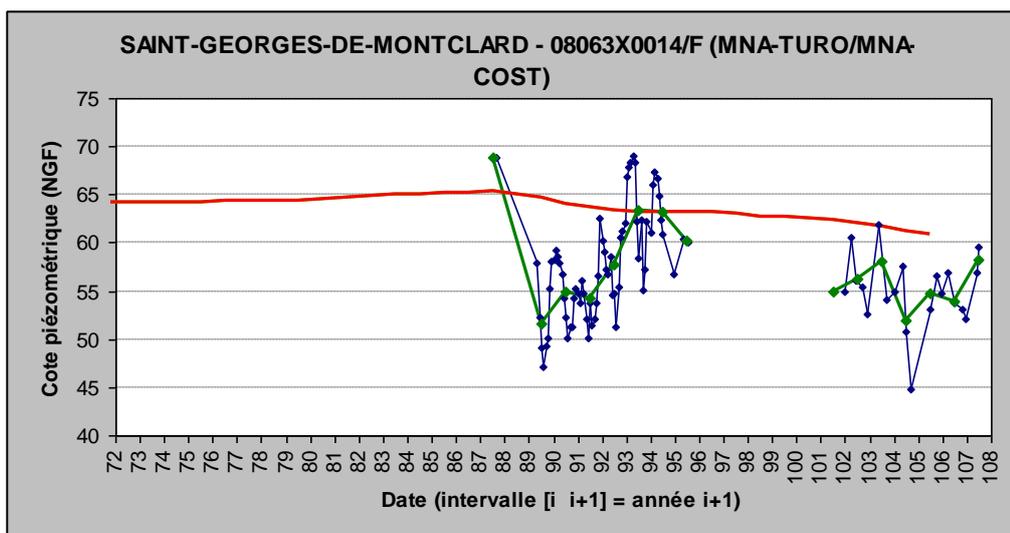
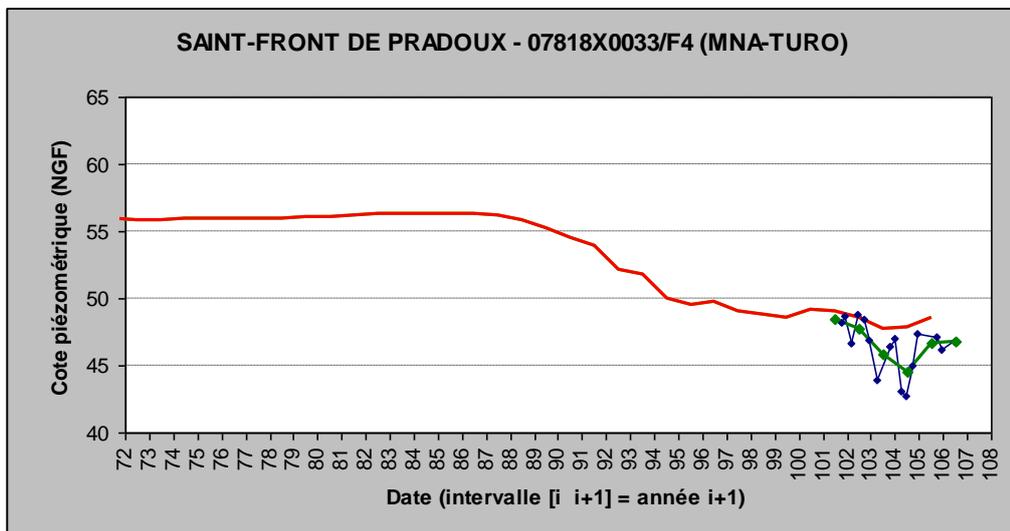
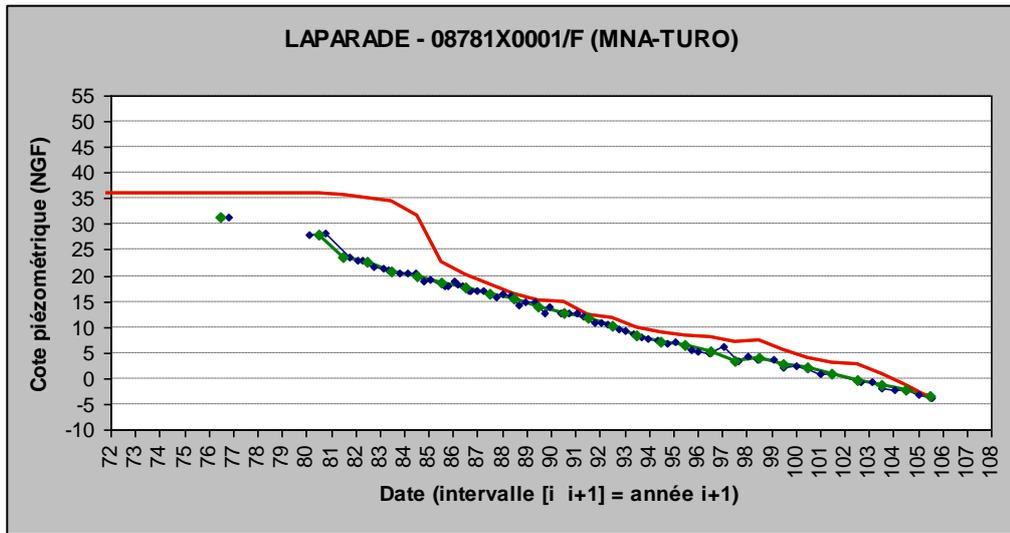


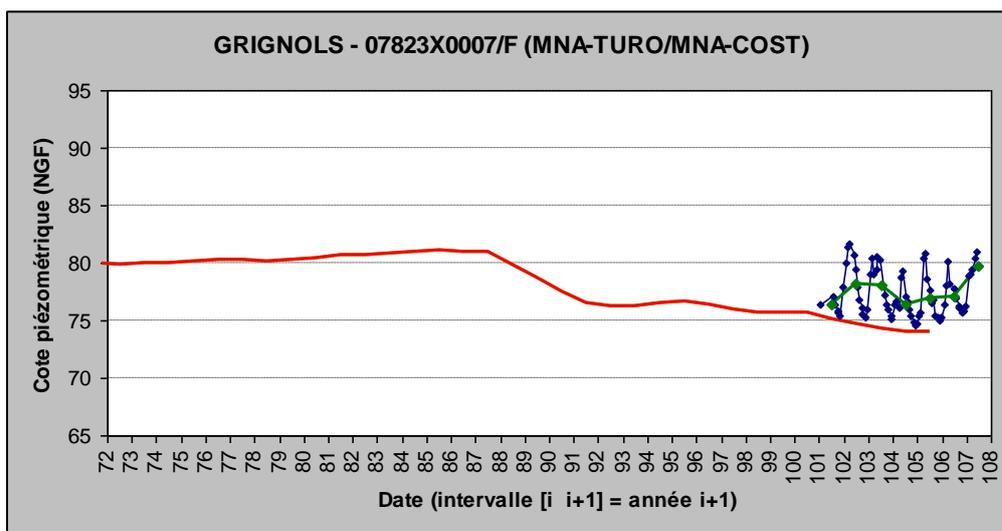
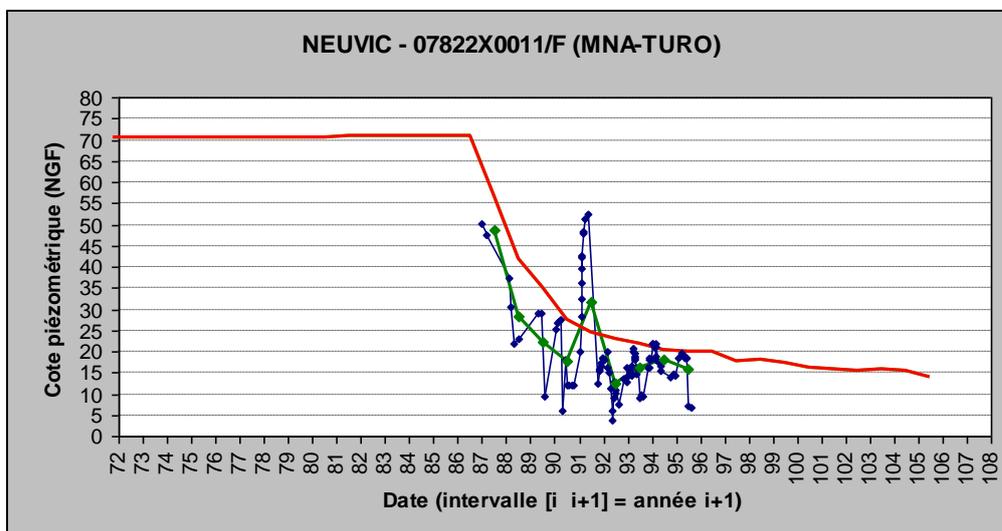
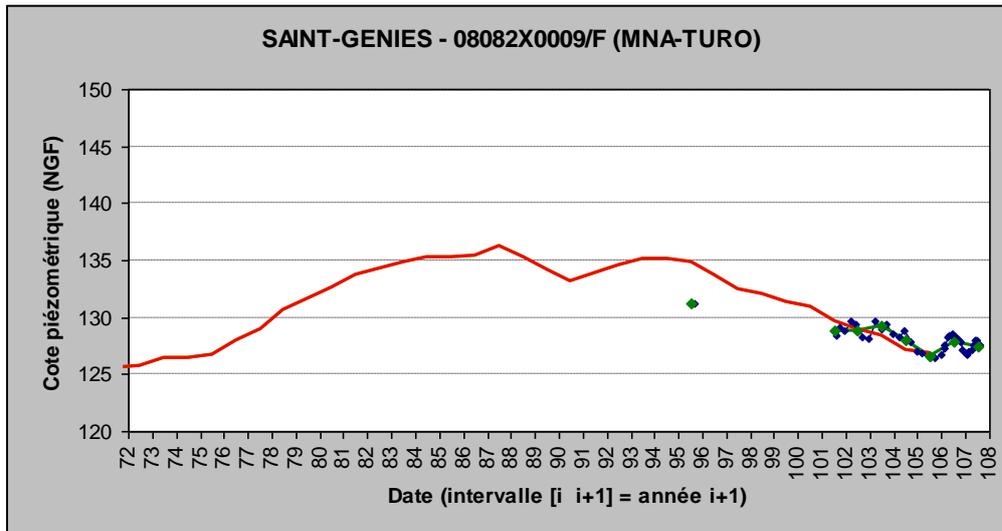


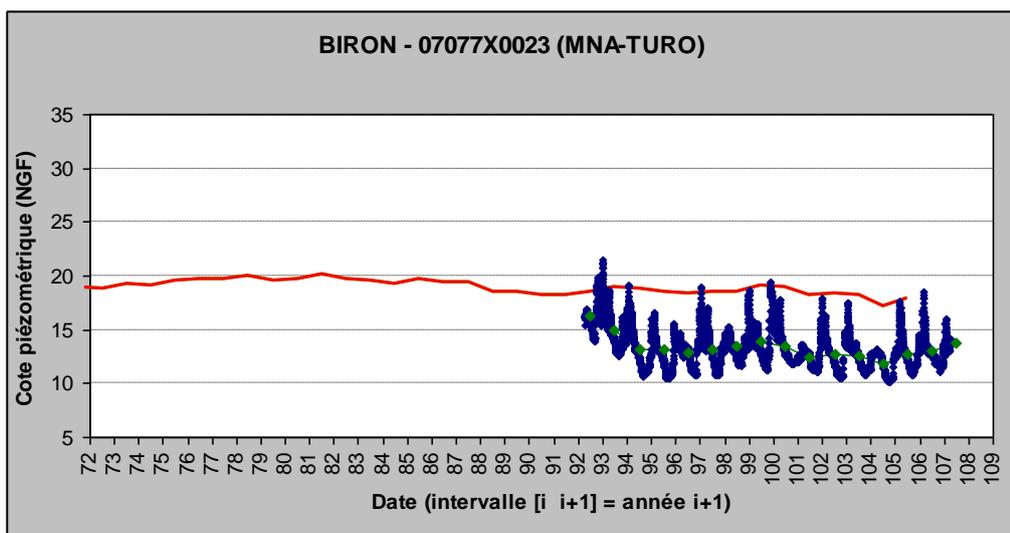
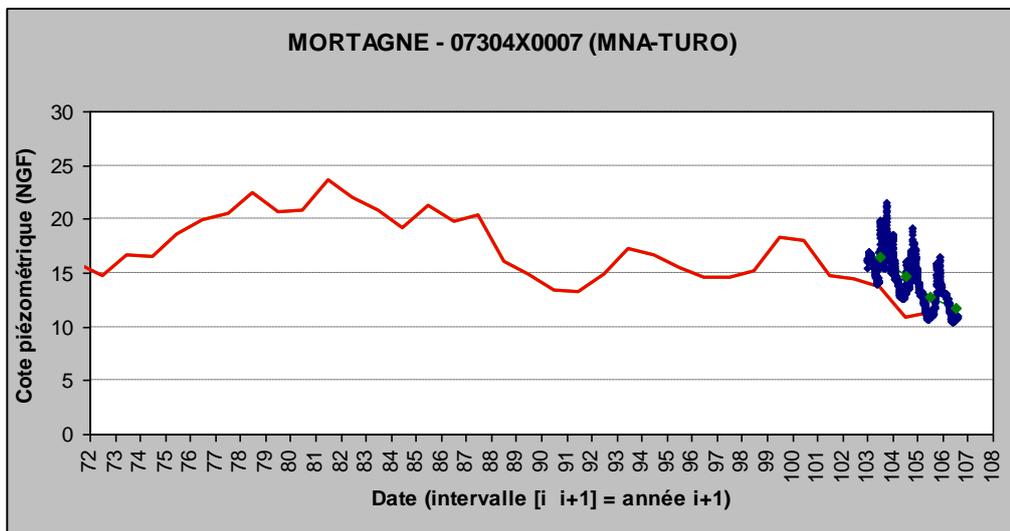
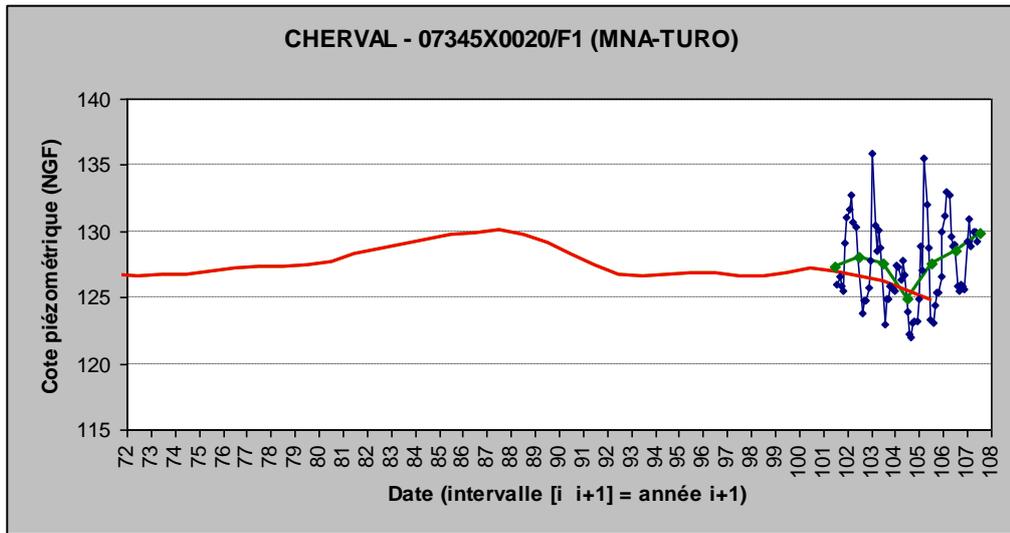


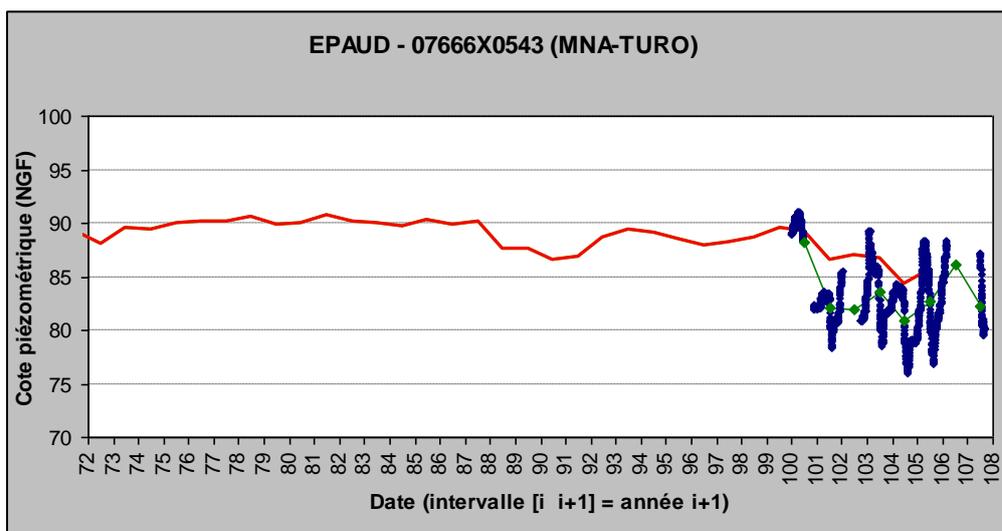
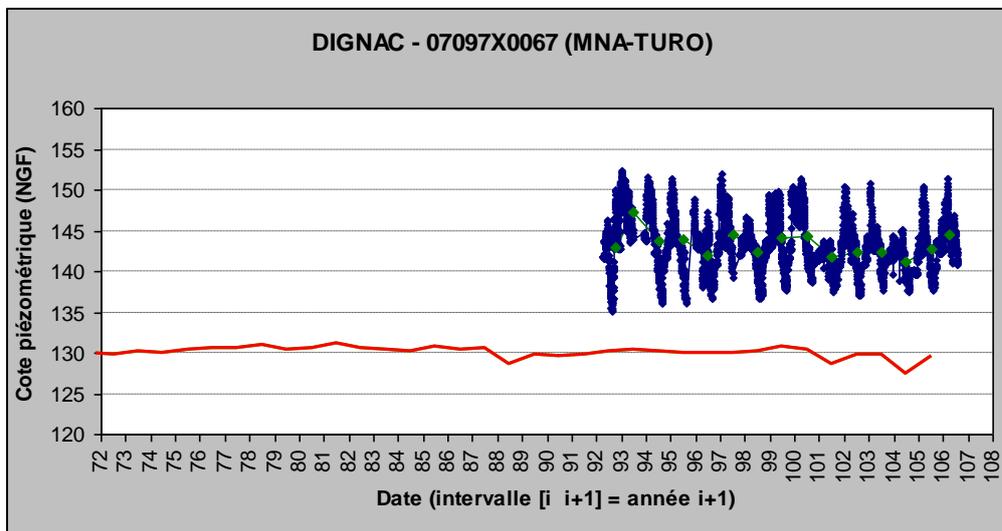
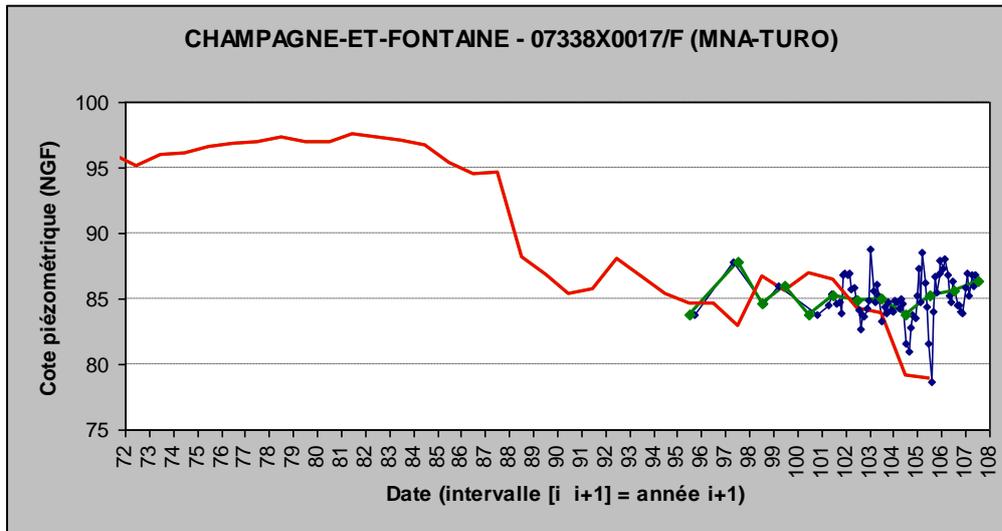
Nappe du Turonien

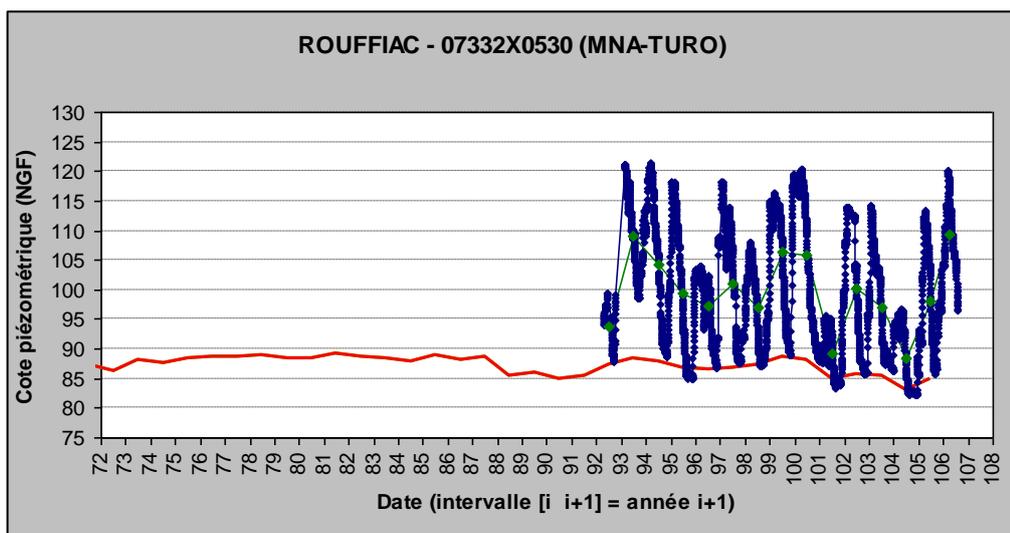
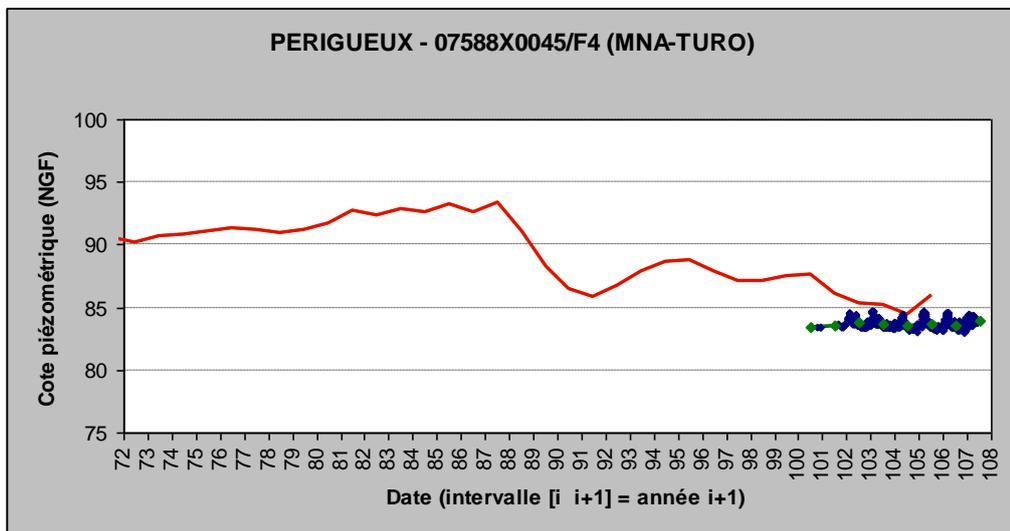
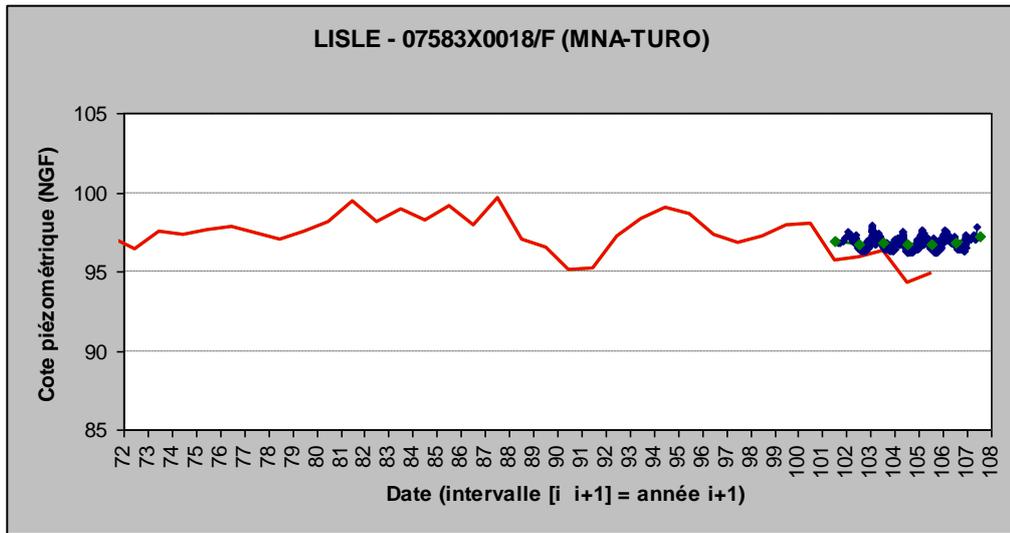
MNA-TURO





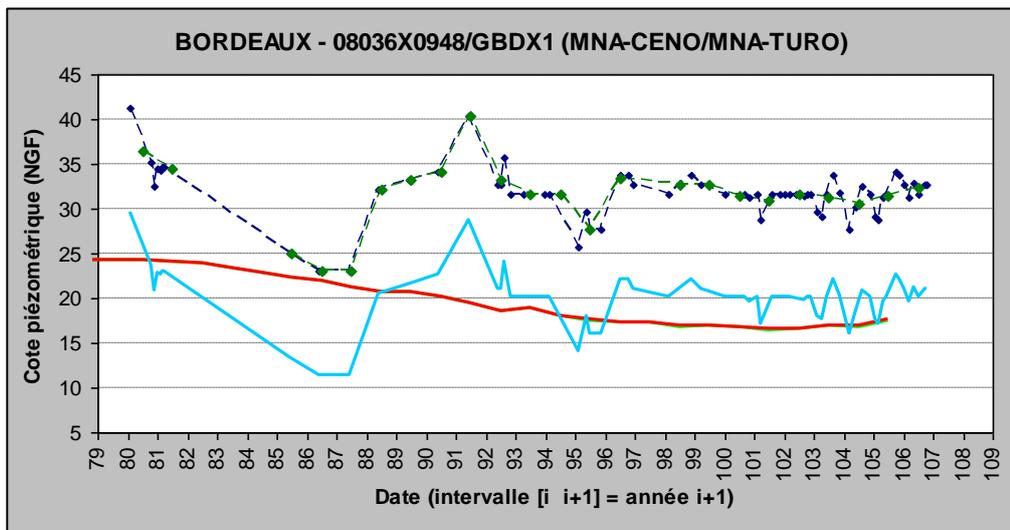
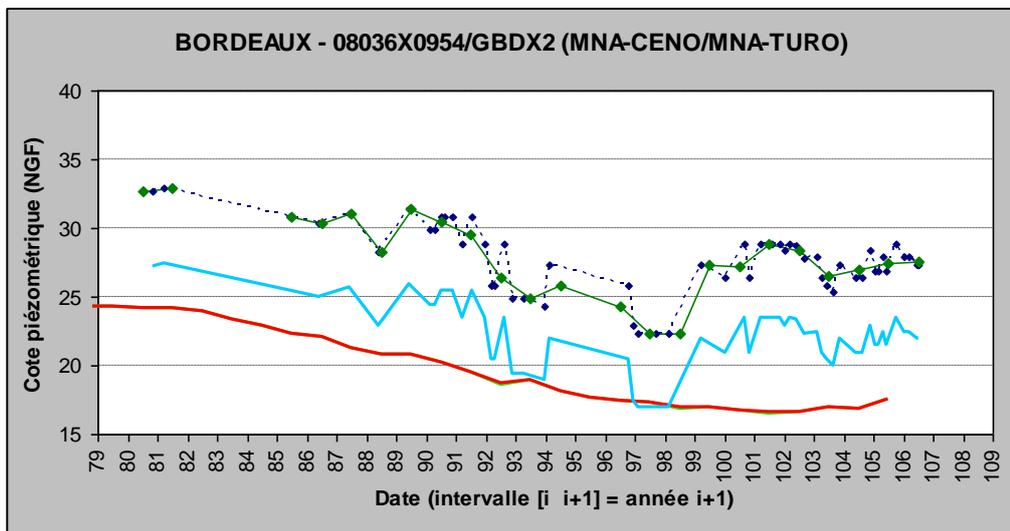
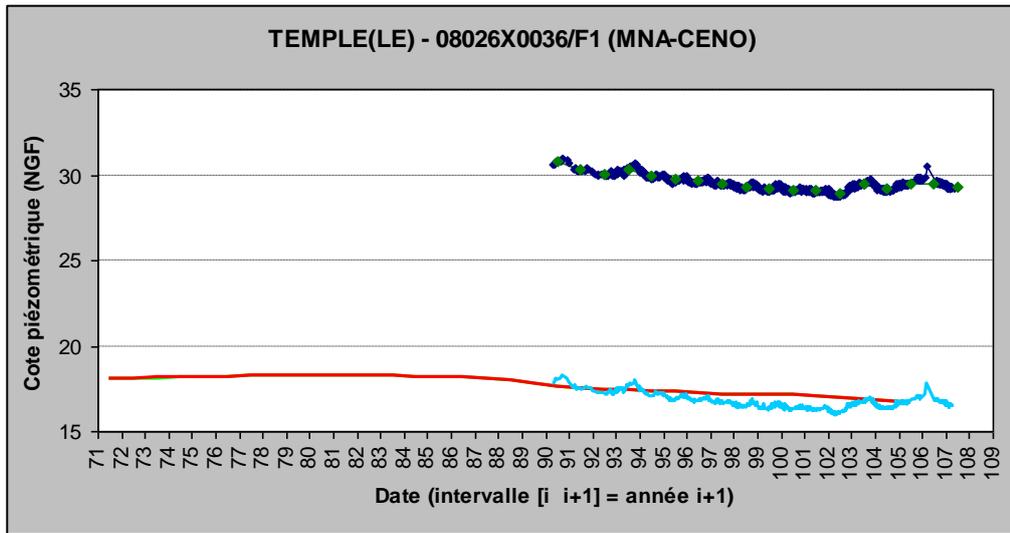


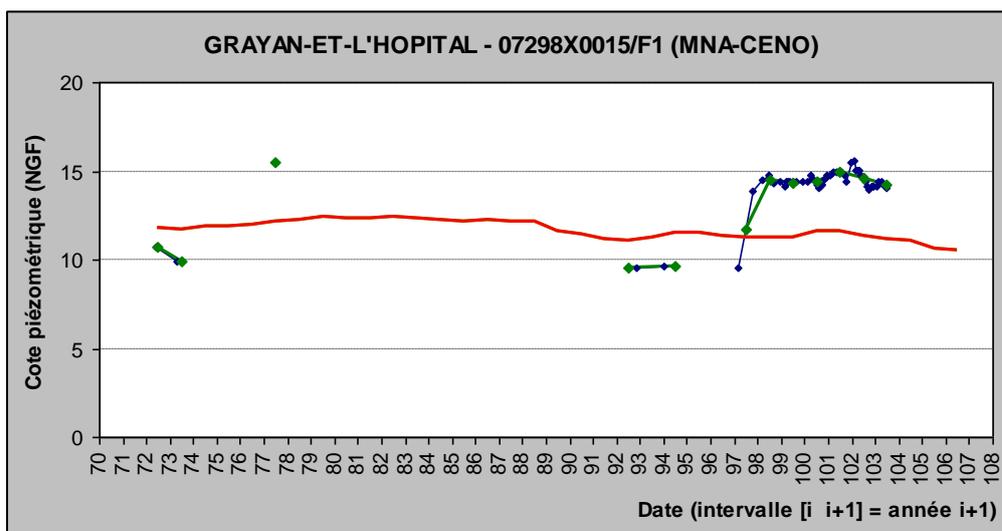
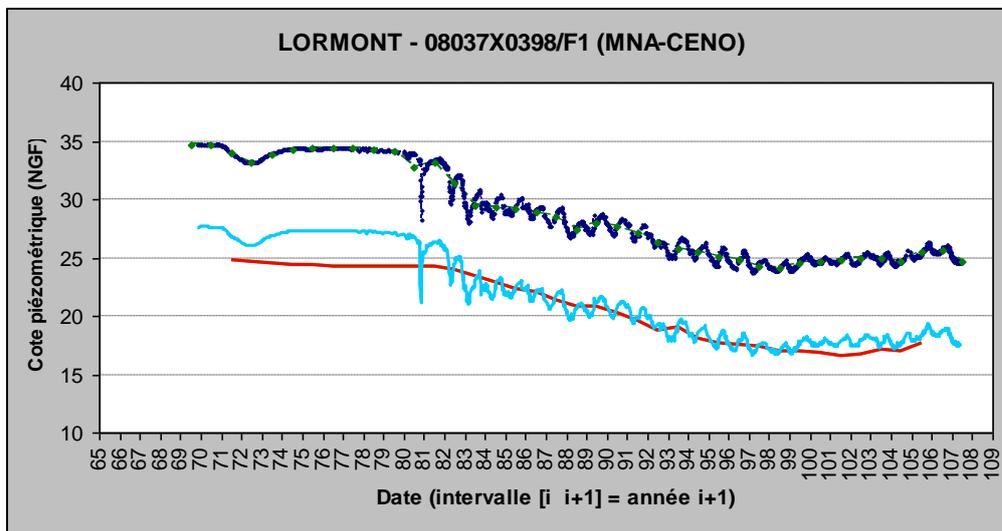
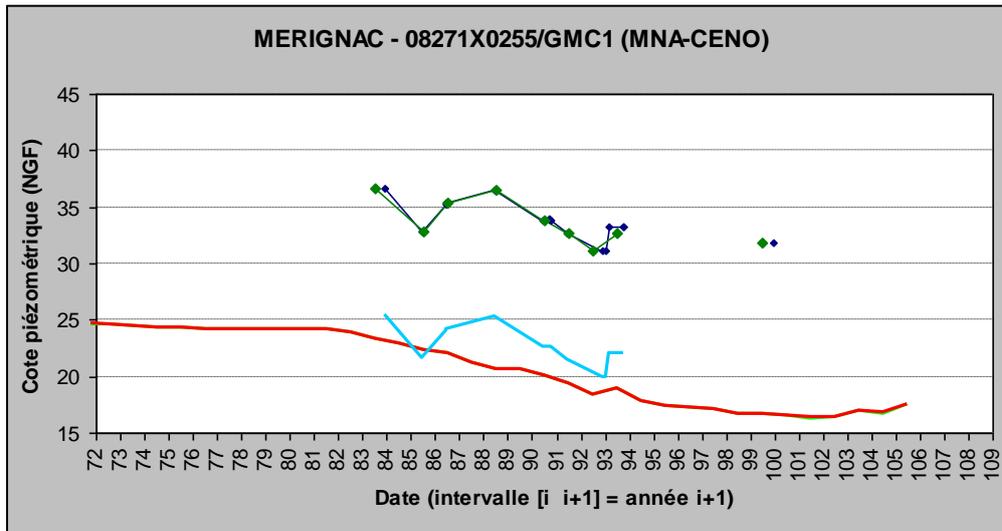


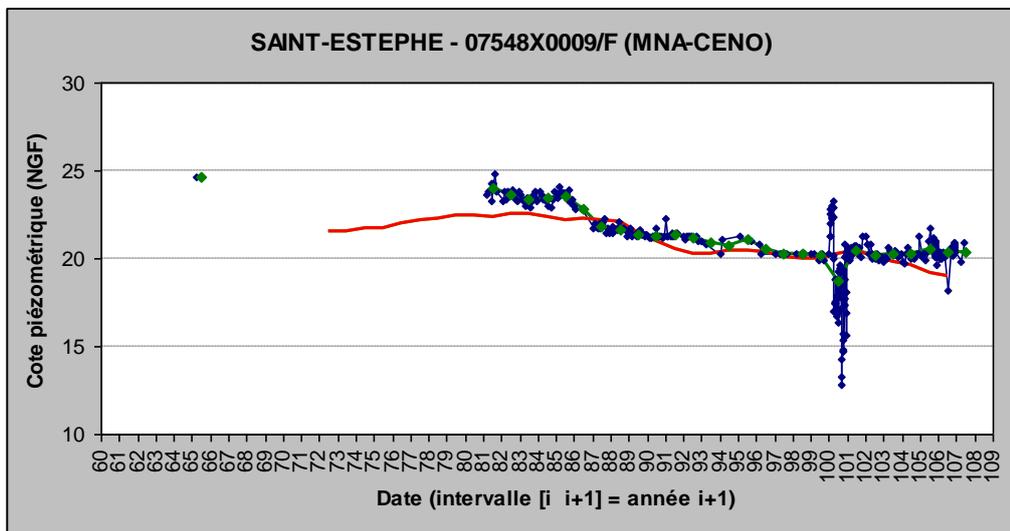
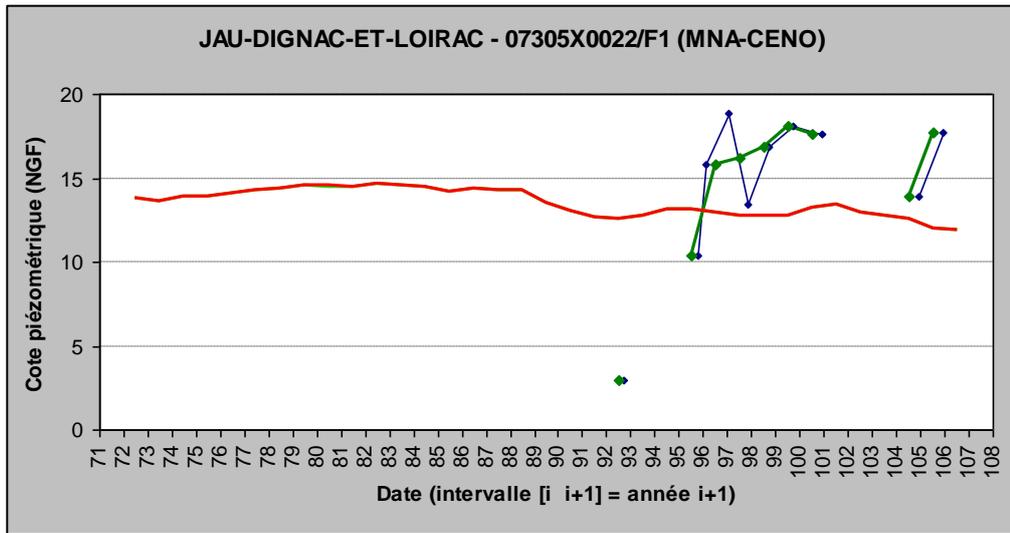


Nappe du Cénomaniien

MNA-CENO

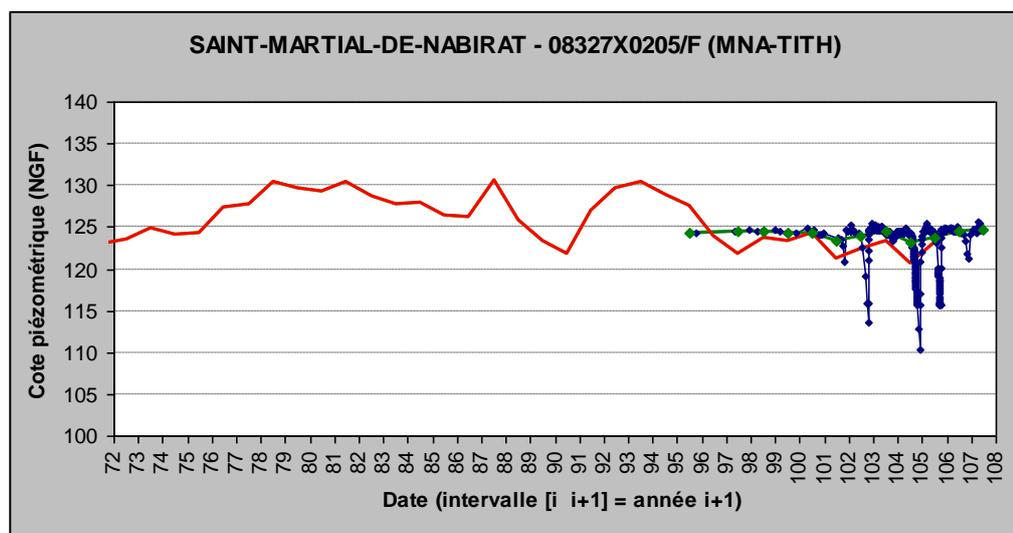
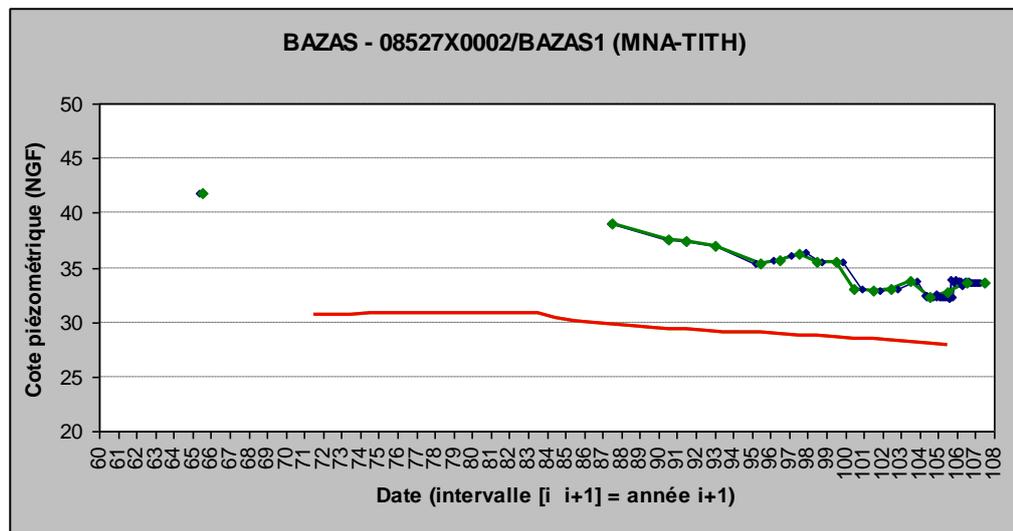
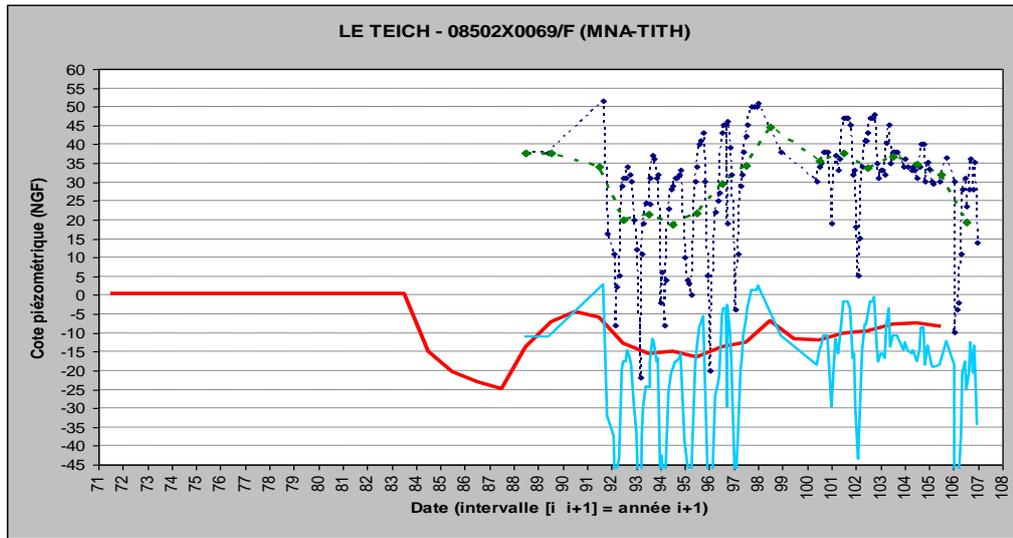






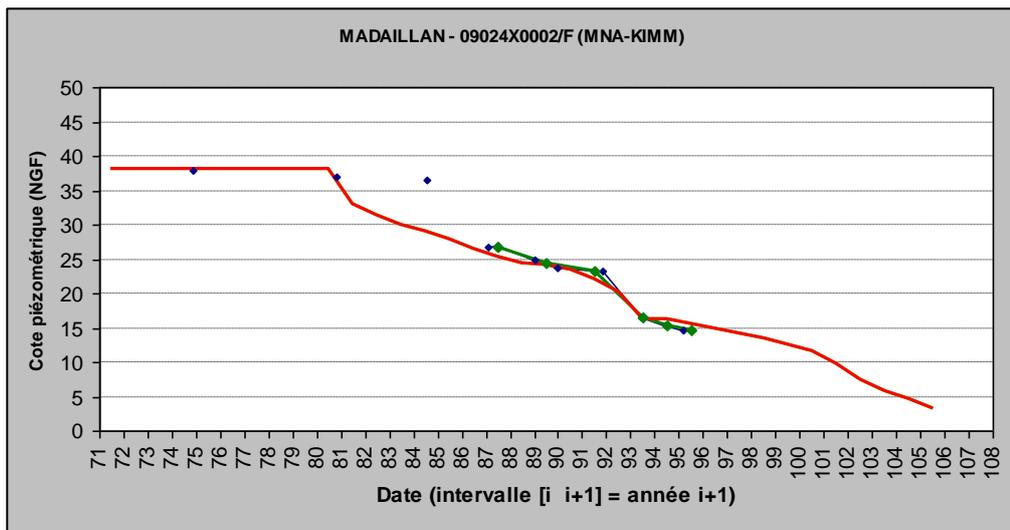
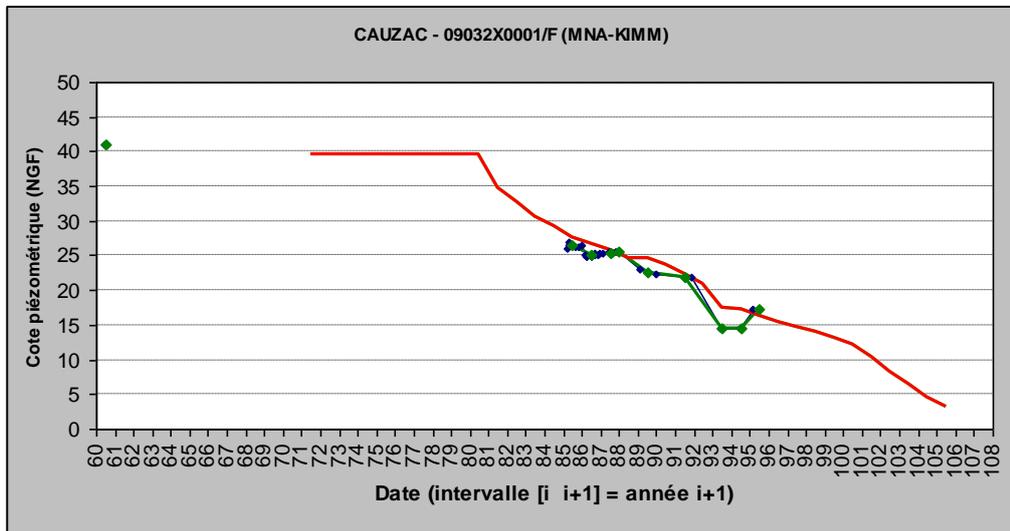
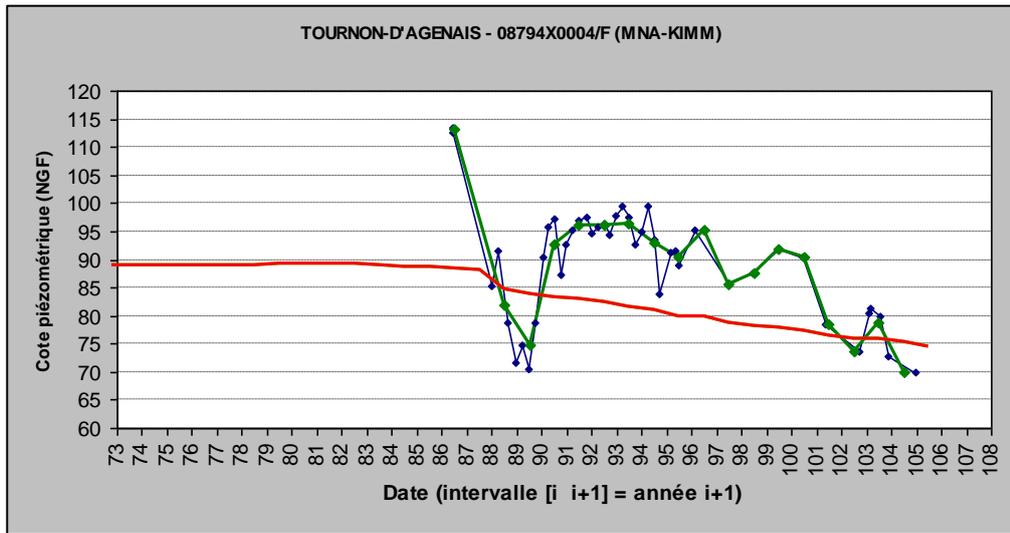
Nappe du Tithonien

MNA-TITH



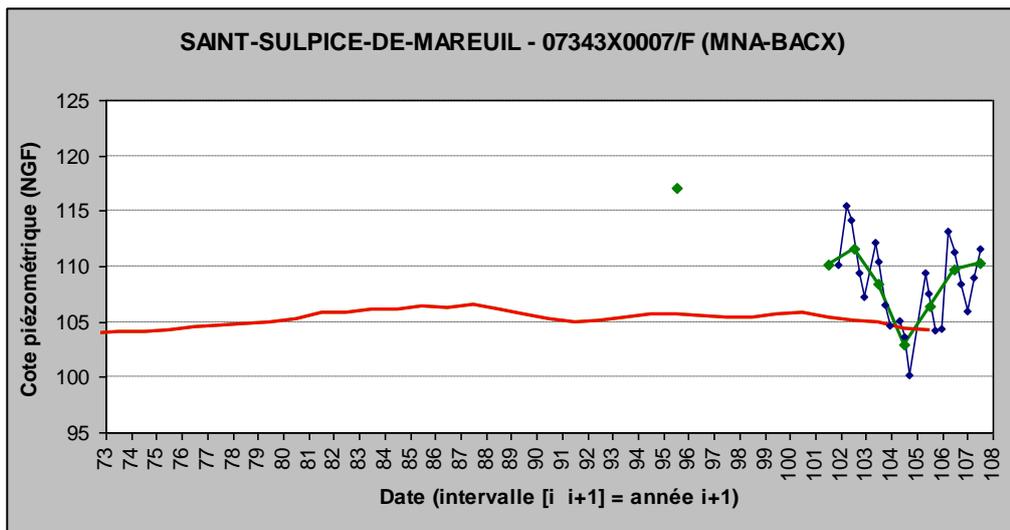
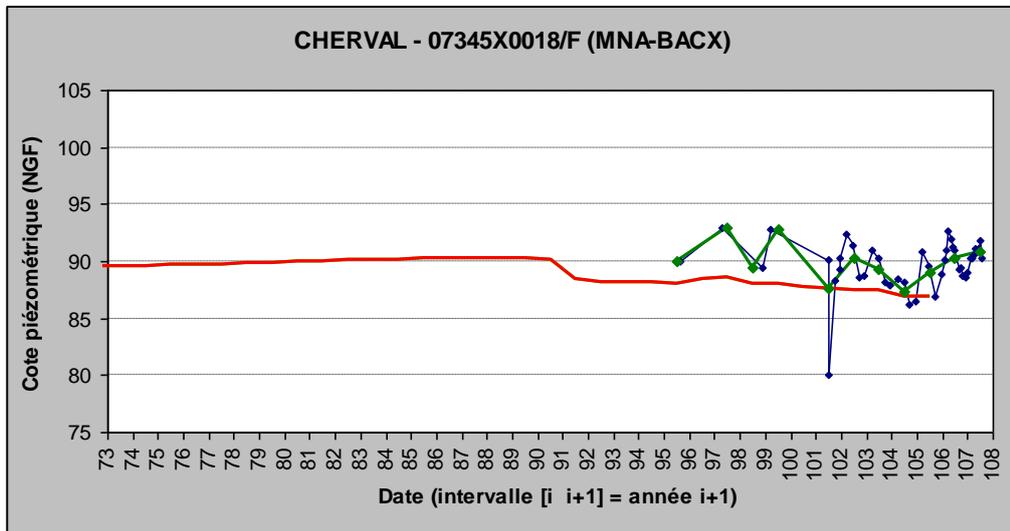
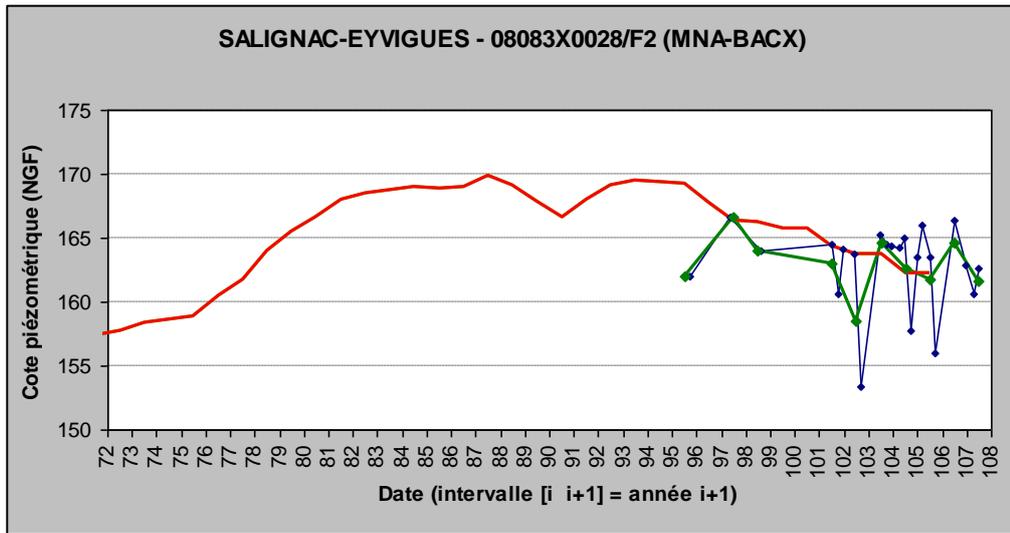
Nappe du Kimméridgien

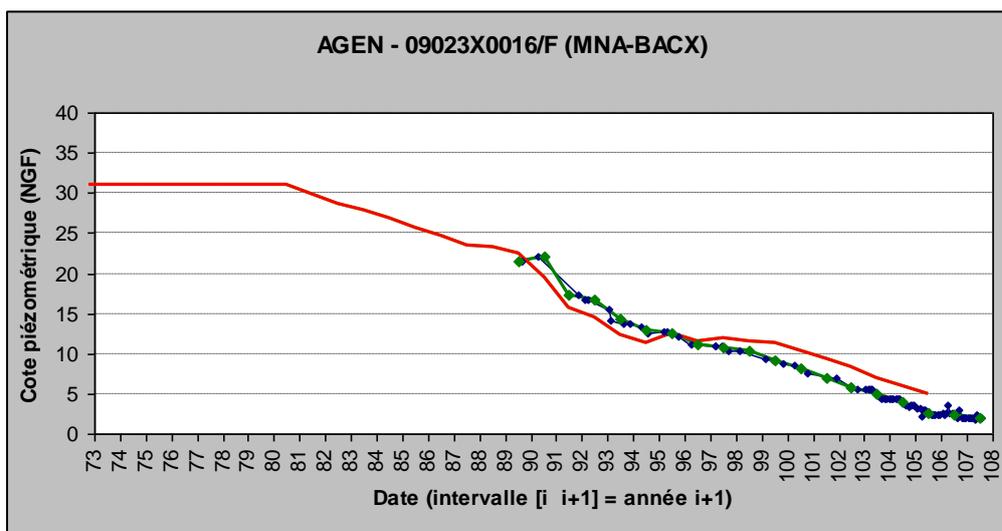
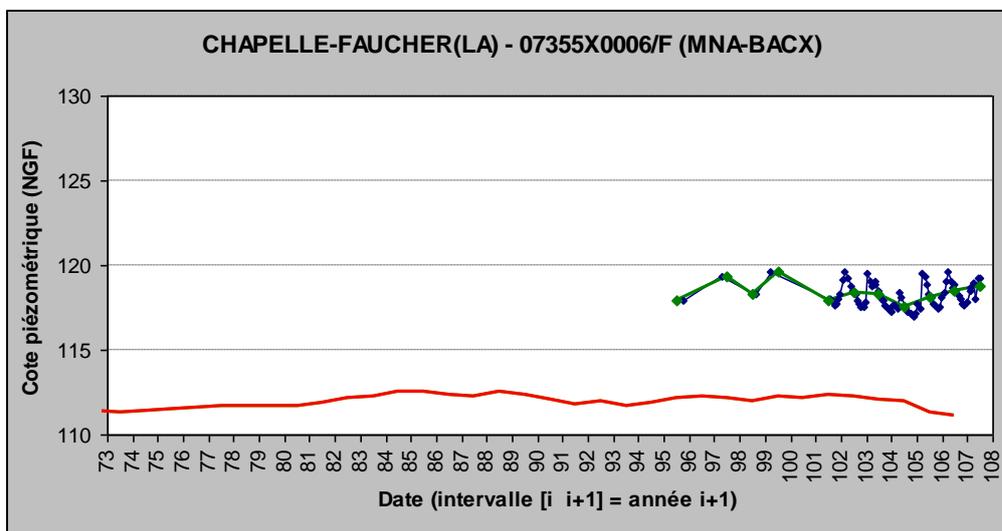
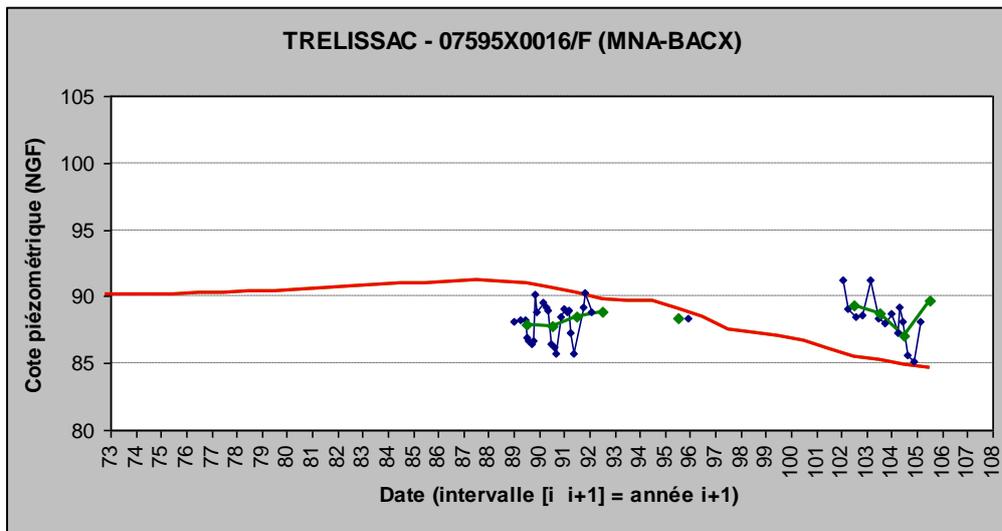
MNA-KIMM

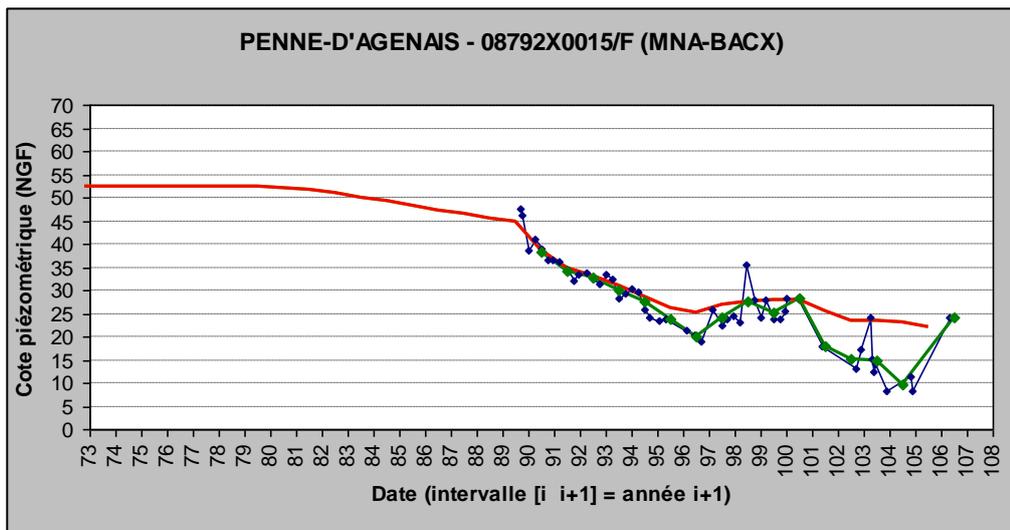
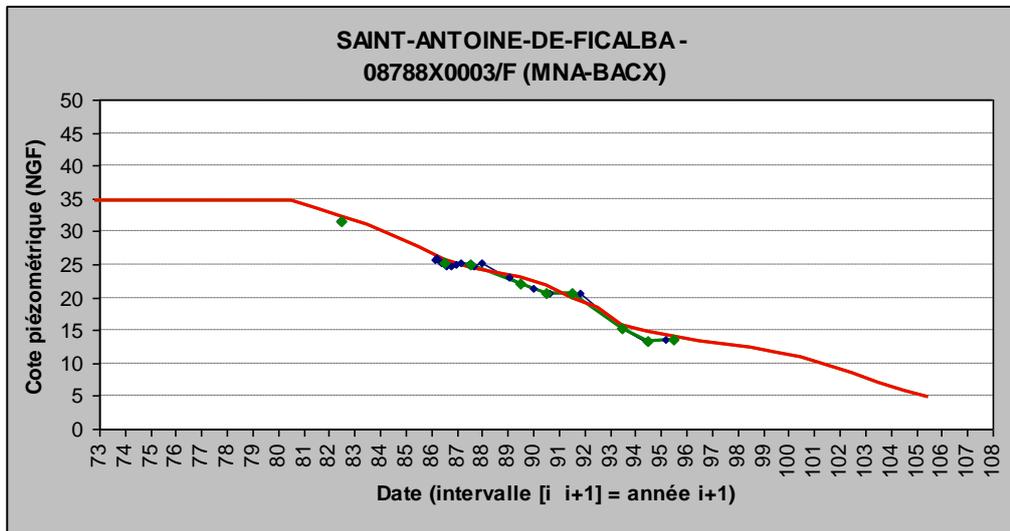
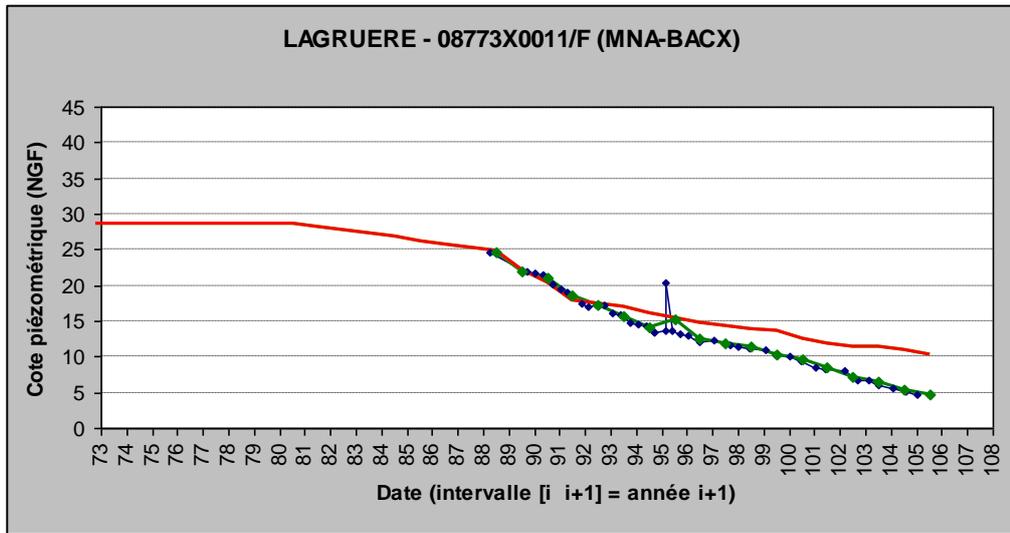


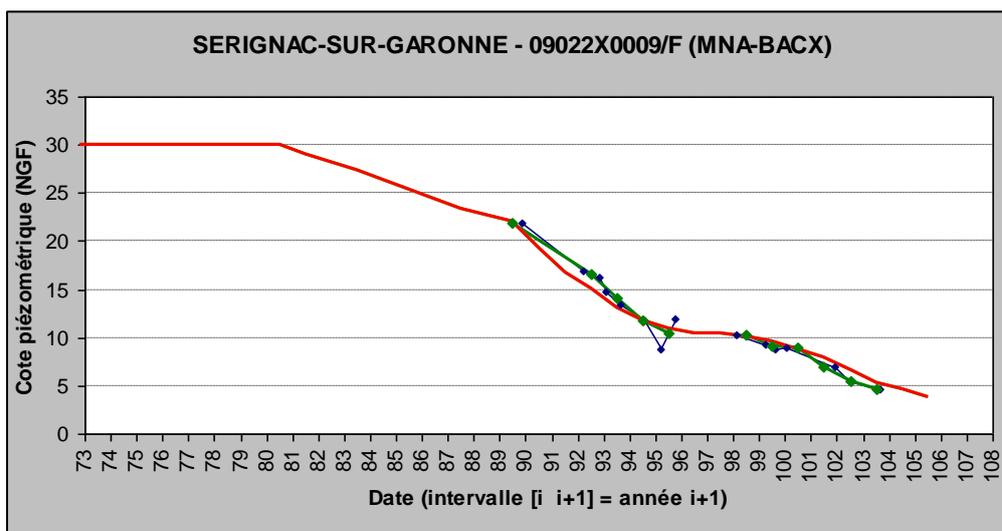
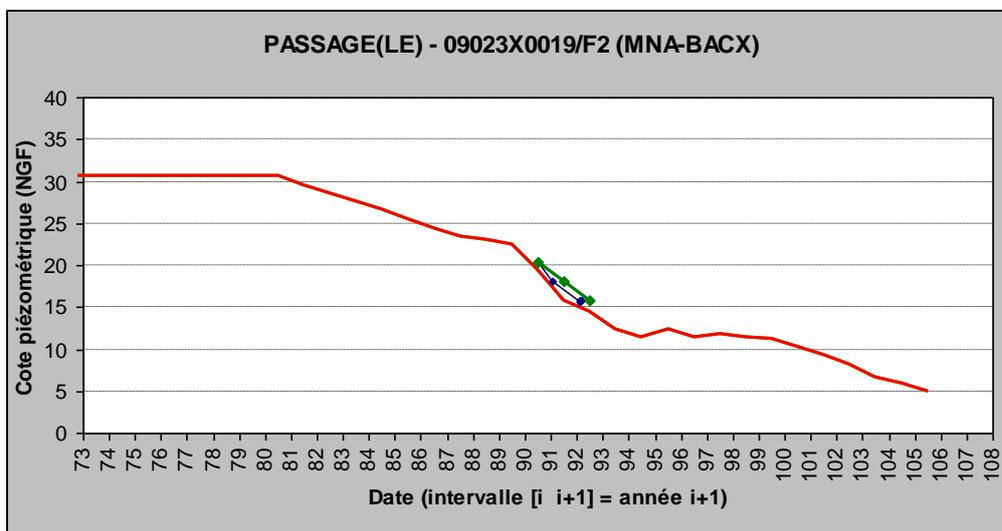
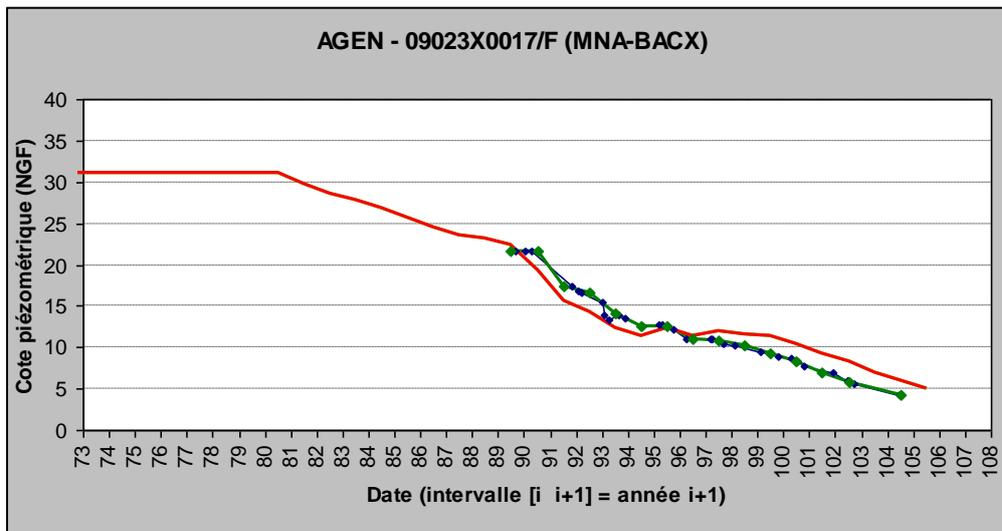
Nappe du Bathonien-Callovo-Oxfordien

MNA-BACX



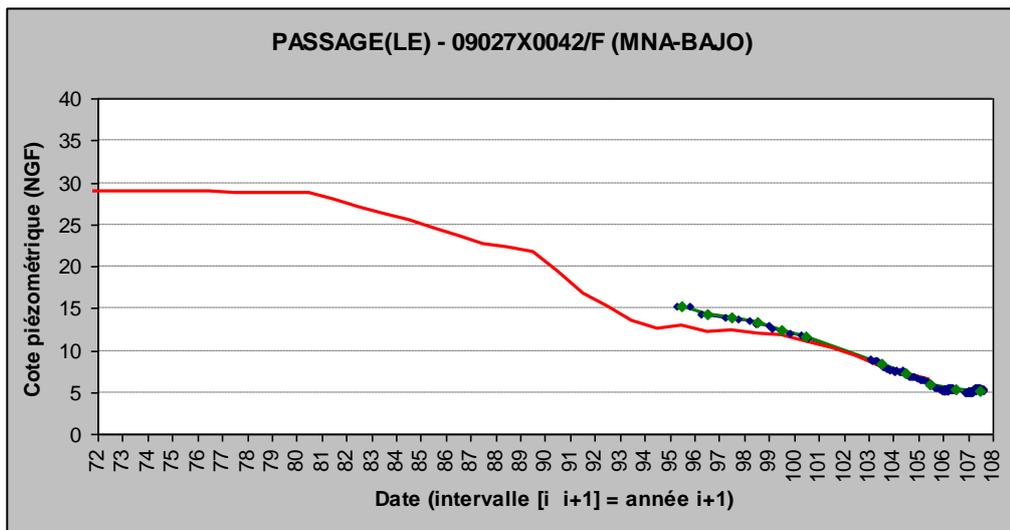
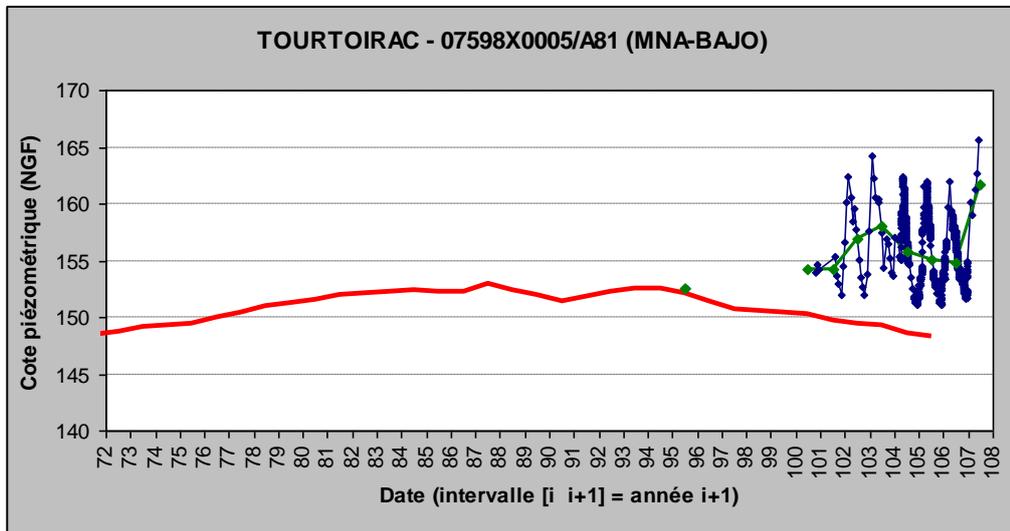
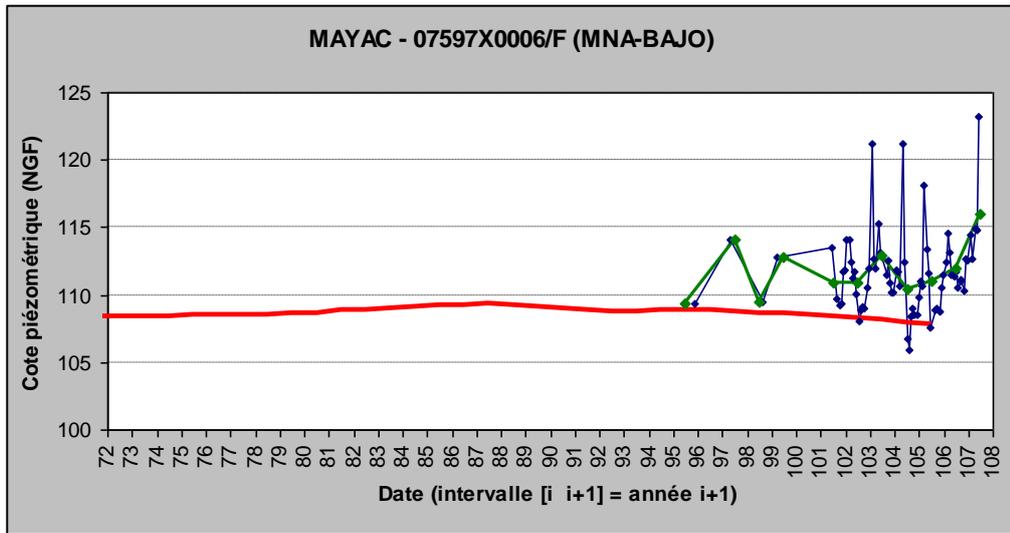






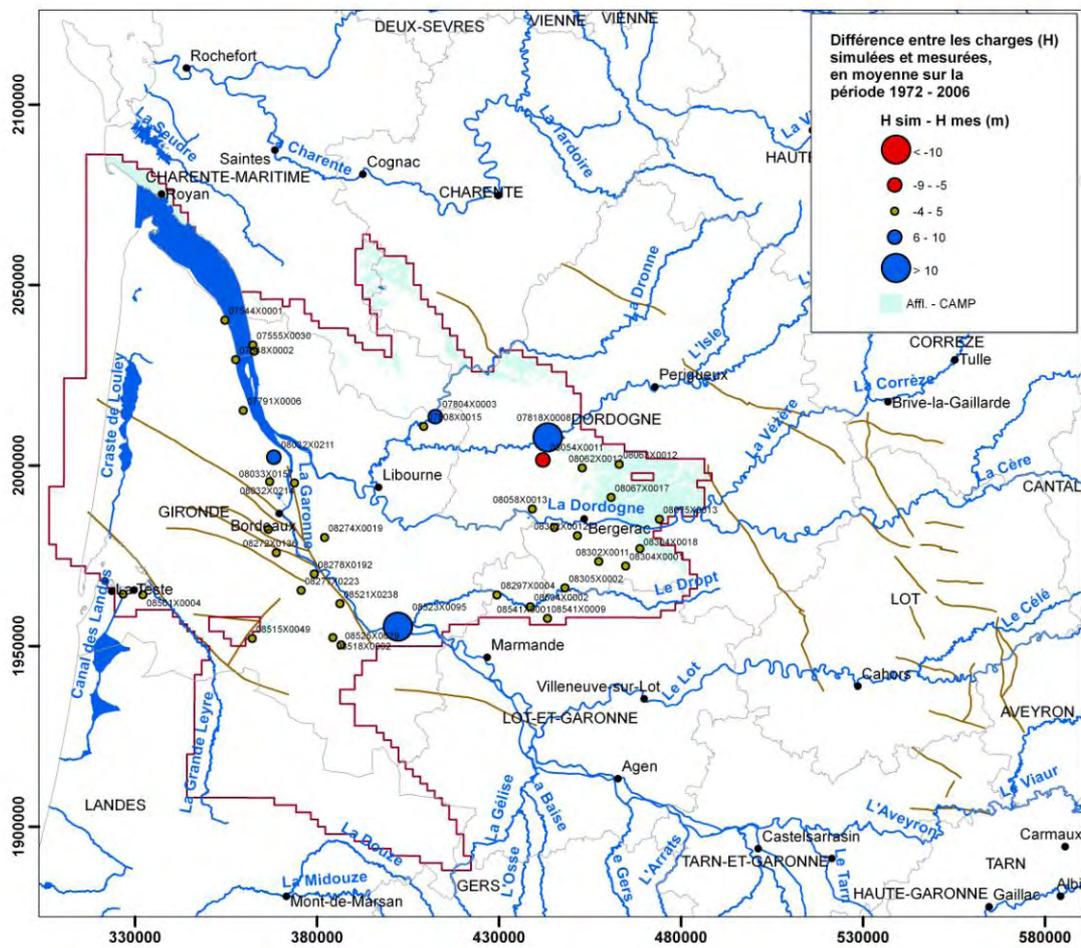
Nappe du Bajocien

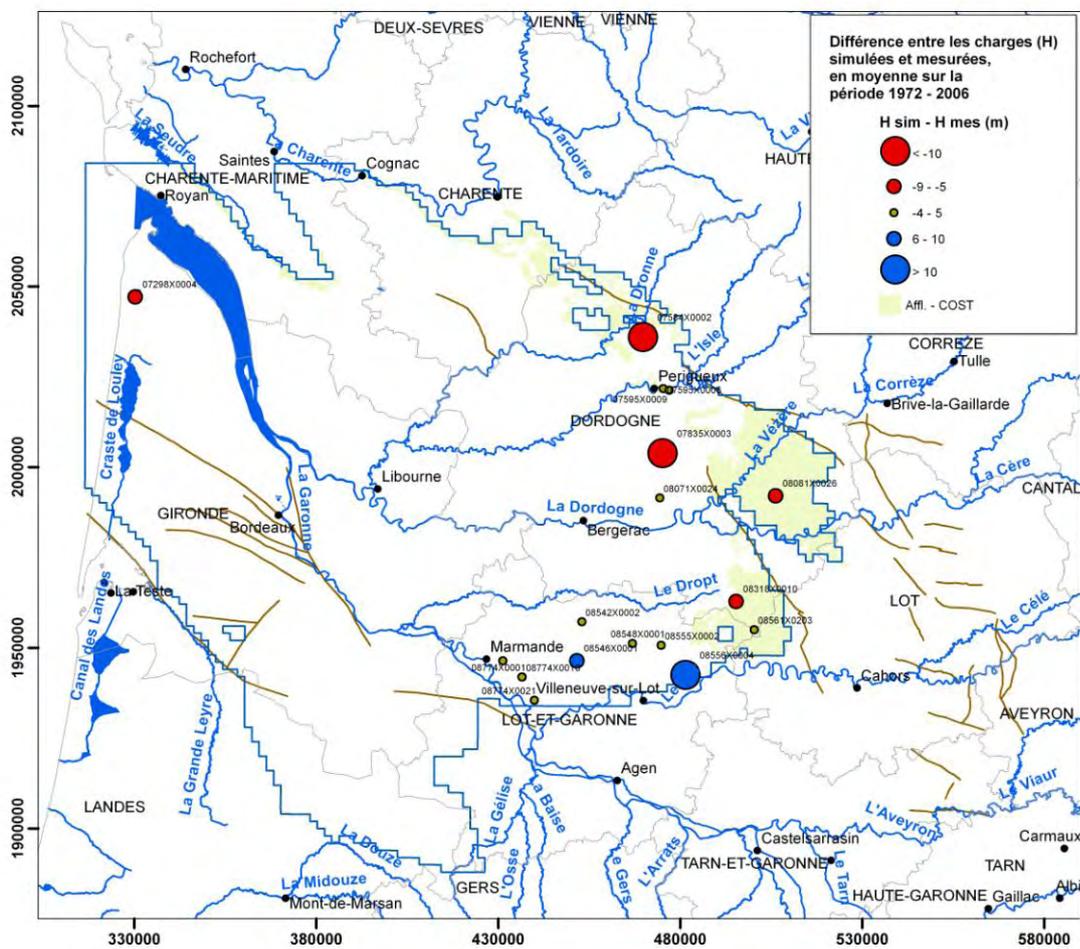
MNA-BAJO

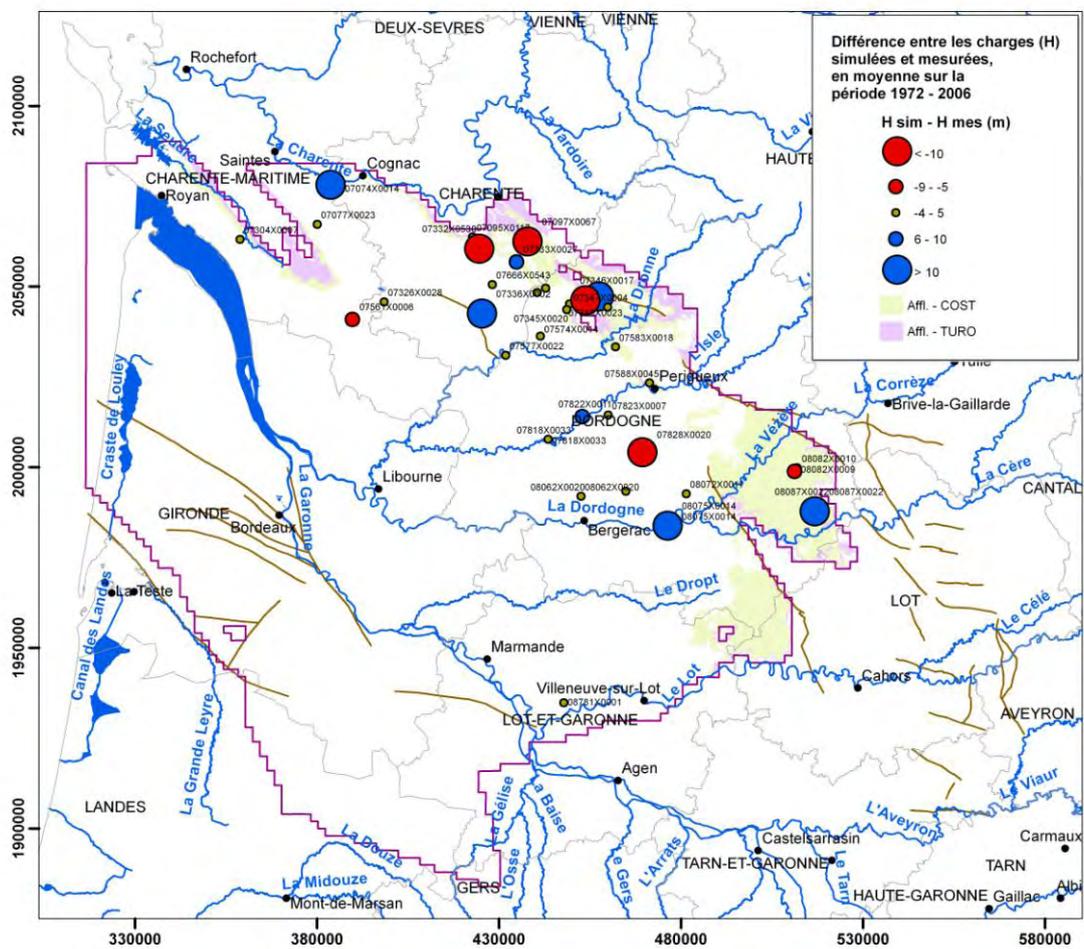


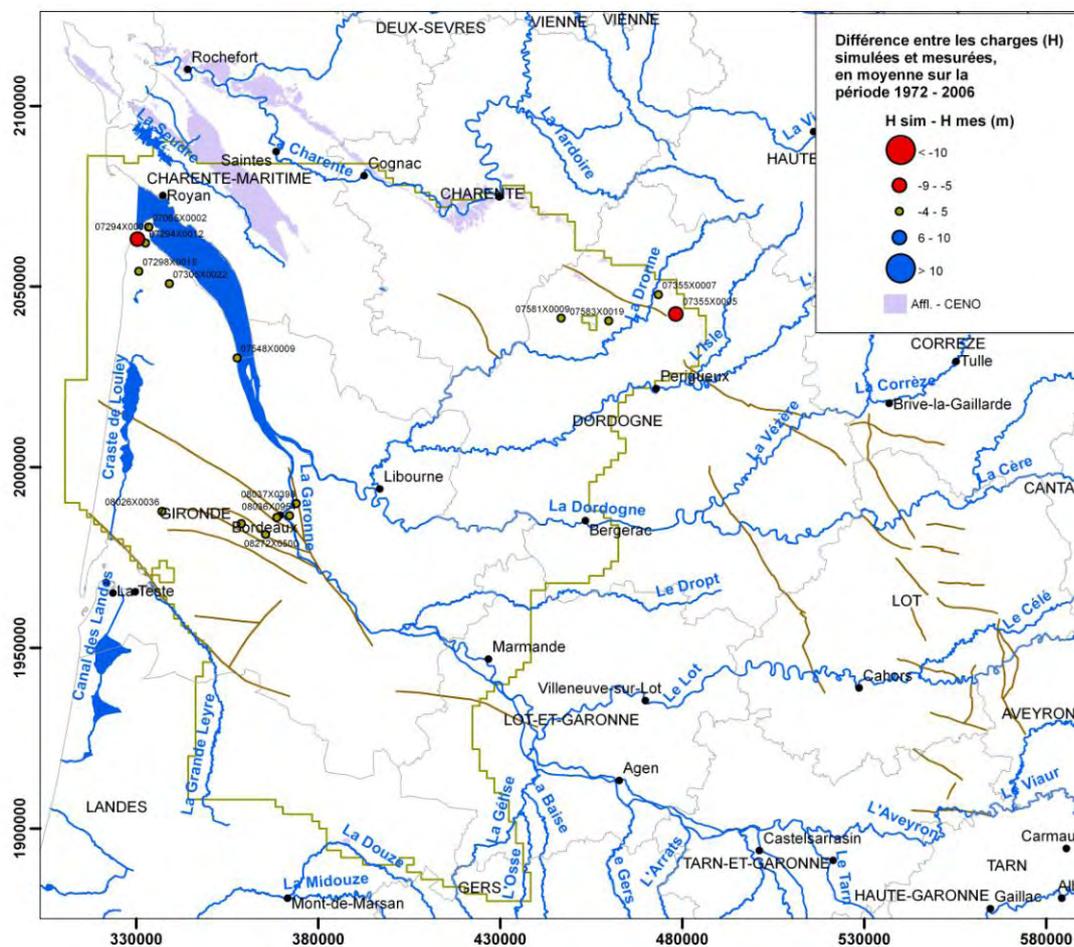
Annexe 7

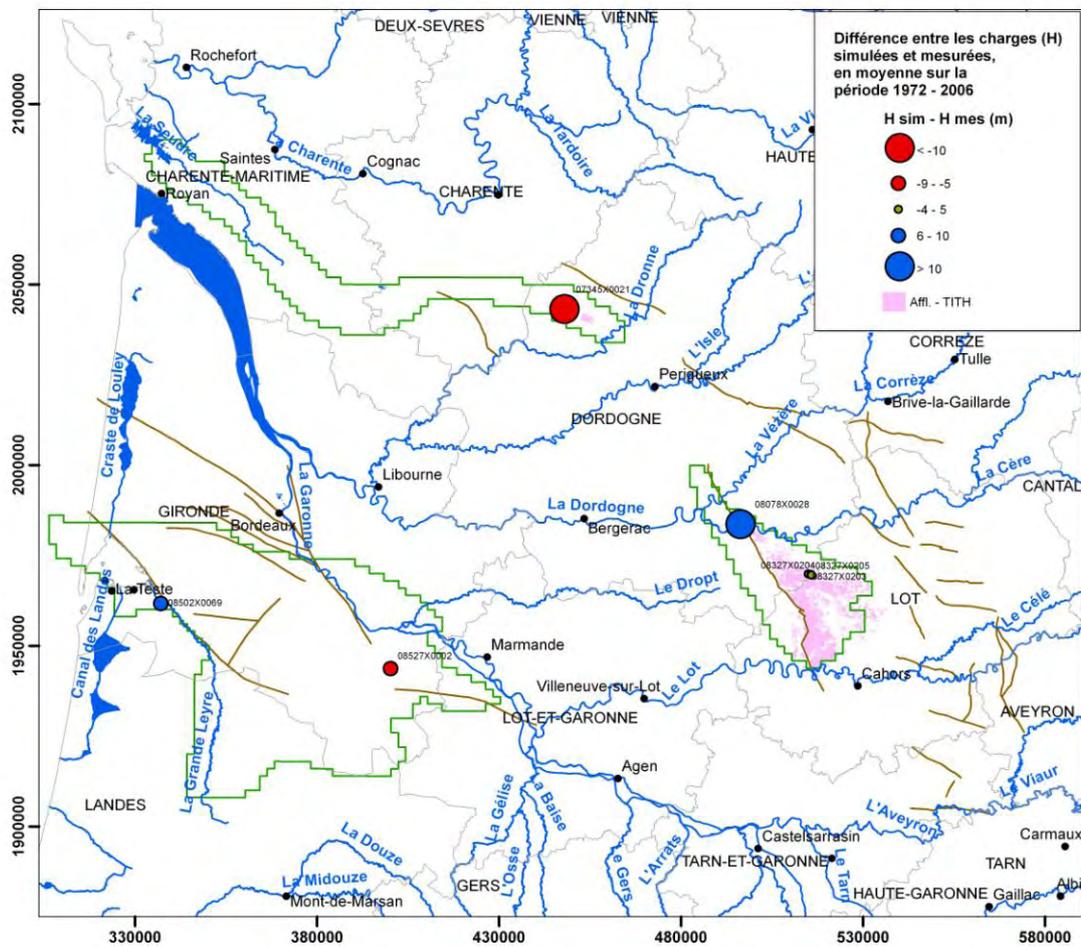
Cartes de distribution des écarts moyens entre les charges hydrauliques simulées et observées sur la période 1972-2006

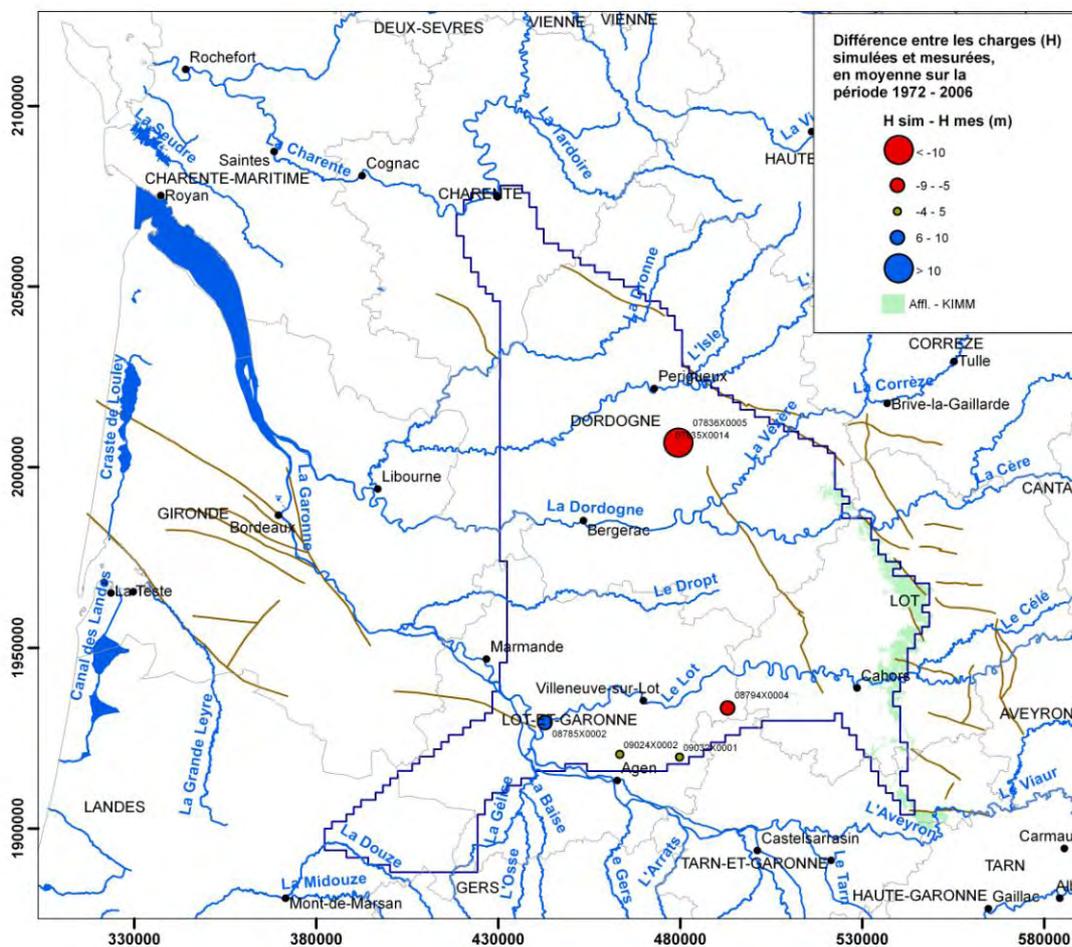


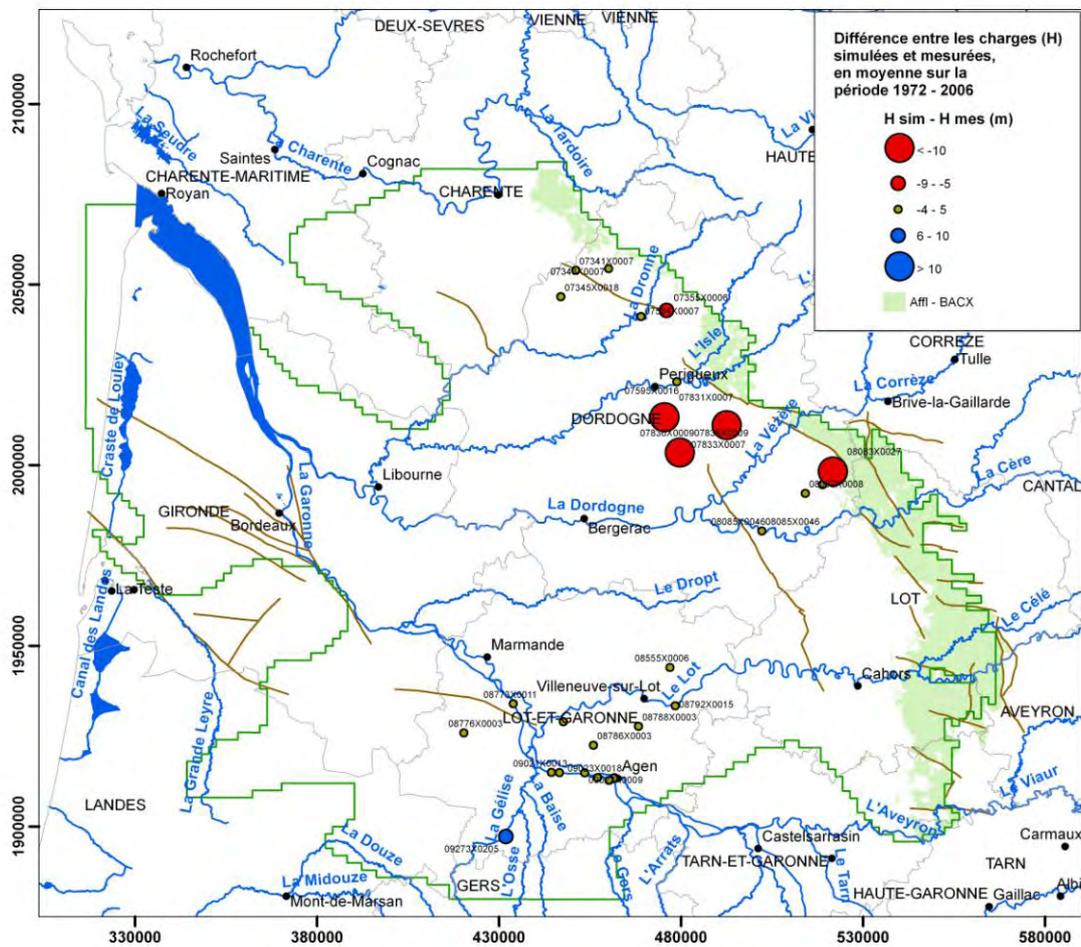


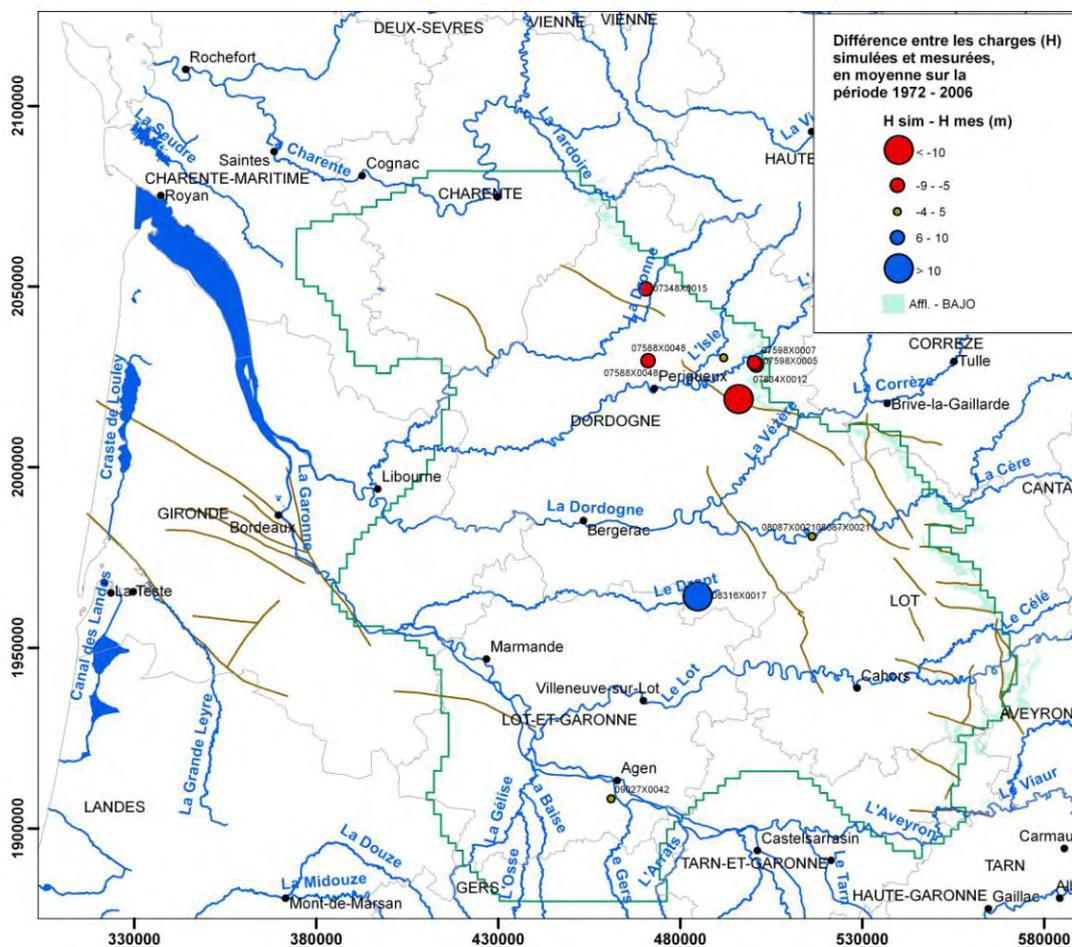






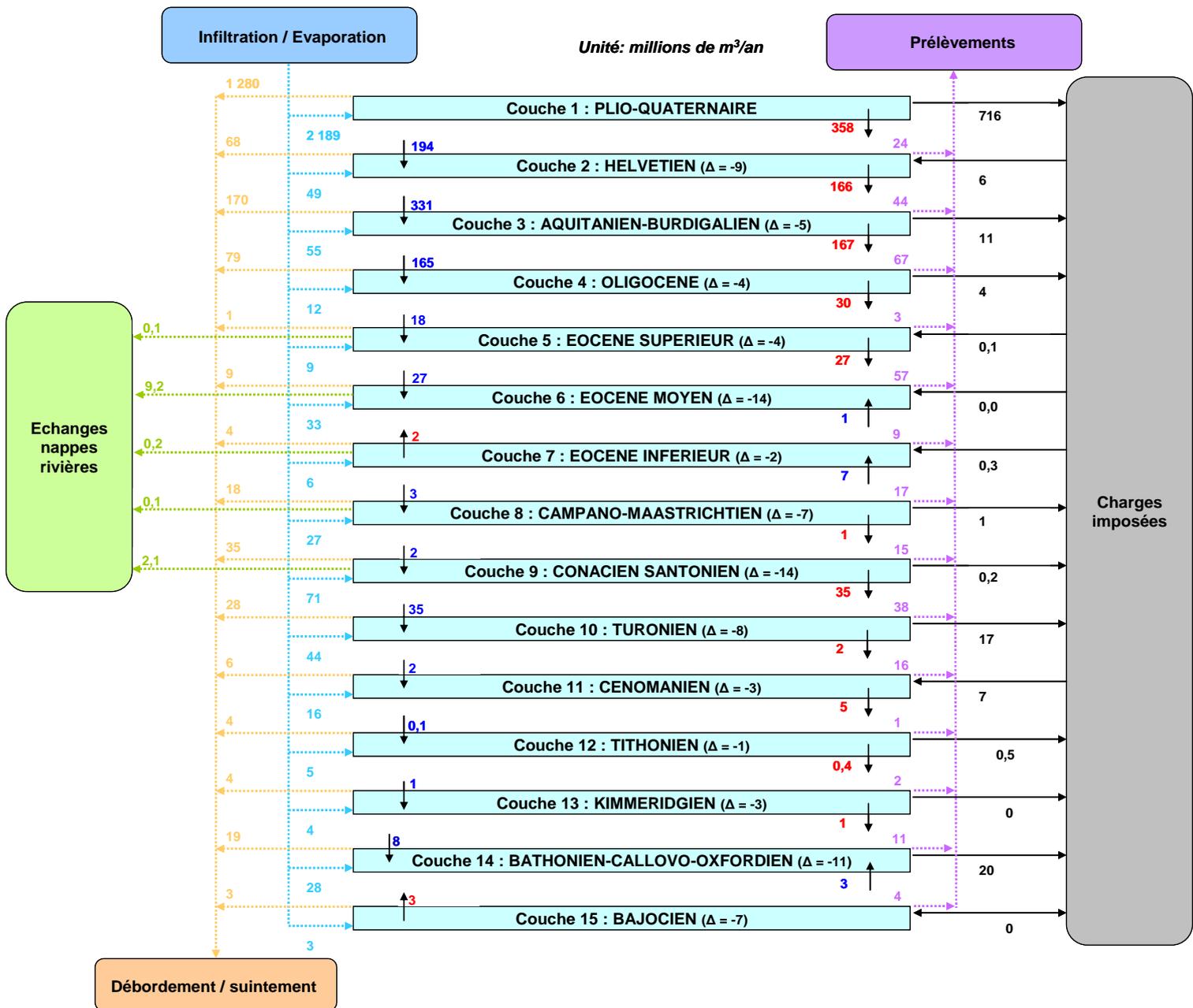






Annexe 8

Bilan global des débits du modèle Nord Aquitain (parties libres et captives) - moyenne des flux sur la période 1997-2007



Bilan global des débits du modèle Nord Aquitain - Période 1997-2007 - en millions de m³/an



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél, : 02 38 64 34 34

Service Géologique Régional Aquitaine

Parc Technologique Europarc
24, Avenue Léonard de Vinci
33600 – Pessac - France
Tél, : 05 57 26 52 70